



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE MORELOS**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN
BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN**

**ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN MORFOMÉTRICA Y LÍMITES DE ESPECIE
EN EL GRUPO *Peromyscus boylii* (RODENTIA: CRICETIDAE)**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN BIOLOGÍA INTEGRATIVA DE
LA BIODIVERSIDAD Y LA CONSERVACIÓN**

PRESENTA: LESLY AVIGAIL SALGADO

DIRECTOR: DR. FRANCISCO XAVIER GONZÁLEZ CÓZATL

CUERNAVACA, MORELOS.

DICIEMBRE, 2021





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



Cuernavaca, Morelos, 26 de noviembre de 2021

**Coordinación Académica
Maestría en Biología Integrativa de la
Biodiversidad y la Conservación
Presente**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada **“ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN MORFOMÉTRICA Y LÍMITES DE ESPECIE EN EL GRUPO *Peromyscus boylii* (RODENTIA: CRICETIDAE)”** de la alumna **Lesly Avigail Salgado**, con número de matrícula **10029590**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

() Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

() No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Atentamente,

FIRMADO ELECTRÓNICAMENTE

Dr. Francisco Xavier González Cózatl
Profesor-Investigador Titular



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

FRANCISCO XAVIER GONZALEZ COZATL | Fecha:2021-11-26 12:08:34 | Firmante

VP5EZ0QZJLwMM+AjGYnbvYKZINxLjBXdb7hBgJ5pAgHmljREDXgKHTS8DTzeyh55+tlezlteTaPA3GO4403xoKQxFSOoMV4xeYNgNlg6u+A+woWtNxbwqAwwZwyiXAbYlepe2
Fvd54bRjjW4x5EMiH15F3uzUFgXILJ4IRfSoe10J1vYXtggfBvNzbFenAQL/2bUgzMT9aMXeLLJ9+3Dsd9aXq5K+cfOHrKb9ZowILu0DdVC7TCbCbYrFSmjGe3a4WxTRTa//K7
M0RMMyUbgWkv2/qf11BB+iNbWDrFKD4yrg894XeUKbD7WDZpMMuQa8zNGzlf83Qifc4DPHnrg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[0VgiplqNw](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/iMBE4rHNXQGFxl5ThfnBLk84f9fXXO>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



Cuernavaca, Morelos 24 noviembre 2021

Coordinación Académica
Maestría en Biología Integrativa de la
Biodiversidad y la Conservación
Presente

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada **“ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN MORFOMÉTRICA Y LÍMITES DE ESPECIE EN EL GRUPO *Peromyscus boylii* (RODENTIA: CRICETIDAE)”** de la alumna **Lesly Avigail Salgado**, con número de matrícula **10029590**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

(X) Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

() No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Atentamente,

Firma electrónica

Dra. Elizabeth Arellano Arenas
Integrante de la Comisión Revisora



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

ELIZABETH ARELLANO ARENAS | Fecha:2021-11-28 12:13:32 | Firmante

CtR73K2ecQV3DEU5RF6m6TPobBt5vxyR2gH2n7hg4jYvNI7wub4Nh8JbyZywWpusviut8UGwmlW5eS4DUJagTT5Bz+VXSrtUrLg0ON3Im5HAXPGBV1cyqIkPVQM13qanAUxBZ hcbIJO1jbAOCf35qwm0/UNZP+n+1f3BCBaTXRG3PBKZ1FceiL4Yr+FA0g5WLUCLS+ok/GcmDXh4HfhnG6pRRDhI7S1SrSrLnCDe9PdrBGjeyP5vYIrcov9OeJ7+oShMBCLZxDA blGbpJWugFNcgQw6q/jLMvdX2ENFaQIXvdpZmGuLGexBJ0GdOz52wyL3oWU8395nuLoQ7IZT/6Q==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[bpoJwFdhW](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/xJTVbd5iqrAPFcKecyPFIWMEDcr0RRiT>





Fecha: 28 de noviembre de 2021

**Coordinación Académica
Maestría en Biología Integrativa de la
Biodiversidad y la Conservación
Presente**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada “ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN MORFOMÉTRICA Y LÍMITES DE ESPECIE EN EL GRUPO *Peromyscus boylii* (RODENTIA: CRICETIDAE)” de la alumna **Lesly Avigail Salgado**, con número de matrícula **10029590**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

(X) Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

() No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Atentamente

M. en C. Cirene Gutiérrez Blando



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

CIRENE GUTIÉRREZ BLANDO | Fecha:2021-11-28 21:04:58 | Firmante

O8id9go1Z//t6gxKOBjiYdnZDGP85hnnVxwltcbU1KV6sjkRIsTN1LqGEY11GXOZrDFOuJo2Jk+cKcCdEZVlxxYWsHEOY+U0IPe0yV5JjbMtVB4C/1aSfrdmosxT6fZJYCvERILGkdKjFdcigsJRzTcOWuzxH6vzuMZ0LkiDzbhPp+wRS/2dewzgpohWnQ2HihISC4DOcZvPBCrA7PSz6x/yO9TYYYKpQyxN8NBrYxbYIPZyOmvaog6muellZnaDMimVrdlJKd9XQLp7ZdrNqTTJVP6+QeK6D8/2E4/6UzD0C:xjv1/kVU44Lk/oqtuZg9agYDh30cLWQpmOch9M0eg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[dQPrDeF1j](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/nDkHQCawIBGZtULMUoo9l1DrUsLjodAK>



Cuernavaca, Mor. a 24 de noviembre del 2021.

**Coordinación Académica
Maestría en Biología Integrativa de la
Biodiversidad y la Conservación
Presente**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada **“ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN MORFOMÉTRICA Y LÍMITES DE ESPECIE EN EL GRUPO *Peromyscus boylii* (RODENTIA: CRICETIDAE)”** de la alumna **Lesly Avigail Salgado**, con número de matrícula **10029590**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

() Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

() No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Atentamente

Dra. Elizabeth Nava García

Profesora de la Facultad de Ciencias Biológicas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

ELIZABETH NAVA GARCIA | Fecha:2021-11-24 18:47:56 | Firmante

E2i9ZPYe2h8lyWw6KVbTa7U9a50a/T9Hkk95wFRdBJRQgi6VblZCkDbbA9/a7bfeFzcTAexePwf0DnxsfSUdbbG0GgW9oWX/SDVcq5LLcAz89xly+qNtw8TmjwcBok3XCjT8mZi/p3eke69rVLuAoxiWiwAFDQOOpvRh0tOpGsMCALiyCi8JVRfPq4UKKWWXgCYduW5Gq/gTI0PKxHwlbQxTq8IIHNH81N9/6e2WrpH9AGRcGTlyshcY10xE0/1OK1zUDUWaigVZHcC+HAT4mZhAFgG1F6HX0+xQvJupvcqY1MrQmM49j8vU1ZLPh1xl2B5v0+WRZsr2ahMa5MOV9Q==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[EIJM3pcWT](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/kJfwK96RjhX5NVpulZ7KNnJPLluAVdgu>





INABIO
Instituto Nacional de **Biodiversidad**

Fecha: 26 de noviembre, 2021

Coordinación Académica
Maestría en Biología Integrativa de la
Biodiversidad y la Conservación
Presente

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada “**ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN MORFOMÉTRICA Y LÍMITES DE ESPECIE EN EL GRUPO *Peromyscus boylii* (RODENTIA: CRICETIDAE)**” de la alumna **Lesly Avigail Salgado**, con número de matrícula **10029590**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

() Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

() No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Atentamente

Nicté Ordóñez Garza, Ph. D.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

NICTÉ ORDÓÑEZ GARZA | Fecha:2021-11-27 10:47:09 | Firmante

OEGU8FNkQviVVKFHZb2OJPPaw/5DszfLxv1rWv2Es9oanODL8tFbSbqYb6rSJOiC8hhimPfgGJyA4i90uDittK6H4wG7eMtmgmxAf79KTOOyRhOqmbLISLGHzw80bSqhj2u7004vCTwVhQCJ91g3XYK/o3Wm4PcxaDRQKIoELzTiQXyJbpfFiGcgcDmXtLH8PYKxLgCs8mEmh0qHjivRCDnjIQGP4XV1D74uwHfexOT+baVE4QGHs0jxfBcRzXTW7T0n4oc+He9qHZcZUhaOE/XBfcu8XVmT9IYleK+HgyPZHgvpA+WRjwhznX2IO+4EU1c/rnJzhs63IY18GdNw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[U3vZhHe0W](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/VkKOG8I0NcpuFH7vqrrucFL8yebY3Kkq>



AGRADECIMIENTOS

- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para llevar a cabo mis estudios de maestría, con el número de apoyo 757968, durante el periodo de Septiembre 2019 a Agosto 2021.
- A mi director de tesis, el Dr. Francisco X. González Cózatl por todo el apoyo, confianza y tiempo brindado, por todos sus consejos durante estos tiempos difíciles, por siempre estar pendiente de uno, por toda la paciencia y por seguir creyendo en mi capacidad de realizar este proyecto.
- A los miembros que formaron parte de mi comité tutorial:
- A la Dra. Elizabeth Arellano Arenas por todo el apoyo brindado, por todos sus valiosos comentarios y por toda la confianza depositada en mí para llevar a cabo este proyecto. Agradezco todas sus enseñanzas a lo largo de mi formación personal y profesional.
- A la M. en C. Cirene Gutiérrez Blando por todas sus observaciones y por todo el nuevo aprendizaje que he adquirido a través de sus comentarios, gracias por siempre estar pendiente de mí y del proyecto.
- A los miembros del comité revisor:
- A la Dra. Elizabeth Nava García por el apoyo y confianza brindados para llevar a cabo este trabajo, por todo el tiempo dedicado a la mejoría de este proyecto.
- A la Dra. Nicté Ordóñez Garza por todas sus propuestas y sugerencias que han permitido enriquecer este proyecto de tesis.

- A los curadores y personal académico de la Colección de Mamíferos de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por permitirme utilizar sus instalaciones y emplear sus ejemplares recolectados en este trabajo.
- Al Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación (CIByC) por brindarme sus instalaciones para poder llevar a cabo este trabajo y a los curadores de la Colección de Mamíferos del CIByC, que es donde se realizó una parte fundamental de este proyecto de tesis.
- A la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, donde he podido concluir una nueva etapa de estudios.

DEDICATORIA

- A mis padres por toda la confianza que depositan en mí, porque su amor es incondicional y gracias a ustedes pude alcanzar una nueva meta en mi vida, gracias por creer en mí siempre y ser un constante ejemplo a seguir.
- A mi hermano Rafa y hermana Cindy que me han ayudado a ser mejor persona, porque con ellos la vida es mucho mejor, gracias por siempre ser un pilar de apoyo constante.
- A Esteban López por siempre estar a mi lado en las buenas y en las malas, por ser un compañero increíble, por toda la paciencia que tienes conmigo y por querer seguir compartiendo esta aventura juntos, por la primera de muchas más.
- A Alexandra Peregrina y Dalia Hernández gracias por todos estos años llenos de risas y tristezas compartidas, sin importar que tan lejos podemos estar siempre las valoraré, gracias por todo su apoyo y por siempre creer en mí.
- A mis amigas y compañeras de la maestría, Dulce Solano, Yoselin Hernández, Alondra Palma y Victoria Cazares, gracias por brindarme su amistad, por todas esas videollamadas nocturnas, que sin importar la distancia o la dificultad de los tiempos siempre habrá momentos divertidos con ustedes.
- A los compañeros de la Colección de Mamíferos, gracias por todos los consejos y por todas las enseñanzas compartidas.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
I.- INTRODUCCIÓN	3
II.- ANTECEDENTES.....	4
2.1.- Morfometría geométrica	4
2.2.- Morfometría geométrica en roedores	6
2.3.- Grupo de especies <i>Peromyscus boylii</i>	7
2.3.1.- Descripción y distribución de los miembros del grupo de especies <i>Peromyscus boylii</i>	8
III.- JUSTIFICACIÓN	18
IV.- HIPÓTESIS.....	18
V.- OBJETIVO GENERAL	18
VI.- OBJETIVOS PARTICULARES	18
VII.- MATERIALES Y MÉTODOS	19
7.1.- Revisión de material biológico	19
7.2.- Estimación de la variación y diferenciación morfogeométrica	20
7.3.- Variación interespecífica	25
VIII.- RESULTADOS	25
8.1.- Revisión del material biológico	25
8.3.- Evaluación de Dimorfismo Sexual	27
8.3.1.- Alometría.....	28
8.4.- Análisis de Componentes Principales	29
8.4.1.- Vista dorsal del cráneo	29
8.4.2.- Vista lateral del cráneo	31
8.4.3.- Vista ventral del cráneo en Hembras.....	33
8.4.4.- Vista ventral del cráneo en Machos	35
8.4.5.- Vista lateral de la mandíbula.....	36
8.5.- Análisis de Variables Canónicas	38
8.5.1.- Vista dorsal del cráneo	38
8.5.2.- Vista lateral del cráneo	40
8.5.3.- Vista ventral del cráneo en Hembras.....	42
8.5.4.- Vista ventral del cráneo en Machos	44

8.5.5.- Vista lateral de la mandíbula.....	47
8.6.- Distancias de Mahalanobis	49
8.7.- Análisis de comparaciones pareadas	50
8.7.1.- Vista dorsal del cráneo	50
8.7.2.- Vista lateral del cráneo	53
8.7.3.- Vista ventral del cráneo	56
8.7.4.- Vista lateral de la mandíbula.....	60
IX.- DISCUSIÓN	63
X.- CONCLUSIÓN	67
XI.- BIBLIOGRAFÍA.....	67

RESUMEN

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN MORFOMÉTRICA Y LÍMITES DE ESPECIE EN EL GRUPO *Peromyscus boylii* (RODENTIA: CRICETIDAE)

El grupo de especies *Peromyscus boylii* es un complejo de roedores caracterizado por una compleja historia taxonómica debido a la marcada estabilidad morfológica que presentan sus miembros. Aunque estudios moleculares recientes han ayudado a identificar límites taxonómicos, es deseable que, las entidades de este grupo, también se puedan discriminar morfológicamente. En este sentido, el objetivo de este trabajo es reevaluar los límites taxonómicos del grupo analizando la variación morfológica del cráneo y la mandíbula empleando métodos de morfometría geométrica. De manera inicial, se tenía planeado visitar distintos acervos mastozoológicos que tuvieran ejemplares del grupo *boylii* dentro del país, pero dadas las restricciones causadas por la pandemia de coronavirus COVID-19, solo se pudo tener acceso a dos acervos: la Colección de Mamíferos del CIByC, de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (CMC) y a la Colección de Mamíferos de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Se tomaron fotografías de las vistas dorsal, ventral, lateral del cráneo y vista lateral de la mandíbula de 134 individuos adultos de ambos sexos representando cinco grupos (*P. beatae*, *P. kilpatricki*, *P. levipes*, y dos grupos más que parecen corresponder a especies no descritas del grupo *boylii*; *P. sp.* de Michoacán y *P. sp.* de Jalisco). Se digitalizaron 64 puntos anatómicos homólogos de referencia en las distintas vistas y 23 semimarcas. Para evaluar la posible existencia de dimorfismo sexual se realizaron pruebas de F de Goodall y ANOVA de una vía. Similarmente, para determinar un posible efecto de alometría se llevó a cabo un análisis de regresión en todas las vistas evaluadas. Para describir la variación y discriminar a los grupos se realizaron análisis de componentes principales y variables canónicas. Para visualizar de forma gráfica la variación en las estructuras evaluadas, se generaron gradillas de deformación. Adicionalmente, para identificar estructuras específicas que permitan diferenciar los grupos comparados se realizaron comparaciones pareadas utilizando una prueba F de Goodall. Los análisis de dimorfismo sexual mostraron que no hay diferencias significativas en la forma y el tamaño entre sexos para las vistas dorsal, lateral y de la mandíbula, únicamente, para la vista ventral si existieron diferencias respecto a la forma entre machos y hembras. Para esta vista, se hicieron análisis separados para cada sexo. Al evaluar el efecto de la alometría, se encontró una correlación significativa para las vistas dorsal y lateral en todos los ejemplares, así como para la vista ventral

únicamente en hembras, pero como el porcentaje es mínimo, se reportó junto con la vista ventral en machos y la mandíbula que el tamaño no influye de manera significativa sobre la forma. El análisis de componentes principales permitió detectar estructuras que, de manera general, contribuyan a explicar la variación morfométrica del grupo. El análisis de variables canónicas de la vista ventral mostró una separación casi total de los cinco grupos, por lo que representa la vista más informativa. Al analizar la vista lateral de la mandíbula se generó un solapamiento de los grupos por lo que esta vista resultó ser la menos informativa. El análisis de comparaciones pareadas permitió distinguir las estructuras que, de manera más puntual, permiten diferenciar a cada uno de los cinco grupos (*P. beatae*, *P. kilpatricki*, *P. levipes*, *P. sp.* de Michoacán y *P. sp.* de Jalisco). En conjunto, estos resultados permitieron mostrar que si existe heterogeneidad morfológica en estructuras óseas como el cráneo y la mandíbula en los grupos evaluados. En este sentido, la morfometría geométrica demuestra ser una herramienta alternativa en sistemática para apoyar la delimitación de unidades taxonómicas a nivel de especie en este grupo de roedores. Aunque tres de los grupos analizados ya estaban reconocidos como especies válidas con base en datos moleculares (*P. beatae*, *P. kilpatricki* y *P. levipes*), este trabajo sugiere que los dos grupos referidos como *P. sp.* de Michoacán y *P. sp.* de Jalisco, también están diferenciados morfológicamente por lo que se sugiere que pueden representar especies no descritas dentro del grupo *boylii*.

I.- INTRODUCCIÓN

Aunque el conocimiento sobre la biodiversidad de México ha avanzado de manera importante en las últimas décadas, es claro que aún falta abordar aspectos que permitan una mejor comprensión de esta (Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008). Uno de estos aspectos es la correcta identificación y descripción de las unidades naturales que constituyen la biodiversidad y que corresponden a las especies. Sin duda, el desarrollo de herramientas moleculares ha contribuido de manera importante a detectar e identificar de forma precisa a las especies, particularmente en grupos de organismos que se caracterizan por presentar una marcada estabilidad morfológica (González-Cózatl *et al.*, 2009). No obstante, es deseable que, además de la diagnosis molecular, se tengan elementos fenotípicos que permitan reconocer diferencias entre entidades específicas.

En años más recientes se ha observado una disminución notable en la cantidad de trabajos que realizan reconstrucciones filogenéticas con base en caracteres morfológicos (Assis, 2009), ya que autores como Scotland *et al.*, (2003) mencionan ciertas incongruencias con respecto a estos caracteres; como lo es la ambigüedad en la interpretación, la subjetividad de las homologías, además de que no permiten resolver las relaciones filogenéticas a ningún nivel taxonómico de manera precisa.

Sin embargo, el análisis de la variación de estructuras anatómicas para la descripción morfológica entre grupos o poblaciones ha sido el enfoque principal para la clasificación taxonómica y la descripción de la diversidad biológica de manera histórica (Adams *et al.*, 2004). Esta variabilidad morfológica presente en los organismos es el conjunto de efectos evolutivos expresados por su constitución genética y la constante interacción con la variabilidad ambiental (Jaramillo, 2011). Tanto en los estudios filogenéticos modernos como en aquellos basados en morfología, el concepto de homología hace referencia a aquellos caracteres heredados por los taxones a partir de un ancestro en común (De Pinna, 1991), a partir de los cuales es posible la identificación de grupos monofiléticos (Peña, 2011).

En el análisis de la variación, los caracteres morfológicos se han empleado bajo tres categorías distintas: los caracteres discretos (datos de tipo cualitativo, como ausencia o presencia de algún elemento), merísticos (datos de tipo numérico, como cantidad de dientes o vértebras) y los continuos (se comparan datos cuantitativos, como longitud y ancho de alguna estructura) (Palci y Lee, 2018). Recientemente, se han desarrollado métodos como la morfometría geométrica, que permiten evaluar la variación morfológica desde una perspectiva cuantitativa, a través de la

recuperación de la forma en estudio, la cual se define como aquellas propiedades geométricas restantes tras remover los efectos de escala, rotación y traslación de un objeto (Kendall, 1977). Esto resulta muy útil para el reconocimiento de límites taxonómicos entre distintos grupos biológicos, así como su relación entre la forma, desarrollo, ecología y comportamiento (Roth y Mercer, 2000; Toro-Ibacache *et al.*, 2010).

De igual manera, se ha empleado para estimar los estados de carácter morfológicos ancestrales (Palci y Lee, 2018). Sin embargo, esta herramienta de la morfometría geométrica ha presentado dificultades para inferir relaciones filogenéticas, como se ha visto en métodos basados en parsimonia las cuales emplean variables independientes y discretas, mientras que la morfometría geométrica emplea aquellas que son continuas, multivariadas e interdependientes (Adams *et al.*, 2013). No obstante, en los últimos años se han generado nuevas propuestas que permiten estimar relaciones filogenéticas bajo el criterio de parsimonia utilizando todo tipo de caracteres morfológicos (discretos, continuos, merísticos y multidimensionales; Goloboff, Farris y Nixon, 2008; Goloboff y Catalano, 2016).

II.- ANTECEDENTES

2.1.- Morfometría geométrica

De manera tradicional, el análisis de la variación morfométrica se ha centrado en el uso de datos lineales como longitud, anchura y profundidad entre dos puntos anatómicos, que son evaluados mediante métodos estadísticos multivariados. No obstante, se ha señalado que el empleo de distancias lineales puede tener limitaciones como el efecto del tamaño, así como que la definición de variables no siempre se da bajo un criterio de homología biológica, lo que podría ocasionar errores en la medición de estructuras (Toro-Ibacache *et al.*, 2010).

Como una alternativa para subsanar algunas de las limitantes de la morfometría tradicional, se ha propuesto el análisis de la morfometría geométrica que parece ser más efectiva al visualizar los cambios morfológicos de la forma. A este nuevo enfoque, se le define como el estudio de las conformaciones biológicas y su relación con otras variables (Bookstein, 1991; Rohlf, y Marcus 1993; Adams *et al.*, 2004). Los estudios realizados mediante morfometría geométrica emplean el paradigma *Procrustes*, el cual es una aproximación para analizar la forma pura ("shape"), con la

unificación de teorías rigurosas de estadística y procedimientos para sobreponer configuraciones para obtener las variables de la forma (Adams *et al.*, 2013).

El método más empleado en la actualidad es aquel basado en el registro de coordenadas o puntos anatómicos de referencia o marcas, los cuales son puntos matemáticos específicos de una estructura biológica o espacio, que se asumen como homólogos y pueden ser presentados en forma bidimensional y tridimensional (Bookstein, 1991; Zelditch *et al.*, 2004). Estos puntos anatómicos pueden ser divididos en tres tipos de acuerdo con la facilidad de reconocerlos en cada estructura (Bookstein, 1990). Los del tipo I son fácilmente diferenciables y corresponden a puntos localizados en la intersección de dos o más estructuras como las suturas o nervaduras. Son los que se encuentran principalmente respaldados por la presencia de homologías. Los de tipo II son puntos que se ubican en curvaturas máximas como puede ser la cúspide de los molares y, por lo tanto, presentan mayor dificultad para reconocerlos como homólogos. Finalmente, los del tipo III, también conocidos como semimarcas, son aquellos puntos correspondientes a extremos de una estructura distante y se encuentran mayormente asociados al tamaño ya que su información respecto a la forma es mínima (Bookstein, 1990; Toro-Ibacache *et al.*, 2010; Jaramillo, 2011). Estos corresponden a puntos ubicados en una curva con respecto a la posición de otras marcas. De manera individual son poco informativas, por lo que deben considerarse como un conjunto y son una gran ayuda en aquellas estructuras que carecen de marcas anatómicas homólogas (Bookstein, 1997; Toro-Ibacache *et al.*, 2010).

El análisis de esta información se realiza sobre un espacio morfométrico en el que se reconocen varios espacios multidimensionales-hiperesferas (Kendall, 1977). Un primer espacio es el de las configuraciones (en el cual se ubicarían aquellas formas con mayor similitud morfológica). En este se lleva a cabo el efecto de escala y traslación, mediante el cual se obtiene el tamaño del centroide (concepto geométrico independiente de la forma). El segundo espacio corresponde al de la preforma, donde se realiza el efecto de la rotación, llegando a una configuración consenso, donde las diferencias morfológicas están libres de los efectos anteriores. Por último, el tercer espacio es el de la forma conocida como “espacio de Kendall”, sobre el cual se elimina el efecto de rotación (Toro-Ibacache *et al.*, 2010).

2.2.- Morfometría geométrica en roedores

La morfometría geométrica se ha empleado en diversos trabajos para evaluar aspectos de variación morfológica a diferentes niveles taxonómicos en distintos grupos de roedores. Un ejemplo de ello es el trabajo de López-Arriaga (2019), en el cual se describen los patrones de variación morfométrica del cráneo de *Handleyomys chapmani* y *H. guerrerensis* con el objetivo de delimitarlas taxónomicamente. Dicho estudio demostró que sí existen diferencias entre las dos especies, siendo la caja del cráneo, el tamaño del cráneo y el borde de la placa cigomática las variables que más las distinguían. Asimismo, Nava-García (2016), evaluó la Sistemática de *Reithrodontomys megalotis*, una especie con un amplio rango de distribución geográfica y altitudinal. El análisis morfométrico de este grupo indicó poca variación morfológica intraespecífica en el cráneo y la mandíbula. No obstante, concluyó que la vista ventral del cráneo es la que mejor recupera las relaciones filogenéticas del grupo estimadas a partir de datos moleculares. De la misma manera, Gutiérrez-Blando (2015) evaluó el nivel de variación intraespecífico de *Otodylomys phyllotis* con el objetivo de evaluar si se podían reconocer distintas formas o grupos dentro de esta especie. Sus resultados sugirieron la existencia de cinco grupos morfogeográficos, lo cual es congruente con una hipótesis filogeográfica planteada para el grupo (Gutiérrez-García y Vázquez-Domínguez, 2012). Adicionalmente, Gutiérrez-Blando (2015) destacó que las variables ambientales inciden particularmente en cambios morfológicos en arcos cigomáticos, bulas timpánicas, región palatina y el rostro.

Por otro lado, Canto *et al.* (2017) analizaron poblaciones de *Abrothrix hirta* provenientes de dos localidades geográficas distintas de Chile con el objetivo de evaluar si dichas poblaciones se podían diferenciar con base al sexo y origen geográfico. Sus resultados indicaron que no existe dimorfismo sexual entre las poblaciones, pero si se distinguían con relación a su distribución geográfica. Las principales diferencias en la morfometría craneal estaban representadas particularmente, por el tamaño y la forma de la zona postero medial del cráneo. Similarmente, Álvarez (2012), utilizando herramientas de morfometría geométrica evaluó la variación morfológica cráneo-mandibular en roedores caviomorfos, tomando en consideración regiones del cráneo asociadas con el aparato masticatorio a una escala macroevolutiva. Su trabajo sugirió que los caviomorfos analizados presentan importantes diferencias en su morfología, tanto a nivel suprafamiliar como en niveles inferiores, asociadas con el tamaño.

En el caso particular del género *Peromyscus*, Lorenzo (2015), analizó la variación morfométrica interespecífica entre poblaciones de *Peromyscus levipes* y *P. melanophrys* de Morelos. Esto con el fin de discriminar individuos de estas especies considerando la similitud morfológica entre ellas. En dicho estudio se encontró que para la vista ventral se presentó un mayor cambio en la región de los nasales, el puente del paladar y el *foramen magnum*. Mientras que, para la vista lateral de la mandíbula, se encontró mayor variación en el proceso coronoide y angular, así como en el cóndilo e incisivos. De igual manera, Jones y Law (2018) analizaron las diferencias anatómicas entre *P. californicus* y *P. truei*, especies simpátricas que se alimentan de distintos recursos; de artrópodos la primera y de bellotas la segunda. Particularmente estos autores evaluaron si la dieta diferenciada de estos grupos tiene influencia sobre su morfología craneomandibular. Los resultados indicaron que *P. truei* comparada con *P. californicus*, exhibe arcos cigomáticos relativamente más anchos, una fosa masetérica y proceso coronoide más robustos, así como una ventaja mecánica sobre el músculo masetero. En conjunto estos atributos permitieron explicar el uso de un recurso más duro como las bellotas en su dieta.

2.3.- Grupo de especies *Peromyscus boylii*

El género *Peromyscus* es un grupo de roedores que ha sido objeto de estudio en diversas áreas de la biología (ecología, fisiología, bioquímica, etc.). Sin lugar a duda, la sistemática del grupo es un área que ha recibido considerable atención en virtud de la gran complejidad taxonómica entre sus miembros. En las primeras revisiones taxonómicas de *Peromyscus*, Osgood (1909) organiza al género en 8 grupos de especies de acuerdo con similitudes morfológicas. Actualmente, con base en evidencias morfológicas y moleculares se reconocen cerca de 60 especies clasificadas en 13 grupos de especies (Musser y Carleton, 2005; Bradley *et al.*, 2007). Uno de los grupos que ha presentado mayor complejidad taxonómica por las dificultades para la identificación y delimitación de especies, dada su estabilidad morfológica, es el grupo de especies *Peromyscus boylii*. En conjunto, el grupo de especies *P. boylii* se distribuye a lo largo del suroeste de Estados Unidos y las tierras altas de México, extendiendo su ocurrencia en porciones de Centroamérica (Fig. 1; Hall, 1981).

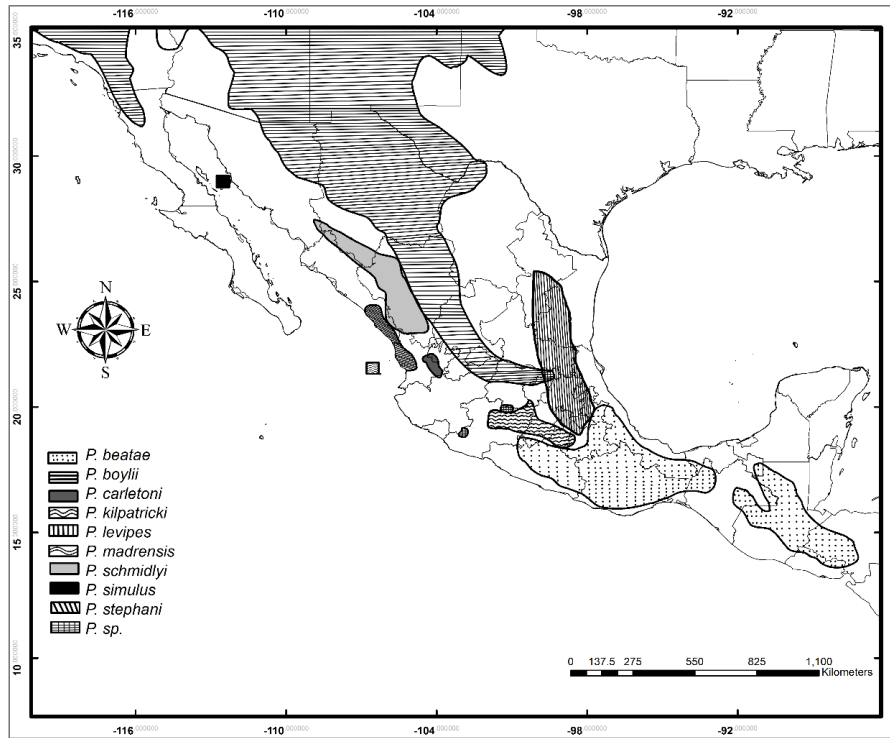


Figura 1. Distribución del grupo *P. boylii* en México (modificada de Bradley *et al.*, 2017).

El número de miembros reconocidos en el grupo ha oscilado entre 4 especies (*P. boylii*, *P. hylocetes*, *P. oaxacensis* y *P. pectoralis*) (Osgood, 1909) y 9 especies (*P. beatae*, *P. boylii*, *P. carletoni*, *P. kilpatricki*, *P. levipes*, *P. madrensis*, *P. schmidlyi*, *P. simulus* y *P. stephani*) (Carleton, 1977; Houseal *et al.*, 1987; Schmidly *et al.*, 1988; Tiemann-Boege *et al.*, 2000; Bradley *et al.*, 2004; 2014; 2017). No obstante, se ha sugerido la existencia de un taxón no descrito que se distribuye en localidades de Michoacán y Querétaro, que se encuentra relacionado con los miembros de este grupo (Tiemann-Boege *et al.*, 2000; Bradley *et al.*, 2000; 2004; 2014; 2017; Salgado, 2019).

2.3.1.- Descripción y distribución de los miembros del grupo de especies *Peromyscus boylii*

***Peromyscus beatae* (Thomas, 1903)**

Es un ratón de talla mediana dentro del género *Peromyscus*. La longitud de cola es ligeramente mayor que la cabeza y el cuerpo juntos (LT= 178-250 mm; LC= 90-132 mm; Ceballos,

2014). La pata y oreja son de tamaño mediano (PT= 17-26 mm; LO= 14-22 mm; Ceballos, 2014). Dorsalmente es de color oscuro, con los lados siendo un poco más claro y con una tenue línea lateral ocre-naranja presente (Schmidly *et al.*, 1988). En cuanto a su morfología, presenta un cráneo alargado, dos veces más largo que ancho, caja craneal redondeada, longitud nasal 37% de la longitud del cráneo, longitud del *rostrum* 42% de la longitud del cráneo, la constricción interorbital presenta un contorno liso, no angular, con los arcos cigomáticos casi paralelos y bulas auditivas medianas (Schmidly *et al.*, 1988).

Posee un alto grado de similitud con *P. boylii rowleyi*, pero es generalmente más grande en la mayoría de las mediciones, con la sutura maxilofrontal siendo una línea continua sin doblar, la placa infraorbital típicamente inclinada en lugar de vertical, foramen a lo largo del canal arterial oftálmico en general ausente, mesostilo de M2 izquierdo ausente y ectolofido de M1 izquierdo usualmente presente (Schmidly *et al.*, 1988). También se puede confundir con *P. levipes*, del cual se diferencia siendo de una coloración más oscura y ligeramente grande, en cuanto a características craneales: las extensiones posteriores de los premaxilares generalmente no se extienden más allá del borde posterior de los nasales, el borde lateral de los parietales es generalmente más redondeado, el canal nasolagrimal típicamente está ubicado a mitad de lo largo de la placa infraorbital, agujero etmoidal anterior ubicado más frecuentemente en el borde de la primera cavidad desde el borde ventral de la región etmoidal y aliesfenoide con mayor ángulo para que la fisura esfenoideal sea generalmente visible (Schmidly *et al.*, 1988). Tiene un cariotipo con un número fundamental (FN) polimórfico de 48 a 54 (Houseal *et al.*, 1987; Smith, 1990).

Esta especie se encuentra en elevaciones por arriba de 1,800 m en sistemas montañosos de México, con una preferencia por hábitats con matorrales espinosos, bordes de bosque y claros (Reid, 2009; Schmidly *et al.*, 1988). En el oriente de México se distribuye en el sureste de Hidalgo, el centro de Veracruz y el norte de Puebla. En el suroeste de México se ha reportado desde el centro de Guerrero hasta Oaxaca y Chiapas. En Centroamérica se localiza en las tierras altas de Guatemala, El Salvador y Honduras (Musser y Carleton, 2005).

***Peromyscus boylii* (Baird, 1855)**

Es un roedor de tamaño mediano dentro del género (LT= 151-220 mm; PT= 19-23 mm; Kalcounis-Rueppell y Spoon, 2009), con orejas pequeñas y una cola larga (LO= 16-24 mm; LC=

68-115 mm; Ceballos, 2014). En cuanto a su coloración, se presenta como un café claro, con una cola ligeramente bicolor (Zeveloff, 1988).

En el centro-orientado de México, *P. boylii* se confunde fácilmente con *P. beatae* y *P. levipes*. No obstante, se puede diferenciar de ambos debido a que presenta una coloración más clara (Kalcounis-Rueppell y Spoon, 2009). *P. boylii* es de tamaño más reducido a comparación de los otros, la anchura de sus arcos cigomáticos es más estrecha (12.3-13.8 mm) y una hilera molar más corta (3.6-4.2 mm), con una placa infraorbital vertical, un foramen a lo largo del canal arterial oftálmico, un mesostilo en el M2 izquierdo y sin ectolofido en el m1 izquierdo (Schmidly *et al.*, 1988). En el centro-poniente de México, se puede confundir con *P. simulus*, ya que posee una coloración más pálida y en general tiene dimensiones más grandes con respecto a su tamaño y morfología craneal. Sin embargo, carece del proceso supraorbital que se encuentra ligeramente desarrollado en *P. simulus* (Baker y Greer, 1962; Carleton, 1977; Carleton *et al.*, 1982). Con respecto a *P. schmidlyi*, *P. boylii* tiene una coloración más clara y es de un tamaño ligeramente menor (Bradley *et al.*, 2004). *P. boylii* tiene un cariotipo con un FN monomórfico de 52 (Houseal *et al.*, 1987). Adicionalmente, se puede distinguir de otros grupos mediante aloenzimas (Rennert y Kilpatrick, 1987) y secuencias del gen Citocromo b (Cit *b*) (Bradley *et al.*, 2000; Tiemann-Boege, *et al.*, 2000).

Esta especie habita en las regiones montañosas del suroeste de los Estados Unidos y el norte de México, generalmente por encima de 1,500 m. Se encuentra desde los estados de California, Nevada, Colorado, Utah, Nuevo México, Texas y Oklahoma, EE. UU. En México, se extiende hacia el sur a lo largo del Altiplano central, las laderas de la Sierra Madre Occidental y Sierra Madre Oriental. A lo largo del Altiplano Central, pasa por los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas y Aguascalientes. También es conocido de la Isla San Pedro Nolasco, Sonora, México, en el Golfo de California (Kalcounis-Rueppell y Spoon, 2009).

***Peromyscus carletoni* (Bradley *et al.*, 2014)**

Esta especie es de tamaño mediano, en comparación con otros miembros del género *Peromyscus*. La longitud de la cola es ligeramente mayor con respecto a la cabeza y cuerpo juntos (LT= 175 mm: LC= 93 mm). La pata trasera y la oreja son de tamaño mediano (PT=20 mm; LO= 19 mm; Bradley *et al.*, 2014). Dorsalmente es oscuro, de los lados café y con la cola bicolor (dorsal oscuro y ventral blanco). Posee un cráneo alargado (27.1 mm), dos veces más largo que ancho, la

caja del cráneo redondeado, longitud nasal 101.6% de la longitud del *rostrum* y con el *rostrum* de longitud 37% de la mayor longitud del cráneo, hilera molar (4.4 mm) alrededor del 16% de longitud del cráneo, siendo su constricción interorbital un contorno liso en vez de angular, arcos cigomáticos casi paralelos y bulas auditivas medianos (4.3 mm) (Bradley *et al.*, 2014).

Esta especie al ser comparada con las demás especies del grupo *boyllii*, presenta similitudes con *P. beatae*, *P. levipes* y *P. schmidlyi*, en tamaño y coloración, sin embargo, no hay caracteres morfológicos exclusivos para identificar a los individuos pertenecientes a la especie, a excepción de que posee un *rostrum* más corto (9.5 mm) y los nasales más largos (11.1 mm) en comparación con los otros miembros del grupo. También presenta un cariotipo único con un FN de 66 (Carleton *et al.*, 1982; Houseal *et al.*, 1987; Tiemann-Boege *et al.*, 2000; Bradley *et al.*, 2004; Bradley *et al.*, 2014).

La distribución reportada hasta ahora para esta especie es en bosques elevados montanos (arriba de 2000 m) de pinos y robles en la Sierra Madre Occidental de Este-centro de Nayarit, México (Bradley *et al.*, 2014).

***Peromyscus kilpatricki* (Bradley *et al.*, 2017)**

Este grupo es de tamaño mediano y con la cola ligeramente más larga que la cabeza y el cuerpo juntos (LT=205 mm; LC=106 mm). La pata y la oreja de tamaño mediano (PT= 22 mm; LO= 21 mm). Presenta una coloración dorsalmente oscura, con los lados siendo de color café, las patas blancas y la cola ligeramente bicolor (Bradley *et al.*, 2017). Morfológicamente, su cráneo es alargado (27.7 mm), el doble de largo que, de ancho, caja craneal ligeramente redondeada, longitud de los nasales (11.0 mm) 114.6% de la longitud del *rostrum* (9.6 mm), y la longitud del *rostrum* siendo 35% de la mayor longitud del cráneo, con una hilera molar (4.0 mm) del 14% de la longitud del cráneo, constricción interorbital siendo un contorno liso, arcos cigomáticos casi paralelos y bulas auditivas medianas (4.8 mm) (Bradley *et al.*, 2017).

Al ser comparada con los demás miembros del grupo *boyllii*, posee una semejanza en relación con caracteres morfológicos, craneales y de coloración. En medidas, es generalmente más pequeña que *P. beatae*, *P. levipes* y *P. sp.*, en comparación con *P. boyllii* poseen similitud en longitud total del cuerpo y la cola, aunque es menor en largo de la oreja y mayor en largo de la pata. Similar con *P. carletoni*, es más pequeña en longitud total y de la pata, pero es mayor en longitud de la oreja, cola y el cuerpo. Con respecto a sus medidas craneales, no hay alguna que

pueda distinguir a *P. kilpatricki* del resto del grupo, debido a que hay un traslape en las medidas (Bradley *et al.*, 2017). En cuanto a su cariotipo, posee un FN monomórfico de 56 (Houseal *et al.*, 1987). Se puede diferenciar de los demás miembros del grupo por medio de secuencias del gen *Cit b* (Bradley *et al.*, 2014; 2017).

Habita en bosques de pinos y robles, así como en selva baja caducifolia. Se distribuye en el Eje Neovolcánico Transversal, desde el centro de Michoacán, en Morelos y hasta el oeste de Puebla. Posiblemente ocupe también regiones del Estado de México en el mismo sistema montañoso (Bradley *et al.*, 2017; Salgado, 2019).

***Peromyscus levipes* (Merriam, 1898)**

Esta especie presenta un tamaño mediano (LT= 180-220 mm; LC= 91-115 mm; PT= 22-24 mm; LO= 19-22 mm) con una coloración dorsal de castaño oscuro y costados con una línea lateral no tan marcada de color ocre a marrón anaranjado. Ventralmente, el pelaje va de blanco a grisáceo, con una mancha pectoral a veces presente y la cola es marcadamente bicolor (dorsal café oscuro y ventral blanco) (Osgood, 1909; Schmidly *et al.*, 1988; Castro-Campillo *et al.*, 1999). El cráneo es corto y ancho, la caja craneal es redonda y los arcos cigomáticos son casi paralelos, mientras que la constricción intraorbital es poco notoria. El borde supraorbital no se encuentra marcadamente angulado y la bula auditiva es relativamente grande, al igual que los molares (Osgood, 1909; Álvarez, 1961; Schmidly *et al.*, 1988).

P. levipes se distingue de *P. boylii* ya que presenta una coloración más oscura y es de un tamaño más grande, la sutura maxilofrontal es una línea continua sin doblar, el borde lateral del parietal es más angular, el canal nasolacrimal se encuentra a menos de la mitad de lo largo de la placa infraorbital, el mesostilo del M2 derecho está ausente y el ectolofido del M1 está presente, la hilera molar es mayor en *P. levipes* (4.2-4.8 mm) (Schmidly *et al.*, 1988).

Al compararlo con *P. beatae*, sus extensiones posteriores de sus maxilares se extienden más allá del borde posterior de las nasales, el borde lateral del parietal es menos redondeado, el canal nasolagrimal no se encuentra a la mitad de lo largo de la placa infraorbital, el agujero etmoidal anterior es menos frecuente ubicado en el borde de la primera cavidad desde el borde ventral de región etmoidal y el aliesfenoide tiene un ángulo más pequeño, haciendo la fisura esfenoidal más difícil de ver (Schmidly *et al.*, 1988). En cambio, *P. levipes* no puede ser distinguido morfológicamente de *P. schmidlyi* (Bradley *et al.*, 2004). En relación con datos cromosómicos,

posee un FN polimórfico que va de 56 a 60 (Houseal *et al.*, 1987; Schmidly *et al.*, 1988; Smith, 1990). Puede ser distinguido mediante secuencias del gen *Cit b* (Bradley *et al.*, 2000).

Peromyscus levipes es endémico de México, pero con una amplia distribución que incluye una gran diversidad de hábitats, desde bosques, matorrales, zacatonales hasta vegetación xerófila (Davis, 1944; Hooper, 1953). Se encuentra a ambos lados de la Sierra Madre Oriental desde el centro de Nuevo León y el oeste de Tamaulipas, hasta el centro de Veracruz. Adicionalmente ocurre en las laderas del norte del Eje Neovolcánico Transversal de los estados de Querétaro, Puebla, Tlaxcala y Ciudad de México (Álvarez-Castañeda y González-Ruiz, 2009).

***Peromyscus madrensis* (Merriam, 1898)**

En comparación con otros miembros del grupo *boylei*, esta especie es más grande y también posee cola y pata trasera más largas (LT= 203-250 mm; LC= 99-130 mm; PT= 23-28 mm; LO= 17-20 mm; Ceballos, 2014). Dorsalmente tiene una coloración que va de café claro a ocre, la cola es indistintamente bicolor (Álvarez-Castañeda y Méndez, 2005). El cráneo de este grupo es grande, plano y suavemente redondeado, con un *rostrum* alargado y sin borde supraorbital, la hilera molar (4.4 mm) y la bula auditiva (3.8 mm) son relativamente pequeñas, el mesolófido está ausente y la identificación de ectolofidos a menudo está ausente o subdesarrollada, con el mesolofio típicamente incompleto (Carleton *et al.*, 1982; Merriam, 1898). Tiene gran parecido morfológico con *P. boylei* y *P. simulus*, pero se logra diferenciar con *P. boylei*, dada la presencia y el tamaño del segundo pliegue primario en el tercer molar inferior. Mientras que, con *P. simulus*, la diferencia en el mesolofio es notorio (Carleton *et al.*, 1982). De acuerdo con su cariotipo, cuenta con un FN monomórfico de 54 (Carleton *et al.*, 1982), aunque los análisis morfológicos del grupo *boylei* no ayudaron a resolver su posición taxonómica, datos con base en secuencias del *Cit b* dan soporte de que es una especie distinta (Tiemann-Boege *et al.*, 2000; Álvarez-Castañeda y Méndez, 2005).

Se encuentra sobre todo en bosque tropical caducifolio y ha sido registrado en todas las Islas del grupo Marías: San Juanito, María Madre, María Magdalena y María Cleofás, de norte a sur, con elevaciones que van desde los 402 a 616 m (Álvarez-Castañeda y Méndez, 2005). Actualmente esta especie se encuentra catalogada como “En peligro de extinción” en la NOM-059-ECOL-2010 (SEMARNAT, 2010) y como amenazada en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2018).

***Peromyscus schmidlyi* (Bradley *et al.*, 2004)**

Esta especie posee una cola generalmente más larga que la cabeza y el cuerpo juntos (LT= 186 mm; LC= 84 mm). Su oreja y pata trasera son, en promedio, de tamaño similar al de los demás miembros del grupo *boylei* (PT= 20 mm; LO= 20 mm; Bradley *et al.*, 2014). La cola es bicolor; marrón negrozco en su lado dorsal y ventralmente blanco (Bradley *et al.*, 2004). Siendo parte del grupo *boylei* posee un parecido en tamaño y coloración a otros miembros, al compararlo con *P. b. rowleyi* es más grande y de una coloración más oscura, más allá de eso no hay características morfológicas diagnósticas para separarlo de los demás. Cuenta con un FN polimórfico que va de 54 a 56 y puede distinguirse con secuencias del gen *Cit b* (Bradley *et al.*, 2004; Cabrera *et al.*, 2007).

Esta especie es endémica de México y ocurre en la Sierra Madre Occidental en regiones de Durango, el este de Sinaloa, en Sonora y posiblemente el noroeste de Nayarit. Su distribución es limitada por la Mesa Central al este y el bosque tropical caducifolio al oeste (Ordóñez-Garza y Bradley, 2011). Habita bosques de pino - encino en elevaciones superiores a 2,000 m (Bradley *et al.*, 2004; Cabrera *et al.*, 2007).

***Peromyscus simulus* (Osgood, 1904)**

Ha sido descrita como una especie de menor tamaño dentro del género. La cola es más larga que el cuerpo y la cabeza juntos y con la pata trasera de tamaño mediano (LT= 198.1 mm; LC= 99.7 mm; PT= 22.6 mm; LO= 18.4 mm;). Su coloración es marrón claro y presenta una amplia línea lateral sin algún contraste distintivo. Las orejas y patas son oscuras y también posee una mancha pectoral oscura y cola ligeramente bicolor (Osgood, 1904). Su cráneo es más reducido (26.8 mm), así como su *rostrum* e hilera molar (10.4 mm, 4.0 mm respectivamente), su región interorbital es más redondeada y con forma de reloj de arena, la bula auditiva de tamaño mediano (5.1 mm) (Carleton, 1977; Schmidly y Bradley, 1995). Además, su parietal es más angosto, los cigomáticos son más robustos y cuadrados, y el borde supraorbital está débilmente desarrollada (Osgood, 1904; Carleton, 1977; Carleton *et al.*, 1982). Se diferencia de otros taxa del grupo *boylei* mediante datos moleculares y cromosómicos (FN= 52) (Carleton, 1977; Carleton *et al.*, 1982).

Esta especie ocurre desde el centro oeste de Sinaloa hasta el oeste de Nayarit, México, desde el nivel del mar hasta los 250 m. (Roberts *et al.*, 2001; Musser y Carleton 2005). Actualmente esta

especie se encuentra catalogada como “Vulnerable” por la IUCN (2018), dada la restricción de su distribución y la fragmentación de su hábitat.

***Peromyscus stephani* (Townsend, 1912)**

Este ratón ha sido descrito con una coloración dorsal que varía entre marrón claro a canela y anaranjado, con la parte ventralmente más blanquecinas y que ocasionalmente puede presentar una mancha pectoral amarilliza y la cola bicolor (Álvarez-Castañeda *et al.*, 2017). La cola es más corta que la cabeza y el cuerpo juntos (LT= 195-207 mm; LC= 100-124 mm), las orejas representan el 85% de la longitud de la pata (LO= 16-20 mm; PT= 18-22 mm), mientras que su primer y segundo molar superior cuentan con cúspides accesorias en los dos ángulos exteriores (Álvarez-Castañeda *et al.*, 2017). Posee un FN monomórfico de 52, similar a otros miembros del grupo (Lawlor, 1971).

Esta especie posee una distribución bastante restringida, ya que solo se conoce en la isla de San Esteban en el Golfo de California, México; tiene una preferencia por áreas rocosas o pendientes en matorrales (Ceballos, 2014). En la actualidad, esta especie se encuentra listada como críticamente amenazada, debido a que posee una distribución muy restringida y por la introducción de especies no nativas (IUCN, 2018).

Peromyscus sp.

Aunque no se ha descrito formalmente como especie. Este grupo tiene atributos morfológicos y moleculares (secuencias del gen *Cit b*) que lo relacionan con miembros del grupo *boylei* (Houseal *et al.*, 1987; Tiemann-Boege *et al.*, 2000; Bradley *et al.*, 2000; 2004; 2007; 2014; 2017). Sin embargo, presenta un FN (65, 66, 68) distinto a los demás integrantes de grupo. Este grupo se ha reportado en localidades del oeste de Michoacán (Tiemann-Boege *et al.*, 2000; Bradley *et al.*, 2000; 2004; 2007; 2014; 2017) (Dos Aguas; Aguilla; Zinapécuaro) y una de Querétaro (Salgado, 2019).

Como se ha mencionado, para la descripción de las especies que integran este grupo se han empleado diversos tipos de datos como morfología, cariotipos, aloenzimas y más recientemente, secuencias de DNA (Osgood, 1909; Carleton *et al.*, 1982; Schmidly *et al.*, 1988; Bradley *et al.*, 2014; 2017). Aunque en algunos taxones se pueden reconocer atributos morfológicos que los caracterizan y que son usados como elementos diagnósticos, es claro que existe una gran

estabilidad morfológica en este grupo de especies ya que varios de sus miembros presentan similitudes en su apariencia externa lo que dificulta su correcta identificación y pone de manifiesto la naturaleza críptica de varias especies dentro del grupo. Incluso, se ha llegado a afirmar que, en algunas instancias, la única forma confiable de identificar correctamente a ciertos grupos es a través de datos moleculares (Bradley *et al.*, 2017). Sin embargo, también es claro que el establecimiento de límites entre algunas especies utilizando caracteres moleculares puede presentar dificultades ya que el nivel de diferenciación entre grupos no necesariamente es de la magnitud reportada entre especies distintas (Salgado, 2019).

En los dos trabajos más completos sobre la sistemática del grupo *P. boylii*, utilizando datos de secuencias del gen *Cit b* (Bradley *et al.*, 2017; Salgado, 2019), se ha aportado evidencia que ha permitido actualizar el conocimiento sobre la taxonomía del grupo. En el primero, se describió una nueva especie dentro del grupo (*P. kilpatricki*), cuyas poblaciones históricamente eran consideradas como *P. levipes*, provenientes de Michoacán, Estado de México y el norte de Morelos (Bradley *et al.*, 2017).

Además, se sugiere la existencia de una especie no descrita (*P. sp.*), aunque no se hace la descripción formal de la misma. En el trabajo de Salgado, 2019 (Fig. 2), se demuestra que las poblaciones de una de las especies del grupo con más amplia distribución (*P. levipes*), en realidad representan tres entidades específicas distintas (*P. levipes*, *P. kilpatricki* y *P. sp.*). Particularmente, resultó interesante saber que las poblaciones de *P. levipes* de prácticamente todo el estado de Morelos, pertenecen a la especie *P. kilpatricki*, descrita recientemente por Bradley *et al.*, (2017). Por otro lado, también se señala que los niveles de diferenciación, obtenidas con el modelo de evolución Kimura 2-parametros (Kimura, 1980) entre algunas especies del grupo *P. boylii*, particularmente las descritas recientemente (*P. carletoni* y *P. schmidlyi*) y *P. sp.*, muestran niveles de diferenciación relativamente bajos entre sí, lo que cuestiona su reconocimiento como especies válidas. Por ejemplo, el caso de *P. schmidlyi* con *P. levipes*, que presentan valores de 2.79 (Salgado, 2019) a 3.25 (Bradley *et al.*, 2017) cuyo valor bajo el concepto genético de especies indican un valor cerca del rango límite inferior del nivel de especies hermanas de 2.80 (Bradley y Baker, 2001; Baker y Bradley, 2006). Otro caso es el de *P. carletoni* y *P. levipes*, cuyos valores de distancia genética es de 3.50 (Bradley *et al.*, 2017) a 3.80 (Salgado, 2019). Y, por último, el caso de *P. sp.* y *P. levipes* con valores de 2.79 (Salgado, 2019).

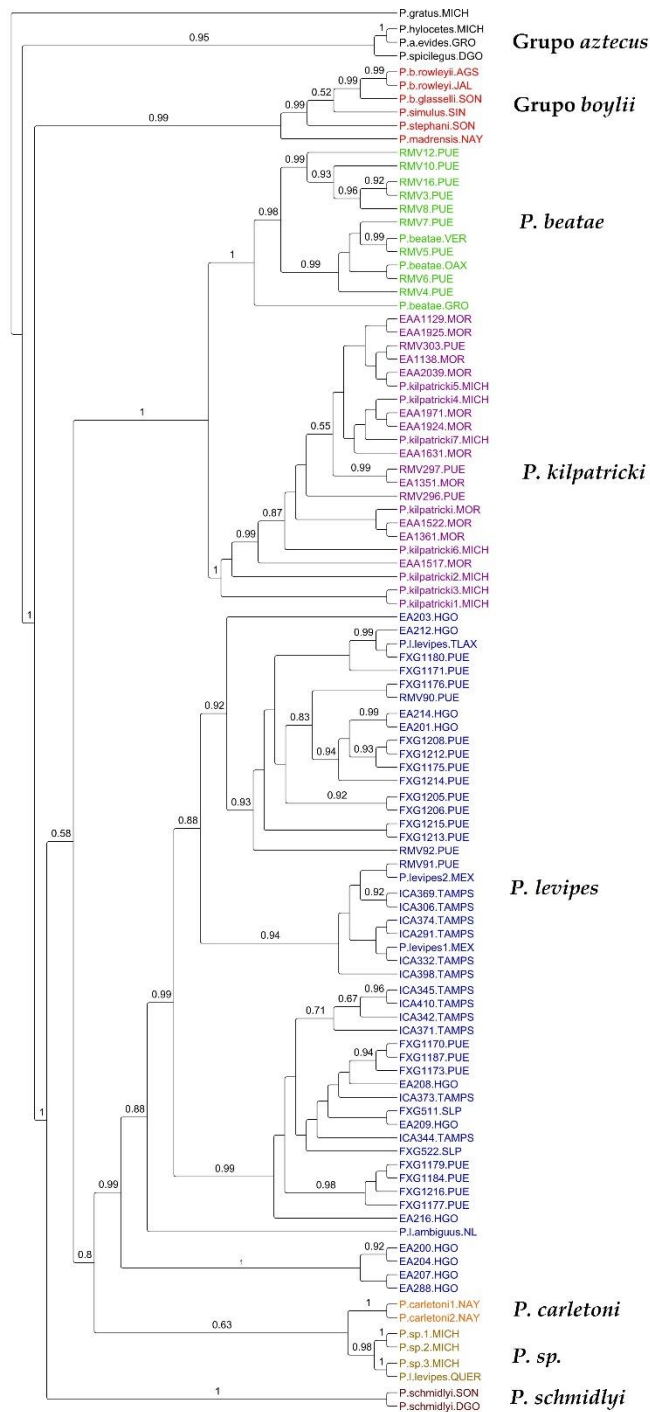


Figura 2. Árbol filogenético del grupo *P. boylii* obtenido bajo el criterio de Inferencia Bayesiana utilizando tres modelos evolutivos de acuerdo con cada posición del codón. Los valores de probabilidad posterior >0.50 se muestran sobre las ramas (obtenida de Salgado, 2019).

Es en este contexto, resulta deseable la evaluación taxonómica de los miembros del grupo *P. boylii*, implementando metodologías alternativas, como la morfometría geométrica, que ha demostrado una gran eficacia en la delimitación de grupos taxonómicos, particularmente a nivel de especie.

III.- JUSTIFICACIÓN

El grupo de especies *P. boylii* representa una entidad que se ha caracterizado por una compleja historia taxonómica debido, en gran medida, a la marcada estabilidad morfológica que presentan sus miembros. Aunque el uso de datos moleculares ha contribuido a identificar y delimitar a las especies que integran este grupo, resulta necesario validar el estatus de dichos miembros, dados los bajos niveles de divergencia genética entre algunos, utilizando atributos alternativos que sean de más fácil acceso y menor costo. En este sentido la morfometría geométrica ofrece la posibilidad de detectar variación cuantitativa en la forma y tamaño de estructuras anatómicas que puede ser empleada para delimitar taxonómicamente grupos biológicos.

IV.- HIPÓTESIS

Como consecuencia de los procesos de especiación, es común que nuevos grupos biológicos presenten diferencias de distinta naturaleza, incluyendo cambios morfológicos. Sin embargo, en muchos casos, estos cambios son muy sutiles y difíciles de detectar. Aunque el grupo *P. boylii* incluye especies que parecen crípticas por su parecido morfológico, es posible que si presenten diferencias muy finas. En este sentido se espera que con ayuda de la morfometría geométrica se puedan reconocer diferencias de manera significativa entre los individuos adultos de las especies de este grupo y que sirvan como caracteres diagnósticos.

V.- OBJETIVO GENERAL

Evaluar los límites taxonómicos de los miembros del grupo *P. boylii* analizando la variación morfológica del cráneo y mandíbula.

VI.- OBJETIVOS PARTICULARES

1.- Evaluar la variación y diferenciación en la forma del cráneo y mandíbula entre miembros del grupo *P. boylii* mediante técnicas de morfometría geométrica.

2.- Identificar atributos geomorfométricos que puedan utilizarse para caracterizar a cada uno de los miembros y definir sus límites taxonómicos.

VII.- MATERIALES Y MÉTODOS

7.1.- Revisión de material biológico

Se realizó la búsqueda de ejemplares de las diferentes especies del grupo *P. boyllii* en el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (CONABIO, 2018) y en algunas colecciones biológicas de México. Aunque se encontró disponibilidad de ejemplares de este grupo en 6 acervos mastozoológicos (Tabla 1), debido a las circunstancias de confinamiento y restricción de acceso a instituciones académicas por la pandemia, solo se logró visitar la Colección de Mamíferos del CIByC, de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (CMC) y a la Colección de Mamíferos de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). En la medida de lo posible se procuró tener tamaños de muestra adecuados para las distintas especies representadas en dichas colecciones, tanto en número de ejemplares como en distribución geográfica.

Para evitar un posible sesgo en la variación morfológica en función de la edad, en el trabajo solo se incluyeron individuos adultos, que de acuerdo con la clasificación de edades propuesta por Schmidly (1973) corresponden a ejemplares de las edades IV a VI. La categoría de edad se asignó en función del desgaste de los molares superiores, en donde a partir de la edad IV todas las cúspides mayores presentan desgaste, pero aún se encuentran definidas. Al incrementarse la edad el desgaste va siendo mayor y, en consecuencia, en la edad VI se aprecia un desgaste extremo en molares superiores y el patrón de las cúspides ya no es notable.

Tabla 1. Número de ejemplares disponibles de acuerdo con el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de la CONABIO (2018). El asterisco indica las colecciones que se visitaron y en la cuales se tomaron fotografías de ejemplares. (CIByC- Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación/ UMSNH- Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo/ UAMI- Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa/ ENCB- Escuela Nacional de Ciencias Biológicas).

	Colección de Mamíferos del CIByC*	Colección de Mamíferos de la UMSNH*	Museo De Zoología Alfonso L. Herrera, Facultad de Ciencias	Colección Nacional de Mamíferos	Colección de Mamíferos de la UAMI	Colección Mastozoológica de la ENCB
<i>P. beatae</i>	62		86	67	51	20
<i>P. boyllii</i>	21	13	15	77	2	708

<i>P. kilpatricki</i>	31				
<i>P. levipes</i>		695	577	573	634
<i>P. schmidlyi</i>					
<i>P. simulus</i>		2	23	1	
<i>P. stephani</i>			21		

7.2.- Estimación de la variación y diferenciación morfogeométrica

Para analizar la forma de estructuras morfológicas se tomaron fotografías digitales de las vistas dorsal, ventral y lateral del cráneo, así como la vista lateral de la mandíbula de cada individuo con una cámara Canon EOS Rebel Xsi modelo Ds126181. El material óseo fue montado sobre una superficie de plastilina, cuidando que los planos respectivos de cada vista fueran paralelos al lente de la cámara. Para la comparación entre individuos se incluyó en la toma una regla en milímetros.

Para describir el espacio geométrico que representa la forma de las estructuras analizadas, se colocaron marcas de referencia con coordenadas X y Y. Para conocer los cambios en la forma se utilizó el método de descomposición *Thin Plate Spline* (TPS; Rohlf, 2010). La posición de cada marca fue elegida consultando trabajos previos de roedores pertenecientes a la familia Cricetidae (Mayares, 2012; Lorenzo, 2015; Nava-García, 2016; Jones y Law, 2018; Lopez-Arriaga, 2019) y asumiendo que estos puntos son homólogos entre individuos (Zelditch *et al.*, 2004). Adicionalmente, se asumió que las estructuras del cráneo y la mandíbula presentan simetría bilateral, por lo que solo se colocaron marcas en el lado derecho del cráneo.

En el caso de la vista dorsal del cráneo se utilizaron 21 marcas (Fig. 3; Tabla 2), para la vista lateral 12 marcas, con 8 semimarcas (Fig. 4; Tabla 3), mientras que para la vista ventral se emplearon 20 marcas con 7 semimarcas (Fig. 5; Tabla 4). Por último, para la vista lateral de la mandíbula se emplearon 11 marcas con 8 semimarcas (Fig. 6; Tabla 5). Se creó el archivo tps mediante el programa tpsUtil y las marcas se digitalizaron mediante los programas tpsDig (Rohlf, 2010). Las semimarcas que se emplearon tienen el propósito de describir el arco cigomático en vista ventral, la región posterior del cráneo o caja craneal en vista lateral y la región posterior de la mandíbula, a través de la digitalización de peines o abanicos con el programa MakeFan8 (Sheets, 2002).

Las coordenadas fueron sometidas a un proceso de superposición *Procrustes* utilizando CoordGen8 (Sheets, 2002), este análisis resume toda la variación morfológica presente en la muestra a una configuración consenso. Posterior a la superposición *Procrustes*, se realizó el

alineamiento de contornos de las semimarcas con el programa de SemiLand8 (Sheets, 2002). Adicionalmente, se realizó una búsqueda y revisión de posibles valores atípicos (*outliers*) mediante el programa de MorphoJ (Klingenberg, 2011), para visualizar la muestra y compararla con base en su forma promedio.

Para evaluar si los grupos presentan variación entre sexos (dimorfismo sexual), se implementó una prueba F de Goodall (*partial warp scores*), que evalúa la significancia entre las diferencias de configuraciones, con el programa TwoGroups8 (Sheets, 2002). Adicionalmente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para evaluar si existe variación respecto al tamaño del centroide entre sexos utilizando el programa Statistica6 (Statsoft, 2001). También se evaluó la alometría para determinar qué porcentaje de variación en la forma es explicado por el tamaño. Esto se realizó para todas las vistas a través de un análisis de regresión con el programa Regress8 (Sheets, 2002).

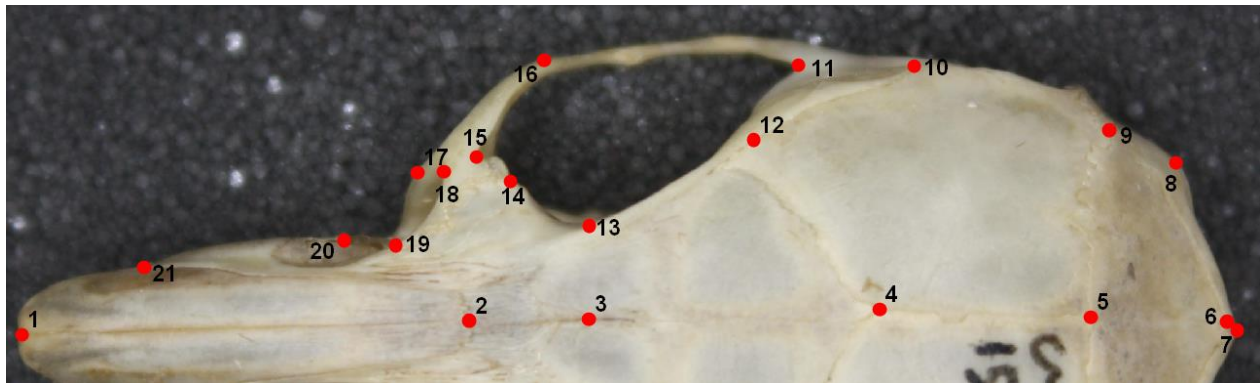


Figura 3. Ubicación de marcas de referencia en la vista dorsal del cráneo.

Tabla 2. Descripción de cada marca de referencia y su sitio correspondiente en vista dorsal.

Marcas que conforman la configuración para la vista dorsal del cráneo

1. Extremo anterior del nasal	11. Borde interior del escamoso
2. Extremo posterior del nasal	12. Unión lateral superior del frontal y parietal
3. Constricción interorbital	13. Margen del frontal

4. Unión entre los frontales y los parietales 14. Borde posterior del proceso supraorbital

5. Unión ente los parietales y el interparietal 15. Borde anterior del proceso supraorbital

6. Margen posterior del interparietal 16. Punto de unión de la placa cigomática y el arco cigomático

7. Occipital 17. Espina cigomática

8. Borde superior del occipital 18. Borde interior del lagrimal

9. Unión entre el parietal, interparietal y occipital 19. Margen entre el maxilar y el cigomático

10. Unión del escamoso y parietales 20. Borde anterior del lagrimal

21. Unión entre el nasal y el premaxilar

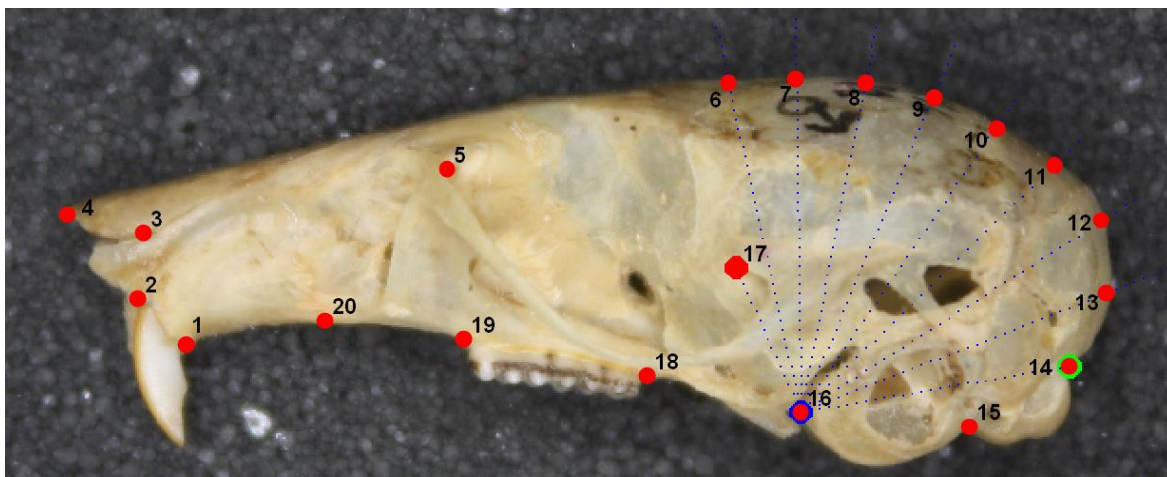


Figura 4. Ubicación de marcas y semimarcas de referencia en la vista lateral del cráneo.

Tabla 3. Descripción de cada marca de referencia y su sitio correspondiente en vista lateral.

Marcas que conforman la configuración para la vista lateral del cráneo

1. Posterior del alveolo incisivo superior 14. Límite entre el cóndilo occipital y el hueso occipital

2. Anterior del alveolo incisivo superior	15. Extremo inferior del límite entre el cóndilo occipital y la bula auditiva
3. Sutura entre nasal y premaxilar	16. Límite inferior entre la bula auditiva y aliesfenoides
4. Extremo anterior de los nasales	17. Anterior de la fosa glenoidea en la barra cigomática
5. Anterior de la órbita	18. Extremo posterior de la hilera molar
6-13. Semimarcas que describen la región posterior del cráneo	19. Extremo anterior de la hilera molar
20. Extremo ventral entre la sutura del maxilar y el premaxilar	

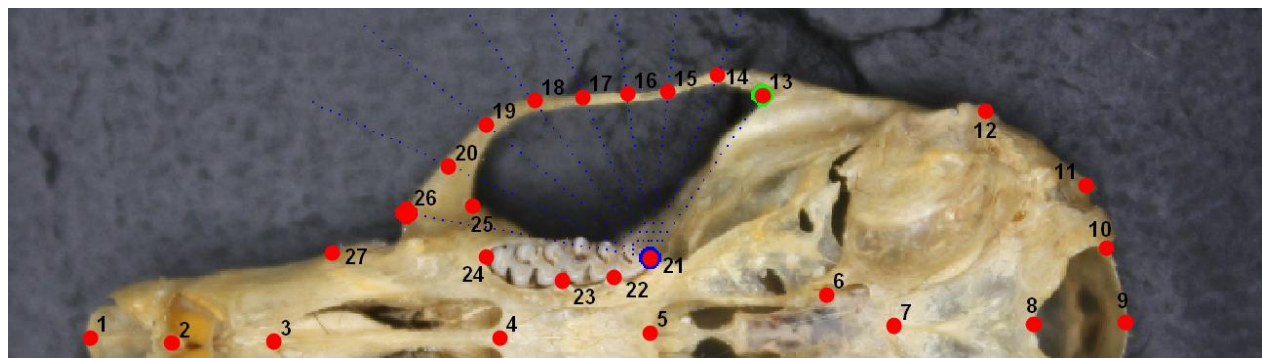


Figura 5. Ubicación de marcas y semimarcas de referencia en la vista ventral del cráneo.

Tabla 4. Descripción de cada marca de referencia y su sitio correspondiente en vista ventral.

Marcas que conforman la configuración para la vista ventral del cráneo

1. Extremo anterior del nasal	11. Saliente del basioccipital
2. Base de los incisivos	12. Bula auditiva
3. Extremo anterior del foramen incisivo	13. Borde interior del escamoso
4. Extremo posterior del foramen incisivo	14 -20. Semimarcas que describen el arco cigomático

5. Margen posterior del palatino	21. Posterior del foramen molar
6. Huesecillo de la fosa mesopterigoidea	22. Unión entre el segundo molar y el tercer molar
7. Basiesfenoides	23. Unión entre el primer molar y el segundo molar
8. Extremo anterior del <i>foramen magnum</i>	24. Anterior del foramen molar
9. Extremo posterior del <i>foramen magnum</i>	25. Borde interior del arco cigomático
10. Borde superior del <i>foramen magnum</i>	26. Borde exterior del arco cigomático
27. Intersección entre el premaxilar y el maxilar	

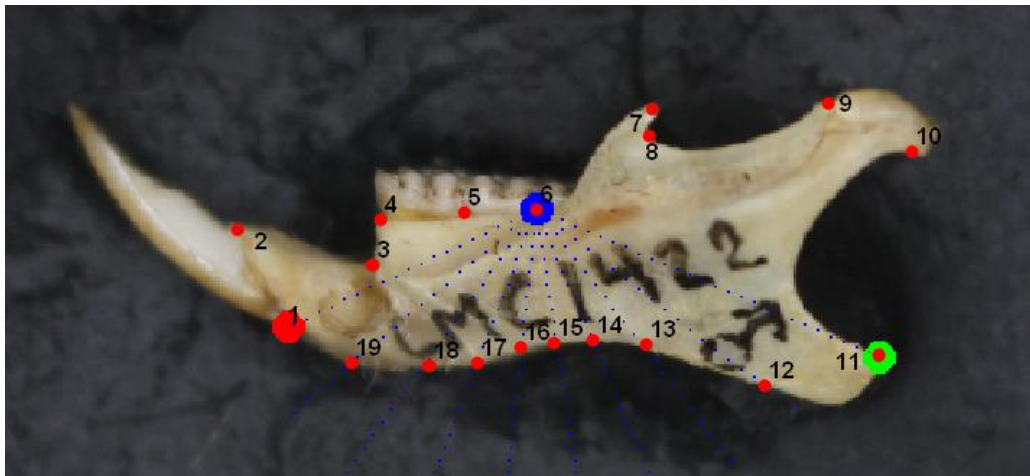


Figura 6. Ubicación de marcas de referencia en la mandíbula.

Tabla 5. Descripción de cada marca de referencia y su sitio correspondiente en la mandíbula.

Marcas que conforman la configuración para la vista lateral de la mandíbula

1. Margen ventral de la apertura del alveolo de los incisivos	7. Proceso coronoide
2. Margen dorsal de la apertura del alveolo de los incisivos	8. Punto de máxima curvatura interna del proceso coronoide

3. Sobre la base de los molares y el diastema	9. Margen anterior del cóndilo mandibular
4. Borde anterior del primer molar	10. Margen posterior del cóndilo mandibular
5. Borde anterior del segundo molar	11. Extremo caudal del proceso angular
6. Borde anterior del tercer molar	12-19. Semimarcas que describen la región posterior de la mandíbula

7.3.- Variación interespecífica

De manera exploratoria se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) con la finalidad de analizar la variación de la forma entre los individuos en todas las estructuras óseas. Este proceso permite explorar la variación entre los grupos y determinar las variables de mayor peso en esta disociación. Para ello se empleó la herramienta PCAGen8 de la serie IMP (Sheets, 2002). Para determinar la diferenciación entre grupos se realizó un análisis de variables canónicas con el programa de CVAGen8 de la serie IMP (Sheets, 2002), ya que éste permite maximizar la cantidad de variación existente entre los mismos.

De igual manera se obtuvieron las distancias de Mahalanobis, para el cual se utilizó la herramienta CVAGen8 de la serie IMP (Sheets, 2002). Posteriormente, se generó un análisis de *thin plate spline* el cual genera gradillas de deformación en las que se puede apreciar de manera visual los cambios en la forma y su comparación de todas las vistas craneales para cada grupo. Con el análisis de dichas gradillas se identificarán estructuras anatómicas que puedan usarse como caracteres diagnósticos que sean usados en la correcta identificación y delimitación de especies. Finalmente, se realizó un análisis de comparaciones pareadas a través de una prueba F de Goodall, con el programa TwoGroups8 (Sheets, 2002) donde se generaron valores de significancia ($p < 0.05$) y gradillas de deformación que nos permite distinguir estructuras específicas entre los grupos.

VIII.- RESULTADOS

8.1.- Revisión del material biológico

Del material depositado en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), se tomaron fotografías de 10 ejemplares adultos recolectados en distintas localidades del estado de Michoacán que estaban identificados como *P. boylii* (Tabla 6). No obstante, de

acuerdo con la literatura sobre la sistemática del grupo, es posible que los ejemplares más bien pertenezcan a una especie no descrita del grupo *boyllii* (*P. sp.* (Mich)), considerando la distribución reportada para la especie (Fig.7). En la Colección de Mamíferos del CIByC (CMC) se fotografió material de 102 ejemplares pertenecientes a 3 especies del grupo *boyllii* (Tabla 6: *P. beatae*, proveniente de localidades de Guerrero, Oaxaca, Puebla y Veracruz; *P. levipes* procedentes de San Luis Potosí y Puebla; *P. kilpatricki* de varias localidades de Morelos (Fig. 7)). De manera adicional, se incluyeron 22 ejemplares del estado de Jalisco que preliminarmente han sido identificados como otra especie no descrita del grupo (*P. sp.* (Jal)). Entonces, el total de especies putativas evaluadas en este trabajo fue de cinco.

Tabla 6. Cantidad de ejemplares fotografiados e incluidos en este trabajo de acuerdo con el acervo de donde proviene e individuos por sexo.

	CMC	UMSNH	Machos	Hembras
<i>P. beatae</i>	56	-	32	24
<i>P. kilpatricki</i>	30	-	12	18
<i>P. levipes</i>	16	-	5	11
<i>P. sp.</i> (Mich)		10	6	4
<i>P. sp.</i> (Jal)	22	-	8	14

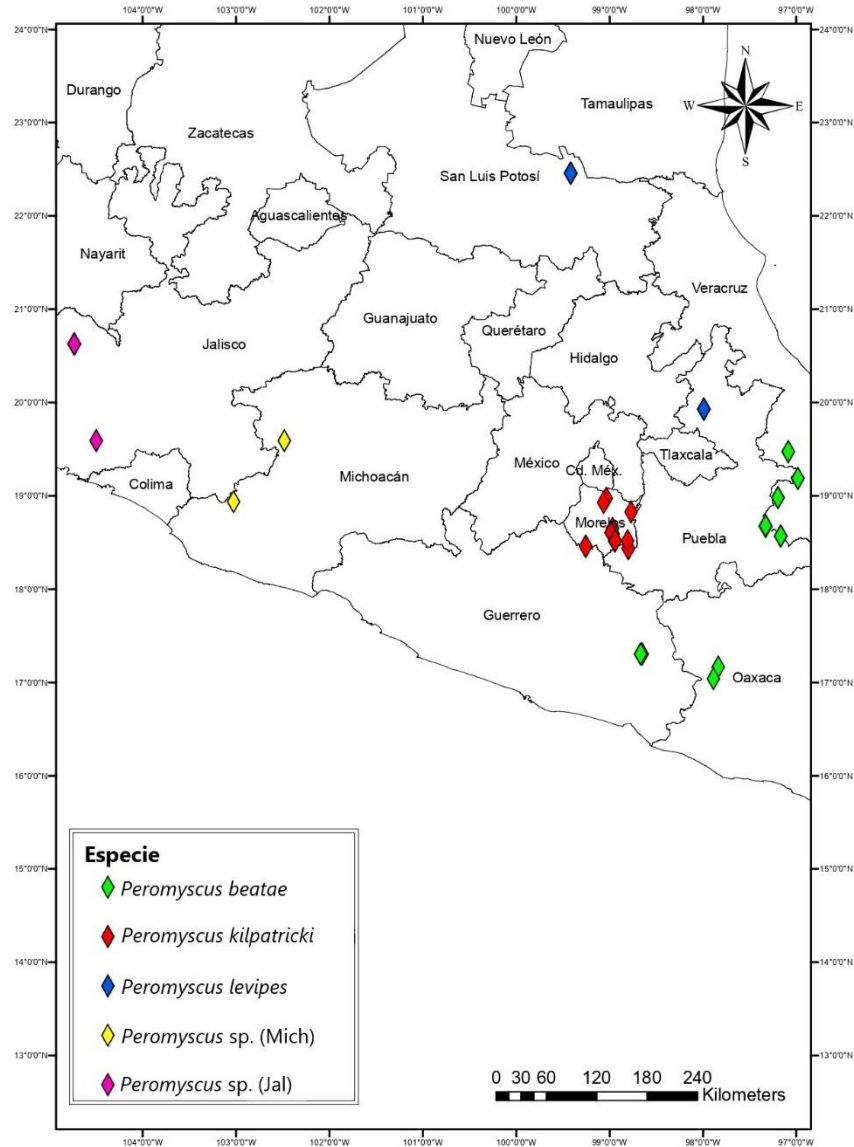


Figura 7. Distribución geográfica de ejemplares fotografiados dentro del grupo *boylei* de la UMSNH y la CMC.

8.3.- Evaluación de Dimorfismo Sexual

La prueba F de Goodall para la vista dorsal del cráneo indicó que no existen diferencias significativas en la forma entre hembras y machos ($F= 0.81$, $df= 38.00$, 4978.00 $p=0.79229$). Asimismo, el ANOVA de una vía confirma que no hay diferencias significativas entre machos y hembras respecto al tamaño del centroide ($p=0.262144$) para la vista dorsal.

El análisis de la vista lateral con la prueba F de Goodall reveló que tampoco hay diferencias entre sexos de acuerdo con la forma ($F= 1.02$, $df= 36.00$, 4752.00 $p=0.43535$) y el ANOVA de una vía también confirma que no hay diferencias significativas respecto al tamaño del centroide ($p=0.062373$).

Para el caso de la vista ventral, la prueba F de Goodall indica que si hay diferencias significativas respecto a la forma entre machos y hembras ($F= 1.93$, $df= 50.00$, 6000.00 $p=9.2377e-05$), no obstante, el ANOVA de una vía indica que no hay diferencias entre sexos con respecto al tamaño del centroide ($p=0.062373$).

Por último, en el caso de la vista lateral de la mandíbula, la prueba F de Goodall nos revela que no hay diferencias significativas respecto a la forma entre sexos ($F= 0.75$, $df= 34.00$, 3638.00 $p=0.85399$). Mediante el ANOVA de una vía, tampoco se encontraron diferencias con relación al tamaño del centroide ($p=0.599428$). En virtud de lo anterior, para las vistas dorsal, lateral y de la mandíbula los análisis se realizaron en conjunto, sin separar los dos sexos. No obstante, para la vista ventral, se realizaron análisis separados para machos y hembras.

8.3.1.- Alometría

Para la vista dorsal (Tabla 7) el análisis de regresión indica que si hay una correlación significativa entre el tamaño del centroide y la forma ($p=0.04$) y que esta explica un porcentaje mínimo de la variación de la forma (1.37%). Para la vista lateral (Tabla 7), de igual manera se obtuvo una correlación significativa entre el tamaño y la forma ($p<0.01$), pero el porcentaje explicado es mínimo (4.09%). Para el caso de las hembras en la vista ventral (Tabla 7) se obtuvo una correlación significativa ($p<0.01$) con un porcentaje de la variación mínimo explicado (6.78%). Para el caso de los machos en la vista ventral (Tabla 7), no se obtuvo una correlación significativa ($p=0.10$), y el porcentaje explicado es igualmente mínimo (3.53%). Para la vista lateral de la mandíbula (Tabla 7), el análisis de regresión reveló que no hay una correlación significativa entre el tamaño del centroide y la forma ($p=0.12$), además de que explica un porcentaje mínimo de la variación de la forma (1.46%).

Tabla 7. Análisis de regresión para cada una de las vistas, con el porcentaje de variación explicado.

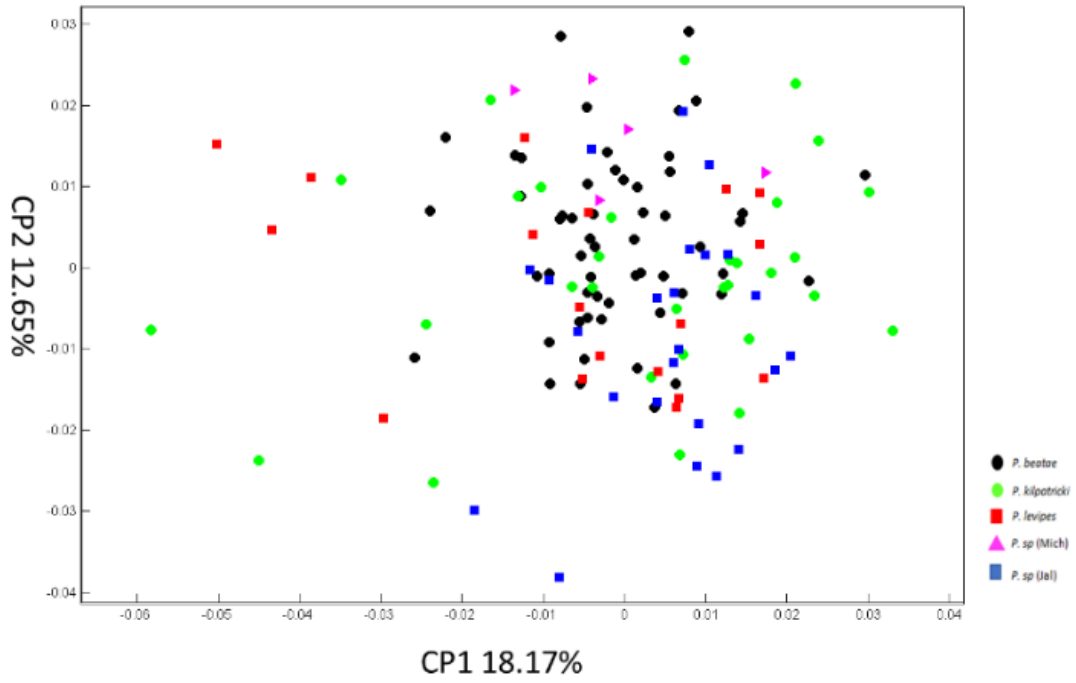
Vistas	Regresión	Porcentaje explicado
Vista Dorsal	$p=0.04$	1.37%

Vista Lateral	p<0.01	4.09%
Vista Ventral Hembras	p<0.01	6.78%
Vista Ventral Machos	p=0.10	3.53%
Vista Mandíbula	p=0.12	1.46%

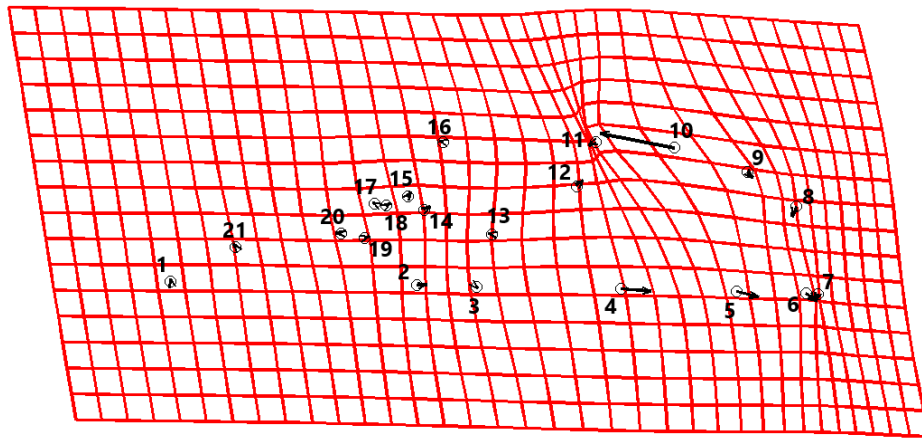
8.4.- Análisis de Componentes Principales

8.4.1.- Vista dorsal del cráneo

El análisis de componentes principales (ACP) permitió observar un solapamiento de los diferentes grupos con respecto a la variación de la forma (Fig. 8a). El componente principal 1 (CP1) explica el 18.17% de la variación total mientras que el componente principal 2 (CP2) explica el 12.65% de la variación. Con relación a las gradillas de deformación, el CP1 (Fig. 8b) revela cambios principales en la unión entre los frontales y los parietales, así como la unión entre los parietales y el interparietal, debido a que se distorsionan hacia la región posterior del cráneo. En la unión del escamoso y los parietales se observa que la dirección de cambio se concentra hacia la región del arco cigomático. Similarmente, se observan cambios en menor grado ocurriendo en la región anterior del cráneo, con los extremos anterior y posterior de los nasales, así como en la región posterior con el borde superior del occipital. Con respecto al CP2 (Fig. 8b), se pueden observar cambios importantes en la región anterior del cráneo, en el extremo anterior del nasal y en la unión entre el nasal y el premaxilar cuyas direcciones de cambio se encuentran hacia la parte interna de la estructura craneal, específicamente el foramen incisivo. También se aprecia una deformación en menor grado hacia el extremo posterior del nasal, la constricción interorbital y en la unión entre frontales y parietales.



A)



B)

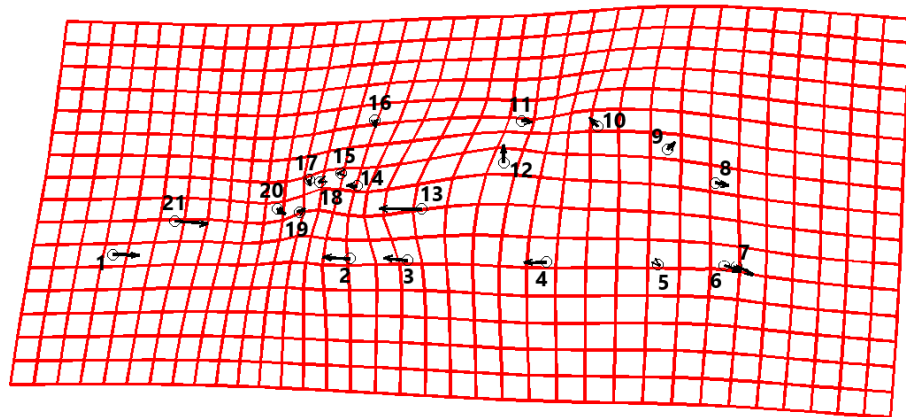
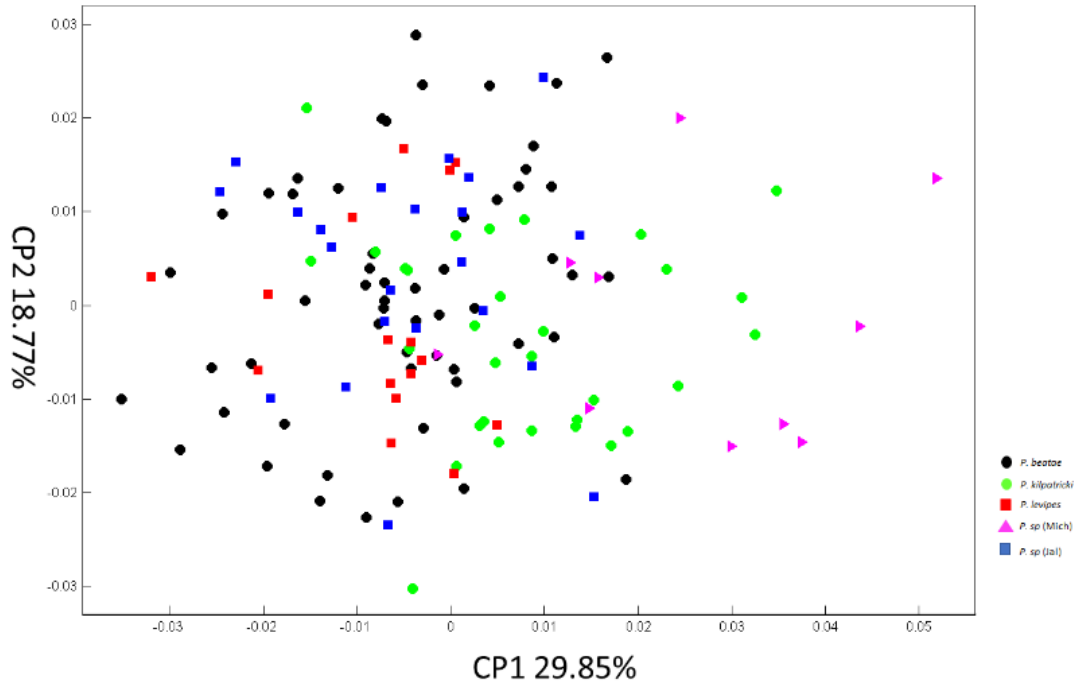


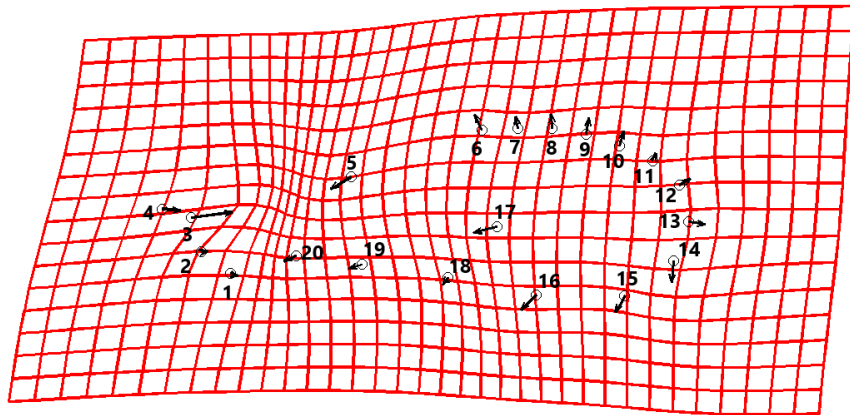
Figura 8. A) Gráfica del Análisis de Componentes Principales de la vista dorsal del cráneo de *P. beatae*, *P. kilpatricki*, *P. levipes*, *P. sp.* (Mich) y *P. sp.* (Jal). Gradillas de deformación con 1 grado de exageración que muestra los cambios en la forma de la vista dorsal del cráneo del CP1 y CP2, respectivamente.

8.4.2- Vista lateral del cráneo

El ACP de la vista lateral del cráneo revela un solapamiento en la dispersión de los puntos que no permite observar algún agrupamiento evidente (Fig. 9a). El CP1 explica el 29.85% de la variación total mientras que el CP2 explica el 18.77% de la variación. Con respecto a las gradillas de deformación, en el CP1 (Fig. 9b) se observan cambios mayores en la región posterior del cráneo, ya que los cambios de dirección se encuentran desplazándose hacia la parte externa, causando un ensanchamiento en esa área. Asimismo, la sutura entre el nasal y el premaxilar, así como en el anterior de la órbita revelan un acortamiento en cada estructura. También, se aprecian deformaciones en menor grado en la parte anterior y posterior del alveolo incisivo superior, y en el extremo anterior del nasal. En el CP2 (Fig. 9b), se observa que los principales cambios ocurren en la región posterior del cráneo, en el límite entre el cóndilo occipital y el hueso occipital, el extremo inferior del límite entre el cóndilo occipital y la bula auditiva y el punto anterior de la fosa glenoidea en la barra cigomática. También se observan cambios menores en el límite inferior entre la bula auditiva y aliesfenoides.



A)



B)

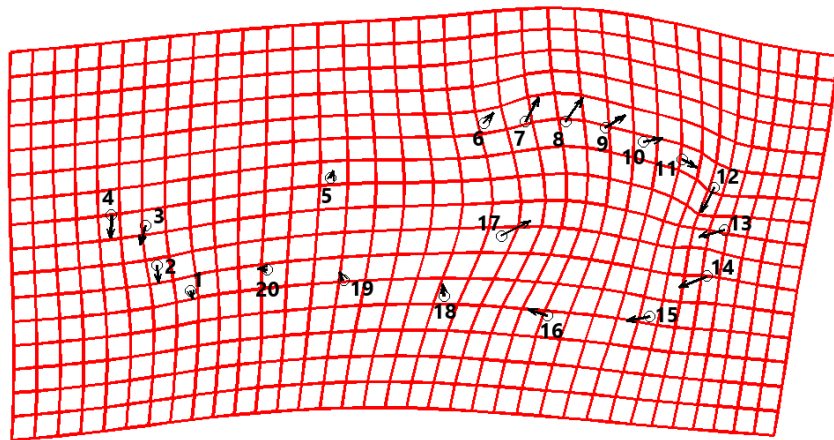
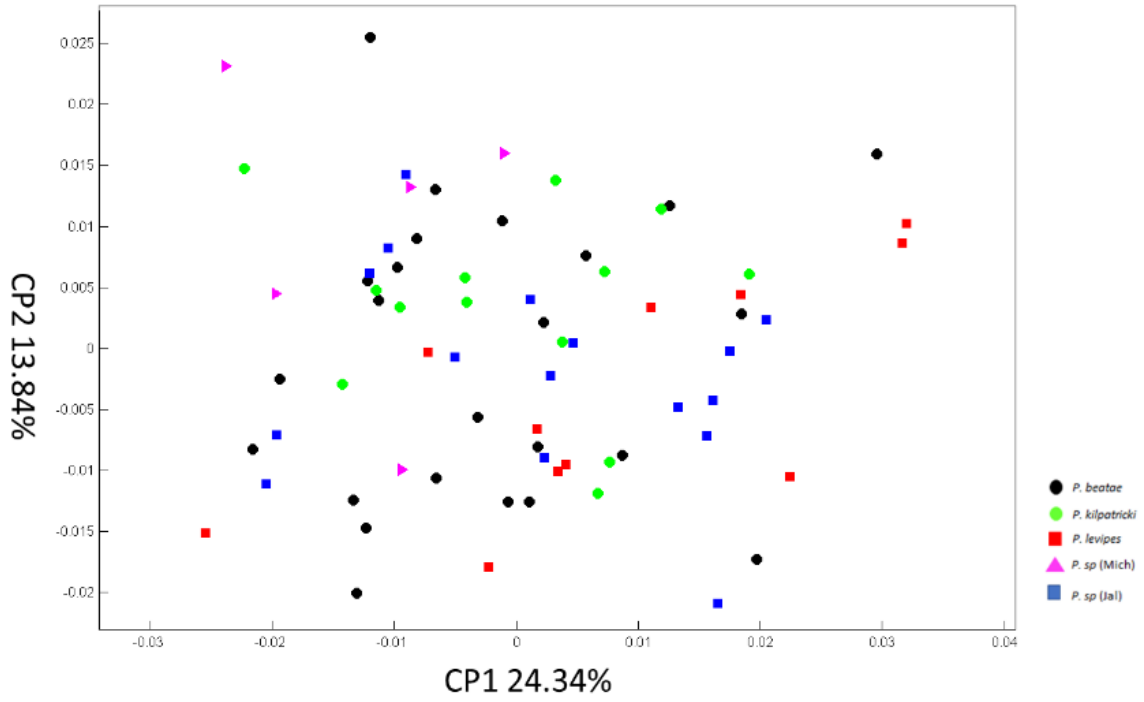


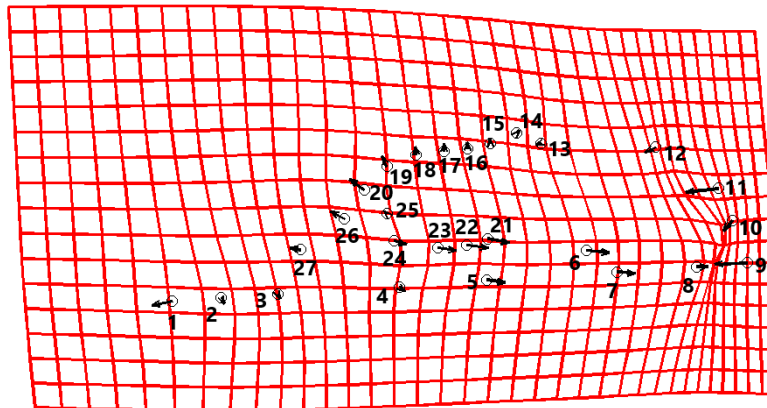
Figura 9. A) Gráfica del Análisis de Componentes Principales de la vista lateral del cráneo de *P. beatae*, *P. kilpatricki*, *P. levipes*, *P. sp.* (Mich) y *P. sp.* (Jal). B) Gradillas de deformación con 1 grado de exageración que muestra los cambios en la forma de la vista lateral del cráneo del CP1 y CP2, respectivamente.

8.4.3.- Vista ventral del cráneo en Hembras

El ACP de la vista ventral del cráneo de las hembras indica una dispersión en la variación de la forma sin algún agrupamiento aparente (Fig. 10a). El CP1 explica el 24.34% de la variación total mientras que el CP2 solo explica el 13.84% de dicha variación. En la gradilla de deformación correspondiente al CP1 (Fig. 10b) podemos observar la mayor cantidad de cambio en la región posterior del cráneo, específicamente en el extremo posterior del *foramen magnum* y el saliente del basioccipital. Asimismo, se observa un cambio de dirección en el huesecillo de la fosa mesopterigoidea y el basiesfenoides hacia la región posterior del cráneo. También se aprecian cambios menores a lo largo del foramen molar y en el extremo anterior del nasal. Con respecto a la gradilla de deformación del CP2 (Fig. 10b), la mayor cantidad de cambio se observa en la región anterior del cráneo, en el extremo anterior del nasal, en la base de los incisivos y en el extremo anterior del foramen incisivo. También se observa un cambio menor hacía fuera de la estructura a lo largo del arco cigomático y en el borde exterior del mismo. De igual forma, la región posterior también presenta una leve distorsión en el huesecillo de la fosa mesopterigoidea, el basiesfenoides, los extremos anterior y posterior del *foramen magnum* y en el saliente del basioccipital.



A)



B)

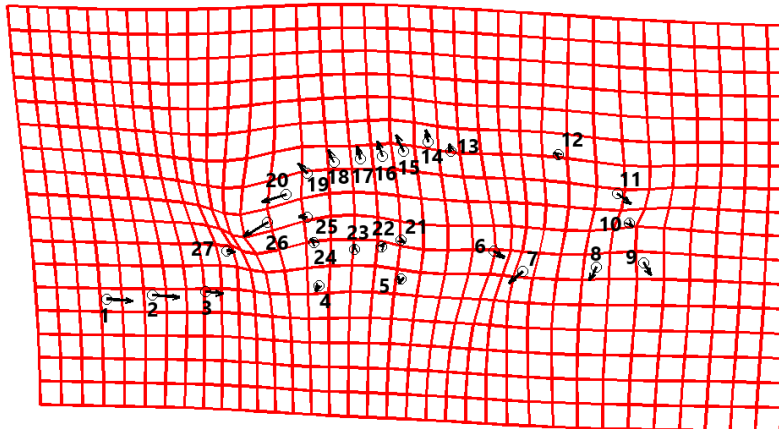
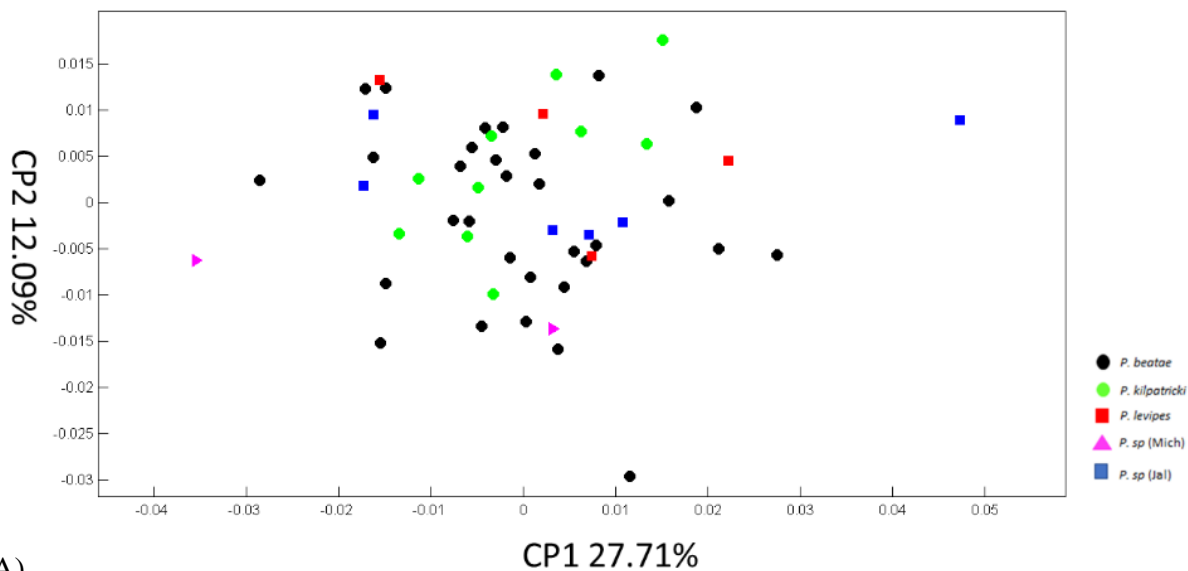
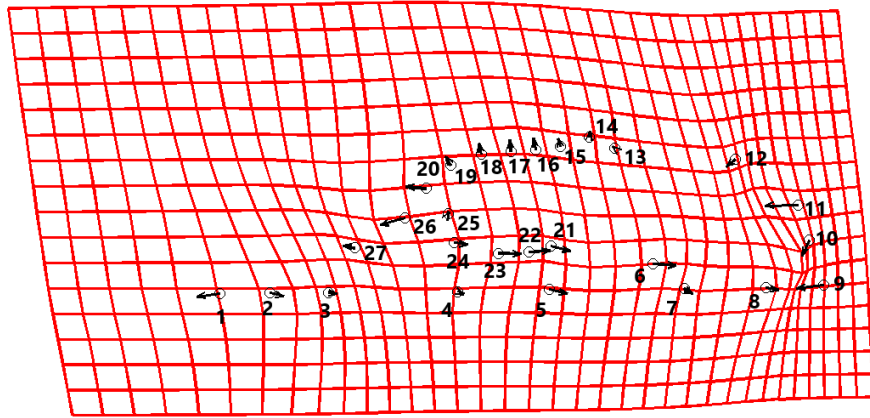


Figura 10. A) Gráfica del Análisis de Componentes Principales de la vista ventral del cráneo en hembras de *P. beatae*, *P. kilpatricki*, *P. levipes*, *P. sp.* (Mich) y *P. sp.* (Jal). B) Gradillas de deformación con 1 grado de exageración que muestra los cambios en la forma de la vista ventral del cráneo del CP1 y CP2, respectivamente.

8.4.4.- Vista ventral del cráneo en Machos

El ACP de la vista ventral del cráneo en machos muestra una dispersión en la ordenación de los datos respecto a los primeros dos componentes (Fig. 11a). El CP1 explica el 27.71% de la variación total mientras que el CP2 explica el 12.09% de la variación. En las gradillas de deformación del CP1 (Fig. 11b) el principal cambio se observa hacía la región posterior del cráneo, en el extremo posterior del *foramen magnum*, borde superior del *foramen magnum* y el saliente del basioccipital, donde la deformación es notable. Por otro lado, se aprecia un cambio moderado en el área del foramen molar y un cambio ligero a lo largo del arco cigomático, así como en el extremo anterior del nasal. En las gradillas de deformación del CP2 (Fig.11b), se observa un cambio mayor en el extremo anterior del nasal y en la base de los incisivos. De igual manera se aprecia una ligera deformación en el borde interior del escamoso y la región del arco cigomático. En la región posterior se observa un cambio menor a partir del huesecillo de la fosa mesopterigoidea que se dirige hacia el basiesfenoides y el extremo anterior del *foramen magnum*.





B)

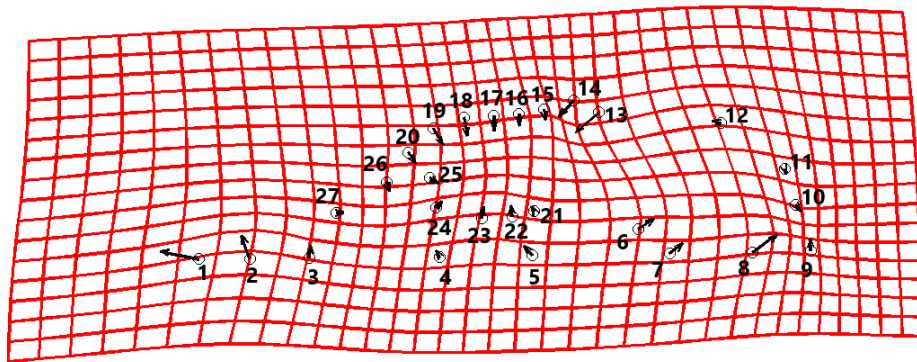
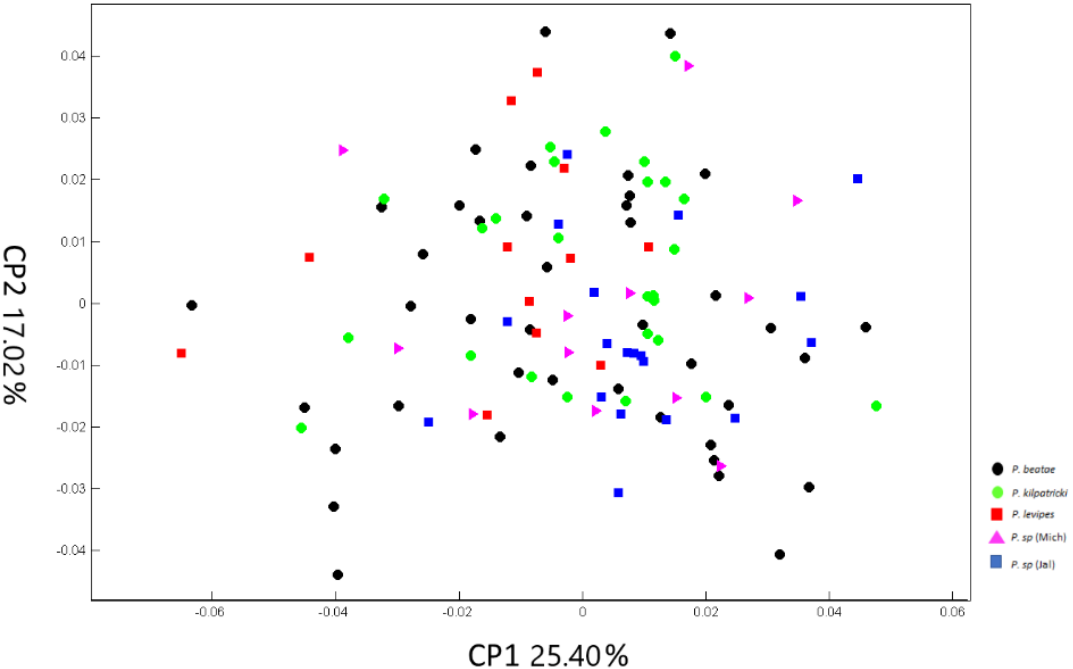


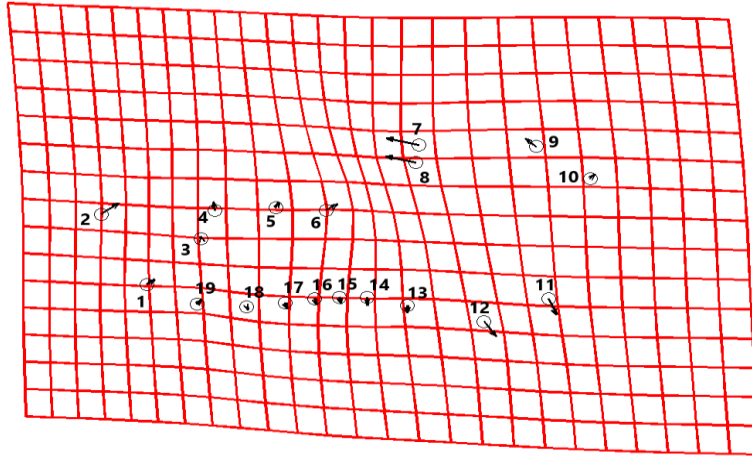
Figura 11. A) Gráfica del Análisis de Componentes Principales de la vista ventral del cráneo en machos de *P. beatae*, *P. kilpatricki*, *P. levipes*, *P. sp.* (Mich) y *P. sp.* (Jal). B) Gradillas de deformación con 1 grado de exageración que muestra los cambios en la forma de la vista ventral del cráneo del CP1 y CP2, respectivamente.

8.4.5.- Vista lateral de la mandíbula

El ACP de la vista lateral de la mandíbula muestra una dispersión en la ordenación de los datos respecto a los primeros dos componentes (Fig. 12a). El CP1 explica el 25.40% de la variación total mientras que el CP2 explica el 17.02% de la variación. En las gradillas de deformación del CP1 (Fig. 12b), el principal cambio se aprecia en la región posterior entre el borde anterior del tercer molar, el proceso coronoide y el punto de máxima curvatura interna del proceso coronoide, cuyos cambios de dirección van hacia la parte externa de la estructura, apreciando una mayor deformación en esa área. Adicionalmente, se observan cambios moderados en el extremo caudal del proceso angular y el inicio de la región que define la parte ventral de la mandíbula, con deformaciones menores en el margen dorsal de la apertura del alveolo de los incisivos. En las

gradillas de deformación del CP2 (Fig.12b), se aprecian cambios importantes en el proceso coronoide y el punto de máxima curvatura interna del proceso coronoide. De igual manera, se aprecia un cambio menor en el margen anterior y posterior del cóndilo mandibular. Similarmente, se observan cambios significativos en en el extremo caudal del proceso angular y el inicio de la región que define la sección ventral de la mandíbula.





B)

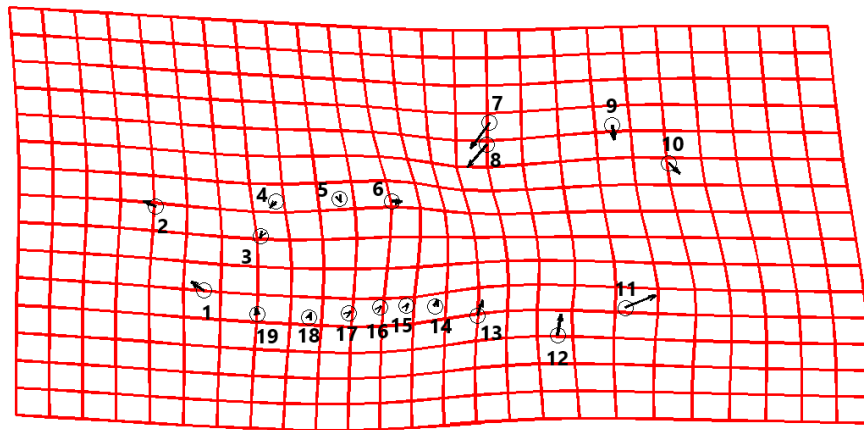


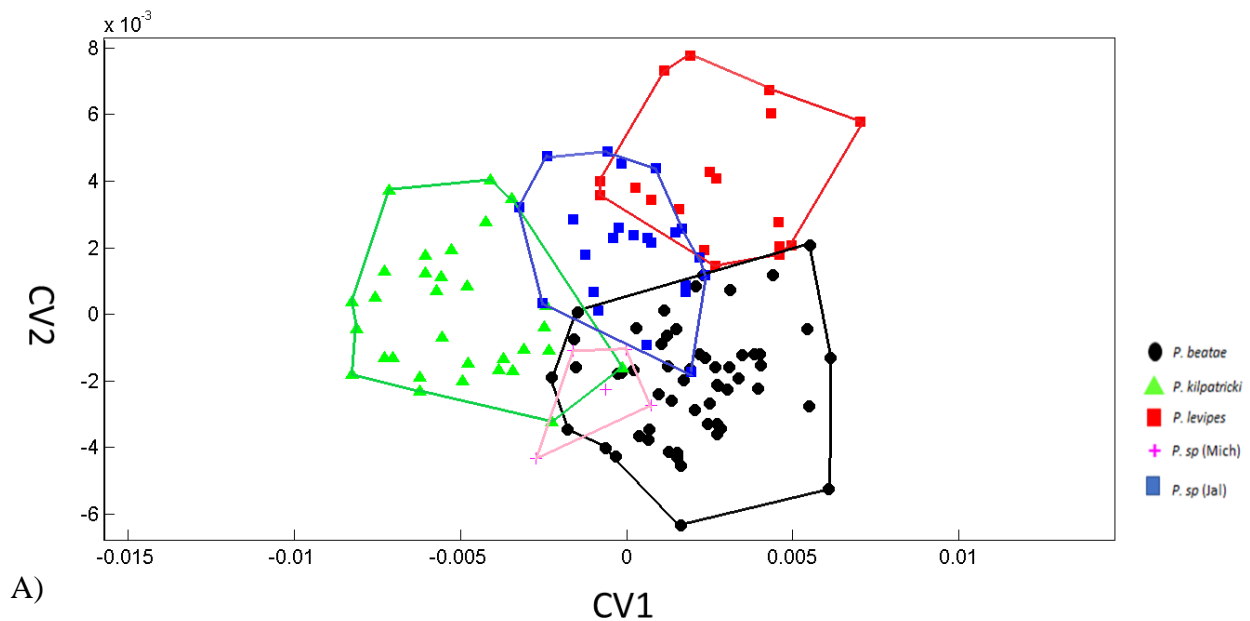
Figura 12. A) Gráfica del Análisis de Componentes Principales de la vista lateral de la mandíbula de *P. beatae*, *P. kilpatricki*, *P. levipes*, *P. sp.* (Mich) y *P. sp.* (Jal). B) Gradillas de deformación con 1 grado de exageración que muestra los cambios en la forma de la vista lateral de la mandíbula del CP1 y CP2, respectivamente.

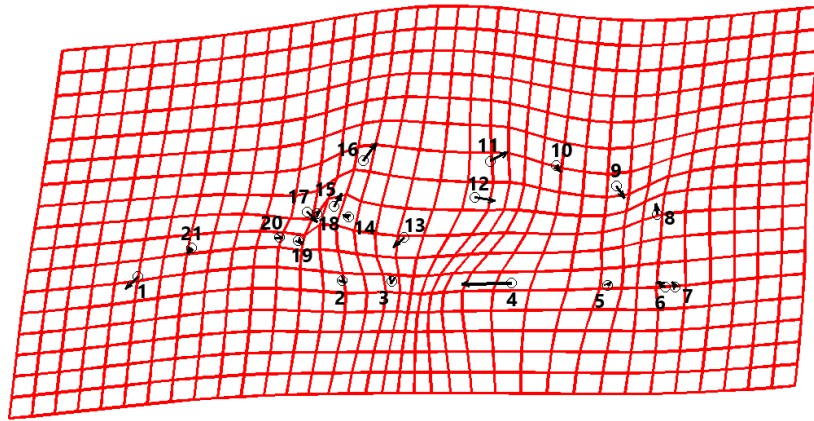
8.5.- Análisis de Variables Canónicas

8.5.1.- Vista dorsal del cráneo

Los resultados de este análisis considerando los cinco grupos evaluados (*P. beatae*, *P. kilpatricki*, *P. levipes*, *P. sp.* (Mich) y *P. sp.* (Jal)) indicaron tres variables canónicas distintas, CV1: $\lambda = 0.0509$, $P = 1.90038e-15$; CV2: $\lambda = 0.1716$, $P = 1.04757e-06$; CV3: $\lambda = 0.4340$, $P = 0.0482147$. En la gráfica del análisis de variables canónicas (CVA, por sus siglas en inglés), la cual representa las dos principales variables canónicas, se aprecia la separación de los grupos (Fig. 13a). Particularmente, a lo largo de la Variable Canónica 1 (CV1) se observa que los ejemplares de *P.*

kilpatricki se agrupan hacia la parte izquierda de la gráfica (zona de los valores negativos). En el eje de la Variable Canónica 2 (CV2), los ejemplares de *P. levipes* se ubican hacia la parte superior (zona de los valores positivos), los de *P. sp.* (Jal) hacia el centro, mientras que *P. beatae* y *P. sp.* (Mich) hacia la parte inferior (área de los valores negativos). En las gradillas de deformación para el CV1 (Fig. 13b) se observa una mayor cantidad de deformación ocurriendo en la unión entre los frontales y los parietales. A lo largo de la estructura del cráneo se aprecian cambios menores en la mayoría de las variables como en el borde interior del escamoso, la unión lateral superior del frontal y parietal, y el punto de unión de la placa cigomática y el arco cigomático. Para las gradillas de deformación del CV2 (Fig. 13b), el principal cambio se observa en el área del maxilar, específicamente en el punto de unión de la placa cigomática y el arco cigomático, en el borde posterior y anterior del proceso supraorbital y en la espina cigomática. De la misma manera, se aprecian cambios significativos a lo largo de la región posterior del cráneo en el borde interior del escamoso, en la unión del escamoso y los parietales, el borde superior del occipital y en la unión entre los parietales y el interparietal. También se observan cambios en menor grado en la región anterior del cráneo en el extremo anterior y posterior del nasal, en la constricción orbital, en el margen entre el maxilar y el cigomático y en el borde anterior del lagrimal.





B)

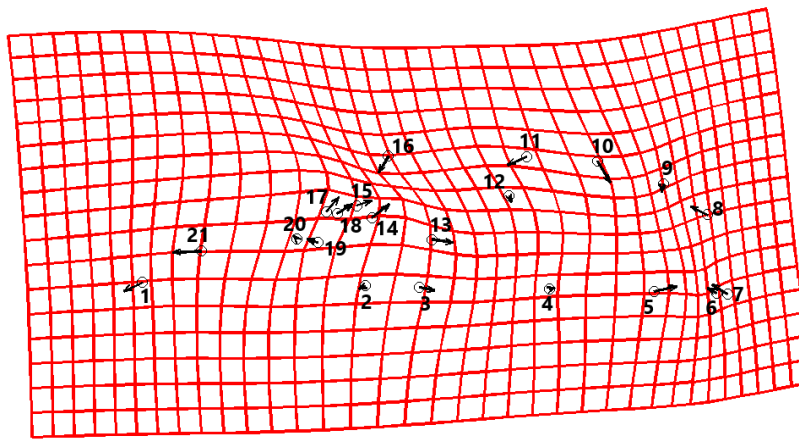
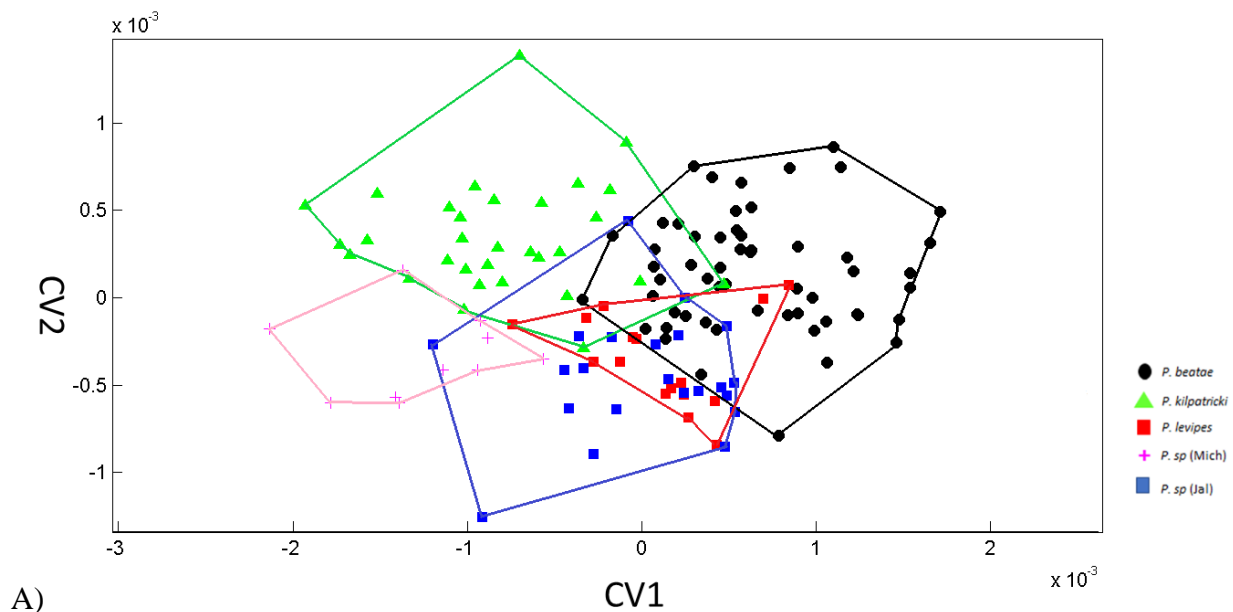


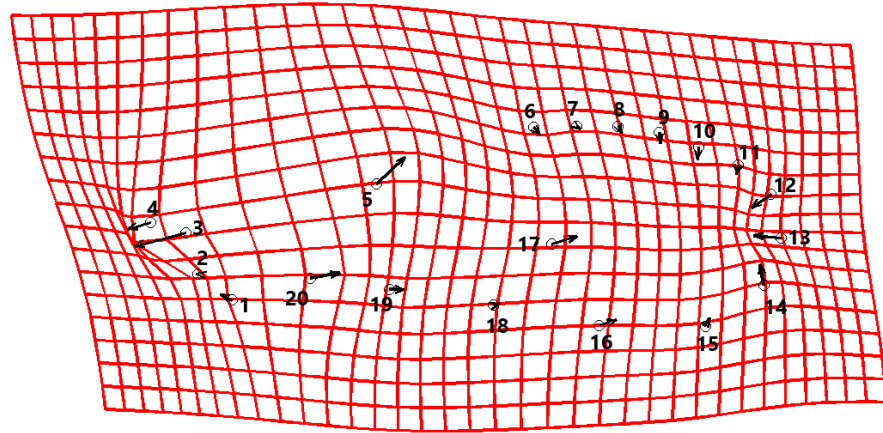
Figura 13. A) Gráfica del Análisis de Variables Canónicas de la vista dorsal del cráneo de *P. beatae*, *P. kilpatricki*, *P. levipes*, *P. sp.* (Mich) y *P. sp.* (Jal). B) Gradillas de deformación con 1 grado de exageración que muestra los cambios en la forma de la vista dorsal del cráneo del CV1 y CV2, respectivamente.

8.5.2.- Vista lateral del cráneo

Los resultados de este análisis considerando los cinco grupos arrojaron tres variables canónicas distintas, CV1: $\lambda = 0.0737$, $P = 1.43927e-12$; CV2: $\lambda = 0.2164$, $P = 2.83138e-05$; CV3: $\lambda = 0.4206$, $P = 0.00953328$. La gráfica nos permite distinguir a los cinco grupos de acuerdo con las primeras dos variables canónicas (Figura 14a). En particular, sobre el eje del CV1 se observa que los ejemplares de *P. kilpatricki* y *P. sp.* (Mich) se agrupan hacia la parte izquierda (valores negativos) de la gráfica, mientras que en la parte derecha (zona de los valores positivos) se ubican

los ejemplares de *P. beatae*. Mientras que, en el eje del CV2, se aprecia a los ejemplares de *P. sp.* (Jal) y *P. levipes* agrupándose hacia la parte inferior (área de los valores negativos). Las gradillas de deformación del CV1 (Fig. 14b), revelan que los principales cambios suceden en la sutura entre el nasal y el premaxilar, en el extremo anterior de los nasales, en el anterior de la órbita y el extremo ventral entre la sutura del maxilar y el premaxilar. Los cambios de dirección se desplazan hacia la parte externa de la estructura, dando lugar a un ensanchamiento del maxilar y el premaxilar. También se observa un acortamiento en la región posterior del cráneo alrededor de la zona del occipital y en el límite entre cóndilo occipital y el hueso occipital. En menor grado se aprecia una deformación a lo largo de la parte superior del frontal y el parietal, así como en los extremos anterior y posterior de la hilera molar. Mientras que las gradillas de deformación del CV2 (Fig. 14b), a diferencia de la variable anterior, nos revela un alargamiento de la región posterior del cráneo. Se puede observar que los cambios se dirigen hacia la parte externa de la estructura en la zona del occipital, en el límite entre cóndilo occipital y el hueso occipital, y en el extremo inferior del límite entre el cóndilo occipital y la bula auditiva. Otro cambio principal se aprecia en el anterior de la fosa glenoidea en la barra cigomática, así como en el extremo posterior de la hilera molar, las cuales se orientan hacia la estructura interna del cráneo. Por último, se observa una deformación notable en el anterior del alveolo incisivo superior y la sutura entre el nasal y el premaxilar.





B)

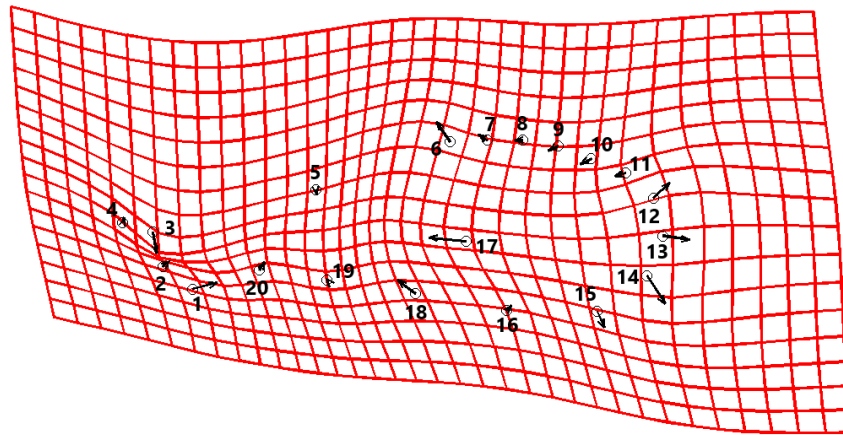
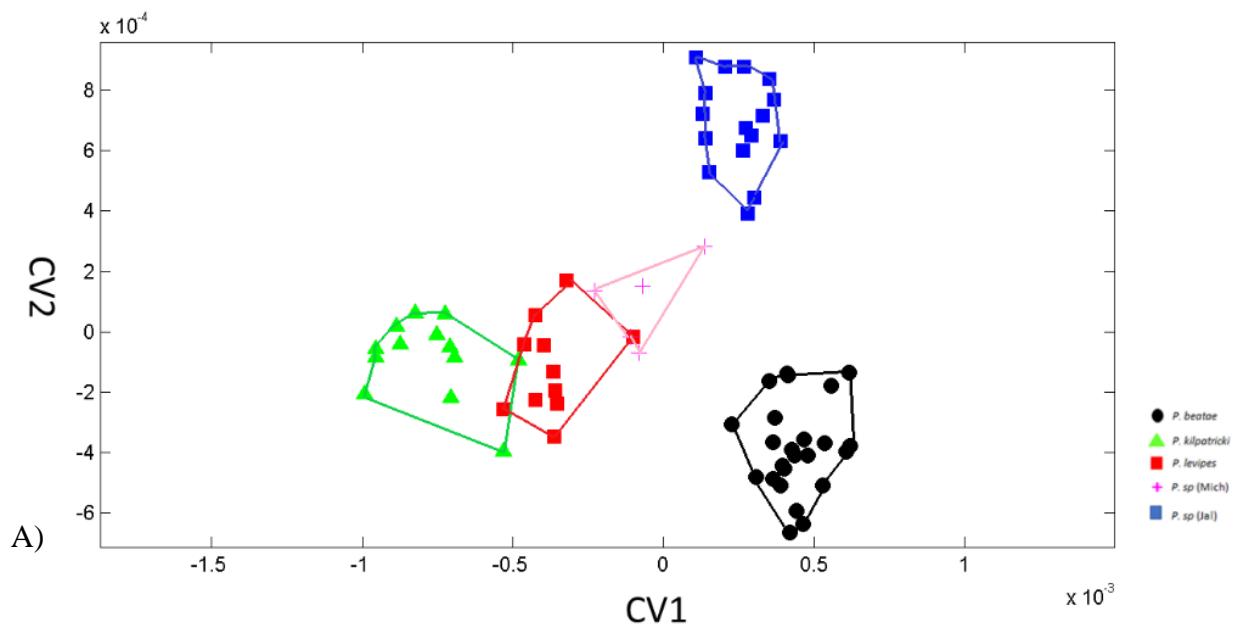


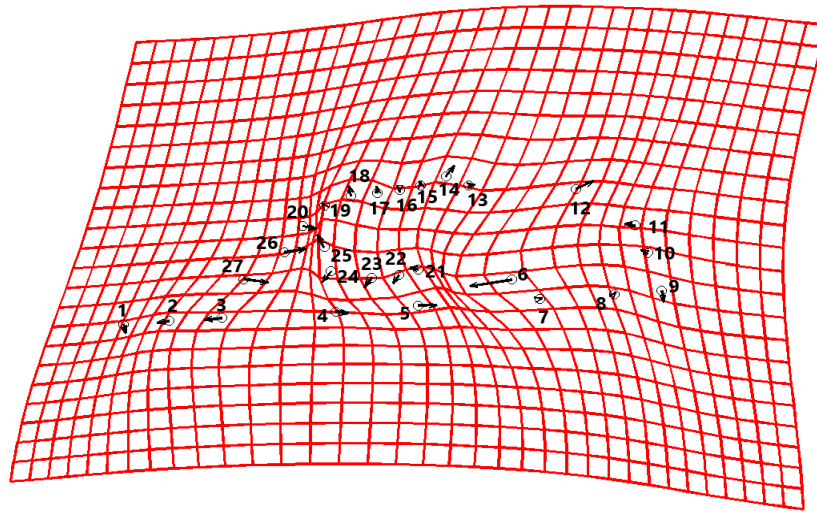
Figura 14. A) Gráfica del Análisis de Variables Canónicas de la vista lateral del cráneo de *P. beatae*, *P. kilpatricki*, *P. levipes*, *P. sp.* (Mich) y *P. sp.* (Jal). B) Gradillas de deformación con 1 grado de exageración que muestra los cambios en la forma de la vista lateral del cráneo del CV1 y CV2, respectivamente.

8.5.3.- Vista ventral del cráneo en Hembras

Los resultados del CVA, considerando a cinco grupos indicaron tres variables canónicas distintas, CV1: $\lambda = 0.0002$, $P = 6.34179e-10$; CV2: $\lambda = 0.0037$, $P = 2.52914e-05$; CV3: $\lambda = 0.0339$, $P = 0.00382827$. La gráfica nos permite distinguir y separar a cada grupo de acuerdo con las dos primeras variables canónicas (Fig. 15a). En el eje del CV1 se observa que los ejemplares de *P. kilpatricki* y *P. levipes* se agrupan hacia la parte izquierda (área de los valores negativos) de la gráfica. Respecto al eje del CV2, los ejemplares de *P. sp.* (Jal) se ubican hacia la parte superior (valores positivos), los de *P. sp.* (Mich) se encuentran ligeramente dispersos hacia el centro,

mientras que individuos de *P. beatae* se ubican hacia la parte inferior (zona de los valores negativos). Mientras que los individuos pertenecientes a *P. beatae* y poblaciones de *P. sp.* de Jalisco se alejan de los demás a lo largo del primer y segundo eje respectivamente. Con relación a las gradillas de deformación del CV1 (Fig. 15b), la mayor cantidad de cambio se observa en el margen posterior del palatino y el huesecillo de la fosa mesopterigoidea, las cuales se dirigen hacia la parte interna de la estructura, ocasionando una reducción en el palatino. De igual manera se aprecia una reducción en la parte anterior del arco cigomático específicamente en el borde interior y exterior del arco cigomático. Las deformaciones que ocurren a menor grado se ven reflejados en la región anterior del cráneo, en el extremo anterior del nasal, la base de los incisivos y el extremo anterior del foramen incisivo. También hay cambios menores ocurriendo a lo largo de la hilera molar, el arco cigomático y la región posterior del cráneo. Respecto a la gradilla de deformación del CV2 (Fig. 15b), se aprecia una deformación mayor entre el exterior del arco cigomático y la intersección entre el premaxilar y el maxilar, dado que se desplazan hacia la parte interna de la estructura, dando lugar a una reducción en esa área. Al igual que vistas anteriores, se observa una deformación en la región posterior del cráneo a partir del basiesfenoides dirigiéndose hacia la parte externa junto con el extremo anterior del *foramen magnum* y la bula auditiva, alargando esa zona. Mientras que, similar a la variable canónica anterior, se visualizan cambios en menor grado en el extremo anterior del nasal, la base de los incisivos y el extremo anterior del foramen incisivo.





B)

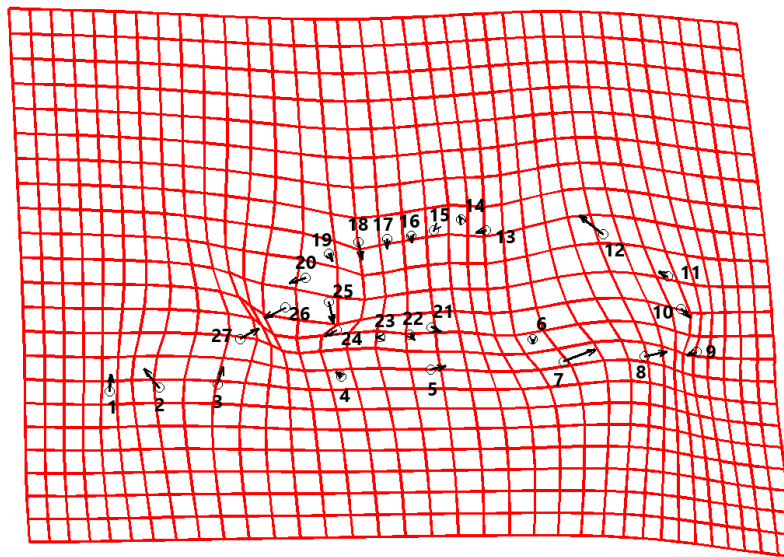
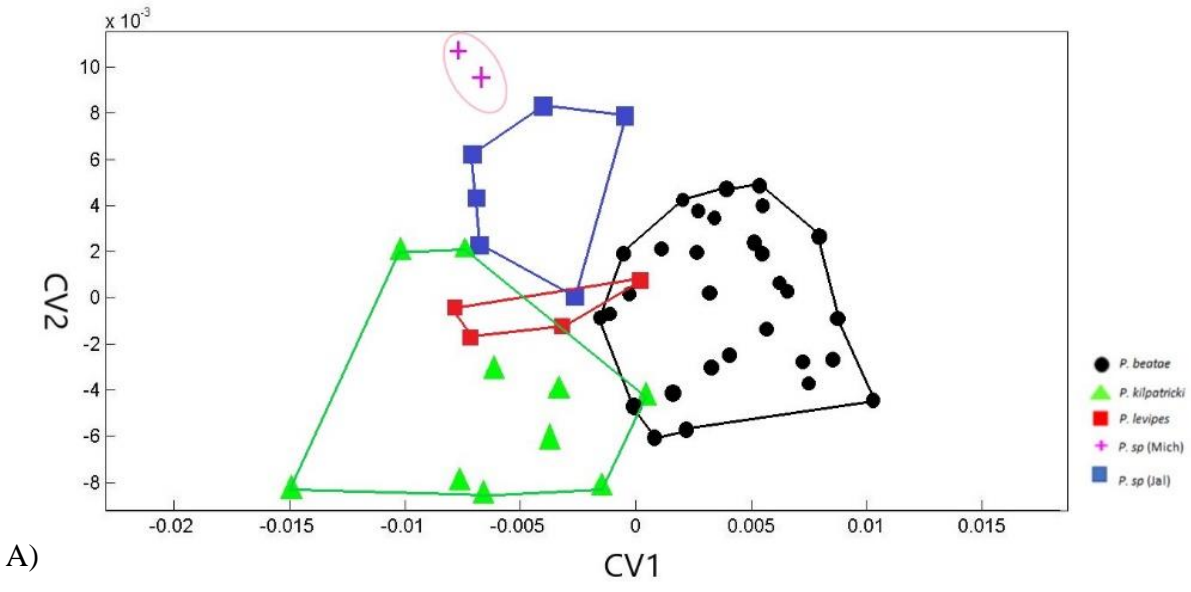


Figura 15. A) Gráfica del Análisis de Variables Canónicas de la vista ventral del cráneo en hembras de *P. beatae*, *P. kilpatricki*, *P. levipes*, *P. sp.* (Mich) y *P. sp.* (Jal). B) Gradillas de deformación con 1 grado de exageración que muestra los cambios en la forma de la vista ventral del cráneo del CV1 y CV2, respectivamente.

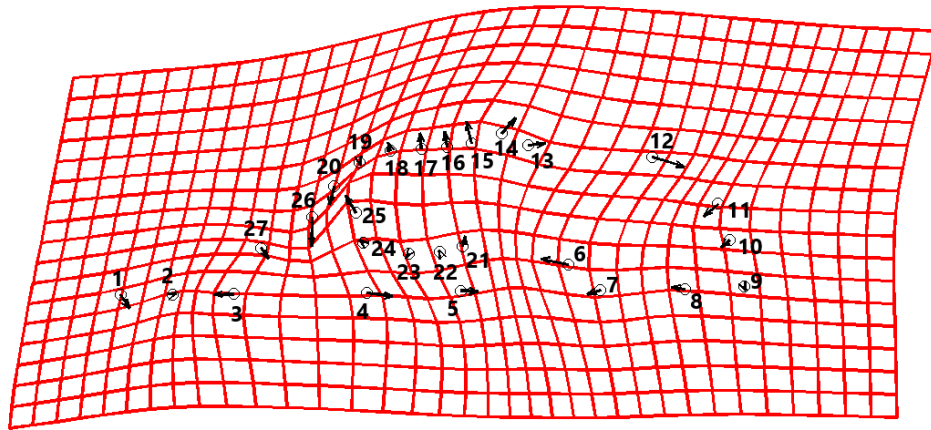
8.5.4.- Vista ventral del cráneo en Machos

Para realizar el CVA en esta vista se realizó de manera previa una reducción de variables con base en los componentes principales debido al bajo número de ejemplares presentes. Los resultados del análisis considerando a cinco grupos indicaron cuatro variables canónicas distintas, CV1: $\lambda = 0.0809$, $P = 6.25075e-16$; CV2: $\lambda = 0.2532$, $P = 3.29935e-09$; CV3: $\lambda = 0.5265$, $P =$

3.68312e-05; CV4: $\lambda = 0.7698$, $P = 0.002139$. La gráfica revela la separación y agrupación de algunos grupos de acuerdo con las primeras dos variables canónicas (Fig. 16a). A lo largo del CV1 se observa que los ejemplares de *P. beatae* se agrupan hacia la parte derecha (zona de los valores positivos) de la gráfica, con individuos de *P. levipes* ubicándose en la parte izquierda (área de los valores negativos). Mientras que, en el eje del CV2, los pocos ejemplares de *P. sp.* (Mich) y *P. sp.* (Jal) se localizan hacia la parte superior (valores positivos), con los ejemplares de *P. kilpatricki* agrupándose hacia la parte inferior (zona de los valores negativos). Con relación a la gradilla de deformación del CV1 (Fig. 16b), se aprecia la mayor variación en los extremos anterior y posterior del foramen incisivo, cuyas direcciones van hacia el lado contrario, indicando un alargamiento de esta estructura. De igual manera, se observa una ligera deformación alrededor de la parte anterior del arco cigomático, principalmente en sus bordes interior y exterior. Siguiendo esta región, a lo largo del arco cigomático se aprecian cambios menores desplazándose hacia la parte externa de la estructura. En la región posterior hay cambios principales en la bula auditiva hacia el saliente del basioccipital y en el huesecillo de la fosa mesopterigoidea. Respecto a las gradillas de deformación del CV2 (Fig. 16b), en la región anterior los mayores cambios se observan en la base de los incisivos y el extremo anterior del foramen incisivo. Al igual que la variable canónica anterior, se observa una deformación mayor en los bordes interior y exterior del arco cigomático, así como en la región posterior del cigomático y el borde interior del escamoso. En la región posterior del cráneo, los principales cambios se presentan en el saliente del occipital, el extremo anterior del *foramen magnum* y en el huesecillo de la fosa mesopterigoidea. Los cambios menores se observan a lo largo del arco cigomático, así como en la hilera molar.



A)



B)

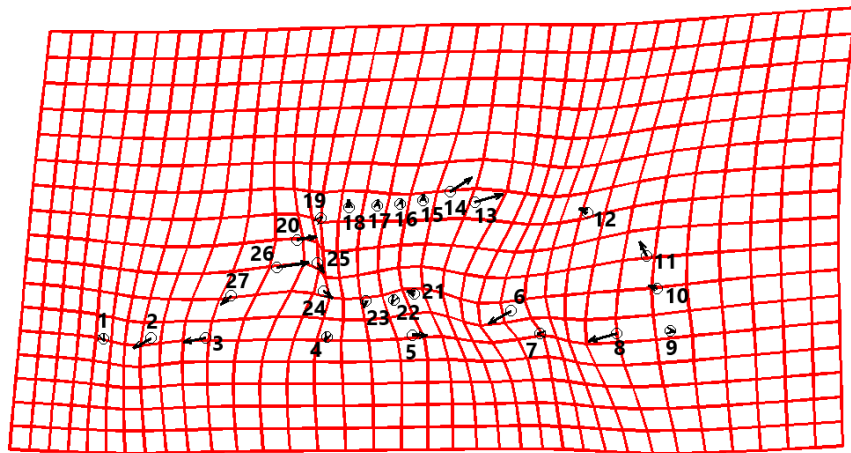
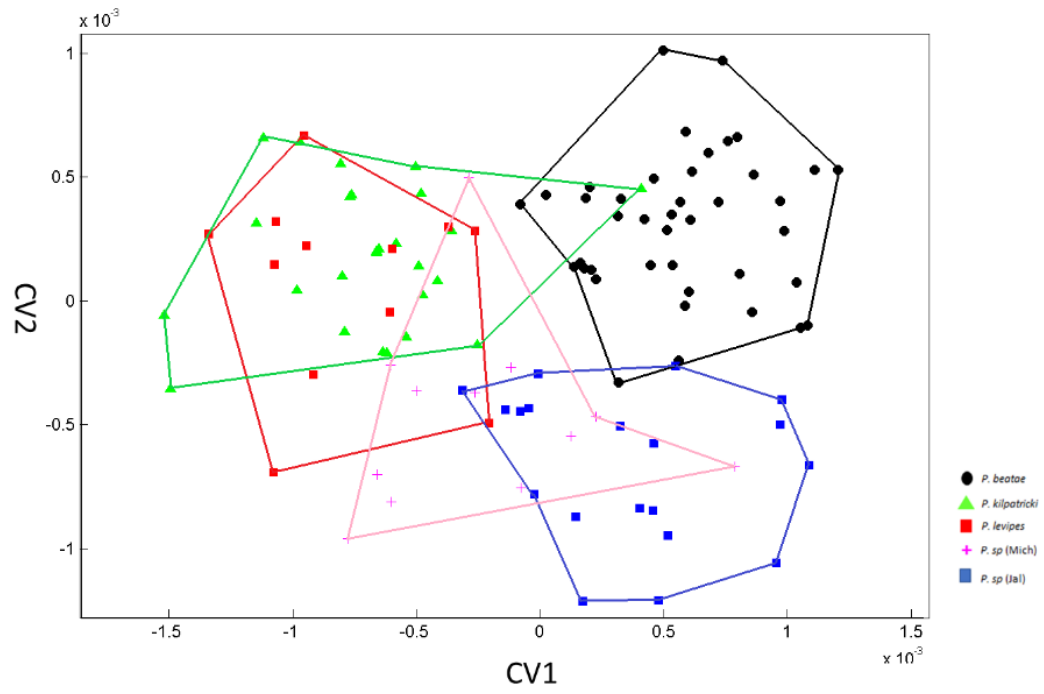


Figura 16. A) Gráfica del Análisis de Variables Canónicas de la vista ventral del cráneo en machos de *P. beatae*, *P. kilpatricki*, *P. levipes*, *P. sp.* (Mich) y *P. sp.* (Jal). B) Gradillas de deformación con 1

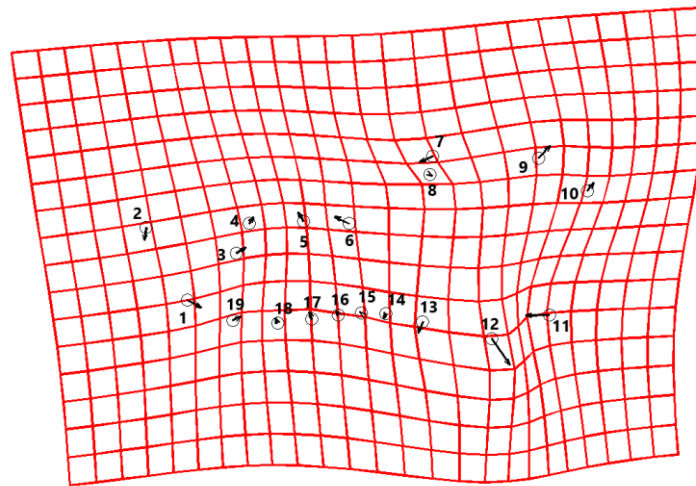
grado de exageración que muestra los cambios en la forma de la vista ventral del cráneo del CV1 y CV2, respectivamente.

8.5.5.- Vista lateral de la mandíbula

Los resultados del CVA, considerando a cinco grupos indicaron tres variables canónicas distintas, CV1: $\lambda= 0.0402$, $P= 6.76669e-13$; CV2: $\lambda= 0.1398$, $P= 2.992e-06$; CV3: $\lambda= 0.3565$, $P= 0.0118185$. La gráfica nos permite observar la distinción de los grupos mediante las primeras dos variables canónicas (Fig. 17a). En el eje del CV1 se observa que los ejemplares de *P. kilpatricki* se agrupan hacia la parte izquierda (área de los valores negativos) de la gráfica, al igual que individuos de *P. levipes*, aunque no presentan un agrupamiento definido. En el eje del CV2, los ejemplares de *P. beatae* se ubican hacia la parte superior (valores positivos), mientras que, los individuos de *P. sp.* (Jal) y *P. sp.* (Mich) se aprecian en la parte inferior (zona de los valores negativos) de la gráfica con una ligera dispersión. Con relación a las gradillas de deformación del CV1 (Fig. 17b), la mayor cantidad de cambio se observa en la región posterior de la mandíbula, donde se observa una deformación a partir del proceso coronoide hacia los márgenes anterior y posterior del cóndilo mandibular hasta el extremo caudal del proceso angular y el inicio de la región que define la parte ventral de la mandíbula. Los cambios que ocurren a menor grado se ven reflejados a lo largo de la hilera molar, específicamente sobre la base de los molares y el diastema y el borde anterior del primero, segundo y tercer molar. Así como en los márgenes ventral y dorsal de la apertura del alveolo de los incisivos. Respecto a la gradilla de deformación del CV2 (Fig. 17b), se aprecia una deformación mayor entre los márgenes anterior y posterior del cóndilo mandibular, dado que se desplazan hacia la parte interna de la estructura, dando lugar a una reducción en esa área. Se observa una deformación en el extremo caudal del proceso angular y el inicio de la región ventral de la mandíbula, cuyos cambios de dirección van hacia la parte interna de la estructura. Mientras que, se visualizan cambios en menor grado sobre la base de los molares y el diastema y el borde anterior del primer molar, así como en los márgenes ventral y dorsal de la apertura del alveolo de los incisivos.



A)



B)

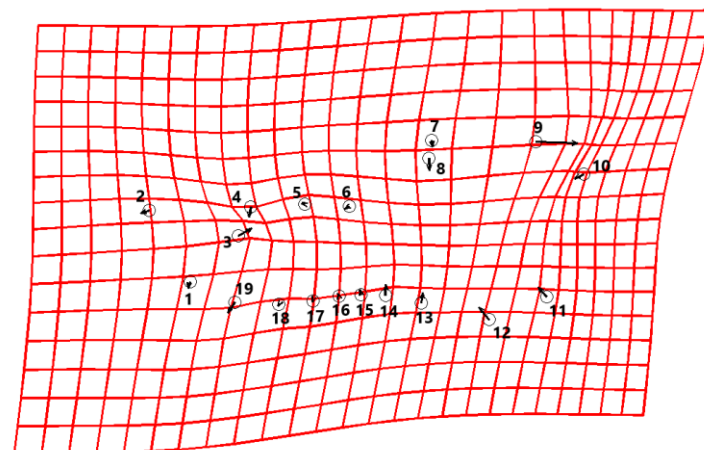


Figura 17. A) Gráfica del Análisis de Variables Canónicas de la vista lateral de la mandíbula de *P. beatae*, *P. kilpatricki*, *P. levipes*, *P. sp.* (Mich) y *P. sp.* (Jal). B) Gradillas de deformación con 1 grado de exageración que muestra los cambios en la forma de la vista lateral de la mandíbula del CV1 y CV2, respectivamente.

8.6.- Distancias de Mahalanobis

De acuerdo con las distancias de Mahalanobis, para la vista dorsal (Tabla 8) los grupos presentaron una distancia que oscilaba desde el 2.32342 entre el grupo de *P. beatae* y *P. sp.* de Michoacán hasta 4.675054, entre *P. kilpatricki* y *P. levipes*. Para la vista lateral (Tabla 9) se presentó una distancia mayor entre *P. beatae* y *P. sp.* (Mich) con un valor de 4.616545, y una distancia menor presente entre *P. levipes* y *P. sp.* (Jal) con un valor de 0.361106. Para la vista ventral, solo se pudo aplicar las distancias Mahalanobis en el caso de las hembras, dado que para los machos se realizó previamente una reducción de PCA. En cuanto a la vista ventral en hembras (Tabla 10), se reportaron distancias mayores a partir de 10.96989 entre *P. beatae* y *P. kilpatricki*, hasta llegar a una distancia menor de 6.814173 entre *P. kilpatricki* y *P. sp.* (Mich). Finalmente, para la vista lateral de la mandíbula (Tabla 11), encontramos una distancia mayor entre *P. levipes* y *P. sp.* (Jal) con un valor de 4.464343, mientras que se reporta una distancia menor entre los grupos pertenecientes a *P. sp.* (Mich) *P. sp.* (Jal) con un valor de 1.971354.

Tabla 8. Distancias de Mahalanobis entre los cinco grupos para la vista dorsal del cráneo.

Vista Dorsal				
	<i>P. beatae</i>	<i>P. kilpatricki</i>	<i>P. levipes</i>	<i>P. sp.</i> (Mich)
<i>P. kilpatricki</i>	3.797691			
<i>P. levipes</i>	3.520462	4.675054		
<i>P. sp.</i> (Mich)	2.32342	2.938242	3.952142	
<i>P. sp.</i> (Jal)	2.771377	3.331975	2.905005	3.940516

Tabla 9. Distancias de Mahalanobis entre los cinco grupos para la vista lateral del cráneo.

Vista Lateral				
	<i>P. beatae</i>	<i>P. kilpatricki</i>	<i>P. levipes</i>	<i>P. sp.</i> (Mich)
<i>P. kilpatricki</i>	3.248183			
<i>P. levipes</i>	2.259098	2.912615		
<i>P. sp.</i> (Mich)	4.616545	3.824387	4.209666	
<i>P. sp.</i> (Jal)	2.559057	3.002558	0.361106	4.058083

Tabla 10. Distancias de Mahalanobis entre los cinco grupos para la vista ventral del cráneo en hembras.

Vista Ventral (Hembras)				
	<i>P. beatae</i>	<i>P. kilpatricki</i>	<i>P. levipes</i>	<i>P. sp. (Mich)</i>
<i>P. kilpatricki</i>	10.96989			
<i>P. levipes</i>	8.951689	7.645413		
<i>P. sp. (Mich)</i>	7.008914	6.814173	9.867362	
<i>P. sp. (Jal)</i>	7.499741	10.65074	8.935166	6.931721

Tabla 11. Distancias de Mahalanobis entre los cinco grupos para la vista lateral de la mandíbula.

Vista Lateral Mandíbula				
	<i>P. beatae</i>	<i>P. kilpatricki</i>	<i>P. levipes</i>	<i>P. sp. (Mich)</i>
<i>P. kilpatricki</i>	3.598663			
<i>P. levipes</i>	4.069259	2.879928		
<i>P. sp. (Mich)</i>	3.328566	2.931260	2.599545	
<i>P. sp. (Jal)</i>	3.210581	3.962129	4.464343	1.971354

8.7.- Análisis de comparaciones pareadas

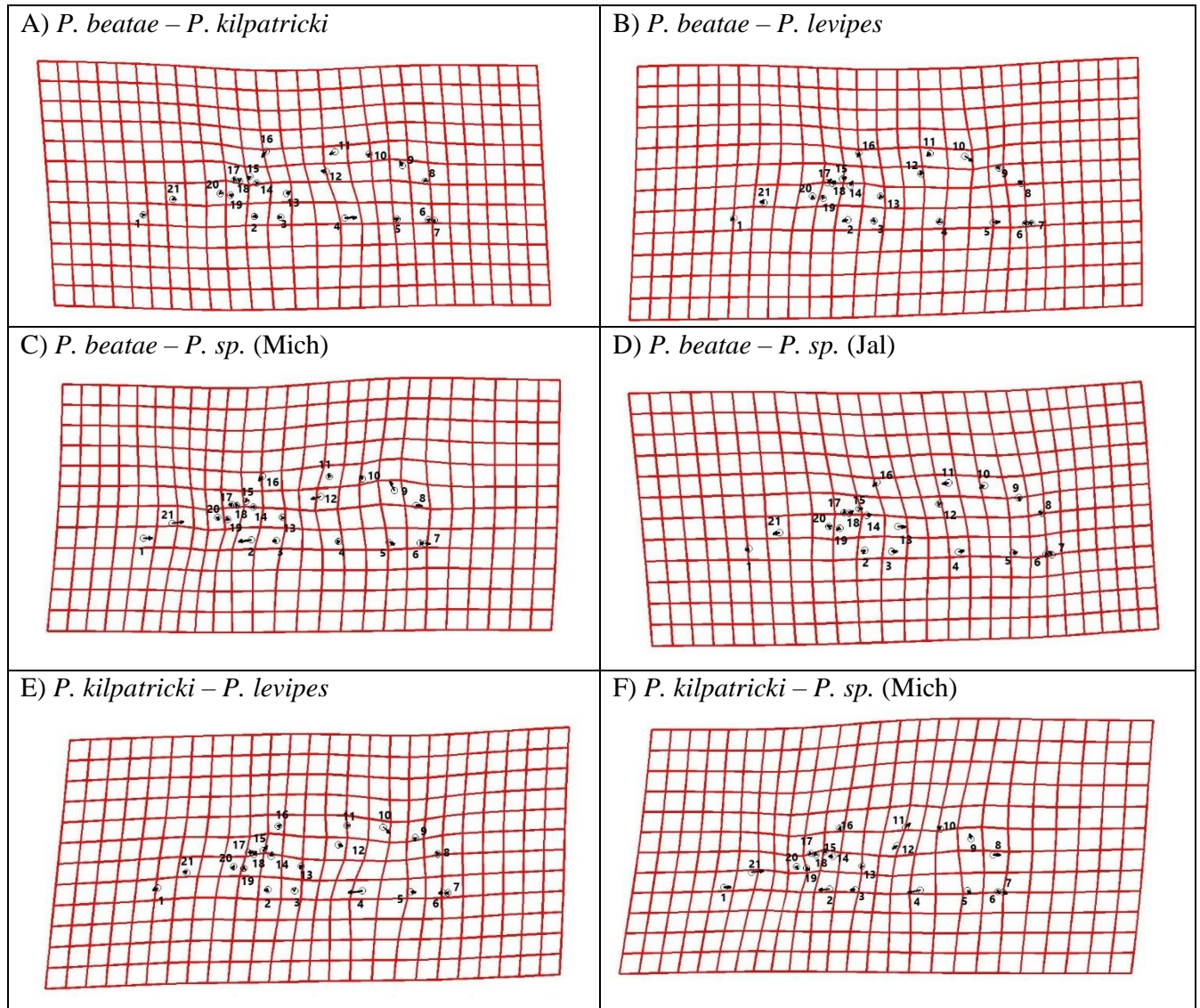
8.7.1.- Vista dorsal del cráneo

Para esta vista, los valores presentados por la prueba F de Goodall nos revelan que la mayoría de los grupos presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí ($p < 0.05$; Tabla 12). La tabla nos muestra la comparación entre *P. beatae* y *P. kilpatricki* con un valor mínimo de 5.218×10^{-14} , mientras que se observan valores máximos entre *P. kilpatricki* y *P. sp. (Mich)* de 0.0010003. En las gradillas de deformación (Fig. 18) se logra observar cuales son aquellas estructuras que nos permiten diferenciar más específicamente entre los grupos. De las más notorias se encuentra el extremo anterior y posterior del nasal, la unión entre los frontales y los parietales, unión del escamoso y parietales, punto de unión de la placa cigomática y el arco cigomático y la unión entre el nasal y el premaxilar. Asimismo, para apreciar de forma más evidente las diferencias entre cada par de grupos se graficaron las diferencias en la forma promedio de la vista evaluada usando las distancias *Procrustes* promedio (Fig. 19).

Tabla 12. Valores de significancia ($p < 0.05$) de las comparaciones pareadas entre los cinco grupos para la vista dorsal del cráneo. Valores estadísticamente significativos en negritas.

Vista Dorsal

	<i>P. beatae</i>	<i>P. kilpatricki</i>	<i>P. levipes</i>	<i>P. sp. (Mich)</i>
<i>P. kilpatricki</i>	5.218e-14			
<i>P. levipes</i>	6.5648e-09	4.0739e-09		
<i>P. sp. (Mich)</i>	2.5313e-06	0.0010003	1.4595e-06	
<i>P. sp. (Jal)</i>	5.6621e-15	5.875e-08	8.6928e-05	3.771e-12



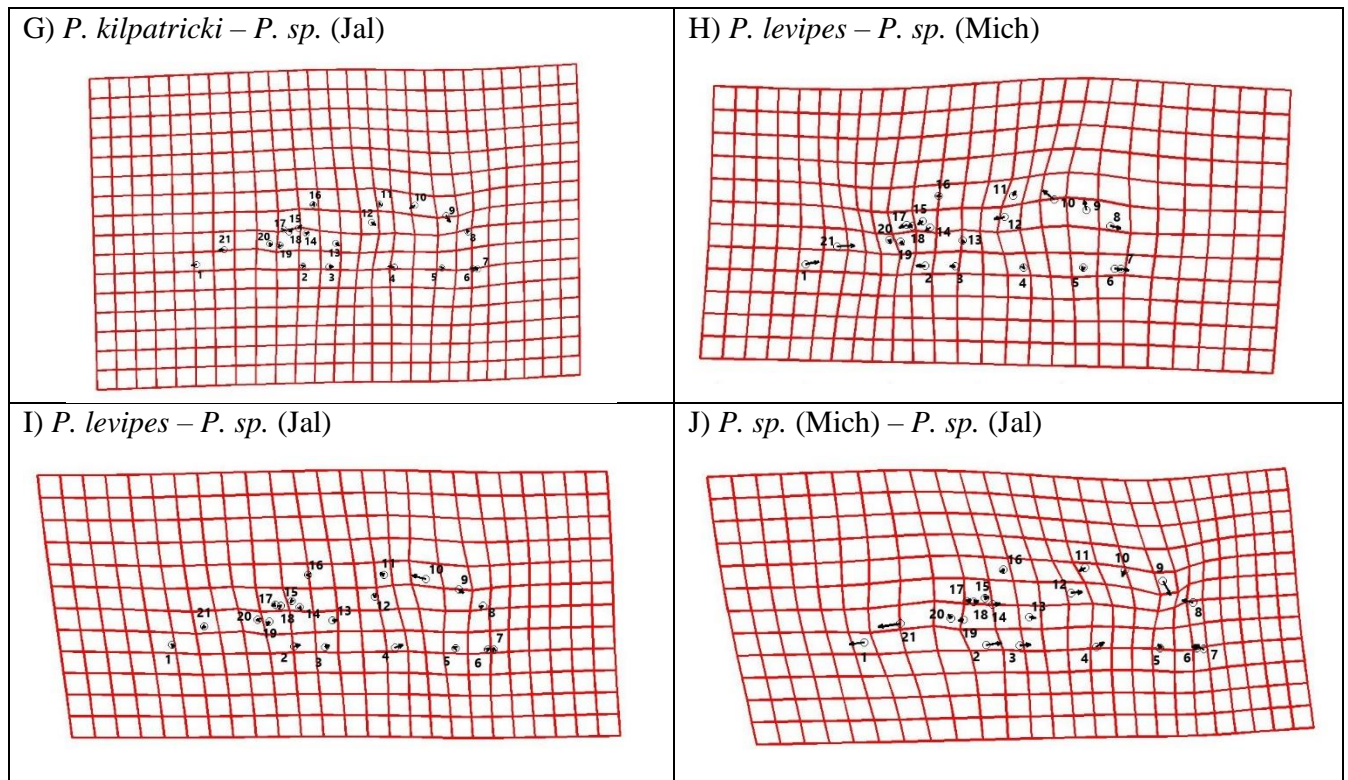
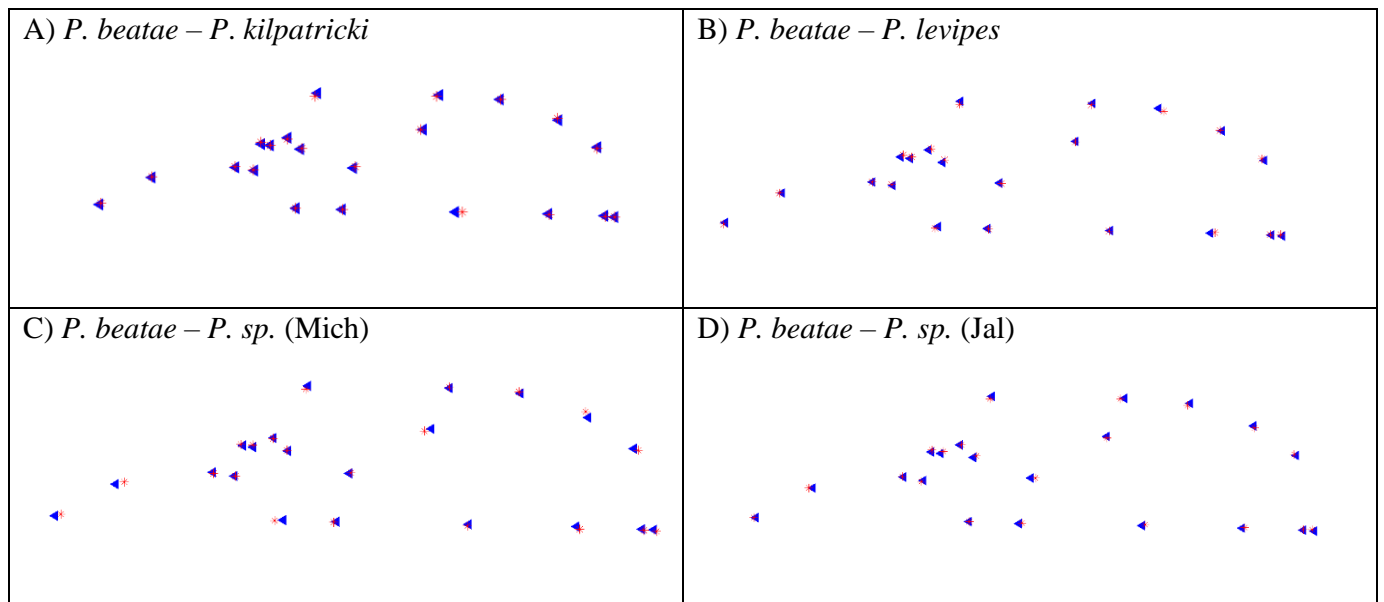


Figura 18. Gradillas de deformación de las comparaciones pareadas entre los cinco grupos para la vista dorsal del cráneo con 3 grados de exageración.



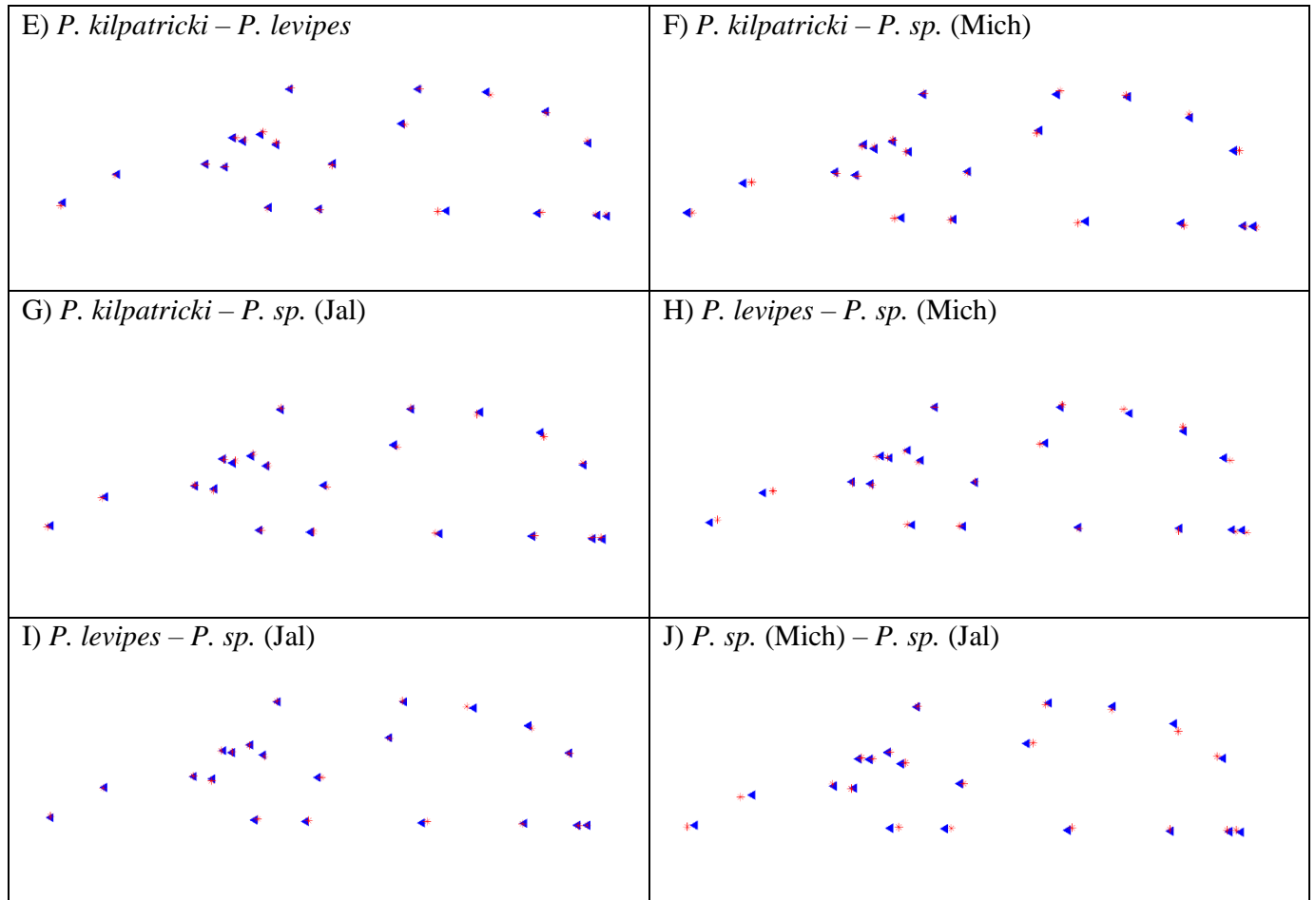


Figura 19. Representación gráfica de las diferencias en la forma promedio de la vista dorsal usando distancias *Procrustes* entre pares de grupos. En todos los casos, el triángulo azul corresponde al primer grupo y el asterisco rojo al segundo grupo, respectivamente, de cada comparación indicada.

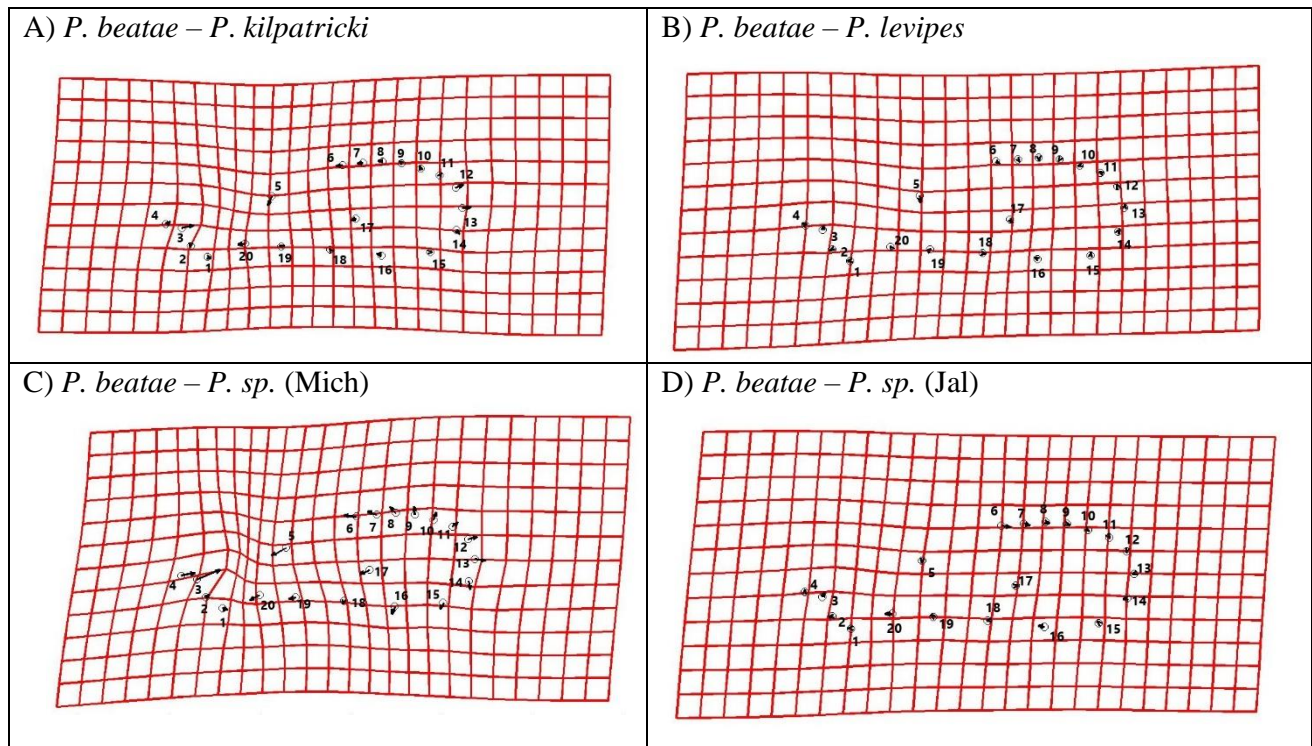
8.7.2.- Vista lateral del cráneo

La prueba F de Goodall para esta vista, nos revelan que la mayoría de los grupos presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí ($p < 0.05$; Tabla 13), aunque en la mayoría de las comparaciones, se obtuvo un valor de cero. La tabla refleja la comparación entre *P. beatae* y *P. kilpatricki* con un valor mínimo de $2.3532e-08$, mientras que se observan valores máximos entre *P. levipes* y *P. sp.* (Jal) de 0.0044811 . Las gradillas de deformación (Fig. 20) permiten observar que los mayores cambios entre los grupos ocurren en la sutura entre el nasal y premaxilar (3), extremo anterior de los nasales, anterior de la órbita, la región que define la parte posterior del cráneo o la caja craneal, el límite inferior entre la bula auditiva y aliesfenoides y el anterior de la

fosa glenoidea en la barra cigomática. Las diferencias en la forma promedio de la vista evaluada usando las distancias *Procrustes* se muestran en la Fig. 21.

Tabla 13. Valores de significancia ($p < 0.05$) de las comparaciones pareadas entre los cinco grupos para la vista lateral del cráneo. Valores estadísticamente significativos en negritas.

Vista Lateral				
	<i>P. beatae</i>	<i>P. kilpatricki</i>	<i>P. levipes</i>	<i>P. sp. (Mich)</i>
<i>P. kilpatricki</i>		0		
<i>P. levipes</i>	0.00032867		0	
<i>P. sp. (Mich)</i>		0	0	0
<i>P. sp. (Jal)</i>	2.3532e-08	0	0.0044811	0



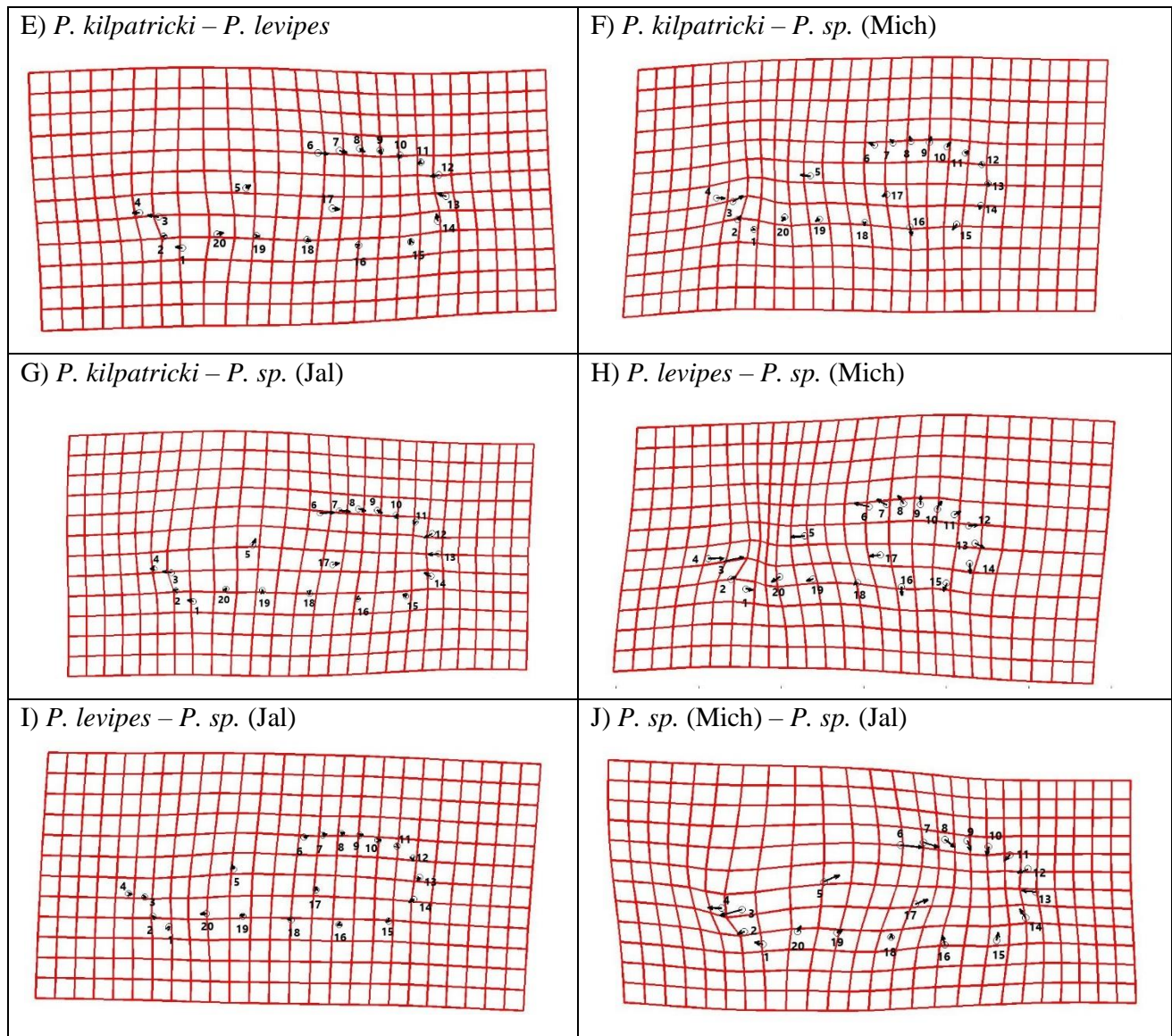
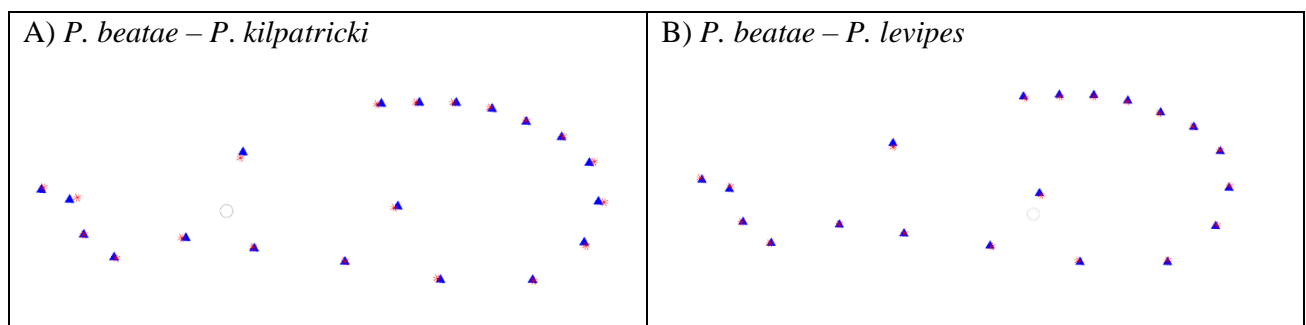


Figura 20. Gradillas de deformación de las comparaciones pareadas entre los cinco grupos para la vista lateral del cráneo con 3 grados de exageración.



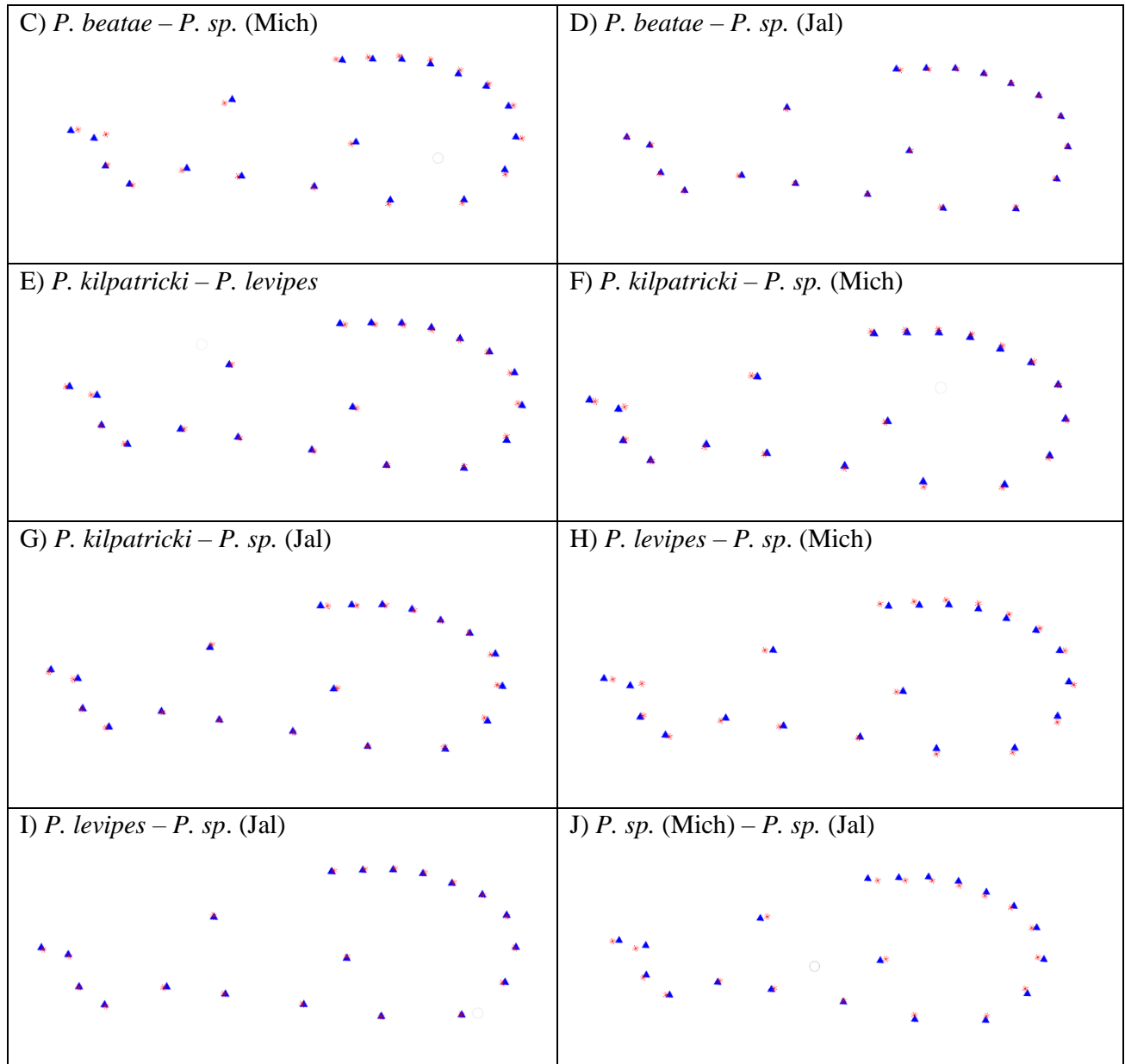


Figura 21. Representación gráfica de las diferencias en la forma promedio de la vista lateral usando distancias *Procrustes* entre pares de grupos. En todos los casos, el triángulo azul corresponde al primer grupo y el asterisco rojo al segundo grupo, respectivamente, de cada comparación indicada.

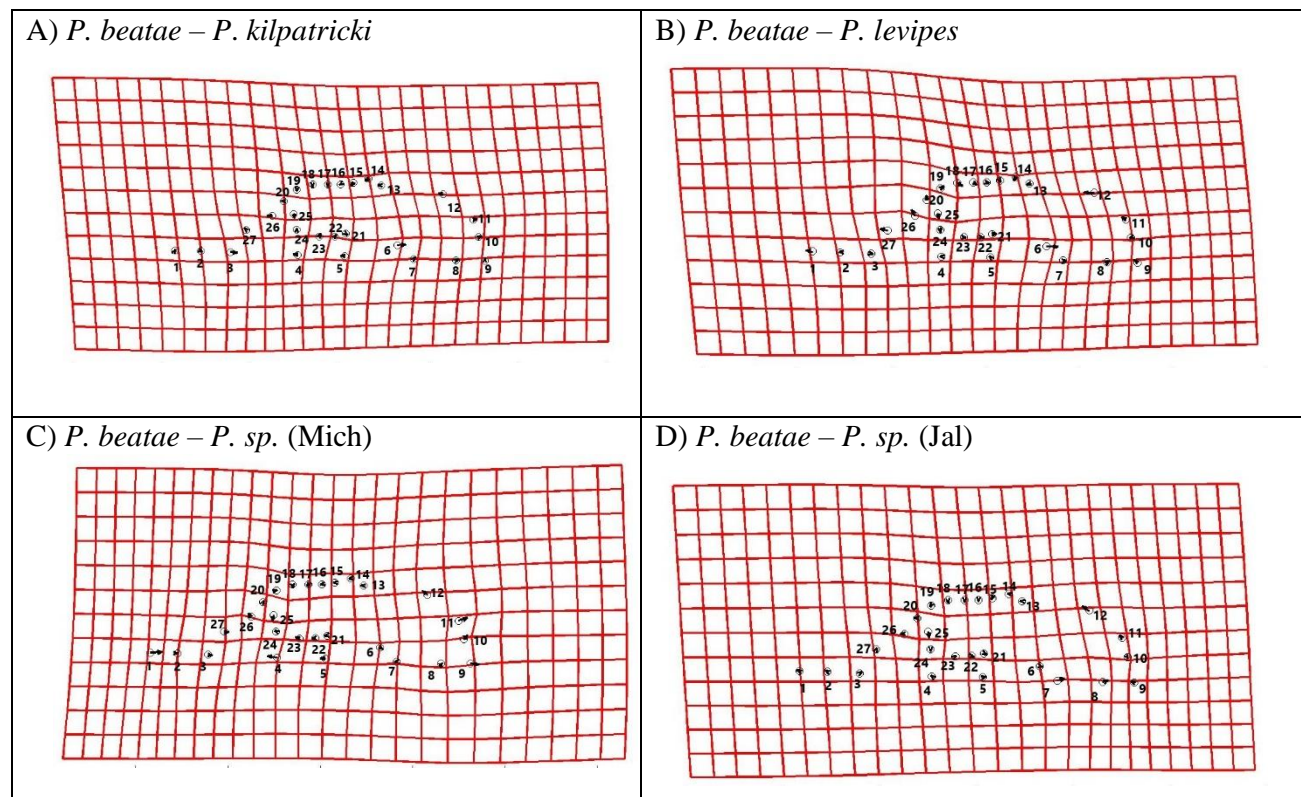
8.7.3.- Vista ventral del cráneo

Los valores arrojados por la prueba F de Goodall nos indican que, al igual que las vistas anteriores la mayoría de los grupos presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí

($p < 0.05$; Tabla 14), aunque al igual que para la vista anterior, se obtuvieron valores de cero en algunas comparaciones. La tabla nos muestra la comparación entre *P. kilpatricki* y *P. levipes* con un valor mínimo de $6.4393e-15$. Las gradillas de deformación (Fig. 22), nos señalan los cambios principales en el extremo anterior del nasal, huesecillo de la fosa mesopterigoidea, extremo posterior del *foramen magnum*, saliente del basioccipital y la intersección entre el premaxilar y el maxilar. Las diferencias en la forma promedio de la vista evaluada usando las distancias *Procrustes* se muestran en la Fig. 23.

Tabla 14. Valores de significancia ($p < 0.05$) de las comparaciones pareadas entre los cinco grupos para la vista ventral del cráneo: A) *P. beatae*, B) *P. kilpatricki*, C) *P. levipes*, D) *P. sp.* (Mich), E) *P. sp.* (Jal). Valores estadísticamente significativos en negritas.

Vista Ventral				
	<i>P. beatae</i>	<i>P. kilpatricki</i>	<i>P. levipes</i>	<i>P. sp.</i> (Mich)
<i>P. kilpatricki</i>		0		
<i>P. levipes</i>		0	6.4393e-15	
<i>P. sp.</i> (Mich)	7.8377e-12	1.4357e-08		0
<i>P. sp.</i> (Jal)	8.1934e-14	8.7486e-11	1.8021e-07	2.5169e-13



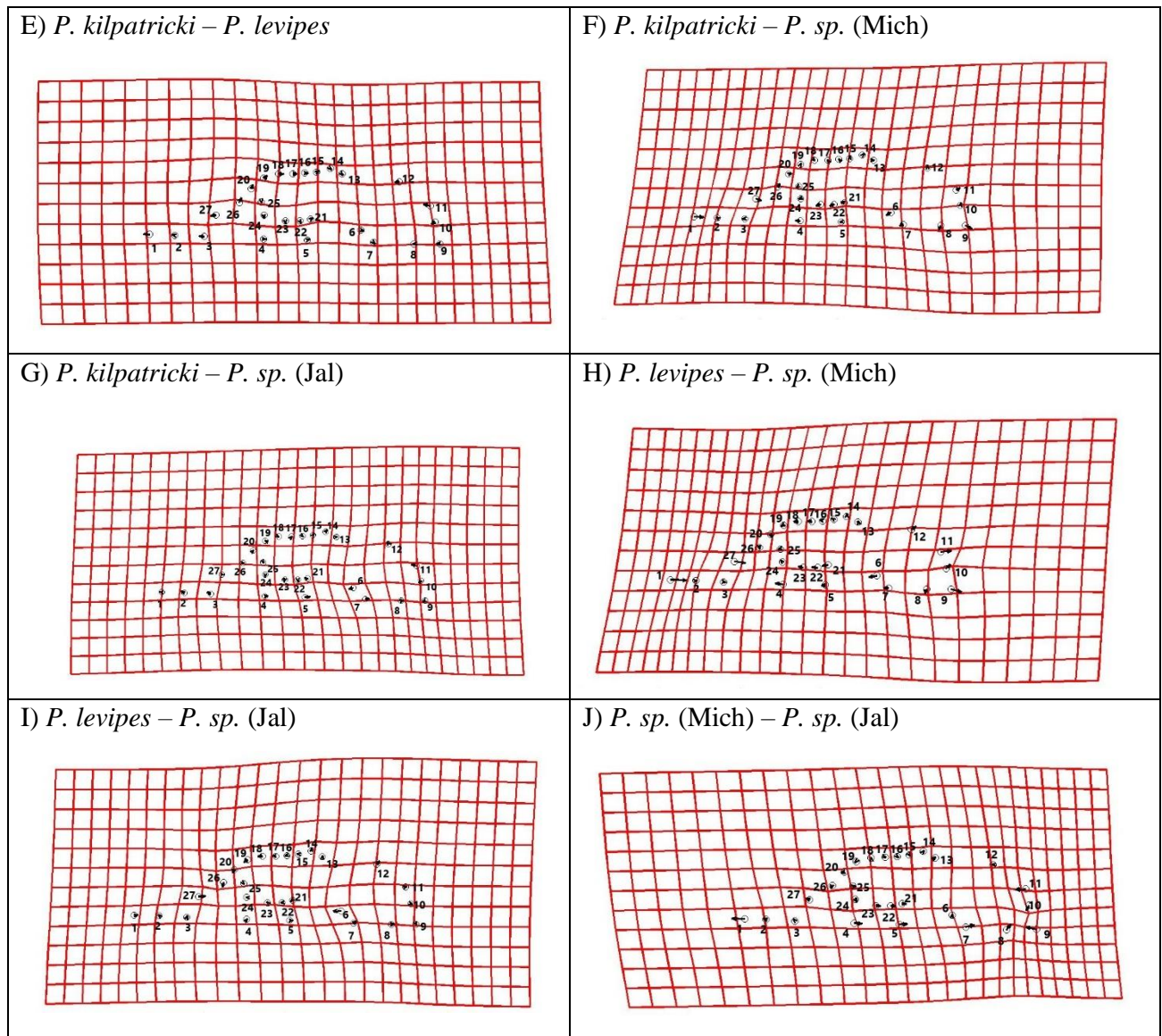
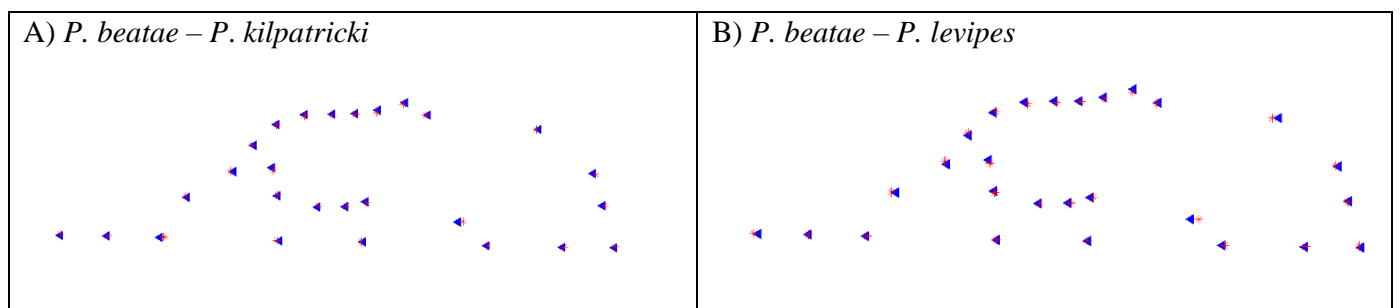


Figura 22. Gradillas de deformación de las comparaciones pareadas entre los cinco grupos para la vista ventral del cráneo con 3 grados de exageración.



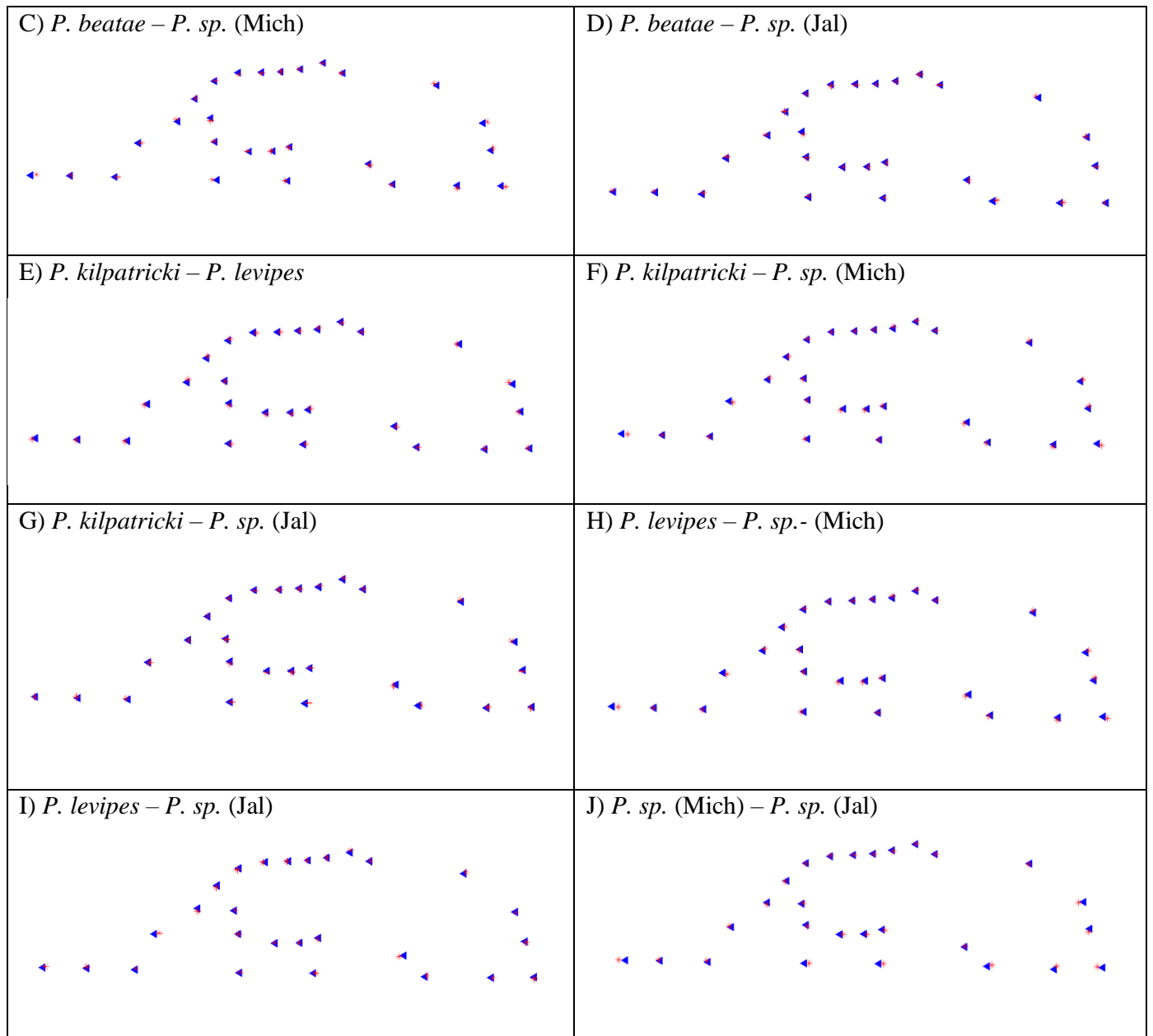


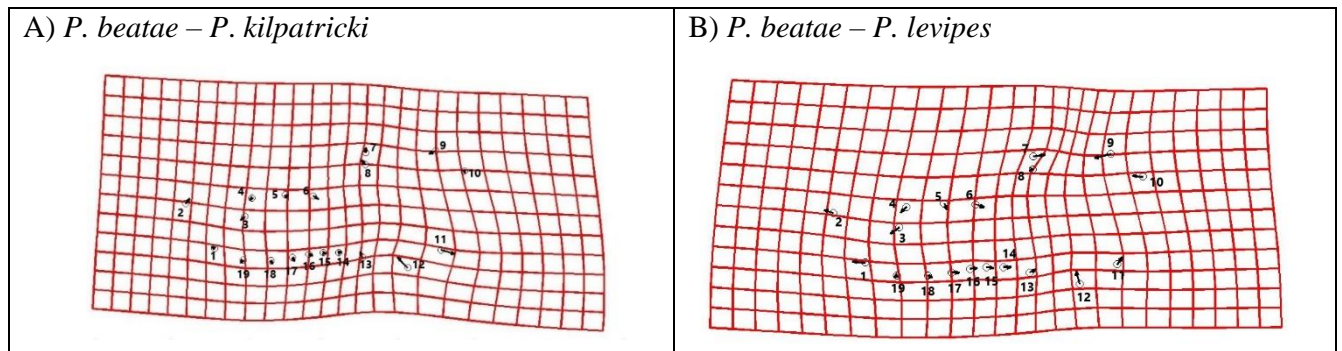
Figura 23. Representación gráfica de las diferencias en la forma promedio de la vista ventral usando distancias *Procrustes* entre pares de grupos. En todos los casos, el triángulo azul corresponde al primer grupo y el asterisco rojo al segundo grupo, respectivamente, de cada comparación indicada.

8.7.4.- Vista lateral de la mandíbula

Por último, la prueba F de Goodall nos indica que la mayoría de los grupos presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí ($p < 0.05$; Tabla 15). La tabla nos refleja la comparación entre *P. beatae* y *P. levipes* con un valor mínimo de $6.6613e-16$, también se observan valores máximos entre *P. sp.* (Mich) y *P. sp.* (Jal) de 0.01589. En las gradillas de deformación (Fig. 24), la variación principal se encuentra el margen dorsal de la apertura del alveolo de los incisivos, el proceso coronoide, el punto de máxima curvatura interna del proceso coronoide, el margen anterior y posterior del cóndilo mandibular y el extremo caudal del proceso angular. Y en menor medida la zona de la hilera molar y la región que describe la parte ventral de la mandíbula. Las diferencias en la forma promedio de la vista evaluada usando las distancias *Procrustes* se muestran en la Fig. 25.

Tabla 15. Valores de significancia ($p < 0.05$) de las comparaciones pareadas entre los cinco grupos para la vista lateral de la mandíbula. Valores estadísticamente significativos en negritas.

Vista Lateral Mandíbula				
	<i>P. beatae</i>	<i>P. kilpatricki</i>	<i>P. levipes</i>	<i>P. sp.</i> (Mich)
<i>P. kilpatricki</i>		0		
<i>P. levipes</i>	6.6613e-16	3.3526e-11		
<i>P. sp.</i> (Mich)	6.9039e-07	6.5146e-06	0.00366	
<i>P. sp.</i> (Jal)	3.3664e-09	9.6589e-15	0	0.01589



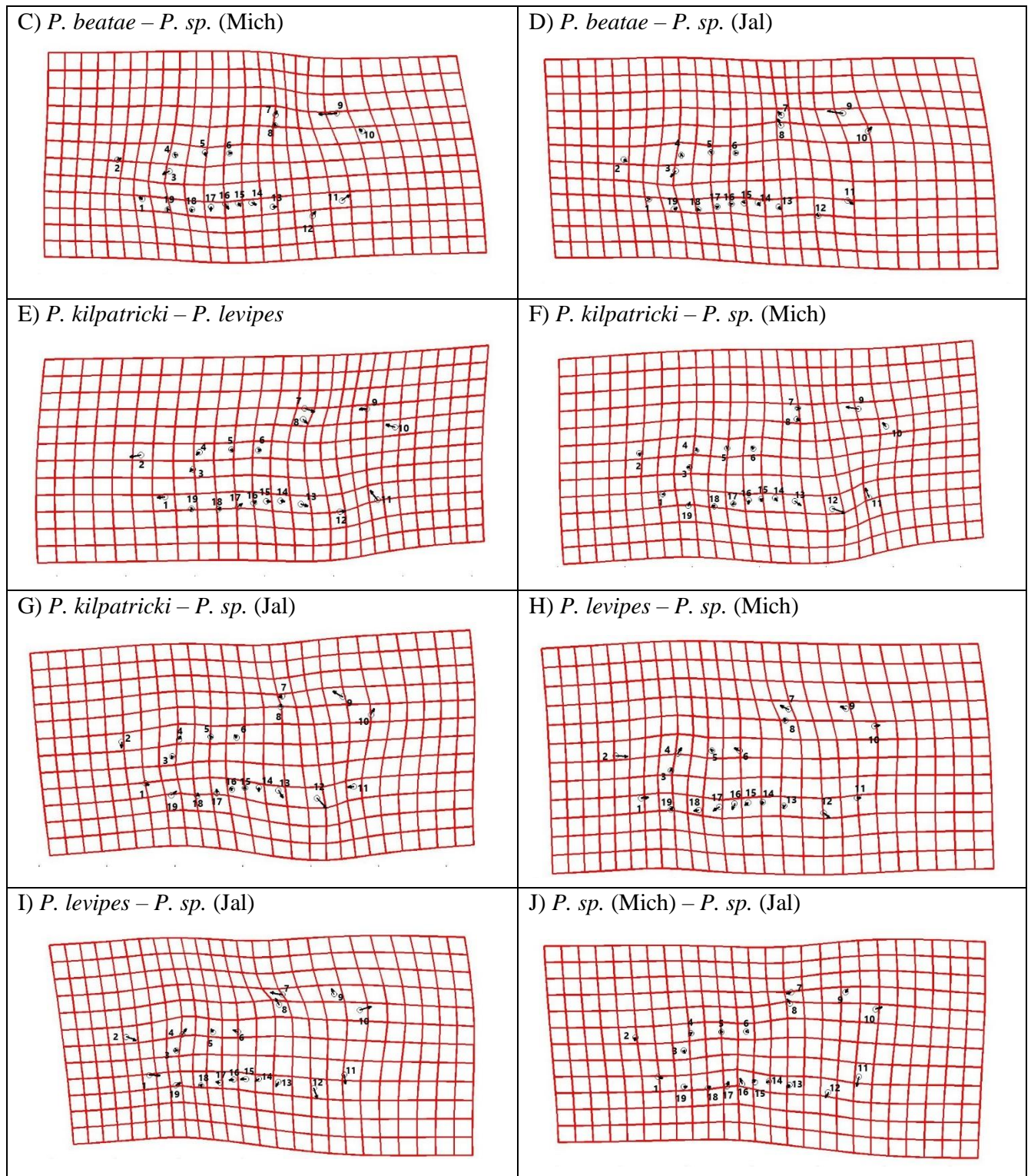


Figura 24. Gradillas de deformación de las comparaciones pareadas entre los cinco grupos para la vista lateral de la mandíbula con 3 grados de exageración.

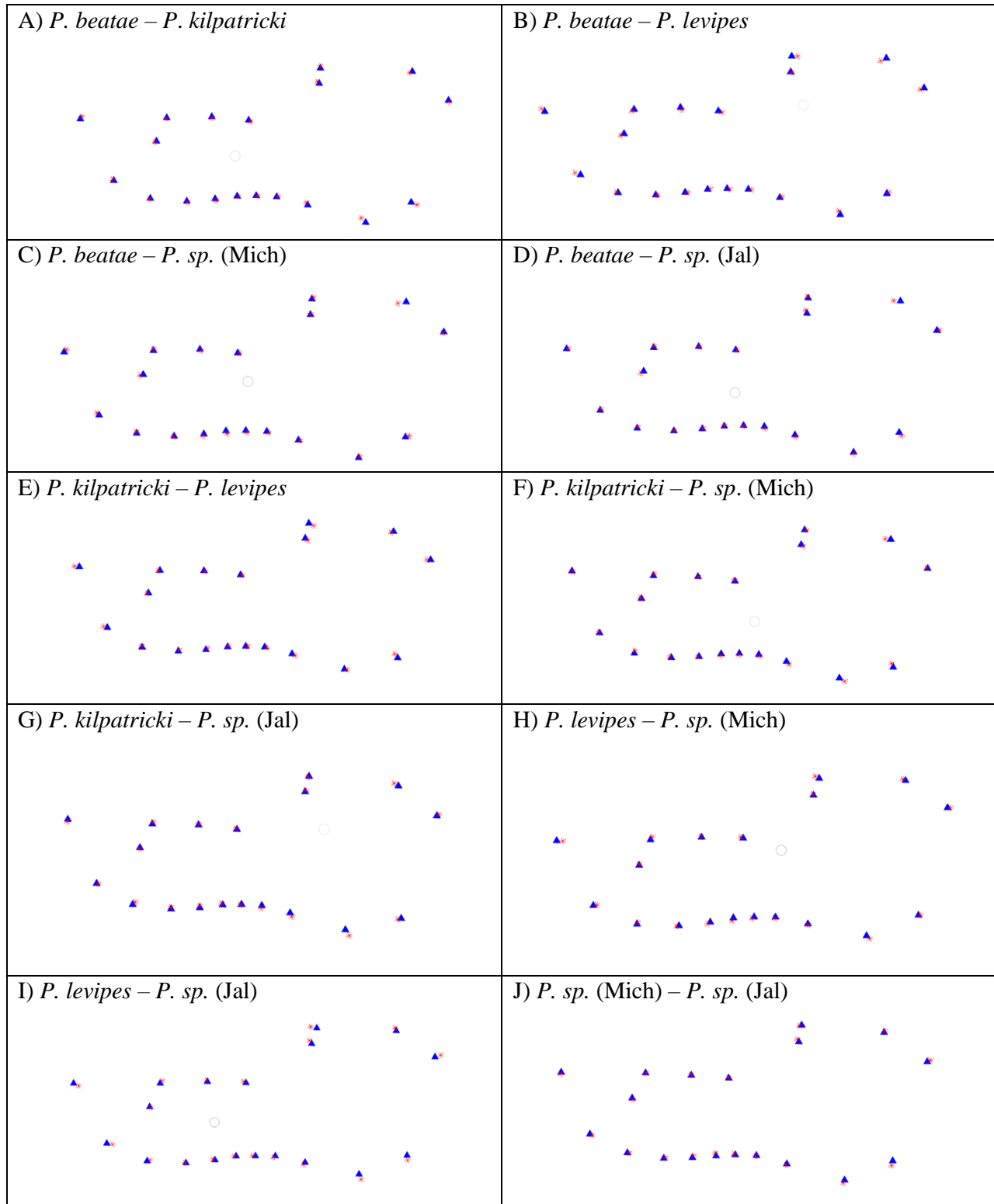


Figura 25. Representación gráfica de las diferencias en la forma promedio de la vista lateral de la mandíbula usando distancias *Procrustes* entre pares de grupos. En todos los casos, el triángulo azul

corresponde al primer grupo y el asterisco rojo al segundo grupo, respectivamente, de cada comparación indicada.

IX.- DISCUSIÓN

Como se ha descrito previamente, el objetivo original de este trabajo era incluir al mayor número de especies del grupo *boylli* para evaluar la variación en la forma del cráneo y mandíbula para contribuir a definir su taxonomía. Aunque se verificó que, si existe material disponible de ejemplares de este grupo en distintos acervos mastozoológicos de nuestro país, dadas las restricciones derivadas de la pandemia ocasionada por el coronavirus SARS-CoV-2, no fue posible revisar ejemplares de instituciones que han mantenido cerradas sus instalaciones. Por lo tanto, en este trabajo sólo se incluye información obtenida del material revisado en la Colección de Mamíferos del CIByC de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (CMC) y la Colección de Mamíferos de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Este material corresponde a tres especies descritas previamente (*P. beatae*, *P. kilpatricki* y *P. levipes*) y dos grupos que parecen representar muestras de especies no descritas dentro del grupo *boylli*; una de ellas reportada en los trabajos de Houseal *et al.* (1987); Tiemann-Boege *et al.* (2000); Bradley *et al.* (2000; 2004; 2007; 2014; 2017) y otra que representa muestras de ejemplares del grupo *boylli*, recolectados recientemente en el estado de Jalisco.

Considerando que es relativamente común que en roedores exista dimorfismo sexual entre machos y hembras (Nava-García, 2016; López-Arriaga, 2019), la tarea inicial fue poner a prueba este aspecto en los grupos evaluados. No obstante, solo se demostró que existen diferencias significativas entre machos y hembras en la vista ventral del cráneo, mientras que para las vistas dorsal y lateral del cráneo y en la mandíbula, no se presenta dimorfismo. En consecuencia, solo para la vista ventral de cráneo se realizaron análisis independientes para machos y hembras. Otro aspecto importante para evaluar fue la existencia de alometría en este grupo de roedores, es decir, qué porcentaje de variación en la forma es explicado por el tamaño. En este sentido, el análisis de regresión nos permitió determinar que, para las vistas dorsal, lateral y ventral en hembras si se encontró una correlación significativa, pero explica un porcentaje mínimo de la variación de la forma. Por lo tanto, en conjunto con la vista ventral en machos y la mandíbula se reportó que el tamaño no influye de manera significativa sobre la forma, como se ha reportado en otros trabajos de roedores (López-Arriaga, 2019).

Inicialmente, el análisis de componentes principales permitió detectar las estructuras, que de forma general contribuyen a la variación morfométrica del grupo de estudio. Para la vista dorsal del cráneo la variación es más significativa en la unión entre los frontales y los parietales, así como la unión entre los parietales y el interparietal, y la unión del escamoso y los parietales. Para la vista lateral, se observan cambios principales en los puntos que definen la región posterior del cráneo (caja craneal), así como en la sutura entre nasal y premaxilar, y el anterior de la órbita. Con relación a la vista ventral, en donde se evaluaron por separado machos y hembra por presentar dimorfismo sexual, en ambos sexos se observó la mayor variación hacia la región posterior del cráneo, en el extremo posterior del *foramen magnum*, borde superior del *foramen magnum*, a lo largo del arco cigomático y el saliente del basioccipital. Finalmente, en la mandíbula, la mayor variación se aprecia en la región posterior entre el borde anterior del tercer molar, el proceso coronoide y el punto de máxima curvatura interna del proceso coronoide.

El análisis de variables canónicas permitió observar que los cinco grupos se separan y se diferencian claramente en la vista ventral, tanto en hembras como en machos, siendo esta vista la más informativa. De igual manera, en las vistas dorsal, lateral y en la mandíbula se aprecia una diferenciación de los grupos *P. beatae* y *P. levipes*, *P. kilpatricki* y *P. levipes*, *P. kilpatricki* y *P. beatae*. Aunque, igualmente presentaron un ligero solapamiento como es el caso de *P. beatae* y *P. sp.* (Mich), así como *P. levipes* y *P. sp.* (Jal). A través de las gradillas de deformación se aprecian los cambios de manera más puntual y se logra distinguir entre qué estructuras se observa la mayor cantidad de variación. Los agrupamientos generados por este análisis para las vistas dorsal, lateral y ventral tanto en hembras y machos indican que *P. kilpatricki* y *P. levipes* son grupos morfométricamente distintos (Fig. 13a-16a). Esto es congruente con lo sugerido por datos moleculares, en donde se reconocen como especies distintas (Bradley *et al.*, 2017; Salgado, 2019). De igual manera, el CVA para todas las vistas del cráneo y mandíbula nos permiten observar la separación de *P. beatae* con *P. kilpatricki*, por lo que se reconocen como dos grupos distintos morfométricamente (Fig. 13a-17a), que a su vez son consideradas especies distintas de acuerdo a la filogenia molecular (Bradley *et al.*, 2017; Salgado, 2019). El CVA para las vistas dorsal, ventral, tanto en hembras y machos, y en la mandíbula muestran la separación de *P. beatae* con respecto a *P. levipes* (Fig. 13a, 15a-17a), que de igual manera se encuentra sustentado por los datos moleculares, que los describe como especies distintas a pesar de su gran parecido morfológico (Schmidly *et al.*, 1988).

Con relación a las especies no descritas de *Peromyscus* de poblaciones de Michoacán y Jalisco, el CVA de las vistas dorsal, lateral y ventral en hembras y en machos logra agrupar y separar a cada una de ellas, confirmando que para estas vistas son morfométricamente distintas (Fig. 13a-16a). El CVA también nos permite observar la separación entre *P. sp.* (Mich) y *P. beatae* en la vista lateral, ventral en hembras y en machos, así como en la mandíbula (Fig. 14a-17a). Respecto a *P. sp.* (Mich) y *P. kilpatricki*, que son especies potencialmente simpátricas, presentan una distinción morfométrica con base en las vistas lateral, ventral en hembras y machos, y en la mandíbula (Fig. 14a-17a). Similarmente, *P. sp.* (Jal) se encuentra completamente separado en la vista ventral en hembras de los demás grupos (Fig. 15a). De forma general el CVA permite indicar la vista ventral es la más informativa, dado que separó casi en su totalidad los cinco grupos y la vista de la mandíbula sería la menos informativa.

Como se ha expresado en diferentes trabajos sobre la sistemática del grupo *boyllii* (Schmidly *et al.*, 1988; Castro-Campillo *et al.*, 1999; Bradley *et al.*, 2004, 2014, 2017), las características morfológicas que se ha utilizado para tratar de diferenciar a *P. beatae*, *P. kilpatricki* y *P. levipes* no son los suficientemente variables para distinguir estos grupos. Afortunadamente el uso de las herramientas morfogeométricas utilizadas en este trabajo permitió identificar atributos morfogeométricos que permiten diferenciarlos. Esto se logró con el análisis de las comparaciones pareadas donde se examinaba detalladamente que estructuras diferencian a cada grupo.

En todas las comparaciones de *P. beatae* con respecto a los demás grupos, se obtuvieron valores significativos para la vista dorsal en el análisis de comparaciones pareadas (Tabla 12). En comparación con los otros grupos, el arco cigomático es ligeramente más amplio, con los bordes anterior y posterior más extendidos, con el foramen incisivo más reducido. De manera particular, la caja craneal es significativamente más reducida y menos redonda al compararla con *P. sp.* (Mich) y el proceso coronoide junto con el cóndilo mandibular son más grandes al compararla con *P. levipes*.

En el caso de *P. kilpatricki*, las comparaciones con los demás grupos muestran valores significativos para las vistas dorsal, ventral y de la mandíbula en el análisis de comparaciones pareadas (Tabla 12, 14 y 15). Aunque de manera general *P. kilpatricki* no presenta alguna estructura particularmente distinta al comparar con los demás grupos, ya que hay solapamiento en la mayoría de ellas, se puede apreciar que el hueso occipital es reducido o poco desarrollado al ser comparada con *P. sp.* (Mich). También posee una caja craneal más redonda que *P. levipes* y el

proceso coronoide ligeramente más extendido, así como el *foramen magnum* de menor tamaño que *P. sp.* (Mich).

Por otro lado, *P. levipes*, al ser comparada con los otros grupos reporta valores significativos para la vista dorsal, ventral y la mandíbula en el análisis de comparaciones pareadas (Tabla 12, 14 y 15). Este grupo posee un proceso coronoide y cóndilo mandibular menos extenso que los demás grupos. De manera particular, presenta una caja craneal menos redonda y más reducida al ser comparada con *P. sp.* (Mich).

En el caso de *P. sp.* (Mich), las comparaciones pareadas con los otros grupos resultaron en valores significativos, particularmente para la vista dorsal, ventral y de la mandíbula (Tabla 12, 14 y 15). De manera general, presenta una caja craneal más redonda, con el hueso occipital más extendido y el saliente del basioccipital más pronunciado.

Por último, las comparaciones pareadas entre *P. sp.* (Jal) y los otros grupos resultaron en valores significativos para la vista dorsal, ventral y la mandíbula (Tabla 12, 14 y 15). De manera particular este grupo presenta un cóndilo mandibular y proceso coronoide ligeramente más amplio con respecto a los otros grupos.

Aunque se ha señalado que dentro del grupo *boyllii* existe una evidente homogeneidad morfológica (Schmidly *et al.*, 1988; Castro-Campillo *et al.*, 1999; Bradley *et al.*, 2004, 2014, 2017), resulta interesante señalar que los diferentes miembros reconocidos de este grupo pueden ser encontrados en distintos tipos de ecosistemas. En este sentido, podría esperarse que existiera algún grado de diferenciación entre ellos, como resultado de su interacción en distintos ambientes (Flores, 2007). Los resultados de este trabajo apoyan este planteamiento ya que se ha logrado detectar suficiente heterogeneidad morfológica para distinguir los grupos evaluados, específicamente en estructuras óseas como el cráneo y la mandíbula. Se conoce que estructuras como el cráneo presentan una gran complejidad estructural que va acompañada por una gran variedad de funciones, entre las cuales están la masticación, brindar soporte al cerebro, a la cabeza y el oído, además de ser controlado por una gran cantidad de loci genéticos (Caumul y Polly, 2005). La mandíbula, por otro lado, ha sido un modelo para el estudio evolutivo y el desarrollo de estructuras morfológicas complejas, dado sus roles funcionales y hasta su historia evolutiva (Klingenberg, 2013).

En el contexto de las dificultades que ha representado delimitar taxonómicamente a algunos de los miembros del grupo *boyllii*, empleando particularmente aspectos de variación fenotípica, desde una perspectiva tradicional, el uso de la morfometría geométrica, que permite visualizar de

forma más efectiva los cambios morfológicos de la forma, demuestra que es una herramienta alternativa para distinguir unidades taxonómicas a nivel de especie en este grupo de roedores. Particularmente, al analizar la variación morfométrica del cráneo y mandíbula fue posible diferenciar cuatro grupos que apoyan su reconocimiento como grupos morfológicamente distintos que apoyarían el reconocerlos como especies distintas. La identificación y distinción de *P. beatae*, *P. kilpatricki*, *P. levipes* y *P. sp.* de Michoacán también sustenta los datos moleculares dentro de la filogenia que separan a cada uno de los linajes en una especie distinta. Aunque no existen antecedentes sobre la existencia de alguna especie no descrita del grupo *boyllii* en Jalisco, los resultados de este trabajo sugieren que las muestras referidas como *P. sp.* (Jal) podrían representar una nueva especie ya que se diferenció morfométricamente de los demás grupos evaluados. Ciertamente, sería deseable que se genere información molecular que permita corroborar este posible escenario.

X.- CONCLUSIÓN

- Los resultados de este trabajo sugieren que, si existe heterogeneidad morfológica en estructuras óseas como el cráneo y la mandíbula entre algunos miembros del grupo *Peromyscus boyllii*, siendo la vista ventral la más informativa.
- La morfometría geométrica demuestra ser una herramienta alternativa en sistemática para apoyar la delimitación de unidades taxonómicas a nivel de especie en este grupo de roedores.
- Aunque tres de los grupos analizados ya estaban reconocidos como especies válidas con base en datos moleculares (*P. beatae*, *P. kilpatricki* y *P. levipes*), este trabajo sugiere que los dos grupos referidos como *P. sp.* de Michoacán y *P. sp.* de Jalisco, también están diferenciados morfológicamente por lo que se sugiere que pueden representar especies no descritas dentro del grupo *boyllii*.

XI.- BIBLIOGRAFÍA

Adams, D. C., F. J. Rohlf y D. E. Slice. (2004). Geometric Morphometrics: Ten Years of Progress Following the 'Revolution'. *Italian Journal of Zoology*, 71:5-16.

- Adams, D. C., F. J. Rohlf y D. E. Slice. (2013). A field comes of age: geometric morphometrics in the 21st century. *Hystrix*, 24(1):7-14
- Álvarez, A. (2012). Diversidad Morfológica Cráneo-Mandibular de Roedores Caviomorfos en un contexto filogenético comparativo. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.
- Álvarez, T. (1961). Taxonomic status of some mice of the *Peromyscus boylii* group in eastern México, with description of a new subspecies. University of Kansas Publications, Museum of Natural History, 14:111-120.
- Álvarez-Castañeda, S. T., T. Álvarez y N. González-Ruiz. (2017). Keys for identifying Mexican Mammals in the field and in the laboratory. The Johns Hopkins University Press.
- Álvarez-Castañeda, S. T. y N. González-Ruiz. (2009). *Peromyscus levipes*. *Mammalian Species*, 824:1-6.
- Álvarez-Castañeda, S.T. y L. Méndez. (2005). *Peromyscus madrensis*. *Mammalian Species*, 774:1-3.
- Assis, L. (2009). Coherence, correspondence, and the renaissance of morphology in phylogenetic systematics. *Cladistics*, 25:528-544.
- Baird, S. F. (1855). Characteristics of some new species of North American Mammalia, collected chiefly in connection with the U.S. surveys of a railroad route to the Pacific. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 7:333-337.
- Baker, R. H. y J. K. Greer. (1962). Mammals of the Mexican state of Durango. Publications of the Museum, Michigan State University Biological, Series 2:25-154.

- Baker, R. J. y R. D. Bradley. (2006). Speciation in mammals and the genetic species concept. *Journal of Mammalogy*, 87:643-662.
- Bookstein, F. L. (1990). Introduction to the Methods for Landmark data. Pp 216-225, en *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop*, Rohlf F. J., Bookstein F. L. (eds.). The University of Michigan, Museum of Zoology, Special Publication No. 2. Ann Arbor, Michigan.
- Bookstein, F. L. (1991). Morphometric tools for landmark data: Geometry and biology. Cambridge, Cambridge University Press.
- Bookstein, F. L. (1997). Landmark methods for forms without landmarks: Morphometrics of group differences in outline shape. *Med. Image Anal.*, 1(3):225-43.
- Bradley, R. D. y R. J. Baker. (2001). A test of the genetic species concept: cytochrome b sequences and mammals. *Journal of Mammalogy*, 82:960-973.
- Bradley, R. D., N. Ordóñez-Garza, G. Ceballos, D. S. Rogers y D. J. Schmidly. (2017). A new species in the *Peromyscus boylii* species group (Cricetidae: Neotominae) from Michoacán, México. *Journal of Mammalogy*, 98:154-165.
- Bradley, R. D., N. Ordóñez-Garza, C. G. Sotero-Caio, H. M. Huynh, C. W. Kilpatrick, L. I. Iñiguez-Dávalos y D. J. Schmidly. (2014). Morphometric, karyotypic, and molecular evidence for a new species of *Peromyscus* (Cricetidae: Neotominae) from Nayarit, Mexico. *Journal of Mammalogy*, 95:176-186.
- Bradley, R. D., N. D. Durish, D. S. Rogers, J. R. Miller, M. D. Engstrom y C. W. Kilpatrick. (2007). Toward a molecular phylogeny for *Peromyscus*: evidence from mitochondrial cytochrome b Sequences. *Journal of Mammalogy*, 88:1146-1159.

- Bradley, R. D., D. S. Carroll, M. L. Haynie, R. Muñiz Martínez, M. J. Hamilton y C. W. Kilpatrick. (2004). A new species of *Peromyscus* from western Mexico. *Journal of Mammalogy*, 85:1184-1193.
- Bradley, R. D., I. Tiemann-Boege, C. W. Kilpatrick y D. J. Schmidly. (2000). Taxonomic status of *Peromyscus boylii sacarensis*: Inferences from DNA sequences of the mitochondrial cytochrome-b gene. *Journal of Mammalogy*, 81:875-884.
- Cabrera, H., S. T. Álvarez-Castañeda, N. González-Ruiz, y J. P. Gallo-Reynoso. (2007). Distribution and natural history of Schmidly's Deermouse (*Peromyscus schmidlyi*). *Southwestern Naturalist*, 52:620-623.
- Canto, H. J., M. Saldarriaga y J. Yáñez. (2017). Estudio Craneométrico En *Abrothrix Hirta* (Thomas, 1895) (Rodentia: Cricetidae): Una Aproximación Desde La Morfometría Geométrica. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural Chile*, 66:101-123.
- Carleton, M. D. D. E. Wilson, A. L. Gardner y M. A. Bogan. (1982). Distribution and systematics of *Peromyscus* (Mammalia: Rodentia) of Nayarit. *Smithsonian Contributions to Zoology*, 352:1-46.
- Carleton, M. D. (1977). Interrelationships of populations of the *Peromyscus boylii* species group (Rodentia, Muridae) in Western Mexico. *Occasional Papers of the Museum of Zoology*, University of Michigan, 675:1-47.
- Castro-Campillo, A., H. R. Roberts, D. J. Schmidly y R. D. Bradley. (1999). Systematic status of *Peromyscus boylii ambiguus* based on morphologic and molecular data. *Journal of Mammalogy*, 80:1214-1231.
- Caumul, R. y Polly, P. D. (2005). Phylogenetic and environmental components of morphological variation: skull, mandible, and molar shape in marmots (*Marmota*, Rodentia). *Evolution*, 59:2460-2472.

Ceballos, G. (2014). *Mammals of México*. John Hopkins University Press, Baltimore. 974 pp.

CONABIO. (2018). Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Registros de ejemplares. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.

Davis, W. B. (1944). Notes on Mexican Mammals. *Journal of Mammalogy*, 25:370-403.

De Pinna, M.C., (1991). Concepts and tests of homology in the cladistic paradigm. *Cladistics*, 7:367-394.

Flores, R. (2007). La especie como unidad evolutiva: uso de marcadores moleculares para su reconocimiento y delimitación, con especial énfasis en microorganismos. Pp 325-349, en *Ecología molecular*, Eguiarte, L., Souza, V. y Aguirre, X. Instituto Nacional de Ecología, México.

Goloboff, P. A. y S. A. Catalano. (2016). TNT version 1.5, including a full implementation of phylogenetic morphometrics. *Cladistics*, 32:221-238.

Goloboff, P., J. Farris y K. Nixon. (2008). TNT: a free program for phylogenetic analysis. *Cladistics*, 24:774-786.

González-Cózatl, F. X., D. S. Rogers y E. A. Arenas. (2009). Diversidad críptica en la CNMA: descubriendo nuevas especies de roedores mexicanos. Pp 55-64, en *60 Años de la Colección Nacional de Mamíferos del Instituto de Biología, UNAM. Aportaciones al Conocimiento y Conservación de los Mamíferos Mexicanos*.

Gutiérrez-Blando, C. (2015). Análisis morfogeométrico craneal de la variación geográfica en *Ototylomys phyllotis* (Rodentia: Muridae). Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Gutiérrez-García, T. A. y E. Vázquez-Domínguez. (2012). Biogeographically dynamic genetic structure bridging two continents in the monotypic Central American rodent *Otodylomys phyllotis*. *Biological Journal of the Linnean Society*, 107:593-610.
- Hall, E. R. (1981). "The Mammals of North America," Vol. II, Wiley, New York.
- Hooper, E. T. (1953). Notes on mammals of Tamaulipas, Mexico. *Occasional Papers, Museum of Zoology*, University of Michigan, 544:1-12.
- Houseal, T. W., I. F. Greenbaum, D. J. Schmidly, S. A. Smith y K. M. Davis. (1987). Karyotypic variation in the *Peromyscus boylii* species group from Mexico. *Journal of Mammalogy*, 68:281-296.
- IUCN. (2018). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2018-1. Disponible en: www.iucnredlist.org.
- Jaramillo, N. (2011). Morfometría geométrica: principios teóricos y métodos de empleo. Pp. 69-87, en *Fronteras de investigación en enfermedades infecciosas. Modelo enfermedad de Chagas*. Universidad de Antioquia.
- Jones, K. y C.J. Law. (2018). Differentiation of craniomandibular morphology in two sympatric *Peromyscus* mice (Cricetidae: Rodentia). *Mamm. Res.*, 63:277.
- Kalcounis-Rueppell, M. C. y T. R. Spoon. (2009). *Peromyscus boylii* (Rodentia: Cricetidae). *Mammalian Species*, 838:1-14.
- Kendall, D. G. (1977). The diffusion of shape. *Advances in Applied Probability*, 9:428-30.
- Kimura, M. (1980). A simple method for estimating evolutionary rates of base substitution through comparative studies of nucleotide sequences. *Journal of Molecular Evolution*, 16:111-120.

- Klingenberg, C. P. (2011). MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11:353-357.
- Klingenberg, C. P. (2013). Cranial integration and modularity: insights into evolution and development from morphometric data. *Hystrix*, 24:43-58.
- Lawlor, T. E. (1971). Evolution of *Peromyscus* on northern islands in the Gulf of California, Mexico. *Transactions of the San Diego Society of Natural History*, 16:91–124.
- Llorente-Bousquets, J. y S. Ocegueda. (2008). Estado del conocimiento de la biota. Pp. 283-322, en *Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio, México.
- López-Arriaga, N. I. (2019). Análisis de la variación morfométrica en *Handleyomys chapmani* (Thomas, 1898) y *H. guerrerensis* (Goldman, 1915; Rodentia: Cricetidae). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Lorenzo, A. D. (2015). Variación morfométrica aplicada a la identificación taxonómica de *Peromyscus levipes* y *P. melanophrys* en el estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Mayares, S. D. I. (2012). Variación intraespecífica de *Reithrodontomys sumichrasti* (Rodentia: Cricetidae) con base en un análisis de morfometría geométrica. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Merriam, C. H. (1898). Description of twenty new species and a new subgenus of *Peromyscus* from Mexico and Guatemala. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 12:115-123.

- Musser, G. G. y 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.), 3rd ed. Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.
- Nava-García, E. (2016). Sistemática de *Reithrodontomys megalotis* a partir de datos moleculares y morfométricos. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Ordóñez-Garza, N. y R. D. Bradley. (2011). *Peromyscus schmidlyi*. *Mammalian Species*, 43:31–36.
- Osgood, W. H. (1904). Thirty new mice of the genus *Peromyscus* from Mexico and Guatemala. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 17:55–77.
- Osgood, W. H. (1909). Revision of the mice of the American genus *Peromyscus*. *North American Fauna*, 28:1-268.
- Palci, A., y M. S. Y. Lee. (2018). Geometric morphometrics, homology and cladistics: review and recommendations. *Cladistics*, 1-13.
- Peña, Carlos. (2011). Métodos de inferencia filogenética. *Revista Peruana de Biología*, 18(2):265-267.
- Reid, F. (2009). *A Field Guide to the Mammals of Central America and Southeast Mexico*. Oxford University Press, New York, USA.
- Roberts, H. R., D. J. Schmidly, y R. D. Bradley. (2001). *Peromyscus simulus*. *Mammalian Species*, 669:1-3.
- Rohlf, F. J. (2010). TpsDIG 2.15. Department of Ecology and Evolution. State University of New York, Stony Brook, New York.

- Rohlf, F. J. y Marcus, L. F. (1993). A revolution in morphometrics. *Trends in Ecology & Evolution*, 8(4):129-132.
- Roth, V. L. y J. M. Mercer. (2000). Morphometrics in Development and Evolution, *American Zoologist*, 40:801-810.
- Salgado, L. A. (2019). Patrones de diferenciación filogenética y divergencia genética en *Peromyscus levipes* con base en secuencias del gen Citocromo *b*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Schmidly, D. J. y R. D. Bradley. (1995). Morphological variation in the Sinaloan mouse *Peromyscus simulus*. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 1:6-81.
- Schmidly, D. J., R. D. Bradley y P. S. Cato. (1988). Morphometric differentiation and taxonomy of three chromosomally characterized groups of *Peromyscus Boylii* from Mexico. *Journal of Mammalogy*, 69:462-480.
- Schmidly, D. J. (1973). Geographic variation and taxonomy of *Peromyscus boylii* from Mexico and the southern United State. *Journal of Mammalogy*, 54:111-130.
- Scotland, R.W., R. G. Olmstead y J. R. Bennett. (2003). Phylogeny reconstruction: the role of morphology. *Syst. Biol.*, 52:539–548.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo.
- Sheets, D. (2002). IMP Morphometrics Software. Software tools for the analysis of shape using Geometric Morphometric Methods. Integrated Morphometrics Package Suite, Canisius College, New York, USA.

- Smith, S. A. (1990). Cytosystematic evidence against monophyly of the *Peromyscus boylii* species group (Rodentia: Cricetidae). *Journal of Mammalogy*, 71:654-667.
- StatSoft, I. (2001). STATISTICA (Versión 7). StatSoft, Inc., Tulsa, OK.
- Thomas, O. (1903). On three new forms of *Peromyscus* obtained by Dr. Hans Gadow, F. R. S., and Mrs. Gadow in Mexico. *Annals and Magazine of Natural History Series*, 11:484-487.
- Tiemann-Boege, I., C. W. Kilpatrick, D. J. Schmidly y R. D. Bradley. (2000). Molecular phylogenetics of the *Peromyscus boylii* species group (Rodentia: Muridae) based on mitochondrial cytochrome b sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 16:366-378.
- Toro-Ibacache, M. V., G. Manriquez-Soto y I. Suazo-Galdames. (2010). Morfometría Geométrica y el Estudio de las Formas Biológicas: De la Morfología Descriptiva a la Morfología Cuantitativa. *International Journal of Morphology*, 28(4):977-990.
- Townsend, C. H. (1912). Mammals collected by the “Albatross” expedition in lower California 1911, with description of new species. *Bull. Am. Mus. Nat. Hist.*, 31:117-130.
- Zelditch, M., D. Swiderski, H. Sheets y W. Fink. (2004). Geometric Morphometrics for biologist: A primer. Elsevier Academic Press, London.
- Zeveloff, S. I. (1988). Mammals of the intermountain west. University of Utah Press, Salt Lake City.