



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

**ESCUELA DE BIOLOGÍA**

**Análisis de la morfometría lineal y geométrica del  
escarabajo rinoceronte *Strategus aloeus* L. (Coleoptera:  
Scarabaeoidea)**

**Tesis para obtener el título de:**

**LICENCIATURA EN BIOLOGÍA**

**PRESENTA:**

**María Soledad Carrillo Torres**

**DIRECTOR(A): Dra. Hortensia Carrillo Ruiz**

**Febrero, 2016**



## **Agradecimiento.**

Esta tesis es una contribución al proyecto de investigación "Análisis de la morfología en Relación a la Distribución y el ciclo de vida en México de *Strategus aloeus* (L.) (Coleoptera: Scarabaeoidea)" apoyado por la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, en su Convocatoria 2014.

Agradezco la confianza y el apoyo brindado por parte de mis padres Reyna Torres Sánchez y Ricardo Carrillo Meza, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida y carrera me han demostrado su amor y me han enseñado que las metas son alcanzables y que una caída no es una derrota sino el principio de una lucha que siempre termina en logros y éxitos.

Agradezco a mis hermanas Mónica Carrillo y Eva Carrillo por su apoyo en mi carrera, por su cariño y su excelente manera de instruirme para afrontar las verdades de la vida. A mi sobrina Evelin León por su cariño y por sus palabras de aliento que cada día me motivaban a seguir adelante.

A mis abuelos Hortensia Sánchez y Clemente Torres, que a pesar de que ya no están conmigo ahora que eh culminado esta etapa de mi vida siempre estuvieron al pendiente de mí, apoyándome y demostrándome su amor, sobre todo agradezco esas madrugadas que no dormían por estar esperándome a que regresará de mis salidas de campo.

A mi Directora de Tesis Dra. Hortensia Carrillo Ruiz, por su generosidad al brindarme la oportunidad de realizar mi proyecto de tesis con ella, en un marco de confianza, afecto y amistad, fundamentales para la concreción de éste trabajo.

A la Dra, Sombra Patricia Rivas Arancibia ya que colaboro dando seguimiento al desarrollo de este proyecto, por el apoyo que me brindo y recomendaciones que me hizo sobre mi tesis.

Al Dr. Salvador Galicia Isasmendi, por su apoyo y aportación para enriquecer al escrito final de esta mi tesis.

Al Biólogo Hugo Alejandro Álvarez, por su apoyo y comprensión que me brindo en el proceso de este trabajo.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y a la Escuela de Biología por brindarme mi formación profesional. A todos y cada uno de sus empleados que de alguna u otro forma me brindaron su apoyo. A los excelentes docentes que me brindaron sus conocimientos y me enseñaron a superarme cada día. En especial a I.Q. Sergio Espinosa Morales ya que gracias a su amistad y apoyo moral apporto un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

A mis amigos, Fernando Palacios, Diego Peña, Karina Hernández, Marta Andrea Varguez. Raúl Sánchez, Eduardo Calvario y Luis Armando Estudillo compañeros de este viaje. Quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas, y quienes me apoyaron en estos años para lograr mi sueño.

**Dedicatoria.**

A mis padres, hermanas y sobrina.

## Índice

Agradecimiento. ....	2
Dedicatoria. ....	4
Resumen. ....	6
INTRODUCCIÓN. ....	8
ANTECEDENTES. ....	11
JUSTIFICACION. ....	14
HIPÓTESIS. ....	15
OBJETIVOS. ....	15
General. ....	15
Particulares. ....	15
MATERIALES Y MÉTODOS. ....	16
OBTENCIÓN DE EJEMPLARES. ....	16
ANÁLISIS DE LA MORFOMETRIA LINEAL. ....	17
RESULTADOS. ....	19
DISCUSIÓN. ....	23
BIBLIOGRAFÍA. ....	25

## Resumen.

La especie *Strategus aloeus* Linnaeus, 1758 pertenece al Phylum Arthropoda, clase Insecta, orden Coleoptera, superfamilia Scarabaeoidea, familia Melolonthidae, subfamilia Dynastinae (Morón, 2004; 2010). Esta especie presenta dimorfismo sexual moderado, los machos tienen tres proyecciones en el pronoto (un cuerno principal y dos cuernos laterales). Las hembras presentan protuberancias en lugar de cuernos (Morón et al. 1997, Ratcliffe 1976).

La variación en el tamaño y forma de los cuernos ha sido de gran interés para los investigadores (Emlen et al. 2007, Moczek 2005, Tomkins y Moczek 2009). Sin embargo, la morfometría de caracteres sexuales y no sexuales en esta especie es poco conocida, por lo tanto, el objetivo de nuestro estudio fue investigar la morfometría lineal y geométrica de caracteres sexuales y no sexuales de esta especie, para lograr una mejor comprensión de su morfología.

Para el análisis morfométrico se utilizaron 192 especímenes, 92 machos y 100 hembras de *Strategus aloeus* L. depositados en la Colección Entomológica del Instituto de Ecología A.C. Xalapa, México (IEXA). Estos provienen de diferentes localidades de México. Con base en la literatura, primero se establecieron los caracteres sexuales y no sexuales de hembras y machos de la especie, para posteriormente ser empleados en el análisis lineal y geométrico. Se determinó la correlación de las variables lineales estudiadas, por medio de análisis estadísticos (correlación y componentes principales) y finalmente se estableció si existían diferencias entre las características estudiadas en hembras y machos. Para el análisis geométrico se capturaron los contornos o hitos «landmarks» y se efectuaron análisis exploratorios y confirmatorios de covariación de la forma con factores causales.

Nuestros resultados sugieren que tanto las características sexuales como no sexuales son diferentes entre hembras y machos, así como la relación entre éstas dentro de cada sexo. Los resultados dan evidencia de que los machos son más grandes que las hembras, pero las hembras muestran el mesonoto más grande. Aún más, es posible que en los machos exista una compensación entre la tibia y el mesonoto. Los resultados obtenidos en este estudio permiten la formulación de nuevas preguntas en el estudio morfométrico de esta especie.

## INTRODUCCIÓN.

La especie *Strategus aloeus* Linnaeus, 1758 pertenece al Phylum Arthropoda, clase Insecta, orden Coleoptera, superfamilia Scarabaeoidea, familia Melolonthidae, subfamilia Dynastinae (Morón, 2004; 2010). Son de color pardo oscuro o casi negro brillante, en ocasiones con la cabeza y el pronoto más oscuro y los élitros rojizos. Mandíbulas en vista dorsal semitriangular. Base del pronoto con una franja ancha de textura rugosa. Región posthumeral de los élitros con una hilera de puntos grandes acelados. Los machos con tres proyecciones ceratiformes en el pronoto, muy variables en forma y tamaño, aunque es frecuente que en los machos teloceros, los cuernos laterales estén un poco comprimidos y truncados; presentan una longitud total del cuerpo de 43.6-53.9 mm, con anchura elitral de 22.9-27.4 mm. Las hembras con una foseta amplia en la mitad anterior del pronoto precedida por un tubérculo redondeado, presenta una longitud corporal de 37.1-50.1 mm, con una anchura elitral de 13.9-5.0 mm (Ratcliffe, 1976; Morón *et al.*, 1997). Se sabe que el ciclo de vida de *S. aloeus* es de unos 11 meses aproximadamente. En estadio de huevo dura 14 días, en estadio de Larva dura 266 días, en estadio de Pupa dura 26 días; para un total de estadio huevo a adulto de  $307 \pm 25$  días (Ahumada *et al.*, 1995).

Es una especie con una amplia distribución en casi todo México, exceptuando la península de Baja California, se encuentra esporádicamente en Texas, Arizona y Alabama, EUA. Es abundante en América Central llegando hasta Bolivia y el centro de Brasil (Ratcliffe, 1976; Morón *et al.*, 1997) (Fig.1). En nuestro país, puede habitar en casi cualquier tipo de ambiente, ya sea húmedo o seco, tropical o templado, natural o inducido, ubicados entre el nivel del mar y los 200 m de altitud. Los adultos tienen actividad nocturna durante todo el año, pero son atraídos por las luces eléctricas con mayor frecuencia entre mayo y julio; los adultos se les ha visto alimentándose con raíces y tallos



de gramíneas, agaves y palmas, aunque es posible que consuman detritus vegetales (Ratcliffe, 1976; Morón *et al.*, 1997).

Sus huevos son depositados en el suelo o en troncos podridos, donde sus larvas se desarrollan hasta completar el ciclo de vida. Las larvas se han encontrado barrenando tejidos vivos de los tallos de palmas, agaváceas y cactáceas, así como raíces de *Mangifera indica* (Anacardiaceae) (Morón *et al.*, 1997). Esta especie, en algunos países, tiene importancia económica como plaga de algunos cultivos. En Colombia, el adulto causa daños a las palmas de menos de cuatro años de edad, ya que hace un agujero cerca de la base de la palma y penetra hasta el meristemo (Pallares *et al.*, 2000). En México *S. aloeus* ha sido reportado como una de las principales plagas del agave, debido a los daños causados por los adultos en la base de las plantas (Pérez-Domínguez 2006).



Figura 1. Distribución geográfica de *Strategus aloeus*.

Esta especie presenta dimorfismo sexual moderado, los machos tienen tres proyecciones en el pronoto alrededor de una cavidad central, una proyección en la parte frontal (cuerno) y dos proyecciones laterales (cuernos laterales) (Fig. 2). Las hembras presentan protuberancias en lugar de cuernos (Morón et al. 1997, Ratcliffe 1976) (Fig. 3). Estas características morfológicas son interesantes para el estudio de las relaciones de escala entre los cuernos y el tamaño del cuerpo de los escarabajos neotropicales.



Figura 2. *Strategus aloeus* macho.



Figura 3. *Strategus aloeus* hembra.

## **ANTECEDENTES.**

Los estudios en cuanto a la morfometría en los insectos, versan sobre la evaluación de características morfométricas asociadas a sus hábitos alimenticios, sitios de distribución y taxonomía. Entre estos podemos mencionar el de Aldana y colaboradores en el 2011, quienes determinaron la presencia de dimorfismo sexual como indicador de adaptación al domicilio en *Panstrongylus geniculatus* (Latreille), mediante un análisis generalizado de las procrustes y análisis elíptico de Fourier, se analizaron el tamaño isométrico y la conformación de alas, cabezas y pronotos de *P. geniculatus*, capturados activa y pasivamente en domicilios en sectores urbanos de Altigracia y Petare de Caracas, en ambientes rurales o silvestres de Sanare en el municipio Andrés

Eloy Blanco en el estado Lara (Venezuela). Observando dimorfismo sexual al considerar el tamaño de las alas en los especímenes capturados en Sanare, las cuales fueron mayores en las hembras que los machos. Asimismo, las alas y cabezas de las hembras capturadas en Caracas fueron más pequeñas comparadas con las de las hembras provenientes de Sanare. No se encontraron diferencias significativas en cuanto a la conformación del pronoto (Aldana *et al.*, 2011).

Según Marsteller, *et al.* en el 2009, en el orden díptera se identificaron seis especies cripticas del género *Blephanoreuna* (Guenée), sobre una planta hospedera, empleando la información morfométrica de las alas. Todas se alimentan de flores de las mismas especies de hospederos. Algunas registraron un contundente dimorfismo sexual en tamaño y conformación. Diferencias significativas interespecíficas en la conformación de las alas de machos fueron establecidas entre las seis especies cripticas de *Blephanoreuna*, en este caso, se consideró la manifestación de cortejo como un importante mecanismo de aislamiento reproductivo y la conformación de sus alas puede involucrar una respuesta a selección sobre manifestación de cortejo, señales vibracionales acústicas, o ambos y movimientos rápidos del ala. El dimorfismo sexual, se explicó por selección sexual, responsable de la divergencia en tamaño y conformación de los sexos (Marsteller, *et al.*, 2009 citado por Obando, 2011).

El impacto ambiental, representado en diferencias de rangos altitudinales, fue probado sobre las alas de la polilla guatemalteca *Tecia solanivora* (Povolny). Por medio de las técnicas morfométricas, lograron establecer un claro dimorfismo sexual y diferencias intraespecíficas en tamaño y conformación entre sus poblaciones en los rangos altitudinales. En dimorfismo sexual, la hembra fue más grande que el macho, considerándose como mecanismo de selección natural por la mayor adecuación y fecundidad, y

se clasificó como rasgo adaptativo, mientras que el tamaño pequeño del macho fue asociado con selección sexual, por su rápido desarrollo que conduce a eclosión temprana. Las conformaciones fueron atribuidas a facilidad de dispersión y requerimientos de vuelo, en machos la elongación de las alas serían necesarias para largos periodos de vuelo en encontrar a la hembra. La variación en tamaño y conformación entre poblaciones siguiendo los patrones altitudinales fueron evidentes. Con respecto al tamaño las polillas se ajustaron a lo propuesto por la regla de Bergmann: individuos más grandes en alturas superiores; y en la conformación, se consideraron las razones aerodinámicas y plasticidad fenotípica no adaptativa, meramente razones fisiológicas, como hipótesis central de la variación cuantitativa de sus poblaciones (Hernández, *et al*, 2010).

En México uno de los primeros estudios en la morfometría dentro de la superfamilia Scarabaeoidea, con respecto a aspectos taxonómicos, fue publicado por Morón (1995), quien en su trabajo "Revisión de las especies mexicanas de *Golofa* Hope (Coleoptera: Melolonthidae: Dynastinae)" aplica un análisis morfométrico, usando la forma y tamaño de los cuernos de los machos a los problemas de la sistemática entre las especies mexicanas. Morón (1995) mencionó, que estas estructuras reflejan parte del proceso evolutivo dentro del grupo y proporcionan información valiosa. Otro género estudiado también por Morón, es el género *Strategus* Hope, 1837 (Dynastinae) (Morón 1976, Morón *et al*. 1997), el cual fue creado por William Kirby (1828) y enumeró cuatro especies (Ratcliffe 1976). Una de estas especies es *Strategus aloeus* (L.), la cual se distribuye ampliamente desde América del Norte hasta Sudamérica.

Recientemente, Álvarez *et al*. (2013) analizaron las relaciones de escalamiento entre los cuernos y el tamaño corporal en una población de machos de *Strategus aloeus* Linneus, que se distribuye en diferentes localidades de México. Estos autores sugieren, que los machos grandes

poseen cuernos desproporcionadamente largos en comparación con los machos pequeños y que los machos en general podrían estar invirtiendo más en desarrollar el cuerno principal que los cuernos adyacentes, posiblemente reflejando fuertes presiones de selección sexual. Esto apoya la idea de que, la alometría estática positiva en el cuerno principal y en los cuernos adyacentes puede ser explicada por una norma de reacción extrema, sugerida por el "modelo de norma de reacción alométrico positiva". Sin embargo, la morfometría de los caracteres sexuales y no sexuales en esta especie es poco conocida, por lo tanto, no se sabe qué caracteres de hecho son sexuales (además de los cuernos) o no-sexuales y cómo se relacionan.

## **JUSTIFICACION.**

Desde los tiempos de Darwin el hecho de que las especies desarrollen estructuras exageradas que no son ventajosas en términos de supervivencia ha sido una de las interrogantes centrales en la teoría de la evolución por selección natural. Los escarabajos con cuernos son importantes como modelos animales de investigación, ya que permiten responder preguntas acerca del desarrollo de caracteres sexuales secundarios y su evolución. Para comprender mejor las relaciones de escalamiento en los animales es necesario un entendimiento adecuado de la forma de los animales y la función de sus características. En este caso, este estudio pretende generar información sobre caracteres involucrados en la reproducción y caracteres que al parecer no se encuentran dentro del proceso de selección sexual, de esta forma generar las bases para responder preguntas sobre la evolución de los caracteres sexuales y no sexuales en esta especie de escarabajo.

## **HIPÓTESIS.**

1. Si las variables morfológicas lineales como la longitud corporal (LC), el ancho del pronoto (AnP), el ancho humeral (AnHu), el alto del mesonoto (AlMe) y la longitud de la tibia trasera izquierda (LTiT) no tienen relación con una función sexual, entonces, su comportamiento no varía entre machos y hembras.
2. Se sabe que los caracteres sexuales como los cuernos varían entre machos, debido a una selección sexual, por lo tanto se esperaría que no exista variación entre los caracteres no sexuales de los machos dado que no están sujetos a una selección sexual

## **OBJETIVOS.**

### **General.**

Describir la morfología lineal de caracteres sexuales y no sexuales de la especie *Strategus aloeus* L.

### **Particulares.**

1. Determinar los caracteres sexuales y no sexuales de *Strategus aloeus* para ser empleados en el análisis, con base en la literatura.
2. Determinar la correlación de las variables lineales estudiadas en *Strategus aloeus* por medio de análisis estadísticos.
3. Determinar si existen diferencias entre las características estudiadas en hembras y machos.

## MATERIALES Y MÉTODOS.

### OBTENCIÓN DE EJEMPLARES.

Para el análisis morfométrico se utilizaron 192 especímenes, 92 machos y 100 hembras de *Strategus aloeus* L., depositados en la Colección Entomológica del Instituto de Ecología A.C. Xalapa, México (IEXA). Estos provienen de diferentes localidades de los siguientes estados de México: Chiapas, Colima, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Morelos, Nayarit, San Luis Potosí, Sinaloa, Tamaulipas y Veracruz. Se utilizó una técnica combinada de medición: en primer lugar, cada muestra se puso en una placa de rejilla (Fig. 4), para obtener fotografías con una cámara digital (Kodak v550) y así posteriormente se realizaron las mediciones con el programa de imagen tpsDig (versión 2.12). En segundo lugar, la longitud del cuerno (LCu) y la longitud de la tibia trasera izquierda (LTiT) se midió con un calibrador digital debido a que el cuerno se proyecta curvado en la parte delantera de la cabeza y la tibia trasera no se puede manipular seriamente para tomar fotografías útiles al estudio que se realizó.



Figura. 4 Muestra en placas de rejilla.



### ANÁLISIS DE LA MORFOMETRÍA LINEAL.

Se obtuvieron siete variables morfométricas (caracteres) (Fig. 5 y 6): se midió la longitud corporal (LC) a partir del borde anterior del pronoto hasta la punta del pigidio; el ancho del pronoto (AnP) se midió a partir del borde izquierdo al borde derecho del pronoto; el ancho humeral (AnHu) a partir del borde izquierdo al borde derecho del húmero; el alto del mesonoto (AlMe) se midió a partir del borde ventral del mesotórax al borde dorsal de los élitros; la longitud de la tibia trasera izquierda (LTiT) de la articulación del fémur a la articulación del tarso; solo para machos se midió la longitud del cuerno medio (LCu) a partir de la articulación de la cabeza a la punta del cuerno medio y la longitud del cuerno lateral (LCI) a partir de la base del pronoto a la punta del cuerno lateral, debido a que se midieron ambos cuernos laterales en todos los individuos ( $n = 100$ ) y no presentaron distribución normal (ver resultados y discusión) además resultaron ser del mismo tamaño (Wilcoxon-test:  $w = 4,286$ ,  $P = 0,7245$ ), por lo que sólo utilizamos datos de cuerno lateral izquierdo.

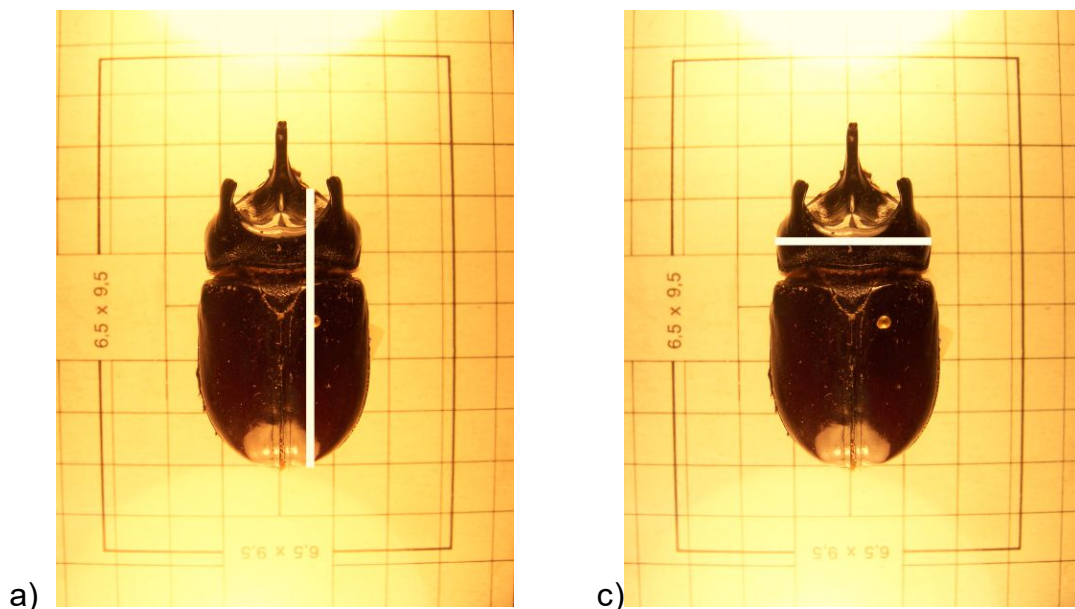
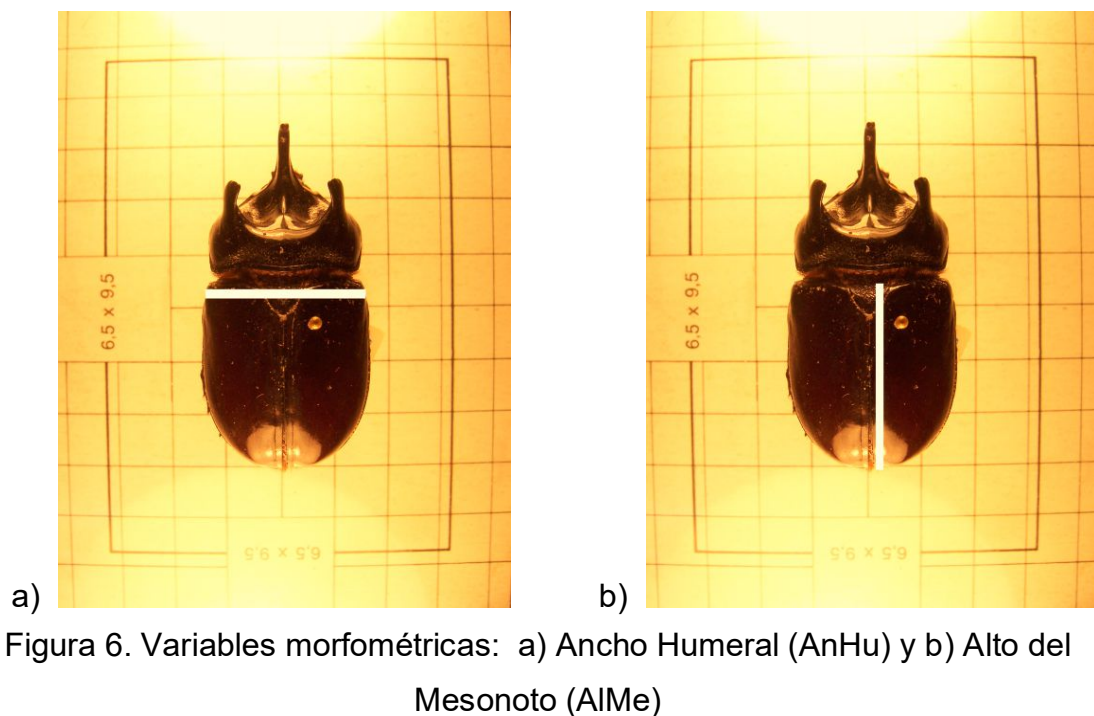


Figura 5. Variables Morfométricas: a) Longitud del Cuerpo (LC) y b) Ancho del Pronoto (AnP)



Para probar qué relación existe entre las variables morfométricas y cómo se comportan, primero investigamos la distribución de las variables, en seguida realizamos una correlación de pares, para ver cuáles variables se encontraban altamente correlacionadas y cuáles no, por medio del coeficiente de correlación de Pearson entre todos los pares de variables en cada sexo. Después, utilizamos las variables altamente correlacionadas para analizar un índice general de tamaño y la variación en la forma entre la muestra, mediante un análisis de componentes principales (PCA), el cual es una herramienta que se puede utilizar para resumir los patrones de variabilidad dentro de conjuntos de variables correlacionadas (Manly 1986). Así, se realizó un PCA para cada sexo. También, buscamos diferencias sexuales entre las variables morfométricas y se utilizó una prueba t de Student para las variables de distribución normal, así como una prueba de Wilcoxon para las variables no

normales entre sexos. Todos los análisis se llevaron a cabo con el programa R (R Developmental Core Team 2011).

## **RESULTADOS.**

Los resultados en cuanto a la distribución de las variables morfométricas, mostraron que todas las variables de las hembras se distribuyeron normalmente. Para los machos las variables morfométricas como la longitud del cuerpo (LC), ancho del pronoto (AnP) y ancho humeral (AnHu) se distribuyeron normalmente, pero las variables morfométricas como longitud del cuerno medio (LCu), longitud del cuerno lateral (LCI), la longitud de la tibia trasera izquierda (LTiT) y el alto del mesonoto (AlMe) no se distribuyen normalmente (Shapiro-Wilk test: LCu,  $W = 0.9442$ ,  $P < 0.001$ ; LTiT,  $W = 0.8845$ ,  $P < 0.001$ ; LCI,  $W = 0.9246$ ,  $P < 0.001$ ; AlMe,  $W = 0.844$ ,  $P < 0.001$ ). Las variables morfométricas como longitud del cuerno medio (LCu), la longitud del cuerno lateral (LCI), la longitud de la tibia trasera izquierda (LTiT) y alto del mesonoto (AlMe), tienen una tendencia bimodal con una distribución no normal. Sin embargo, para las variables morfométricas de la longitud del cuerno medio (LCu) y longitud del cuerno lateral (LCI), los datos transformados a logaritmo y los residuos sugieren una tendencia normal y lineal.

Se encontraron diferencias significativas entre machos y hembras (Tabla 1). Con respecto a las variables morfométricas del ancho del pronoto (AnP), el ancho humeral (AnHu) y la longitud de la tibia trasera izquierda (LTiT) resultaron ser más grandes en los machos, por el contrario la variable morfométrica del alto del mesonoto (AlMe) resultó ser más grande en las hembras, sin embargo la variable morfométrica de la longitud del cuerpo (LC) no fue significativamente diferente entre machos y hembras (Tabla 1).

Con respecto a la prueba de correlación de Pearson encontramos una fuerte correlación entre todas las variables medidas de las hembras, en los machos la variable morfométrica del alto del mesonoto (AlMe) no se correlacionó con otras variables a excepción de la longitud de la tibia trasera izquierda (LTiT) con la cual se correlacionó negativamente. Por otro lado, en los machos la variable morfométrica de la longitud de la tibia trasera izquierda (LTiT) está poco correlacionada con el resto de las variables (Tabla 2). Las variables morfométricas con la longitud del cuerpo (LC), el ancho del pronoto (AnP), el ancho humeral (AnHu), la longitud del cuerno medio (LCu) y la longitud del cuerno lateral (LCI) resultaron estar altamente correlacionadas (Tabla 2).

Tabla 1. Resumen de las estadísticas de las variables morfológicas. Prueba *t*-Student y prueba de Wilcoxon (*w*). Comparación entre machos (*n* = 92) y hembras (*n* = 100).

	Media		Prueba de Comparación	
	Macho	Hembra	Estadística	<i>P</i> value
<b>Longitud Corporal</b>	47.40±3.52	48.08±3.35	<i>t</i> = -1.372	0.171
<b>Ancho Pronoto</b>	25.28±2.40	21.47±1.64	<i>t</i> = 12.804	0.001
<b>Ancho Humeral</b>	27.77±2.44	26.60±2.02	<i>t</i> = 3.614	0.001
<b>Alto del Mesonoto</b>	11.41±3.60	15.77±1.19	<i>w</i> = 1729	0.001
<b>Longitud de la Tibia trasera izquierda</b>	14.91±3.47	9.57±0.74	<i>w</i> = 8310	0.001
<b>Longitud del Cuerno</b>	6.31±2.28	Na	Na	Na
<b>Longitud del Cuerno lateral</b>	12.80± 2.58	Na	Na	Na

Tabla 2. Relaciones de pares de las variables morfométricas en machos y hembras de *Strategus aloeus*. Se muestran los coeficientes de correlación debajo de la diagonal, así como los valores de p por arriba de la diagonal.

	Machos							Hembras				
	1 LC	2 AnP	3 AnHu	4 AlMe	5 LTiT	6 LCu	7 LCI	1 LC	2 AnP	3 AnHu	4 AlMe	5 LTiT
<b>1 Longitud Corporal</b>		0.001	0.001	0.77	0.001	0.001	0.001		0.001	0.001	0.001	0.001
<b>2 Ancho Pronoto</b>	0.92		0.001	0.86	0.001	0.001	0.001	0.9		0.001	0.001	0.001
<b>3 Ancho Humeral</b>	0.92	0.94		0.88	0.001	0.001	0.001	0.97	0.91		0.001	0.001
<b>4 Alto del Mesonoto</b>	0.031	-0.018	0.015		0.001	1	0.6	0.93	0.82	0.91		0.001
<b>5 Longitud de la Tibia trasera izquierda</b>	0.46	0.5	0.48	-0.75		0.001	0.001	0.87	0.81	0.86	0.83	
<b>6 Longitud del cuerno</b>	0.83	0.88	0.85	-0.001	0.47		0.001	Na	Na	Na	Na	Na
<b>7 Longitud del cuerno lateral</b>	0.77	0.85	0.83	-0.054	0.48	0.92		Na	Na	Na	Na	Na

En consecuencia, utilizamos las variables morfométricas no sexuales correlacionadas en el índice de Componentes Principales (PCA) para estimar patrones de variabilidad dentro de machos y hembras. El PCA muestra para los machos que el Componente Principal 1 (PC1) tiene un 74% de la variación, con un valor propio más de 5. El PC1 mostró valores negativos mayores para la variable morfométrica de la longitud del cuerpo (LC), pero valores negativos menores en las variables morfométricas de ancho del pronoto (AnP), el ancho humeral (AnHu) y la longitud de la tibia trasera izquierda (LTiT). El Componente Principal 2 (PC2) explica el 22% de la variación con un valor mayor de 2. El PC2 presentó valores positivas menores en las variables morfométricas de la longitud del cuerpo (LC), el ancho del pronoto (AnP) y el ancho humeral (AnHu), pero valores mayores y negativos en la variable morfométrica de la longitud de la tibia trasera izquierda (LTiT). En el PCA las dos variables morfométricas que varían más para los machos son la longitud de la tibia trasera izquierda (LTiT) y longitud del cuerpo (LC), la variable morfométrica que varía menos es el ancho del pronoto (AnP).

El PCA para las hembras mostró que el PC1 explica el 95% de la variación con un valor mayor de 4. El PC1 presento valores negativos mayores en la variable morfométrica de la longitud del cuerpo (LC), pero tiene valores negativos menores en las variables morfométricas del ancho del pronoto (AnP), el ancho humeral (AnHu), el alto del mesonoto (AlMe) y la longitud de la tibia trasera izquierda (LTiT). El PC2 explica 2% de la variación con un valor menor de 1; por lo tanto, no se tomó en cuenta. En el PCA la variable morfométrica que varía más para las hembras es la longitud del cuerpo (LC) y las variables morfométricas que varían menos son el ancho del pronoto (AnP), el alto del mesonoto (AlMe) y la longitud de la tibia trasera izquierda (LTiT) (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de Componentes Principales de las correlaciones de las variables morfométricas. El PCA general explica la varianza en machos (96,9%) y hembras (97,7%).

	<b>Machos</b>		<b>Hembras</b>	
	<b>PC1</b>	<b>PC2</b>	<b>PC1</b>	<b>PC2</b>
<b>Longitud del Cuerpo</b>	-0.637	0.365	-0.763	-0.333
<b>Ancho Pronoto</b>	-0.431	0.190	-0.349	0.873
<b>Ancho Humeral</b>	-0.438	0.217	-0.454	0.089
<b>Longitud de la Tibia trasera izquierda</b>	-0.464	-0.884	-0.149	-0.021
<b>Alto del Mesonoto</b>	Na	Na	-0.256	-0.341
<b>Valores propios:</b>	5.21	2.82	4.37	0.67
<b>% Variación</b>	74.9	22	95.5	2.2

## DISCUSIÓN.

Nuestros resultados sugieren que los caracteres o variables morfométricas son diferentes entre machos y hembras por lo que rechazamos la hipótesis 1 planteada en este trabajo. Estos caracteres se relacionan de manera diferente entre sí. Los caracteres de las hembras tienen menos variación y son más estables que los machos. También hay dimorfismo sexual en *S. aloeus*. Los machos, en general, eran más grandes que las hembras. Sin embargo, las hembras muestran mayor el mesonoto. Curiosamente, no hubo diferencia en la variable morfométrica de la longitud del cuerpo (LC). Por lo tanto, hipotetizamos que las hembras de *S. aloeus* podrían estar desarrollando un mayor mesonoto porque es posible que necesite reservas para ser utilizadas en el desarrollo de los huevos (Fairbairn *et al.* 2007). Como sucede en algunas especies de insectos, como los pulgas de agua en donde por lo general las hembras son más grandes que los machos debido a que el abdomen se expande para permitir el desarrollo de los huevos (Fairbairn *et al.* 2007).

Por otro lado, nuestros resultados sugieren que la variable morfométrica de la longitud del cuerno medio (LCu) y la longitud del cuerno lateral (LCI) muestran tendencias lineales a pesar de presentar bimodalidad, y esto coincide con investigaciones recientes (Álvarez *et al.* 2013). Nuestro análisis muestra que la variable morfométrica de la longitud del cuerpo (LC) no fue un buen indicador para describir el tamaño del cuerpo, debido a que los caracteres sexuales muestran mayor variación que los caracteres no sexuales (Cotton *et al.* 2004 a, b), por ejemplo caracteres sexuales secundarios tienden a ser dependientes a las condiciones y son altamente variable, en cambio, los caracteres que se mantienen durante toda la vida y son de alta importancia funcional, tales como caracteres esqueléticos, tienden a tener un desarrollo muy estable (ver Møller 1993; Algodón *et al.* 2004b). Sin embargo, encontramos

que la variable morfométrica del ancho del pronoto (AnP) parece ser más adecuada para establecerla como indicador del tamaño corporal.

Cabe mencionar que en este estudio, encontramos un grupo de machos ( $n = 27$ ) con las tibias traseras muy cortas pero con un muy alto mesonoto, es interesante que la longitud de la tibia trasera izquierda (LTiT) y el alto del mesonoto (AlMe) de los machos presentan tendencias bimodales, y ambos se correlacionan negativamente, sin embargo, este grupo no comparte la misma área de distribución geográfica, por lo que no podemos sugerir que esto se deba a factores abióticos propios de un ambiente determinado. En el resto de la muestra éstas variables morfométricas fueron diferentes entre hembras y machos (ver resultados), pero en este grupo de 27 machos la media de la longitud de la tibia trasera izquierda (LTiT) y el alto del mesonoto (AlMe) (media: LTiT = 9,78 mm; AlMe = 16,52 mm), aparentemente se parecen más a los caracteres de hembras. Por lo tanto, el comportamiento de estas variables morfométricas al parece muestran que existe una compensación entre la longitud de la tibia trasera izquierda (LTiT) y el alto del mesonoto (AlMe) de éstos machos. Por lo que sugerimos que el alto del mesonoto (AlMe) podría ser un carácter sexual secundario y su desarrollo podría estar afectando el desarrollo de la longitud de la tibia trasera izquierda (LTiT) (Nijhout y Emlen 1,998; Simmons & Emlen 2006).

Los resultados de este estudio plantean nuevas preguntas para futuras investigaciones sobre la morfología de esta especie. Por ejemplo, al parecer el mesonoto es un rasgo sexual que se desarrolla de forma diferente en machos y hembras. ¿Qué tan favorable es para los machos tener un mesonoto grande?, ¿Habría una relación entre el tamaño del mesonoto y las interacciones sexuales o la conducta de apareamiento en los machos?, ¿Cómo *S. aloeus* utiliza el mesonoto?. Por lo tanto, el desarrollo y la función de los caracteres sexuales y no sexuales deben ser investigados más a fondo.



## BIBLIOGRAFÍA.

Ahumada, M.L., H. Calvache, M.A. Cruz Calle y J.E. Luque.1995. *Strategus aloeus* (L.) (Coleoptera: Scarabaeidae): Biología y comportamiento en Puerto Wilches (Santander). *Palmas*, 16(3): 9- 16.

Álvarez, H.A, H. Carrillo-Ruiz and M.A. Morón. 2013. Horns positive allometry in a Mexican population of *Strategus aloeus* (L.) (Coleoptera: Scarabaeoidea: Dynastinae). *Entomotropica*, 28(2): 87-94.

Cotton, S., K. Fowler and A. Pomiankowski. 2004a. Condition dependence of sexual ornaments size and variation in the stalk-eye fly *Cyrtodipsis dalmanni* (Diptera: Diopsidae). *Evolution*, (58): 1038-1046.

Cotton, S., K. Fowler and A. Pomiankowski. 2004b. Do sexual ornaments demonstrate heightened condition-dependence expression as predicted by the handicap hypothesis? *Proceedings of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*, (271): 771-783.

E. Aldana, E. Heredia, F. Avendaño, E. Lizano , J. L. Concepción, R. Bonfante, C. Rodríguez, M. M. Pulido 2011. Análisis morfométrico de *Panstrongylus geniculatus* de Caracas, Venezuela. 0120-4157.

Fairbairn, D. J, W.U. Blanckenhorn and T. Székely (Eds). 2007. *Sex, size, and gender roles: evolutionary studies of sexual size dimorphism (Vol. 266)*. Oxford University Press, Oxford, England.

Lugo-García, G.A, L.D Ortega-Arenas, H. González-Hernández, A. Aragón-García, J. Romero-Nápoles, R. Rubio-Cortés y M.A. Morón. 2011. Nocturnal Melolonthidae (Coleoptera) collected in agave fields of Jalisco, Mexico. *Acta Zoológica Mexicana*, 27(2): 341-357.

Manly, B.F.J. 1986. *Multivariate Statistical Methods: A Primer*. Chapman and Hall, New York, USA.

Møller, A.P. 1993. Developmental stability, sexual selection and speciation. *Journal of Evolution Biology*, 6 (4): 493-509.

Morón, M.A. 1976. Notas sobre la conducta combativa de *Strategus julianus* Burmeister (Coleoptera, Melolonthidae, Dynastinae). *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoología* (47): 135-142.

Morón, M.A, B.C. Ratcliffe y C. Deloya (Eds). 1997. *Atlas de los escarabajos de México: Coleoptera: Lamellicornia. Vol. 1. Familia Melolonthidae*. CONABIO-SME, México.

Nijhout, H.F. and D. J. Emlen. 1998. Competition among body parts in the development and evolution of insect morphology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 95(7): 3685-3689.

Pallares, C. H, J. A Aldana, H. Calvache, P. Ramírez, D. Rochat, E. Luque y N. Correa. 2000. Análisis del comportamiento y comunicación química intraespecífica en *Strategus aloeus* (L.) (Coleoptera, Scarabaeidae-Dynastinae). *Palmas*, 21 (1): 185-194.

Pérez-Domínguez, J.F. 2006. Importancia del escarabajo rinoceronte *Strategus aloeus* (L.) (Coleoptera: Scarabaeidae) como plaga del cultivo de agave en Jalisco, México (pp. 181-194). In: Castro, A. E., M.A. Morón y A. Aragón (Eds.) *Diversidad, Importancia y Manejo de Escarabajos Edafícolas*. El Colegio de la Frontera Sur, Fundación PRODUCE Chiapas, A. C. y Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.

R Development Core Team. 2011. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.rproject.org/>

Ratcliffe, B. C.1976. A Revision of the Genus *Strategus* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Papers in Entomology*, 10(3): 91- 176

Simmons, L.W. and D.J. Emlen. 2006. Evolutionary trade-off between weapons and testes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(44): 16346-16351