



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMIA DE BIOLOGÍA
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

**VARIACIÓN CROMÁTICA DE *Canthon humectus hidalgoensis*
(COLEOPTERA: SCARABAEIDAE) EN CUATRO LOCALIDADES A
DIFERENTES ALTITUDES DEL NOROESTE DEL ESTADO DE HIDALGO,
MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

KARLA MARÍA MARTÍNEZ SÁNCHEZ

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. CLAUDIA ELIZABETH MORENO ORTEGA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA
COORDINACIÓN DE LA LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

M. EN C. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO
DIRECTOR DE CONTROL ESCOLAR, UAEH

P R E S E N T E

Por este conducto le comunico que el Jurado asignado a la pasante de Licenciatura en Biología **Karla María Martínez Sánchez**, quien presenta el trabajo recepcional de tesis intitulado "Variación cromática de *Canthon humectus hidalgoensis* (Coleoptera: Scarabeidae) en cuatro localidades a diferentes altitudes del noroeste del Estado de Hidalgo, México", después de revisarlo en reunión de sinodales ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Jurado:

PRESIDENTE:

M. en C. Mario Segura Almaraz

PRIMER
VOCAL:

Dra. Claudia Elizabeth Moreno Ortega

SEGUNDO
VOCAL:

Dr. Numa Pompilio Pavón Hernández

TERCER
VOCAL:

Dr. Juan Márquez Luna

SECRETARIO:

Dr. Gerardo Sánchez Rojas

PRIMER
SUPLENTE:

Dr. Ignacio Esteban Castellanos Sturemark

SEGUNDO
SUPLENTE:

Dra. Iriana Leticia Zuria Jordan

Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi más atenta consideración.

A T E N T A M E N T E

"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"

Mineral de la Reforma, Hidalgo a 05 de octubre de 2010

Biol. Ulises Iturbe Acosta

Coordinador Adjunto de la Licenciatura en Biología



DEDICATORIA

A mi mami por tu apoyo, atención y comprensión; pero sobre todo por haberme dado la vida y estar conmigo en los momentos más difíciles. TE QUIERO MUCHO MAMI...

A mi papi por el gran sacrificio que hiciste para que mis hermanos y yo llegáramos a ser lo que hoy somos, por tu apoyo, amor, paciencia y tu fuerza para salir adelante. TE QUIERO MUCHO PAPI...

A ti Toño porque cambiaste mi vida en todos los aspectos y porque la mayor parte de los mejores momentos de mi vida, los he pasado a tu lado. TE AMO...

A mi hermana por todo tu cariño, apoyo, consejos, buenos deseos y oraciones por mí. TE QUIERO MUCHO...

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Claudia Elizabeth Moreno Ortega, directora de la tesis, por tu apoyo, tiempo, conocimientos y sobre todo por tu paciencia. Gracias por todo!!

A Dr. Gerardo Sánchez Rojas por su apoyo y todos sus conocimientos aportados a este trabajo, ya que no solo fue sinodal sino un segundo director de tesis.

A Dr. Ignacio Castellanos Sturzmark, M. en C. Mario Segura Almaraz, Dra. Iriana Leticia Zuria Jordan, Dr. Juan Marquez Luna y Numa Pompilio Pavón Hernández, por su tiempo y comentarios dedicados a este trabajo.

A Dr. José Ramón Verdú Faraco de la Universidad de Alicante, España por su apoyo durante el trabajo en campo, por su valiosa identificación de los escarabajos coprófagos de las localidades muestradas.

A Ilse J. Ortega Martínez por su apoyo durante este trabajo, gracias por tu tiempo y por permitirme pasar buenos momentos en tu compañía.

A la Dra. Alma Delia Hernández Fuentes por su apoyo para realizar el trabajo de medición de color facilitándonos el uso del colorímetro.

A mis pequeñas pero grandes amigas Maribel Rivero Borja y Rosario Medrano Hernández, gracias por haberme permitido pasar momentos muy agradables durante esta gran etapa de mi vida, pero sobre todo gracias por su amistad.

Agradezco su apoyo financiero a los proyectos:

- 95828 del Fondo Mixto CONACYT-FIDFALGO con título "Diversidad Biológica del Estado de Hidalgo (segunda fase)
- 84127 Fondo de Ciencia Básica SEP- CONACYT denominado "Evaluación de distintas facetas de la diversidad biológica de escarabajos del estiércol (Coleoptera: Scarabaeidae, Geotrupidae)"

Contenido

1. Resumen	7
2. Introducción	8
3. Antecedentes	9
3.1 Características de <i>Canthon humectus hidalgoensis</i>	11
4. Justificación	14
5. Objetivos	15
6. Hipótesis	16
7. Material y método	17
7.1 Área de estudio	17
7.2 Trabajo en campo	18
7.2.1 Muestreo mediante trampas	19
7.2.1.1 Variación de color en diferentes altitudes	19
7.2.1.2 Variación de color en diferente cobertura arbórea	20
7.2.2 Observaciones directas	20
7.3 Trabajo en laboratorio	21
7.3.1 Almacenamiento e identificación del material obtenido en campo	21
7.3.2 Descripción de la variación cromática	21
7.4 Análisis de datos	23
7.4.1 Variación de color en cuatro localidades con distinta altitud	23
7.4.2 Variación de color en distinta cobertura arbórea	24
7.4.3 Preferencia de color en la formación de parejas	25
8. Resultados	26
8.1 Variación cromática	26
8.2 Variación de color en cuatro localidades con distinta altitud	27
8.3 Variación de color en distinta cobertura arbórea	29
8.4 Preferencia de color en la formación de parejas	30
9. Discusión	33
10. Conclusión	36
11. Literatura citada	37

Índice de figuras

Figura 1. Ejemplar de <i>Canthon humectus hidalgoensis</i> Bates, 1887	13
Figura 2. Ubicación geográfica de los sitios de estudio en el estado de Hidalgo, México	17
Figura 3. Coprotrampa utilizada en el muestreo para escarabajos coprófagos	19
Figura 4. Distribución espacial de 10 trampas utilizadas en el muestreo en diferentes altitudes. Las trampas fueron separadas 30 metros una de otra, dispuestas de la siguiente manera: 1-7 en áreas pastizal y 8-10 en zonas de bosque	20
Figura 5. Representación espacial del modelo CIE-Lab	22
Figura 6. Dispersión de la variación cromática en individuos de la subespecie <i>Canthon humectus hidalgoensis</i> en cuatro poblaciones del noroeste del estado de Hidalgo, México	26
Figura 7. Dispersión de los individuos de <i>Canthon humectus hidalgoensis</i> según el valor del ángulo <i>hue</i>	27
Figura 8. Relación entre las proporciones de color de los individuos de <i>Canthon humectus hidalgoensis</i> y los distintos pisos altitudinales	28
Figura 9. Relación del porcentaje de frecuencia del color de individuos de <i>Canthon humectus hidalgoensis</i> con la cobertura arbórea	29
Figura 10. Porcentaje de frecuencia de parejas de <i>Canthon humectus hidalgoensis</i> observadas en la localidad Jacala	31
Figura 11. Datos de colores de parejas de <i>Canthon humectus hidalgoensis</i> en la localidad de Barranca Seca	31

Índice de cuadros

Cuadro 1. Características ambientales de cada una de las localidades de muestreo	18
Cuadro 2. Tabla de contingencia. Se muestran los valores observados y los valores esperados	28
Cuadro 3. Tabla de contingencia de valores observados y valores esperados (entre paréntesis), para la relación entre el color de <i>Canthon humectus hidalgoensis</i> y la cobertura arbórea	29
Cuadro 4. Categorías y subcategorías en las agruparon los colores de los individuos de la formación de parejas	30
Cuadro 5. Tabla de contingencia de los valores observados y valores esperados resultantes de la preferencia de color en la formación de parejas	32

1. Resumen

Algunas especies de escarabajos coprófagos muestran un alto grado de variación en el color del exoesqueleto, aunque hasta la fecha muy pocos trabajos han documentado cuantitativamente esta variación. En este trabajo se analiza la variación de color de *Canthon humectus hidalgoensis* (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) en cuatro localidades del noroeste del Estado de Hidalgo, México. El trabajo en campo se llevó a cabo en el mes de agosto del 2008 en cuatro localidades a diferente altitud: Camino a Plomosas (1850m s.n.m.), Jacala (1376m s.n.m.), Hilojuanico (1134m s.n.m.) y Barranca Seca (800m s.n.m.). También la variación de color en sitios con distinta cobertura arbórea, y la preferencia de color en la formación de parejas de dicha subespecie. En el área de estudio la subespecie presenta una amplia variación cromática, incluyendo tonos marrón, azul y verde con valores de luminosidad (L^*) que van de 33.35 a 71.85. Se encontró que las proporciones de color de *Canthon humectus hidalgoensis* varían entre las cuatro comunidades, habiendo una mayor proporción de individuos de color azul en las localidades de menor altitud, y una mayor proporción de individuos marrón y verde en las localidades ubicadas a una mayor altitud. No se encontró relación entre la cobertura arbórea y la variación de color. Tampoco se detectó preferencia de color en la formación de parejas.

2. Introducción

La coloración iridiscente se presenta en algunos órdenes de insectos y ha sido objeto de muchos estudios, particularmente en Lepidoptera (Ghiradella, 1985; Brink & Lee, 1998; Sweeney *et al.*, 2003; Kemp, 2007a) y recientemente en Coleoptera (Parker *et al.*, 1998; Kurachi *et al.*, 2002; Vigneron *et al.*, 2006; Brink *et al.*, 2007). Sin embargo, se ha observado que el color en el caso de los escarabajos, no se produce por la composición química del exoesqueleto, sino que es producido por la ultra-estructura cuticular a través de la reflexión selectiva de longitudes de onda visibles particulares (Davis *et al.*, 2008).

Los escarabajos coprófagos muestran una gran variación de color en el exoesqueleto, aunque la manera en que se genera el color es muy especulativa. La subfamilia Scarabaeinae está compuesta por 12 tribus incluyendo a los taxa no iridiscientes, en los que el color es generado por pigmentación dada posiblemente por melanina (negro a café), pero con una contribución parcial por otros pigmentos de coloración (ej. rojo, amarillo) en algunas especies (Davis *et al.*, 2008). Algunos escarabajos del estiércol negros con apariencia metálica podrían representar casos de coloración inducida por una mezcla de pigmentos de melanina y la iridiscencia de la ultra-estructura cuticular, tal como se ha descrito en algunos escarabajos carábidos (Lindroth, 1974; Paarmann *et al.*, 2007; Davis *et al.*, 2008). Sin embargo, los individuos de muchas especies iridiscientes son esencialmente monocromáticos. Aunque algunas especies monocromáticas muestran el mismo color en todos los individuos, hay muchas especies que son polimórficas, comprendiendo dos o tres variedades de color (Ferreira, 1972). En escarabajos coprófagos iridiscientes la atención prestada al color se ha orientado a estudios sobre atributos biológicos (Favila *et al.*, 2000) o a las respuestas de la cutícula a las condiciones ambientales (Davis & Génier, 2007).

En este trabajo se analizó la variación de color de *Canthon humectus hidalgoensis* (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) en cuatro localidades ubicadas a diferente altitud (1850, 1376, 1134 y 800m s.n.m.), y en sitios con diferente cobertura arbórea (pastizal y bosques), así como la posible preferencia de color durante la formación de parejas.

3. Antecedentes

En muchos animales terrestres es posible encontrar una amplia variedad de colores, como en los insectos y en las aves. Estos dos grupos poseen una capacidad visual ampliamente desarrollada y están en interacción frecuentemente unos con otros, debido a la depredación de insectos por aves. Regularmente el color en estos animales está asociado a los patrones de comportamiento diurno, lo cual lleva a la hipótesis de que el color puede haber surgido como una adaptación que es usada para una comunicación inter e intraespecífica (Otronen, 1988; Endler, 1990).

Una forma de comunicación interespecífica según Guilford (1990), se refiere a que el color en insectos se ha asociado con la defensa contra depredadores, como la coloración críptica o la coloración aposemática. La coloración críptica, ocurre cuando el organismo adquiere una coloración semejante a la del substrato, haciendo pasar al animal desapercibido frente al depredador. El desarrollo de una coloración brillante y conspicua se le llama coloración aposemática, y ocurre cuando un organismo adquiere colores que indiquen advertencia (rojo, amarillo, etc.) con la finalidad de evitar ser atacados por sus depredadores. Respecto a la forma de comunicación intraespecífica los colores se usan para enviar señales visuales a individuos del mismo sexo, como en el caso de una interacción antagonista entre machos, o a individuos del sexo opuesto, para el cortejo y apareamiento (Guilford, 1990).

En escarabajos, el color más frecuente en especies diurnas es el verde, aunque el azul, el rojo, el amarillo y el morado también pueden ser comunes (Crowson, 1981). En la familia Scarabaeidae la coloración brillante y metálica es común (Halffter & Matthews, 1966; Halffter & Edmonds, 1982; Young, 1984), pero no hay evidencia acerca de que el color corresponda a aposematismo o sea usado para comunicaciones intraespecíficas (Vulinec, 1997).

La coloración animal regularmente se correlaciona con la capacidad visual de las especies. Los mamíferos normalmente son de color café o negro, que son tonalidades dadas por la melanina, sin embargo la mayoría de estos animales parecen no ver o responder a los estímulos de color. El humano es una excepción de los mamíferos, ya que el ser humano puede ver longitudes de onda que van de 400-790nm (Endler, 1990). Las aves además de percibir los colores visibles para el humano, también detectan los colores ultravioleta con longitudes de onda más corta de 400nm (Goldsmith; 1980; Parrish *et al.*,

1984; Vulinec, 1997). El sistema visual de los insectos varía, por lo general capta entre 350-650nm, por ejemplo, las polillas perciben un longitudes de onda de 345-520nm, mientras que en las mariposas su máximo de percepción es de 550nm (Silberglied, 1979; Endler, 1990).

Existen trabajos que tratan sobre la coloración en algunas especies de escarabajos coprófagos. Uno de esos trabajos es el de Davis *et al.* (2008), quienes estudiaron qué implicaciones funcionales tiene la temperatura en relación al polimorfismo referido al color en especies iridiscentes, usando una especie de escarabajo coprófago del sur de África, *Gymnopleurus humanus* Macleay (Scarabaeinae), ya que algunas poblaciones son dominadas por una sola variedad de color, sin embargo otras comprenden más de un color morfológico (Davis & Génier, 2007). En este trabajo se encontró que la temperatura está correlacionada con el color del exoesqueleto, ya que se observó que a mayores altitudes el color predominante en los escarabajos era negro y en altitudes menores el color más abundante era el color cobre. Además, los patrones climáticos se relacionaron con la interacción entre la época de reproducción y de desarrollo bajo diferentes temperaturas. El polimorfismo del color puede servir de ventaja en un gradiente de clima frío a cálido. Dada la correlación con la temperatura, Davis *et al.*, (2008) postulan que la variación de coloración en estas poblaciones podría ser afectada por el cambio climático.

Otro estudio sobre variación de color fue presentado por Favila *et al.* (2000) quienes estudiaron a la especie *Canthon cyanellus cyanellus* LeConte, que es un escarabajo coprófago abundante en el bosque tropical en Los Tuxtlas, Veracruz, México. Los escarabajos pertenecientes a esta especie normalmente son de color verde, sin embargo se observó que existen individuos de color rojo el cual es generado por una mutación. La mutación que genera el color rojo es heredable en los individuos de *Canthon cyanellus cyanellus*. En este trabajo, bajo condiciones de laboratorio, se formaron parejas con un individuo de color verde y otro de color rojo con la finalidad de reproducción. En los individuos resultantes de la reproducción las proporciones fueron de 3:1 normales:mutantes, lo cual sugiere que el color es controlado por genética mendeliana (Favila *et al.*, 2000).

Por otro lado, hay antecedentes acerca del efecto de la altitud en las comunidades de escarabajo coprófagos. Por ejemplo, se ha observado que la altitud se relaciona con la diversidad, riqueza y composición de las comunidades, pues conforme

aumenta la altitud disminuye la riqueza de especies y por consiguiente cambia la composición de las comunidades (Escobar *et al.*, 2005). Escobar *et al.* (2007) evaluaron el efecto que tiene el medio ambiente (asociado con la ganadería) y los factores biogeográficos en la diversidad de escarabajos del estiércol (Scarabaeinae) en tres gradientes altitudinales en la región Neotropical, utilizando coberturas arbóreas que van de pastizal a bosque. Ellos encontraron que a mayor altitud hay un menor número de especies de escarabajos; y en cuanto a la cobertura arbórea se observó en algunos de los sitios una variación tanto del número de especies como en la composición de las especies entre los hábitat. Por lo tanto, Escobar *et al.* (2007) concluyen que las actividades humanas han tenido un impacto sobre las comunidades de escarabajos, y que dicho impacto puede variar en función de la ubicación geográfica.

En el Estado de Hidalgo, México, se ha descrito a *Canthon humectus hidalgoensis* como la especie dominante en comunidades de los matorrales xerófilos de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (Verdú *et al.*, 2007). Estos autores reportan un muestreo de 75,605 individuos pertenecientes a 20 especies de Scarabaeidae, y de este número total de individuos, 71,164 (el 94%) fueron individuos de *Canthon humectus hidalgoensis*. Sin embargo, no existe ningún antecedente sobre la ecología poblacional, la variación fenotípica o el comportamiento de esta subespecie.

3.1 Características de *Canthon humectus hidalgoensis*

Canthonina es la subtribu más característica y rica en especies de la fauna americana de escarabajos coprófagos (Scarabaeinae). Dentro de Canthonina el género *Canthon* posee una amplia distribución e incluye un gran número de especies (174 especies y subespecies). Este género está constituido por nueve subgéneros, de los cuales el de mayor riqueza de especies es *Canthon* que junto con *Glaphyrocanthon*, comprenden alrededor del 70% de las especies descritas.

Las especies de México pertenecientes a los subgéneros *Canthon* y *Glaphyrocanthon* han sido estudiadas en varias revisiones. Halffter (1961) examinó el subgénero *Canthon*, mientras que el subgénero *Glaphyrocanthon* fue revisado por Martínez *et al.* (1964) y por Rivera-Cervantes y Halffter (1999).

Canthon humectus (Say) es una especie integrada por ocho subespecies con distribución geográfica bien definida (Halffter & Halffter, 2003): *Canthon h. humectus* (Say), *Canthon h. sayi* Robinson, *Canthon h. incisus* Robinson, *Canthon h. assimilis* Robinson, *Canthon h. riverai* (Halffter & Halffter), *Canthon h. hidalgoensis* (Bates), *Canthon h. alvarengai* (Halffter) y *Canthon h. blumei* (Halffter & Halffter). Esta especie presenta una posición relativamente aislada dentro del género y subgénero *Canthon*, es decir no existe alguna especie que esté próxima a ella (Halffter & Halffter, 2003).

Las características que distinguen a *Canthon humectus* (Say) son: cípeo bidentado, borde posterior del fémur posterior con un peine de sedas, especialmente en machos. La diferencia morfológica para las subespecies es la distancia entre los dientes I, II y III del borde externo de la parte anterior de la tibia, además de la escultura del pronoto y de los élitros, ya que puede ser fina o con muy fina puntuación, con gránulos; otra de las características es la forma del edeago, especialmente en vista frontal (Halffter & Halffter, 2003).

Canthon humectus se distribuye en Guatemala y México, específicamente en: Aguascalientes, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Distrito Federal, Durango, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas (Delgado & Márquez, 2006). En Hidalgo las subespecies que se pueden encontrar son: *Canthon humectus hidalgoensis* Bates (Barranca de Metztitlán, Barranca de Tolimán, Tula y Zacualtipán) y *Canthon humectus humectus* (Say) (Atotonilco El Grande, Barranca de Meztitlán, Hueyapan, Ixmiquilpan, Molango, Otongo, San Miguel Regla, Tepeoco, Tocomulco, Tolantongo, y Tulancingo) (Halffter 1961, Halffter & Halffter, 2003, Delgado & Márquez, 2006).

Canthon humectus humectus es una subespecie que se caracteriza por presentar la superficie tanto del pronoto como de los élitros lisa, a veces con pequeñas manchas brillantes apenas perceptibles en los élitros; los tres dientes del borde externo de las tibias anteriores son equidistantes (Halffter en preparación).

Canthon humectus hidalgoensis Bates, 1887 es un escarabajo coprófago, rodador, de hábitos diurnos y generalmente más activo en las horas de mayor insolación. El proceso de nidificación comprende diferentes etapas: elaboración de la bola de excremento por el macho, la atracción de la hembra por medio de feromonas y rodaje de la bola. El rodaje de la bola se lleva a cabo de la siguiente manera: el macho empuja

la bola con las patas traseras, la hembra va arriba de la bola ayudando al macho hasta llegar al sitio de nidificación, en donde es enterrada la bola de excremento por el macho y se transforma en bola-nido por la hembra (Morón, 2003).

Los individuos pertenecientes a *Canthon humectus hidalgoensis* (Fig. 1) se caracterizan porque en las tibiae anteriores, el diente medio y distal están más próximos entre sí que los dientes medio y basal; el pronoto y élitros presentan gránulos aplanados (Halffter & Halffter, 2003).



Figura 1. Ejemplar de *Canthon humectus hidalgoensis* Bates, 1887

4. Justificación

Este trabajo se orienta al estudio de una subespecie de escarabajo coprófago descrita en el Estado de Hidalgo, *Canthon humectus hidalgoensis* (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae), de la cual se tiene muy poco conocimiento. Se presenta una descripción de algunas características de la subespecie como son: a) variación en su color y su relación con la altitud y la cobertura arbórea; y b) comportamiento, particularmente sobre preferencia de color durante la formación de parejas. Este trabajo tiene como finalidad documentar algunas características intrapoblacionales, ya que en el Estado de Hidalgo esta subespecie ocupa un lugar relevante en las comunidades de escarabajos coprófagos por su gran abundancia. Además, es una subespecie con gran importancia ecológica por el papel que desempeña el proceso de remoción, relocalización y descomposición del excremento de herbívoros.

5. Objetivos

Objetivo general:

- ✓ Analizar la variación en el color de *Canthon humectus hidalgoensis* (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) en cuatro localidades del noroeste del Estado de Hidalgo.

Objetivos particulares:

- ✓ Describir la variación cromática de *Canthon humectus hidalgoensis* en el noroeste del Estado de Hidalgo.
- ✓ Analizar la variación en el color de *Canthon humectus hidalgoensis* en cuatro localidades con distinta altitud (800, 1134, 1376 y 1850 m s.n.m.).
- ✓ Analizar la variación en el color de *Canthon humectus hidalgoensis* en zonas con distinta cobertura arbórea (pastizal y bosque).
- ✓ Conocer si existe preferencia de color en la formación de parejas de *Canthon humectus hidalgoensis*.

6. Hipótesis:

1. Si las condiciones ambientales que se presentan en los distintos pisos altitudinales influyen en el color de *Canthon humectus hidalgoensis*, se espera que en localidades ubicadas a diferentes altitudes la proporción de colores sea diferente.
2. Si las condiciones ambientales generadas por la presencia de cobertura arbórea influyen en el color de *Canthon humectus hidalgoensis*, se espera que la proporción de colores varíe en función de la distinta cobertura arbórea (pastizal y bosque).
3. Si el color es un rasgo fenotípico importante en la selección sexual de *Canthon humectus hidalgoensis*, se espera que la formación de parejas esté influida por la coloración de sus integrantes.

7. Material y Método

7.1 Área de estudio

El trabajo se llevó a cabo en cuatro localidades: Camino a Plomosas, Jacala, Hilojuanico y Barranca Seca; las tres primeras pertenecientes al municipio de Jacala de Ledesma y la última al municipio de Pacula, ambos municipios localizados al noroeste del Estado de Hidalgo, México (Fig. 2).

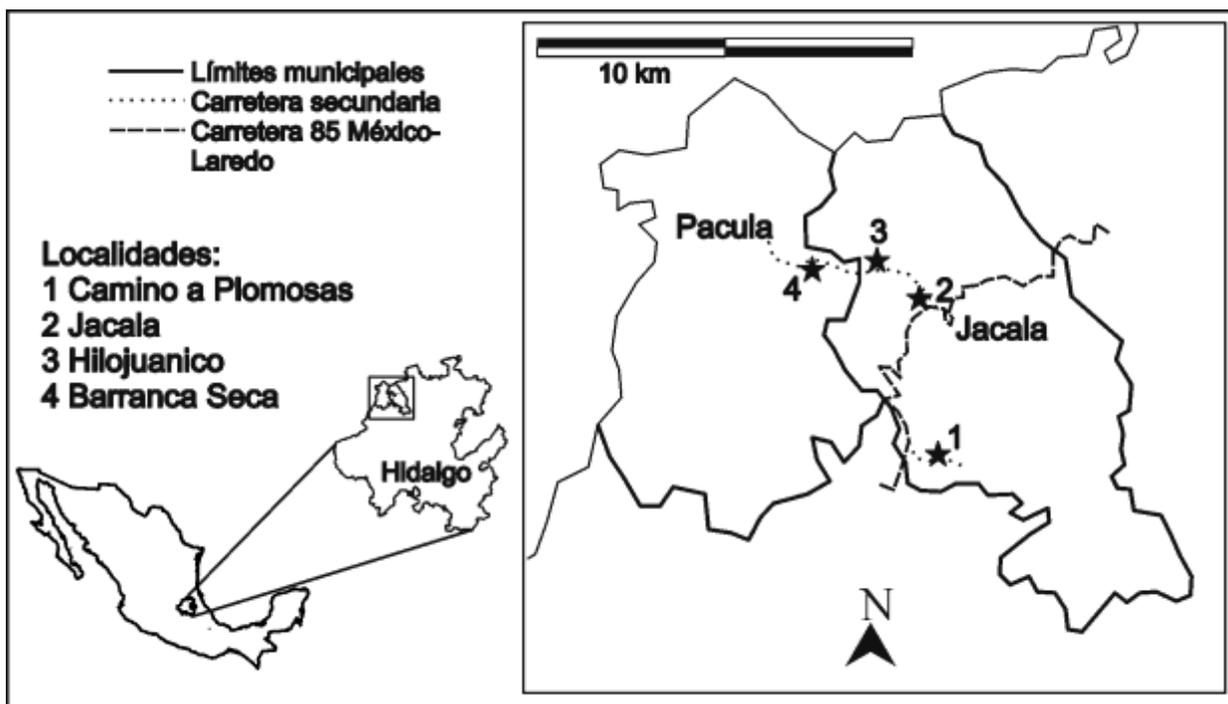


Figura 2. Ubicación geográfica de los sitios de estudio en el estado de Hidalgo, México.

Las características climáticas y ambientales (Cuadro 1) de las localidades en las que se realizó el muestreo fueron las siguientes:

1) Camino a Plomosas, se localiza a $20^{\circ} 56' 36.65''$ de latitud norte y $99^{\circ} 12' 29.23''$ de longitud oeste, a una altitud de 1850 m s.n.m. De acuerdo a su ubicación, posee un clima templado subhúmedo con lluvias en verano y la vegetación que lo compone corresponde a bosque de *pino-encino* (INEGI, 2005).

2) Jacala, se localiza a 21° 01' 1.17" de latitud norte y 99° 12' 2.35" de longitud oeste, con una altura de 1376m s.n.m. El clima es semicálido subhúmedo con lluvias en verano, la vegetación está compuesta por pastizal, zonas agrícolas y bosque de *Juniperus* (INEGI, 2005).

3) Hilojuanico, se ubica en la parte norte del municipio de Jacala, a 21° 2.0" 0.89" de latitud norte y 99° 15' 21.41" de longitud oeste, a una altura de 1134m s.n.m. Tiene un clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano y vegetación compuesta por cultivos (de maíz) y matorral submontano (INEGI, 2005).

4) Barranca Seca, se localiza a 21° 2.0' 26.53" de latitud norte y 99° 16' 5.76" de longitud oeste, con una altura de 800 m s.n.m. El clima es semicálido subhúmedo con lluvias en verano y su vegetación se compone de matorral submontano y fragmentos de bosque de *Quercus* (INEGI, 2005).

Cuadro. 1 Características ambientales de cada una de las localidades de muestreo

Localidad	Municipio	Altitud (m s.n.m.)	Temperatura media anual (°C)	Temperatura media del periodo del año más húmedo (°C)	Precipitación media anual (mm)
Camino a plomas;	Jacala de Ledesma	1850	19	21	926
Jacala	Jacala de Ledesma	1376	21	23	622
Hilojuanico	Jacala de Ledesma	1134	22	24	676
Barranca Seca	Pacula	800	23	25	890

7.2 Trabajo en campo

El trabajo de campo consistió en dos actividades: 1) muestreo mediante trampas para evaluar la variación en el color de *Canthon humectus hidalgoensis* a diferentes altitudes y en diferente cobertura arbórea y 2) observaciones directas del color de los integrantes de parejas formadas. Ambas actividades se llevaron a cabo en el mes de agosto del año 2008, dos meses después de haber iniciado la época de lluvia en la región

lo cual es importante para que los escarabajos coprófagos lleven a cabo sus actividades (reproducción, nidificación, alimentación, etc.) (Halffter & Edmonds, 1982).

7.2.1 Muestreo mediante trampas

7.2.1.1 Variación de color en diferentes altitudes

En las cuatro localidades se realizó un muestreo de la comunidad de escarabajos coprófagos mediante coprotrampas utilizando como cebo mezcla de excremento de borrego (70%) con excremento de caballo (30%). Las trampas se llenaron a un tercio de su capacidad con etilenglicol (anticongelante para auto) diluido al 10% con agua con la finalidad de matar y preservar los escarabajos al caer en la trampa (Fig. 3).

En cada una de las cuatro localidades se colocaron 10 coprotrampas en un área de 90 x 60 m de forma equidistante (30m) entre una trampa y otra (Fig. 4); siete de las trampas se colocaron en zonas de pastizal (sin cobertura arbórea) y tres en zonas de bosque (con cobertura arbórea). Se decidió poner un mayor número de trampas en zonas de pastizal, ya que en muestreos anteriores en la zona (Ortega-Martínez, 2010) se observó que el número de individuos de *Canthon humectus hidalgoensis* es mayor en zonas abiertas que en zonas con cobertura arbórea. Las trampas se dejaron funcionando dos días. Se retiró el cebo de las trampas revisándolo cuidadosamente para evitar que se quedara algún escarabajo. Los escarabajos capturados en el anticongelante de la trampa se vaciaron en una bolsa hermética para ser trasladados al laboratorio.



Figura 3. Coprotrampa utilizada en el muestreo para escarabajos coprófagos.

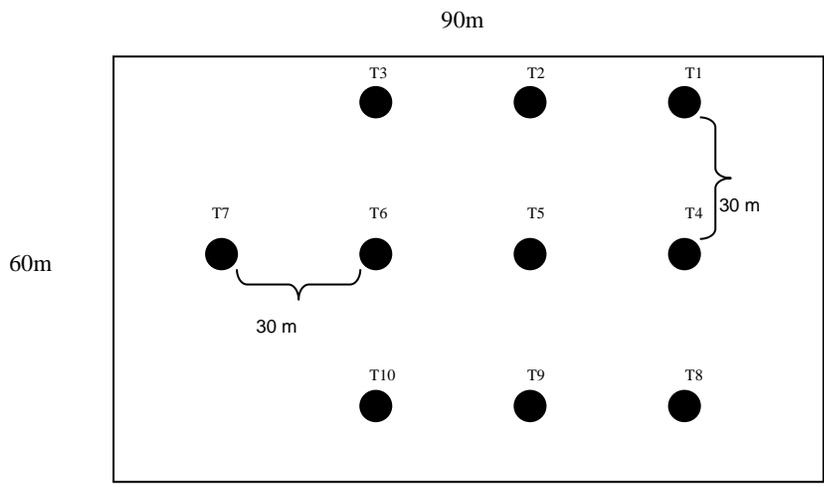


Figura 4. Distribución espacial de 10 trampas utilizadas en el muestreo en diferentes altitudes. Las trampas fueron separadas 30 metros una de otra, dispuestas de la siguiente manera: 1-7 en áreas pastizal y 8-10 en zonas de bosque.

7.2.1.2 Variación de color en diferente cobertura arbórea

Para evaluar la variación de coloración de *Canthon humectus hidalgoensis* bajo diferente cobertura arbórea (pastizal y bosque) se realizó un muestreo únicamente en la localidad de Jacala. Se utilizó el mismo tipo de coprotrampas (Fig. 3). Se colocaron nueve trampas en el área de pastizal y nueve en el bosque. En cada tipo de hábitat las trampas se colocaron separadas 30m. Las trampas se dejaron funcionando dos días y se recogieron los ejemplares capturados examinando que en el cebo no se quedara ningún escarabajo. Los escarabajos capturados se almacenaron en bolsas herméticas, para posteriormente ser revisados en el laboratorio.

7.2.2 Observaciones directas

La actividad correspondiente a la preferencia de color en la formación de parejas se llevó a cabo en dos localidades: Jacala y Barranca Seca. Se realizaron observaciones directas de 25 parejas formadas de *Canthon humectus hidalgoensis* durante su proceso de traslado de la bola de excremento al sitio de nidificación, estas observaciones fueron hechas solamente en áreas de pastizal. Se anotaron los colores de los individuos.

7.3 Trabajo en laboratorio

7.3.1 Almacenamiento e identificación del material obtenido en campo

El material obtenido durante el trabajo de campo se llevó al Laboratorio de Ecología de Comunidades, del Centro de Investigaciones Biológicas de la UAEH, donde las muestras se limpiaron y se almacenaron en alcohol 70% para posteriormente revisarlas e identificarlas. Los individuos pertenecientes a *Canthon humectus hidalgoensis* se identificaron por su morfología, tamaño e iridiscencia. A partir de la revisión visual de todos los ejemplares recolectados, se realizó una colección de referencia de la variación cromática observada, la cual contiene 53 colores.

7.3.2 Descripción de la variación cromática

El color, según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, es la sensación producida por los rayos luminosos que impresionan los órganos visuales y que depende de la longitud de onda. Los órganos visuales a los que se refiere la definición anterior son los sensores que se encuentran en la retina. Existen tres tipos de sensores de color o fotorreceptores: uno sensible a la luz roja (sensor L), uno sensible a luz verde (sensor M) y uno sensible a luz azul (sensor S). A partir de las respuestas que proporcionan los fotorreceptores, el cerebro las capta y las interpreta para proporcionar un código de color al objeto visto, este código perceptual de color, basado en las respuestas iniciales de los colores de la retina, consta de tres atributos básicos: tono, claridad y croma (Montesino, 2003).

Tono (hue o h^*) es el nombre del color, la cualidad por la cual se distingue una familia de otra de colores cromáticos como el rojo del amarillo.

Claridad es la luminosidad del color, cualidad a través de la cual se distingue los colores claros de los colores oscuros.

Croma es la fuerza del color o la intensidad de un tono distinto.

Con la finalidad de lograr una representación uniforme del color, la CIE (Comisión Internacional de Iluminación) en el año de 1976 desarrolló un modelo llamado "Lab" que es un espacio estandarizado de color. De esta manera, los colores se representan en el espacio a unas distancias proporcionales a las diferencias visuales entre ellos. Este modelo

se basa en el análisis de los colores opuestos. La variable L^* es una medida de luminosidad que va de cero (negro) a 100 (blanco), mientras que las variables a^* y b^* definen las señales de color verde-rojo, y amarillo-azul, respectivamente. El valor negativo de a^* define un color verde y el valor positivo de a^* se refiere al color rojo, mientras que el valor positivo de b^* define un color amarillo y el valor negativo de b^* es azul (Fig. 5) (CIE, 1995).

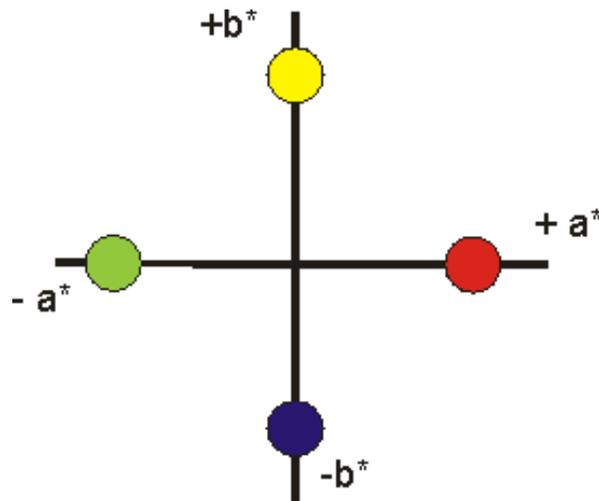


Figura 5. Representación espacial del modelo CIE-Lab.

El color en el modelo espacial CIE-Lab puede ser representado mediante un sistema de coordenadas bidimensional con las variables a^* y b^* (Fig. 5), o tridimensional con las variables L^* , a^* y b^* . El color también puede ser representado por un sistema de coordenadas polares, es decir en un sistema de coordenadas bidimensional que determina la posición de un punto en un plano a través del valor de un ángulo. El color se expresa mediante la posición del ángulo *hue* (tono) en un plano. El ángulo *hue* es definido por la relación de las variables a^* y b^* , usando la siguiente fórmula:

$$h^* = \arctan(b^*/a^*)$$

El valor del ángulo *hue* que se obtiene a través de esta fórmula se expresa en radianes, por lo que se debe hacer una conversión de radianes a grados, tomando en cuenta que 1 radian = 57.3°.

En este trabajo se evaluó primero a simple vista el color de todos los ejemplares recolectados u observados de *Canthon humectus hidalgoensis*. A partir de esta catalogación visual se registraron 53 posibles colores y se formó una colección de referencia con ejemplares representantes de esta variación cromática. Posteriormente, se midió el color de estos 53 ejemplares mediante un espectrofotómetro Minolta modelo CM-508d. Este equipo proporcionó los valores L^* , a^* y b^* ; de los cuales a^* y b^* fueron utilizados para calcular el ángulo *hue*. Se realizó una gráfica de los valores a^* y b^* , así como del ángulo *hue* para representar la variación cromática de *Canthon humectus hidalgoensis* en la zona de estudio. Para el valor de L^* se calculó la media y la desviación estándar con la finalidad de conocer la tendencia del color a ser oscuro o claro.

7.4 Análisis de datos

7.4.1. Variación de color en cuatro localidades con distinta altitud

Para evaluar las proporciones de color en diferentes altitudes, se pidió a 15 personas que evaluaran el color de cada uno de los 53 ejemplares que conforman la colección de variación cromática con la finalidad de agruparlos en categorías. Esta actividad se llevó a cabo el mismo día con luz natural. Se analizaron los datos obtenidos de la evaluación por las 15 personas y con base en las coincidencias de sus respuestas se agruparon los colores en tres categorías (azul, verde y marrón). Cabe mencionar que en cada una las tres categorías existe una variación en el color, es decir, en la categoría azul se agruparon los individuos de colores oscuros; los individuos de color verde y sus variantes se agruparon en la categoría verde; y por último la categoría marrón integra todos los individuos de color rojo a café, cada uno de estos colores con sus respectivas variantes.

Posteriormente, se procedió a contar el número de individuos de cada color en cada una de las muestras obtenidas mediante las trampas de caída. La frecuencia de color de *Canthon humectus hidalgoensis* en diferentes altitudes fueron analizadas estadísticamente mediante la prueba de ji-cuadrada. La ji-cuadrada (χ^2), que es una prueba de bondad de ajuste, se usa para inferir si una muestra o una población se ajusta a cierta distribución teórica, obteniendo valores esperados (que surgen de la distribución teórica) y observados (son los obtenidos en la muestra o población estudiada). La ji-cuadrada es calculada por medio de la siguiente ecuación:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O-E)^2}{E}$$

Donde:

O es el valor observado

E es el valor esperado

En este análisis se usó la prueba de χ^2 para más de dos categorías en la cual se busca comparar el ajuste de los datos a una distribución teórica. Los datos obtenidos se registraron en una tabla de contingencia, en donde el número de columnas en la tabla de contingencia se denomina C y el número de renglones es R , por lo que hay $R \times C$ celdas en la tabla. En una tabla de contingencia se muestran las frecuencia observadas (O) en cada celda, así como la frecuencia esperada (E). El valor de la frecuencia esperada se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\hat{f}_{ij} = \frac{(R_i)(C_j)}{n}$$

Donde:

R es la suma total de los valores de un reglón

C es la suma total de los valores cada columna

n es el número total de individuos muestreados (Sokal & Rohlf, 1979)

Para los datos de los escarabajos, en los renglones se colocaron los cuatro pisos altitudinales y en las columnas los tres colores observados.

7.4.2. Variación de color en distinta cobertura arbórea (pastizal y bosque)

Para evaluar las proporciones de color de los escarabajos obtenidos en el muestreo en distinta cobertura arbórea, al igual que para la variación de color en diferentes altitudes, los escarabajos capturados se agruparon en tres categorías (azul, verde y marrón), y su frecuencia se organizó una tabla de contingencia con los tres colores en las columnas y los dos niveles de cobertura (pastizal y bosque) en los renglones. La tabla de contingencia se analizó con el estadístico ji-cuadrada.

7.4.3. Preferencia de color en la formación de parejas

Las parejas observadas en campo se agruparon en cinco categorías considerando el color de sus dos integrantes (verde-verde, azul-azul, marrón-marrón, azul-verde, azul-marrón y verde-marrón). Posteriormente, debido a que existían categorías con menos de 5 parejas y esto era una limitante para realizar una prueba de ji-cuadrada, los datos se agruparon en sólo dos categorías: la primera con individuos del mismo color (parejas de individuos de color marrón-marrón, azul-azul o verde-verde) y la segunda con individuos de diferente color (esta categoría agrupa a parejas formadas por individuos de color verde-azul, azul-marrón y verde-marrón). El crear sólo dos categorías permitió realizar una tabla de contingencia y analizarla con el estadístico de la ji-cuadrada.

8. Resultados

8.1. Variación cromática

La variación cromática de *Canthon humectus hidalgoensis* se representó en una gráfica de coordenadas de los valores a^* y b^* obtenidos para cada uno de los 53 individuos de la colección formada por ejemplares de diferente color detectados a simple vista (Fig. 6). La variación cromática de *Canthon humectus hidalgoensis* es muy amplia, ya que los diferentes colores detectados a simple vista ocupan todos los espacios de color (Fig. 6). Los individuos de color que fueron ubicados en la categoría “verde” se distribuyen a lo largo del eje x (variable a^*), principalmente en valores negativos entre los colores verde y amarillo, aunque una cierta parte de los individuos verdes se localizan en el eje x con valores positivos entre el color amarillo y rojo. En cuanto a los individuos de color azul, se observa que se distribuyen en todos los cuadrantes de color (verde, amarillo, rojo y azul) localizándose la mayoría de los individuos pertenecientes a esta categoría en valores negativos de la variable b^* . Por último, los individuos de la categoría marrón se distribuyen en valores positivos del eje x (variable a^* , color rojo).

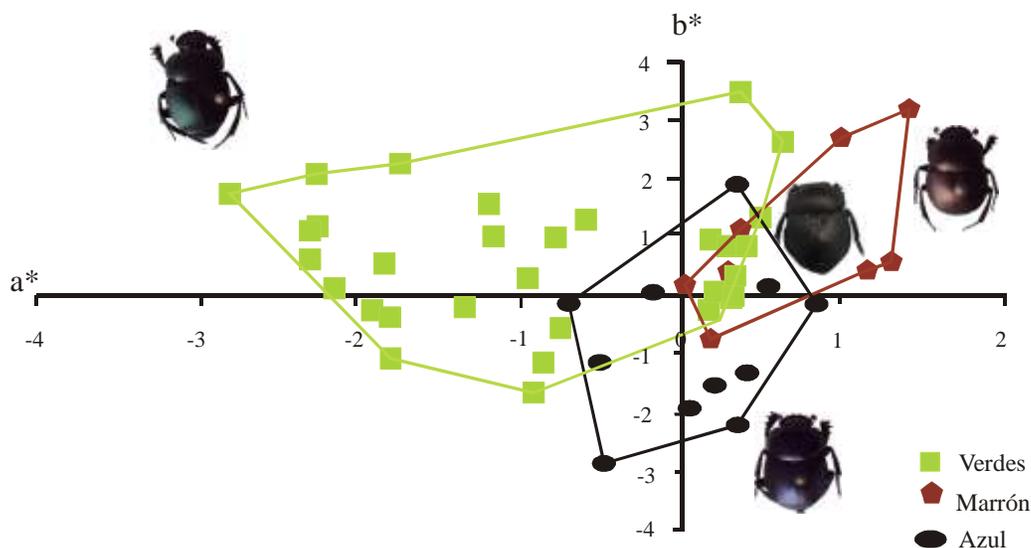


Figura 6. Dispersión de la variación cromática en individuos de la subespecie *Canthon humectus hidalgoensis* en cuatro poblaciones del noroeste del estado de Hidalgo, México.

Los valores de ángulo *hue* obtenidos muestran una distribución bimodal de esta variable en la población de *Canthon humectus hidalgoensis* en la zona de estudio (Fig. 7).

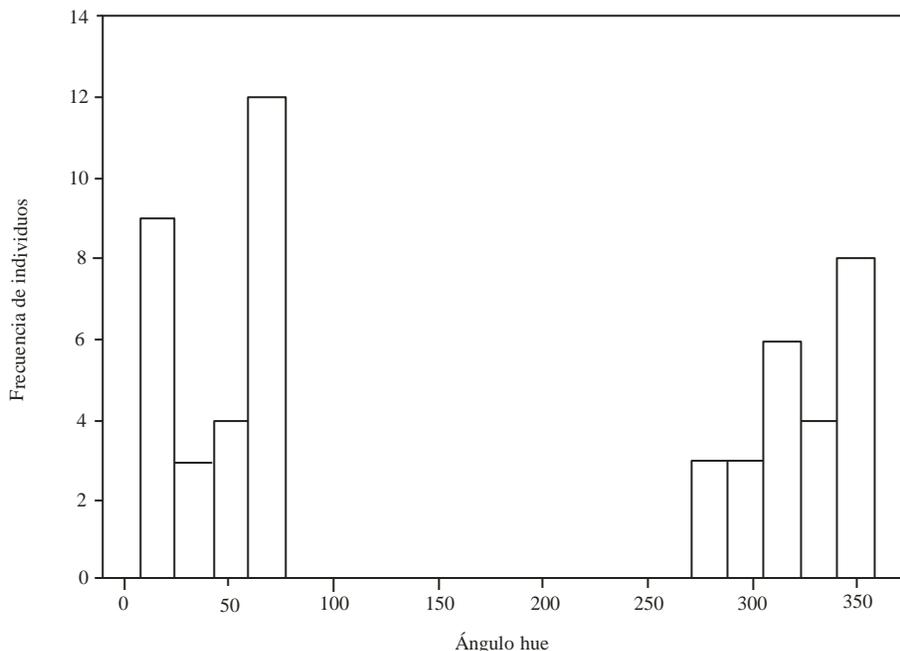


Figura 7. Dispersión de los individuos de *Canthon humectus hidalgoensis* según el valor del ángulo *hue*.

Para la Luminosidad (L^*) se obtuvo un valor promedio igual a 44.28 y una desviación estándar de 10.65, lo cual muestra que el color de los individuos de *Canthon humectus hidalgoensis* van de claros a oscuros, considerando que $L^*= 0$ es negro y $L^*= 100$ es blanco.

8.2 Variación de color en cuatro localidades con distinta altitud

Se recolectaron 6680 individuos en total, de los cuales 32 corresponden a la localidad de Camino a Plomosas (1850m s.n.m.), 1530 son de Jacala (1376m s.n.m), 3593 pertenecen a la localidad de Hilojuanico (1134m s.n.m.) y finalmente 1525 individuos corresponden al sitio de Barranca Seca (800m s.n.m.). Al analizar la frecuencia de ocurrencia de individuos de cada una de las tres categorías de color en las cuatro

localidades (Cuadro 2), se encontró que la frecuencia de ocurrencia de individuos de cada color está significativamente relacionada con la altitud ($\chi^2=602.98$, g.l.=6, $P<0.0001$). Se observó un aumento en la proporción tanto de individuos de color verde y de color marrón en las localidades ubicadas a mayor y con menor temperatura media anual, mientras la proporción de individuos de color azul es mayor en las localidades con menor altitud y con mayor temperatura (Fig. 8).

Cuadro 2. Tabla de contingencia con los valores observados y los valores esperados (entre paréntesis) del número de individuos de *Canthon humectus hidalgoensis* de diferente color en cuatro localidades ubicadas a distinta altitud

Altitud	Color de individuos			
	Verde	Azul	Marrón	
1850m s.n.m.	17 (7.818)	9 (23.804)	6 (0.378)	$\Sigma= 32$
1376m s.n.m.	607 (373.796)	852 (1138.109)	71 (18.094)	$\Sigma= 1530$
1134m s.n.m.	707 (877.811)	2885 (2672.697)	1 (42.492)	$\Sigma= 3593$
800m s.n.m.	301 (372.575)	1223 (1134.390)	1 (18.035)	$\Sigma= 1525$
	$\Sigma= 1632$	$\Sigma= 4969$	$\Sigma= 79$	$\Sigma= 6680$

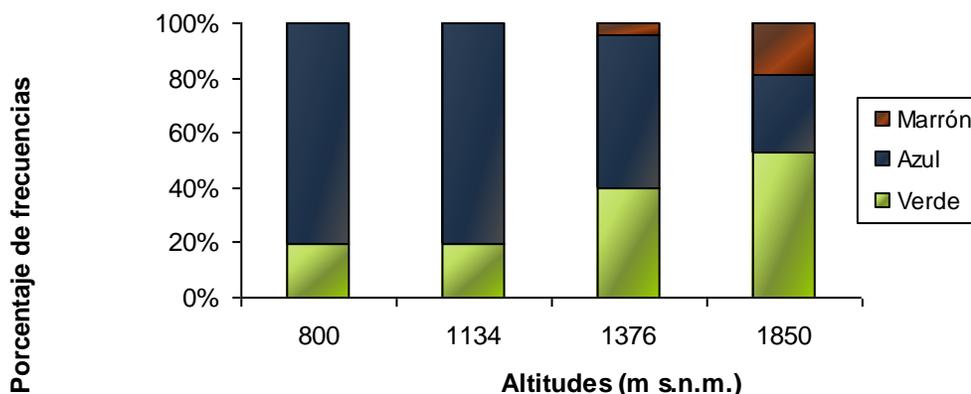


Figura 8. Relación entre las proporciones de color de los individuos de *Canthon humectus hidalgoensis* y los distintos pisos altitudinales.

8.3 Variación de color en distinta cobertura arbórea (pastizal y bosque)

Para evaluar la influencia de la cobertura arbórea en el color de *Canthon humectus hidalgoensis* se recolectaron 2148 individuos de los cuales 1995 correspondieron a trampas colocadas en pastizal y 153 en trampas de bosque.

Al analizar la frecuencia de ocurrencia de individuos de cada una de las tres categorías de color entre pastizal y bosque (Cuadro 3), se encontró que las dos variables (color de *Canthon humectus hidalgoensis* y cobertura arbórea) no están significativamente relacionadas ($\chi^2 = 2.77$, g.l. = 2, P = 0.25) (Fig. 9).

Cuadro 3. Tabla de contingencia de valores observados y valores esperados (entre paréntesis), para la relación entre el color y de *Canthon humectus hidalgoensis* y la cobertura arbórea

Cobertura arbórea	Color de individuos			
	Verde	Negro	Marrón	
Pastizal	781 (790.384)	1109 (1101.522)	105 (103.094)	$\Sigma = 1995$
Bosque	70 (60.616)	77 (84.478)	6 (7.906)	$\Sigma = 153$
	$\Sigma = 851$	$\Sigma = 1186$	$\Sigma = 111$	$\Sigma = 2148$

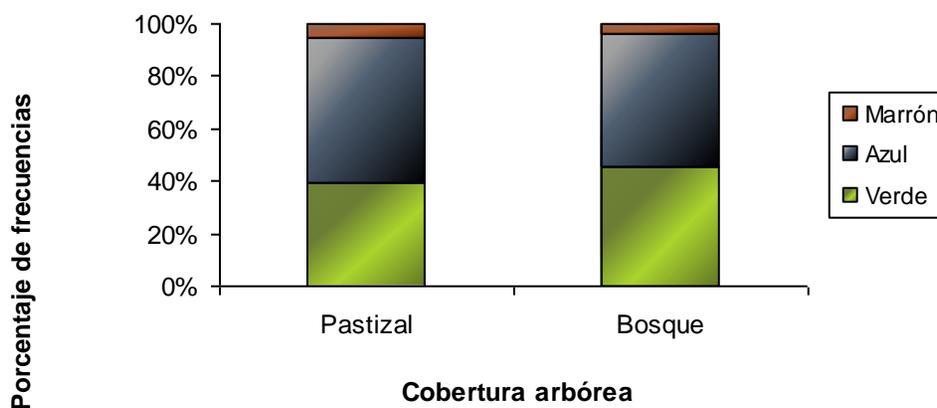


Figura 9. Relación del porcentaje de frecuencia del color de individuos de *Canthon humectus hidalgoensis* con la cobertura arbórea.

8.4 Preferencia de color en la formación de parejas

En la localidad Jacala (1376m s.n.m.), 11 de las 25 parejas revisadas (44%) estaban formadas por individuos del mismo color. Las otras 14 parejas (56%) se formaron con individuos de diferente color (Cuadro 4, Fig. 10). Por otro lado, en la localidad Barranca Seca (800 m s.n.m.) 14 de las 25 parejas observadas (56%) correspondieron a individuos del mismo color y 11 parejas (44%) se formaron con individuos de diferente color (Cuadro 4, Fig. 11). En ambas localidades predominan las parejas de un individuo verde y otro azul. En Jacala son también comunes las parejas de dos individuos verdes, mientras que en Barranca Seca fueron comunes las parejas de dos individuos azules. En ninguna de las dos localidades se encontraron parejas formadas por dos individuos de color marrón, mientras que las parejas con individuos de diferente color de los cuales uno de ellos fue marrón, fueron raras en Jacala y no se encontraron en Barranca Seca (Cuadro 4).

Las proporciones de parejas con individuos del mismo o de diferente color en las dos localidades se organizaron en una tabla de contingencia, en la cual también se pueden observar los datos esperados (Cuadro 5). La tabla de contingencia se analizó mediante la prueba ji-cuadrada, obteniendo como resultado que no existe diferencia en la proporción de parejas del mismo o de diferente color en las dos localidades ($\chi^2= 0.320$, g.l.= 1, P= 0.572).

Cuadro 4. Categorías y subcategorías en las agruparon los colores de los individuos de la formación de parejas

		Jacala	Barranca Seca
Mismo color	Verde	7	4
	Azul	4	10
	Marrón	0	0
Diferente color	Verde-Azul	11	11
	Verde-Marrón	2	0
	Azul-Marrón	1	0
Total		25	25

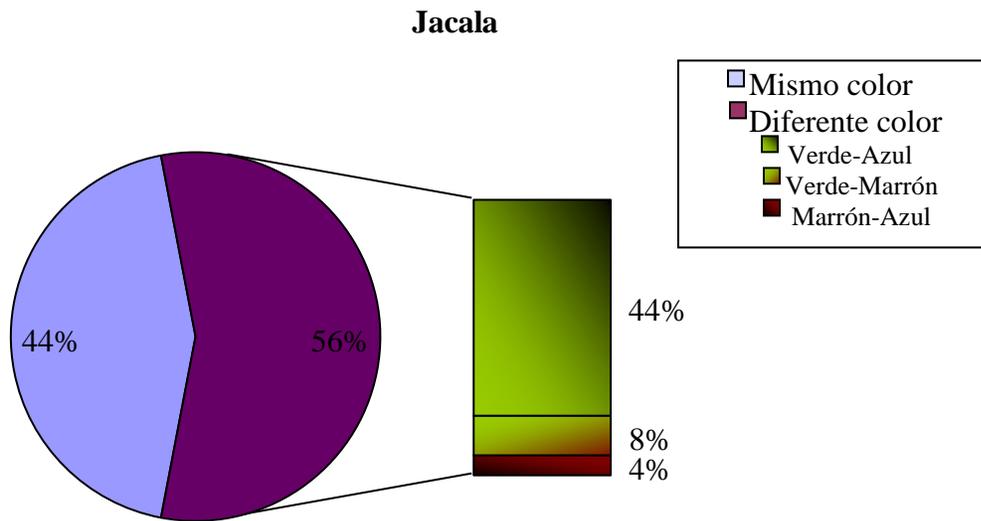


Figura 10. Porcentaje de frecuencia de parejas de *Canthon humectus hidalgoensis* observadas en la localidad Jacala.

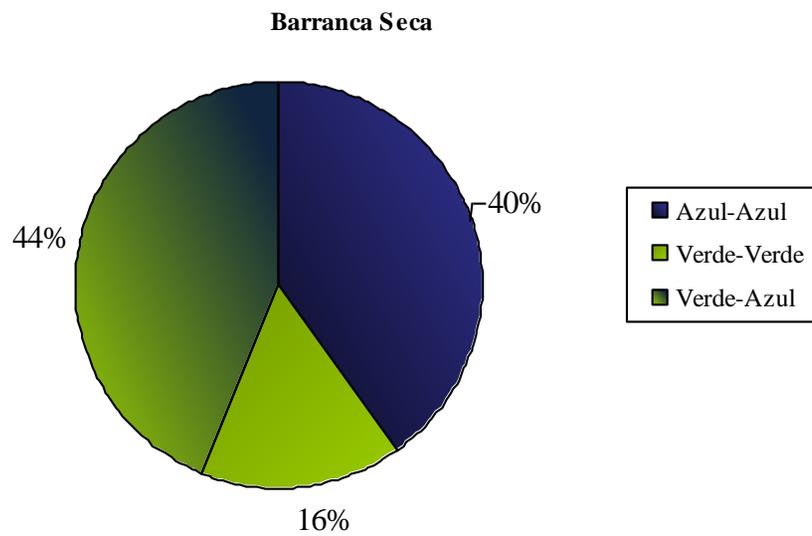


Figura 11. Datos de colores de parejas de *Canthon humectus hidalgoensis* en la localidad de Barranca Seca

Cuadro 5. Tabla de contingencia de los valores observados y valores esperados resultantes de la preferencia de color en la formación de parejas

Localidad (m s.n.m)	Color de individuos		
	Individuos del mismo color	Individuos de diferente color	
Jacala (1376 m s.n.m)	11 (12.5)	14 (12.5)	$\Sigma = 25$
Barranca Seca (800 m s.n.m)	14 (12.5)	11 (12.5)	$\Sigma = 25$
	$\Sigma = 25$	$\Sigma = 25$	$\Sigma = 50$

9. Discusión

Los resultados en este trabajo muestran que *Canthon humectus hidalgoensis* exhibe una amplia variación cromática en el noroeste del Estado de Hidalgo, México. Sin embargo, es necesario realizar trabajos experimentales para poner a prueba la influencia de los posibles factores que podrían determinar el color de los individuos de esta subespecie, así como para conocer si el color de estos organismos cumple o no alguna función. Por ejemplo, se ha visto que en algunos animales el color juega un papel de termorregulación (Cloudsley-Thompson, 1979) o en el reconocimiento sexual (Vulinec, 1997).

La causa del color en los escarabajos coprófagos no es clara. Favila *et al.* (2000) sugieren que el color está dado bajo genética mendeliana, mientras Davis *et al.*, (2008) sugieren que las características ambientales del sitio donde habitan los escarabajos podrían jugar un papel importante en el polimorfismo del color, y concluyen que la temperatura ambiental tiene un efecto sobre el color de los escarabajos.

En esta tesis los resultados indican que las condiciones climáticas y ambientales propias de las cuatro localidades estudiadas, ubicadas en distintos pisos altitudinales, parecen influir en las proporciones de color en las poblaciones de *Canthon humectus hidalgoensis*. La proporción de individuos azules disminuye en las localidades ubicadas a mayor altitud, mientras que lo contrario ocurre con los individuos de color verde y marrón, que aumentan su frecuencia en las localidades de mayor altitud. Estas tendencias son contrarias a lo reportado por Davis *et al.* (2008), quienes al estudiar la variación de color de la especie *Gymnopleurus humanus* Macleay en el sur de África encontraron que las comunidades ubicadas a altitudes mayores son dominadas por individuos de color azul, a menor altitud se incrementa la abundancia de individuos de color cobre y en altitudes intermedias los colores dominantes son cobre y verde, lo cual puede tener alguna relación con la temperatura. Se asume que a mayores altitudes la temperatura es baja, por lo que los escarabajos necesitan un color oscuro para poder absorber la mayor cantidad posible de calor con la finalidad de termorregulación, lo que no es necesario para los escarabajos que viven en altitudes menores donde la temperatura es mayor. Sin embargo, los resultados de este estudio parecen no tener

relación alguna con los resultados presentados en el estudio de Davis *et al.* (2008) ya que ocurre lo contrario. Las diferencias podrían deberse a que las condiciones climáticas y ambientales de los dos sitios de estudio son diferentes, y que estas no tengan el mismo efecto en cuanto al color, además de que son especies de distinto género, que habitan en distintas regiones biogeográficas.

Contrario a lo planteado en la segunda hipótesis de este trabajo, los resultados muestran que las diferentes condiciones ambientales generadas por la cobertura arbórea en pastizal y bosque no parecen estar relacionadas con la proporción de color de los individuos de *Canthon humectus hidalgoensis*. Sin embargo, cabe mencionar que en otros estudios se ha reportado que las condiciones ambientales generadas por la presencia de cobertura arbórea tienen efecto en otros parámetros de las comunidades de Scarabaeinae, como la riqueza de especies y la abundancia. Por ejemplo, tanto en el Cofre de Perote (México) como en el norte de los Andes se encontró que conforme aumenta la cobertura arbórea la riqueza de especies y la abundancia de escarabajos coprófagos disminuyen (Escobar *et al.*, 2007). Sin embargo, en la misma zona de estudio de esta tesis (Jacala, Hidalgo), dominada por bosques templados mixtos, se encontró que conforme aumenta la cobertura arbórea disminuye la riqueza y abundancia de escarabajos coprófagos (Ortega-Martínez, 2010). Esta tendencia de la abundancia de la comunidad se refleja también en el caso de la abundancia de individuos de *Canthon humectus hidalgoensis*, ya que en el pastizal se capturaron 1995 individuos y en bosque 153 individuos.

Con respecto a la predicción establecida en la tercera hipótesis, no se encontró una tendencia clara que indique que el color sea un rasgo fenotípico importante en la formación de parejas de *Canthon humectus hidalgoensis*, como sería la presencia de algunos ornamentos o características (cuernos, modificación de patas, etc.) en otras especies de escarabajos. Con respecto al color, es claro que en las dos localidades estudiadas son más abundantes las parejas con ambos individuos azules, ambos verdes, o uno verde y otro azul. Las diferencias en las proporciones de estas categorías entre ambas localidades se pueden explicar por el porcentaje de individuos de cada color (Cuadro 4): en Jacala los individuos de color verde representan el 39.67% de la abundancia total de la especie, los azules el 55.69%, y los marrones el 4.64%, mientras que en Barranca Seca los verdes representan el 19.74% de la abundancia total, los azules el 80.20% y los marrones apenas el 0.06%. Estos porcentajes explican que en Barranca

Si sea más abundantes las parejas con ambos individuos azules. Por lo tanto, las diferencias entre las parejas observadas pueden deberse más a la abundancia de dichos colores en las localidades, que a un efecto de la selección sexual. Morón (2003) propone que la selección sexual en esta subespecie está dada por las características que presenta la bola de excremento formada por los machos (tamaño, forma); por lo que es necesario hacer estudios más detallados sobre la formación de parejas de *Canthon humectus hidalgoensis*.

Finalmente, el presente trabajo es un aporte importante al conocimiento de *Canthon humectus hidalgoensis*, ya que es una subespecie clave en las comunidades de escarabajos coprófagos en el estado de Hidalgo. Por ejemplo, se ha reportado como la especie más abundante ocupando el 94% del número total de individuos en la Reserva de la Biosfera de la Barranca de Metztitlán (Verdú *et al.*, 2007), y 22.9% en Jacala de Ledezma, Hidalgo (Ortega-Martínez, 2010). Sin embargo existe la necesidad de generar aun más conocimiento tanto de la biología como de la ecología de dicha subespecie, así como de su impacto en el funcionamiento de los ecosistemas. Por ejemplo sería interesante contestar preguntas como las siguientes:

- ¿Qué distancia ruedan la bola de excremento los individuos de *Canthon humectus hidalgoensis* hacia el sitio de nidificación?
- Considerando que las bolas rodadas por los escarabajos son de excremento de herbívoros, por lo que es posible que las bolas lleven semillas ¿Esas semillas son viables?

10. Conclusiones

- ↗ *Canthon humectus hidalgoensis* presenta una amplia variación cromática en las cuatro localidades de estudio, con valores de a^* van de -2.8 a 1.41, valores de b^* de -2.9 a 3.47, valores de luminosidad (L^*) de 33.35 a 71.87 y ángulo hue de 7.35° a 358.04°. Esta variación se categorizó de forma general en tres colores: verde, azul y marrón; cada color con una gran variación.
- ↗ La proporciones de individuos de *Canthon humectus hidalgoensis* de diferentes colores son distintas en cuatro localidades ubicadas a distinta la altitud y con distinta temperatura y humedad. Los colores verde y marrón aumentan su proporción en las localidades de mayor altitud donde la temperatura media anual es menor y la precipitación media anual es mayor, mientras que el color azul tiene mayor proporción en las localidades de menor altitud y mayor temperatura media anual.
- ↗ No se detectó una relación entre el tipo de hábitat (pastizal o bosque) y la proporción de individuos de *Canthon humectus hidalgoensis* de distinto color, por lo que las condiciones generadas por la cobertura arbórea parecen no influir en el color del escarabajo.
- ↗ No se detectó una tendencia clara que indique la existencia de una preferencia de color en la formación de parejas de *Canthon humectus hidalgoensis*. Al parecer, la variación en las proporciones de las categorías de parejas considerando el color de los individuos está relacionada con la abundancia de dichos colores en las comunidades.

11. Literatura citada

- Brink, D. J. & M. Lee. 1998. Thin-film biological reflectors: optical characterization of the *Chrysidia croesus* moth. *Applied Optics* 37: 4213 – 4217.
- Brink, D. J., Van der Berg, L. C. Prinsloo & I. J. Hodgkinson. 2007. Unusual coloration in scarabaeid beetles. *Journal of Physics D: Applied Physics* 40: 2189 – 2196.
- CIE. 1995. Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources. Publication 13.3, Vienna: Commission Internationale de l'Eclairage,
- Cloudsley-Thompson, J. L. 1979. Adaptative functions of the colours of desert animals. *Journal Arid Environments*. 2: 95 – 104.
- Crowson, R. A. 1981. The biology of the coleoptera. New York, Academic Press. 802p.
- Davis, A. L. V. & F. Génier. 2007. Validation of *Gymnopleurus humanus* Macleay 1821, revalidation of *G. humeralis* Klug 1855, and a discussion of their synonyms (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). *African Entomology* 15: 261 – 268.
- Davis, A. L. V., D. J. Brink, C. Scholtz, L. C. Prinsloo & C. M. Deschodt. 2008. Functional implications of temperature-correlated colour polymorphism in and iridescent, scarabaeinae dung beetle. *Ecological Etomology* 33: 771 - 779.
- Delgado, L. & J. Marquez. 2006. Estado del conocimiento y conservación de los coleópteros scarabaeoidea (Insecta) del estado de Hidalgo, México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)* 22: 57 - 108.
- Endler, J. A. 1990. On the measurement and classification of colour in studies of animal colour patterns. *Biological Journal of the Linnean Society* 41: 315 - 352.
- Escobar, F., J. M. Lobo & G. Halffter. 2005. Altitudinal variation of dung beetle (Scarabaeidae: Scarabaeinae) assemblages in the Colombian Andes. *Global Ecology and Biogeography* 14: 327 - 337.
- Escobar, F., G. Halffter & L. Arellano. 2007. From forest to pasture: an evaluation of the influence of environment and biogeography on the structure of dung beetle (Scarabaeinae) assemblages along three altitudinal gradients in the Neotropical region. *Ecography* 30: 197 - 208.

- Favila, M. E., G. Ruiz-Lizárraga & J. Nolasco. 2000. Inheritance of a red cuticular color mutation in the scarab beetle *Canthon cyanellus cyanellus* LeConte (Coleoptera: Scarabaeidae). *Coleopterists Bulletin* 54: 541 – 545.
- Ferreira, M. C. 1972. Os escarabídeos de África (sul do Sáara). *Revista de Entomología de Mozambique* 11: 5 – 1088.
- Ghiradella, H. 1985. Structure and development of iridescent lepidopteran scales: the Papilionidae as a showcase family. *Annals of the Entomological Society of America* 78: 252 – 264.
- Goldsmith, T. H. 1980. Hummingbirds see near ultraviolet light. *Science* 207: 786 - 788
- Guilford, T. 1990. The evolution of aposematism, p. 23 - 61. En: D.L. Evans & Schmidt, J. O. (eds). *Insect defenses. Adaptive mechanisms and strategies of prey and predators.* Albany, State University of New York Press, 482p.
- Halffter, G. 1961. Monografía de las especies norteamericanas del género *Canthon* Hoffsq. (Coleop., Scarb.). *Ciencia* 20: 225 - 320.
- Halffter, G. & E. G. Matthews. 1966. The natural history of dung beetles of the subfamily Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae). *Folia Entomológica Mexicana* 12: 1 - 312.
- Halffter, G. & W. D. Edmonds. 1982. The nesting behavior of dung beetles (Scarabaeinae): an ecological and evolutive approach. México, Instituto de Ecología. 176p.
- Halffter, V. & G. Halffter. 2003. Nuevas subespecies de *Canthon humectus* (Say) (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). *Folia Entomológica Mexicana*. 42: 329 - 340.
- Halffter, G. 2010. Clave dicotómica para la identificación de las subespecies del grupo *humectus*. En preparación
- INEGI. 2005. Cuaderno estadístico municipal edición 2005. Jacala de Ledesma. INEGI 140p.
- Kemp, D. J. 2007. Shedding new light on nature's brightest signals. *Trends in Ecology and Evolution* 17: 298 – 300.
- Kurachi, M. , Y. Takaku, Y. Komiya & T. Hariyama. 2002. The origin of extensive colour polymorphism in *Plateumaris sericea* (Chrysomelidae, Coleoptera). *Naturwissenschaften* 89: 295 – 298.

- Lindroth, C.H. 1974. On elytral microsculpture of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae). *Entomologica Scandinavica* 5: 25 – 264.
- Martínez, A., G. Halffter & V. Halffter. 1964. Notas sobre el género *Glaphyrocantion* (Coleoptera: Scabaeinae: Canthonina). *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)* 7: 1 - 42.
- Morón, M. A. 2003. Atlas de los escarabajos de México. Barcelona. 39 p.
- Ortega-Martínez, I. J. 2010. Comunidades de escarabajos coprófagos en ecotonos de bosque templado y pastizal en Jacala de Ledezma, Hidalgo, México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma, Hgo. 52p.
- Otronen, M. 1988. Intra- and intersexual interactions at breeding burrows in the horned beetle, *Coprophanæus ensifer*. *Animal Behaviour* 36: 741 - 748.
- Paarmann, W., T. Assmann, D. Mossakowski, W. Rohe & I. Lühtrath. 2007. Heredity of the surface colour in adults of *Poecilus lepidus* (Col., Carabidae). *XIII the European Carabidologists' Meeting, 20 – 24 August 2007, Blagoevgrad, Bulgaria. Abstract* [WWW document]. URL <http://www.pensoft.net/ecm/prog.html> [accessed on 10 April 2008]
- Parker, A. R. , D. R. McKenzie & M. C. J. Large. 1998. Multilayer reflectors in animals using green and gold beetles as contrasting examples. *Journal of Experimental Biology* 201: 1307 – 1313.
- Parrish, J. W., J. A. Ptacek & K. A. Will. 1984. The detection of near ultraviolet light by nonmigratory and migratory birds. *The Auk* 101: 53 - 58
- Rivera-Cervantes & G. Halffter. 1999. Monografía de las especies mexicanas *Canthon* del subgénero *Glaphyrocantion* (Coleoptera: Scabaeidae: Scabaeinae). *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*. 77: 23 - 150.
- Silberglied, R. E. 1979. Ultraviolet differences between the sulphur butterflies, *Colias eurytheme* and *C. philodice*, and a possible isolating mechanism. *Nature* 241: 406-408.
- Sweeney, A., C. Jiggins & S. Johnsen. 2003. Insect communication – polarized light as a butterfly mating signal. *Nature* 423: 31 – 32.
- Sokal, R. R. & F. J. Rohlf. 1979. Biometría: Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. H. Blume Ediciones, Madrid. 832p.

- Verdú, J. F., C. E. Moreno, G. Sánchez- Rojas, C. Numa, E. Galante, & G. Halffter. 2007. Grazing promotes dung beetle diversity in the xeric landscape of a Mexican Biosphere Reserve. *Biological conservation* 140: 308 - 317.
- Vigneron, J.-P. , M. Rassart , C. Vandenberg , V. Lousse, O. Deparis & L. P. Biró. 2006. Spectral filtering of visible light by the cuticle of metallic wood boring beetles and microfabrication of a matching bioinspired material. *Physical Review E* 73: 041905 – 041906.
- Vulinec, K. 1997. Iridescent dung beetles: a different angle. *Florida Entomologist* 80: 132 - 141.
- Young, O. P. 1984. Perching of neotropical dung beetles on leaf surfaces: An example of behavioral thermoregulation?. *Biotropica* 16: 324 - 327.

