



Diversidad de escarabajos micetófilos a lo largo de un gradiente altitudinal de la región central de Chiapas, México

Mycetophilous beetle diversity along an altitudinal gradient in the central region of Chiapas, Mexico

*¹ GIBRÁN SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, ² EDUARDO RAFAEL CHAMÉ-VÁZQUEZ, ¹ BENIGNO GÓMEZ

¹ Conservación de la Biodiversidad, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Periférico Sur s/n, María Auxiliadora, 29290, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México

² Colección de Insectos, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Carretera Antiguo Aeropuerto Km. 2.5, 30700, Tapachula, Chiapas, México

Editor responsable: Francisco José Cabrero Sañudo



Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)

*Autor corresponsal:

Gibrán Sánchez-Hernández
gisah16@gmail.com

Cómo citar:

Sánchez-Hernández, G., Chamé-Vázquez, E. R., Gómez, B. (2023) Diversidad de escarabajos micetófilos a lo largo de un gradiente altitudinal de la región central de Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 39, 1–15.
10.21829/azm.20233912589
Elocation-id: e3912589

Recibido: 17 diciembre 2022

Aceptado: 10 julio 2023

Publicado: 10 octubre 2023

RESUMEN. Los hongos son parte de la dieta de larvas y adultos del orden Coleoptera; sin embargo, es un recurso que con poca frecuencia se utiliza como atrayente para la recolección de estos insectos. En este trabajo se analizaron los ensamblajes de escarabajos micetófilos en cuatro localidades ubicadas a lo largo de un gradiente altitudinal de la región central de Chiapas, México. Para el muestreo de escarabajos se utilizaron trampas de caída cebadas con el cuerpo fructífero del hongo *Agaricus bisporus* previamente fermentado. En total se capturaron 208 individuos que integran 27 especies de las familias Scarabaeidae (Scarabaeinae), Silphidae y Staphylinidae. La diversidad de especies fue baja en comparación con otros atrayentes utilizados para el muestreo de estos grupos de insectos, no obstante, se obtuvo una alta representatividad de especies. De manera general, la diversidad está relacionada con el incremento de la altitud, pero la respuesta fue diferente entre familias. Scarabaeinae estuvo mejor representada en



CC BY-NC-SA

Atribución-NoComercial-CompartirIgual

Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)

e-ISSN 2448-8445

Instituto de Ecología, A.C.

los sitios de menor altitud, caso contrario ocurrió con Staphylinidae que predominó en los sitios de mayor altitud, esto permitió diferenciar tres comunidades de escarabajos a lo largo del gradiente ($D_{\beta} = 2.77$). A pesar de la baja prevalencia de especies y sus abundancias, estos resultados indican que este tipo de atrayentes pueden ser utilizados por diversas especies y es probable que funcionen como una fuente alterna que permite segregar la competencia por la demanda y la repartición de alimento cuando los recursos preferidos son escasos. Ofrecer un número diverso de recursos alimentarios potenciales, permitiría establecer el espectro trófico de las especies de forma más realista y objetiva. Por lo tanto, este tipo de atrayentes pueden ser utilizados para la captura de escarabajos en los inventarios de biodiversidad permitiendo obtener resultados más precisos sobre la diversidad local de insectos.

Palabras clave: *Agaricus bisporus*; atrayente; biodiversidad; composición de especies; Neotrópico; paisaje fragmentado

ABSTRACT. Fungi are part of the diet of larvae and adults of the order Coleoptera; however, it is a resource that is infrequently used as an attractant for the collection of these insects. In this work, mycetophilous beetle assemblages were analyzed in four localities located along an altitudinal gradient in the central region of Chiapas, Mexico. Pitfall traps baited with the fruiting body of the fungus *Agaricus bisporus* previously fermented were used for beetle sampling. A total of 208 individuals comprising 27 species of the families Scarabaeidae (Scarabaeinae), Silphidae, and Staphylinidae were captured. Species diversity was low compared to other attractants used for sampling these insect groups, however, a high representativeness of species was obtained. In general, diversity is related to increasing altitude, but the response was different among families. Scarabaeinae was better represented in the lower altitude sites, the opposite case occurred with Staphylinidae that predominated in the higher altitude sites, this allowed differentiation of three beetle communities along the gradient ($D_{\beta} = 2.77$). Despite the low prevalence of species and their abundances, these results indicate that these types of attractants can be used by diverse species and are likely to function as an alternate source to segregate demand competition and food partition when preferred resources are scarce. Offering a diverse number of potential food resources would allow to establish the trophic spectrum of species in a more realistic and objective way. Therefore, this type of attractant can be used to capture beetles in biodiversity inventories allowing to obtain more accurate results on local insect diversity.

Key words: *Agaricus bisporus*; attractant; biodiversity; fragmented landscape; Neotropics; species composition

INTRODUCCIÓN

Los hongos son organismos esenciales para el reciclamiento de materia orgánica en todos los ecosistemas y se caracterizan por formar múltiples asociaciones. Existe una gran cantidad de especies de hongos que están relacionados en formas diversas con los insectos. En toda la gama de relaciones entre estos dos grupos, el beneficio más común para uno o ambos se basa en la heterotrofia y la adquisición de nutrientes en forma de moléculas orgánicas digeribles (Murrin, 1996).

Los términos micofagia, micetofagia o fungivoría, se aplican a una amplia gama de modos nutricionales adoptados por los insectos en los que los hongos son aprovechados como fuente

de alimento (Murrin, 1996). Entre los diversos grupos que los utilizan, el cuerpo fructífero de los macromicetos es usualmente colonizado y forma parte de la dieta de larvas y adultos de diversas familias dentro del orden Coleoptera (Triplehorn & Johnson, 2005). El 50% de las familias de escarabajos reconocidas presentan hábitos de alimentación micetófaga o se alimentan de material vegetal que ha sido alterado por la acción de las enzimas fúngicas, sin embargo, solo 25 familias se consideran micetófagas en sentido estricto (Lawrence, 1989).

De acuerdo con la clasificación de Navarrete-Heredia y Galindo-Miranda (1997), dentro de la micetofagia se reconocen tres categorías de acuerdo con el tipo de asociación entre insectos y hongos: Micetófilos, Micetoxenos y Micetobiontes. Las especies micetófilas son aquellas que exhiben cierta afinidad con los hongos, pero también se pueden encontrar en otros recursos fuentes de materia orgánica en descomposición. Estas se pueden catalogar como micetófilas saprófagas, es decir, que se alimentan de los esporocarpos en estado de descomposición, y de otro tipo de materia orgánica como carroña, excremento o frutos podridos; o bien, que tienen hábitos depredadores, alimentándose de presas potenciales en los sustratos anteriores, o en hongos en estado fresco.

Las especies de la subfamilia Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) representan el grupo más importante de escarabajos con hábitos coprófagos en las zonas tropicales y subtropicales del mundo (Scholtz *et al.*, 2009). Su historia evolutiva evidencia adaptaciones dietéticas influenciadas, en su mayoría, por la escasez del estiércol de grandes mamíferos, siendo atraídos de forma constante a recursos alternos como carroña, frutos, semillas y hongos (Halffter & Halffter, 2009; Salomão *et al.*, 2014; Sánchez-Hernández *et al.*, 2019), o incluso pueden especializarse en la depredación de otros invertebrados (Larsen *et al.*, 2009). Los miembros de la familia Staphylinidae (Coleoptera: Staphylinoidea) se pueden encontrar en una gran variedad de ambientes, pero especialmente en aquellos que son más húmedos. Sus especies pertenecen a una amplia gama de grupos tróficos; muchas son saprófagas en sentido amplio, utilizando como alimento materia orgánica en descomposición de diferente origen (animal, vegetal u hongos); la mayoría son depredadoras, alimentándose de otros insectos, incluyendo a otras especies de Staphylinidae y unas pocas son parasitoides (Navarrete-Heredia *et al.*, 2002; Navarrete-Heredia & Newton, 2014). Por su parte, la familia Silphidae (Coleoptera: Staphylinoidea) está conformada por un grupo de especies consideradas principalmente de hábitos necrófagos, ya que son eficientes descomponedores de carroña, aunque algunos son depredadores o incluso fitófagos y con frecuencia se pueden encontrar asociados a frutos, hongos, madera en descomposición y hojarasca (Navarrete-Heredia, 2009). Los escarabajos se han utilizado a menudo como taxón central para la investigación de la evolución, la biodiversidad y la conservación. La actividad de estos tres grupos de escarabajos es de gran relevancia para la descomposición de materia orgánica, el reciclaje y la reincorporación de nutrientes en el suelo, por lo tanto, cumplen un papel fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas, y pueden estar fuertemente asociados con otros taxones, razones por la que se les considera excelentes bioindicadores de las perturbaciones antropogénicas en el ecosistema y las interacciones de la estructura de las comunidades (Bohac, 1999; Nichols *et al.*, 2007; Navarrete-Heredia, 2009).

A pesar de tratarse de un recurso ampliamente manipulado por distintas familias de coleópteros, es poco frecuente utilizar el cuerpo fructífero de hongos macromicetos como atrayentes para el muestreo de alguno de estos grupos de insectos (e.g., Ebert *et al.*, 2019; Carvalho *et al.*, 2020). En el presente trabajo analizamos la estructura y composición de especies de los ensamblajes de tres familias de escarabajos atraídos al cuerpo fructífero de una especie de hongo

cultivado comercialmente [*Agaricus bisporus* (Lange) Imbach, 1946] en cuatro localidades ubicadas a lo largo de un gradiente altitudinal de la región central de Chiapas, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El muestreo se realizó en un gradiente altitudinal de la región central de Chiapas, México, situado sobre las regiones fisiográficas Depresión Central y Bloque Central. Es una zona extensa con valles intercalados, de fuertes y abruptas pendientes, por arriba de los 1,500 m s.n.m. La vegetación del área está muy perturbada con un bajo porcentaje de la cobertura forestal original. La vegetación original en las zonas bajas se clasifica como selva baja caducifolia (>1,200 m), con remanentes de selva mediana subperennifolia en altitudes superiores a los 800 m y bosques de *Pinus* y *Quercus* por encima de los 1,500 m, dominando un género sobre el otro con el incremento de la altitud (Rocha-Loredo *et al.*, 2010; Villalobos-Sánchez, 2013). El clima de las zonas bajas de la región Depresión Central es cálido subhúmedo con lluvias en verano y la temperatura media anual oscila entre 22 y 26°C. El Bloque Central presenta un clima templado subhúmedo con lluvias en verano y una temperatura media anual entre los 12 y 18°C (García, 2004). Para la recolecta de escarabajos se establecieron cuatro sitios de muestreo (S1 – S4) a diferentes altitudes entre los 870 y 2,370 m localizados entre los municipios de Chiapa de Corzo, Zinacantan y San Cristóbal de Las Casas (Fig. 1).

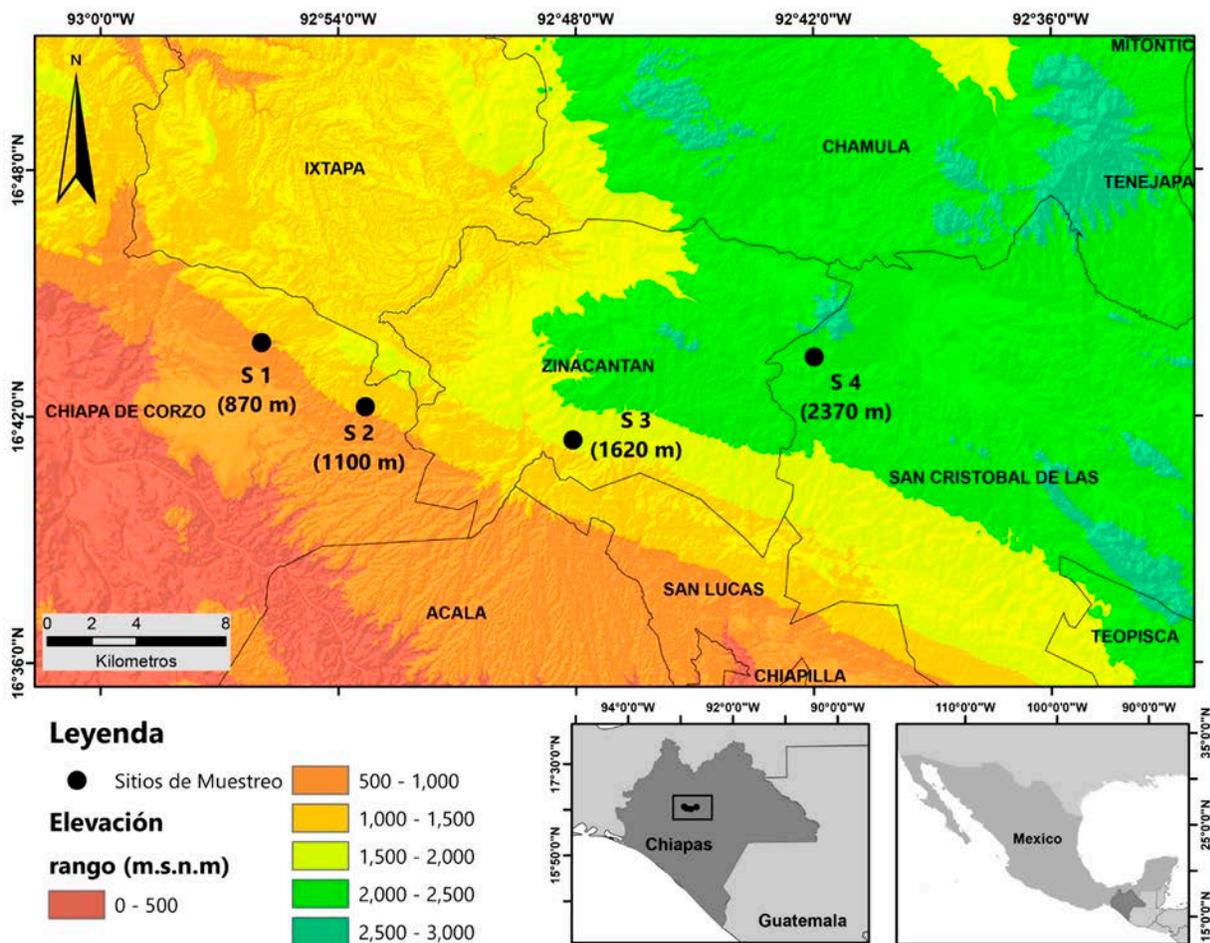


Figura 1. Localización de los cuatro sitios de estudio en un gradiente altitudinal de la región central de Chiapas, México.

Muestreo de escarabajos. Se realizaron cuatro muestreos en marzo, abril, junio y julio de 2017. En cada sitio se instalaron cinco trampas de caída a lo largo de un transecto y se mantuvieron activas por 72 h. Las trampas consistieron en un recipiente cilíndrico de plástico de 500 ml de capacidad (10 cm de diámetro y 8 cm de profundidad) enterrado a nivel de suelo. La separación entre trampas fue de 50 m de distancia para evitar interferencias en la atracción de los cebos y mantener su independencia (Larsen & Forsyth, 2005). Los recipientes se llenaron con ~250 ml de una mezcla de agua con etilenglicol para conservar el material recolectado, y fueron cebados con 30 g de *A. bisporus* mezclado con azúcar 48 h antes de cada muestreo para acelerar la fermentación. Los cebos se colocaron en gasas sostenidas con alambres a nivel de la superficie de las trampas y se cubrieron con platos de plástico para protegerlos de la irradiación solar directa y la precipitación. Los escarabajos capturados se conservaron en frascos de plástico con etanol al 70% para su posterior identificación en el laboratorio.

Determinación taxonómica. Los especímenes recolectados se separaron, contaron e identificaron con base en las claves de Rivera-Cervantes y Halffter (1999), Kohlmann y Solís (2001), Howden y Génier (2004), Delgado y Kohlmann (2007), Moctezuma *et al.* (2019), y Moctezuma y Halffter (2020, 2021) para Scarabaeinae; Navarrete-Heredia (2009) para Silphidae y Navarrete-Heredia *et al.* (2002) y Navarrete-Heredia (2004) para Staphylinidae. El material está depositado en la Colección de Insectos de El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Tapachula, Chiapas, México (ECO-TAP-E).

Análisis de datos. La eficiencia del muestreo se evaluó con el análisis de cobertura de muestreo (\hat{C}_m); la cobertura de muestreo mide con exhaustividad el inventario en términos de abundancias de especies observadas, y permite interpolar/extrapolar la riqueza esperada con base en el estimador Chao 1 (Chao & Jost, 2012). Las diversidades se calcularon utilizando las diversidades verdaderas qD (Jost, 2006, 2007). Estas diversidades se calcularon en tres órdenes diferentes de q (0, 1, 2), donde q indica la sensibilidad de la medida de diversidad a la abundancia de las especies. Cuando q es igual a 0, 0D ignora la abundancia de especies y sus valores son iguales a la riqueza de especies. Cuando q es igual a 1, 1D pondera la importancia de las especies en función de sus abundancias proporcionales, y 1D es igual a la exponencial del índice de diversidad de Shannon. Cuando q es igual a 2, 2D sobrepondera la abundancia proporcional de las especies, y 2D equivale a la inversa del índice de dominancia de Simpson (Jost, 2006). Las diversidades verdaderas y las coberturas de muestreo se calcularon utilizando el paquete R iNEXT (Hsieh *et al.*, 2016).

Para determinar si existían cambios composicionales a lo largo del gradiente en la comunidad de escarabajos y explorar relaciones de disimilitud entre los sitios, se realizó un dendrograma de similitud con base en el análisis de conglomerados jerárquicos utilizando el índice de similitud de Morisita. Posteriormente, para el análisis de la diversidad beta, calculamos primero las diversidades gamma (${}^qD\gamma$) y alfa (${}^qD\alpha$) y estimamos beta como ${}^qD\gamma/{}^qD\alpha$, siguiendo a Jost (2007). Para este análisis utilizamos los mismos valores de q y el paquete R referido anteriormente (iNEXT, Hsieh *et al.*, 2016).

RESULTADOS

Se capturaron 208 individuos que corresponden a 27 especies de las familias Scarabaeidae (Scarabaeinae), Staphylinidae y Silphidae (Cuadro 1). Scarabaeinae presentó la mayor abundancia ($n = 168$), mientras que Staphylinidae presentó la mayor riqueza específica ($s = 14$). *Phanaeus chiapanecus* Moctezuma & Halffter, 2021 fue la especie más abundante ($n = 88$ individuos), seguido de *Onthophagus anthracinus* Harold, 1873 ($n = 22$) y *Canthidium pseudopuncticolle* Solís

& Kohlmann, 2006 (n = 15). Estas tres especies representaron el 60.1% de la abundancia total y, por el contrario, ocho especies (29.6% de la riqueza total) estuvieron representados por un solo individuo.

Cuadro 1. Composición de especies y distribución de las abundancias de tres familias de escarabajos micetófilos en un gradiente altitudinal de la región central de Chiapas, México.

Especies	Altitud (m)				Total
	870	1110	1620	2370	
Scarabaeidae (Scarabaeinae)					
<i>Canthidium pseudopuncticolle</i> Solís & Kohlmann	4	11	-	-	15
<i>Canthon championi</i> Bates	-	1	-	-	1
<i>Canthon leechi</i> (Martínez, Halffter & Halffter)	1	2	-	-	3
<i>Canthon vazquezae</i> (Martínez, Halffter & Halffter)	-	4	-	-	4
<i>Onthophagus anewtoni</i> Howden & Génier	1	-	-	-	1
<i>Onthophagus anthracinus</i> Harold	1	16	5	-	22
<i>Onthophagus atriglabus</i> Howden & Gill	-	2	-	-	2
<i>Onthophagus chiapanecus</i> Zunino & Halffter	-	-	-	2	2
<i>Phanaeus chiapanecus</i> Moctezuma & Halffter	7	78	4	-	89
<i>Uroxys deavilai</i> Delgado & Kohlmann	3	8	-	-	11
<i>Uroxys microcularis</i> Howden & Young	5	2	-	-	7
<i>Uroxys micros</i> Bates	-	6	5	-	11
Silphidae					
<i>Oxelytrum discicolle</i> (Brullé)	2	-	-	-	2
Staphylinidae					
<i>Belonuchus</i> sp1	-	-	1	1	2
<i>Erichsonius</i> sp1	-	-	-	2	2
<i>Hoplandria</i> sp1	-	-	-	1	1
<i>Oligotergus</i> sp1	-	-	1	-	1
<i>Platidrachus</i> sp1	-	3	-	-	3
<i>Platidrachus</i> sp2	-	-	-	10	10
<i>Platidrachus</i> sp3	-	-	-	2	2
<i>Platidrachus</i> sp4	1	-	-	-	1
<i>Platidrachus</i> sp5	1	-	-	-	1
<i>Platidrachus</i> sp6	-	-	-	1	1
<i>Xanthopygus cognatus</i> Sharp	3	-	-	-	3
<i>Xanthopygus flohri</i> Sharp	1	-	-	-	1
<i>Xanthopygus xanthopygus</i> (Nordmann)	-	-	-	6	6
<i>Xenopigus analis</i> Erichson	1	1	-	2	4
Número de individuos	31	134	16	27	208
Número de especies	13	12	5	9	27
Cobertura de la muestra	77.6	98.5	89	89.9	96.1

La cobertura para todo el muestreo fue del 96.2%, lo que sugiere que las cuatro especies no recolectadas (según el estimador Chao1), representan sólo el 3.8% de los individuos de la

comunidad (Fig. 2). La eficiencia de muestreo varió entre 77.6% y 98.5% para los sitios localizados a 870 m y 1,110 m (Cuadro 1). Esto indica que el esfuerzo de muestreo fue adecuado y permitió caracterizar la comunidad local de escarabajos, principalmente en los sitios de mayor altitud.

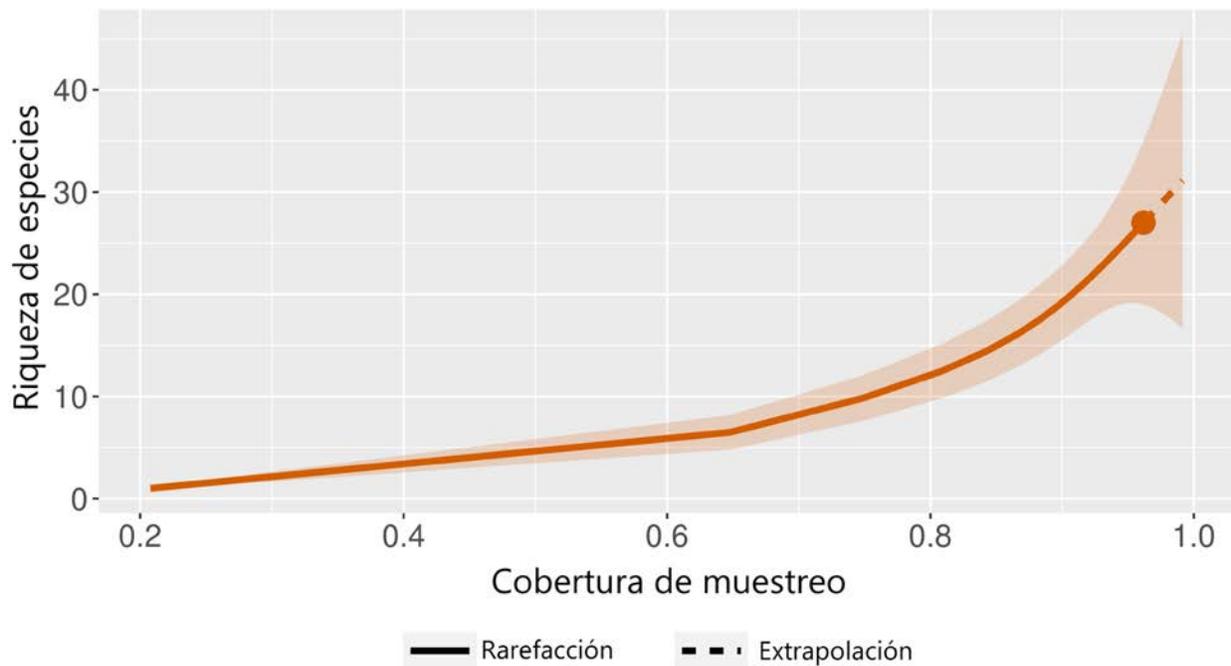


Figura 2. Curva de rarefacción y extrapolación basado en la cobertura de muestreo en un gradiente altitudinal de la región central de Chiapas, México.

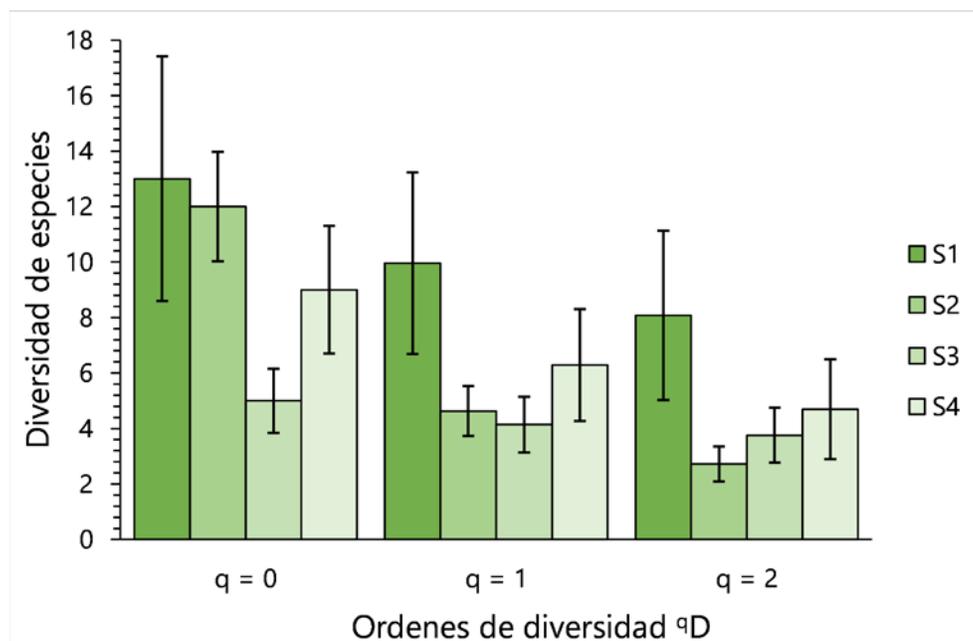


Figura 3. Diversidad alfa (qD) de escarabajos en cuatro sitios de un gradiente altitudinal de la región central de Chiapas, México. Las líneas verticales señalan intervalos de confianza al 95%.

La diversidad de orden 0D muestra una disposición decreciente conforme el incremento de la altitud, pero sólo fue significativamente menor en el sitio 3, mientras que el resto de los sitios exhiben diversidades semejantes de acuerdo con el solapamiento en los intervalos de confianza. Los valores de diversidad 1D y 2D manifiestan un patrón similar, no obstante, únicamente la diversidad del sitio 1, difiere del resto (excepto del S4), los cuales presentan valores parecidos, con un número de especies efectivas abundantes (1D) y dominantes (2D) similares (Fig. 3).

Solo tres especies se capturaron en tres de los cuatro sitios del gradiente, otras seis se compartieron entre dos sitios, mientras que las 18 especies restantes (66.7% de la riqueza total) estuvieron restringidos a uno ellos (S1 = 6, S2 = 4, S3 = 1, y S4 = 7). La composición de especies varió entre los cuatro sitios. El análisis clúster señala un alto porcentaje de similitud entre los dos primeros sitios (63.5%) y disminuye con el incremento de la altitud, donde el sitio localizado a mayor altitud se diferencia totalmente del resto (Fig. 4). La presencia de tres comunidades de escarabajos a lo largo del gradiente fue corroborada por el análisis de diversidad beta, ya que el valor de diversidad obtenido es cercano a tres ($D_\beta = 2.77$).

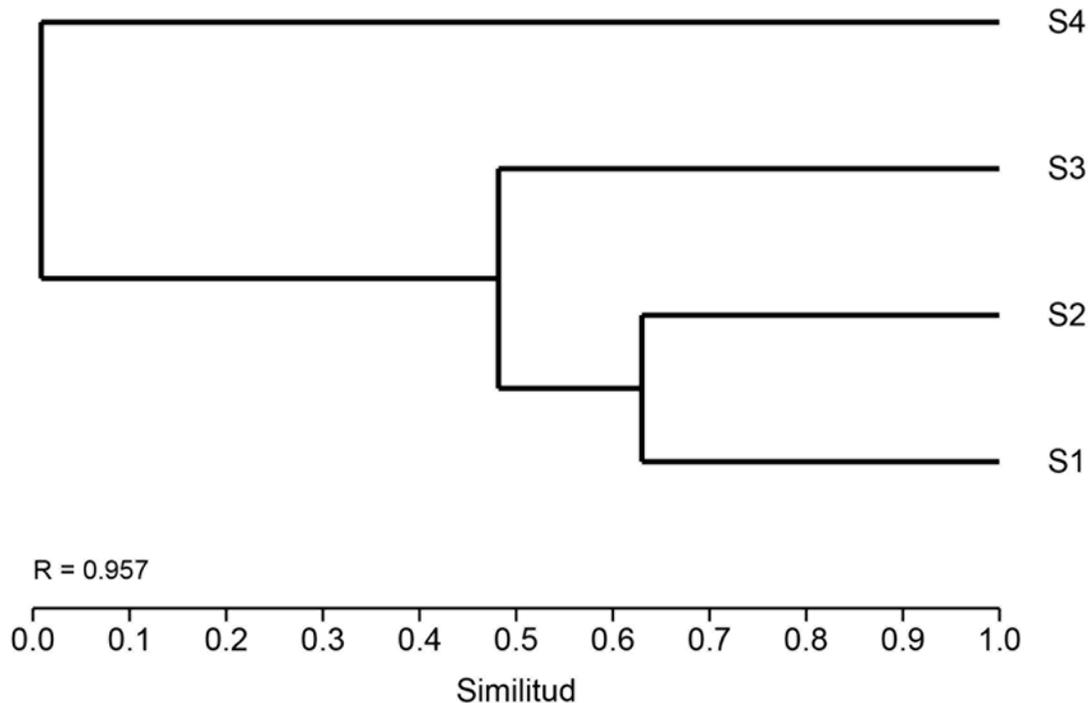


Figura 4. Dendrograma de similitud de la composición de escarabajos en un gradiente altitudinal de la región central de Chiapas, México. El coeficiente cofenético (valor de R) señala una baja distorsión de la matriz de datos.

DISCUSIÓN

De acuerdo con la completitud de muestreo, se obtuvo una alta representatividad regional de especies. Los valores de diversidad 0D son inferiores a los obtenidos en otros trabajos realizados en regiones cercanas para cada una de las familias capturadas. Para Scarabaeinae, estos resultados representan el 32.5% de las especies obtenidas por Sánchez-Hernández *et al.* (2022) en este mismo gradiente altitudinal; y representan el 60% de lo reportado por Rodríguez-López *et al.* (2019) y Sánchez-Hernández *et al.* (2021), con 22 y 20 especies, respectivamente. Los trabajos de Caballero *et al.* (2009) y Caballero y León-Cortés (2012) registraron 182 y 142 especies de Staphylinidae,

respectivamente, mientras que nuestros resultados representan sólo el 8.2 y 10.6% de la riqueza que estos trabajos reportan. Por otra parte, de Silphidae se capturaron dos individuos de *Oxelytrum discicolle* (Brullé, 1836); esta familia está conformada por un bajo número de especies que usualmente se capturan con poca frecuencia en atrayentes distintos a la carroña, recurso en el que se reporta un máximo de cuatro especies en otros estudios del país donde suelen ser más diversos (Quiroz-Rocha *et al.*, 2008; Trevilla-Rebollar *et al.*, 2010; Naranjo-López & Navarrete-Heredia, 2011). Además, en Chiapas se conocen solo tres especies de dos géneros, *Nicrophorus mexicanus* Matthews, 1888, *N. quadrimaculatus* Matthews, 1888 y *O. discicolle* y, por lo general, las especies de *Nicrophorus* Fabricius, 1775 muestran una marcada preferencia por zonas de alta montaña (Navarrete-Heredia, 2009), situación que también puede explicar su baja representatividad en este estudio.

Pese a que los hongos en descomposición atraen a escarabajos saprófagos de familias como Silphidae, Hydrophilidae, Scarabaeidae y Staphylinidae (Lawrence, 1989), pocos son los estudios en los que se utilizan hongos macromicetos como atrayente para el muestreo de escarabajos (e.g. Falqueto *et al.*, 2005; Ebert *et al.*, 2019; Carvalho *et al.*, 2020). Por lo general estos trabajos reportan una baja diversidad de especies en comparación con los atrayentes convencionales, como estiércol o carroña. Por ejemplo, Falqueto *et al.* (2005) reportaron 15 especies, en su mayoría poco abundantes, atraídas a trampas con hongos, mientras que en estiércol y carroña registran 20 y 24 especies, respectivamente. En el trabajo de Carvalho *et al.* (2020) se registraron dos especies poco abundantes en trampas cebadas con *A. bisporus*, mientras que en distintos tipos de estiércol de mamíferos y aves se recolectaron nueve especies. Por su parte, el trabajo de Ebert *et al.* (2019) no expresa diferencias significativas en cuanto a la diversidad de especies atraída a los cebos, sin embargo, indican que las especies capturadas en trampas cebadas con hongos fueron, en su mayoría, de hábitos generalistas, por lo que es probable que este tipo de recursos sea utilizado de forma alterna por las especies menos especializadas.

La disponibilidad de alimento, la abundancia y diversidad de escarabajos también son favorecidas por la cobertura forestal (Rivera-Cervantes & García-Real, 1998; Navarrete & Halffter, 2008; Sánchez-Hernández *et al.*, 2018), de tal manera que el alto nivel de perturbación con bajo porcentaje de cobertura forestal original que persiste en la región (Rocha-Loredo *et al.*, 2010; Villalobos-Sánchez, 2013) son factores que propician condiciones desfavorables para la presencia y abundancia de estas especies. Situación que indica que en ambientes perturbados se encuentran comunidades de escarabajos caracterizados por la presencia de pocas especies dominantes, principalmente de hábitos generalistas (euritópicas), con un alto porcentaje de especies raras (Trevilla-Rebollar *et al.* 2010; Sánchez-Hernández *et al.*, 2022).

En este sentido, la dominancia de especies como *P. chiapanecus* (citada como *P. endymion*), se debe a sus hábitos alimenticios generalistas con una amplia plasticidad dietética (Rodríguez-López *et al.*, 2021; Sánchez-Hernández *et al.*, 2021), además está ampliamente distribuida en los bosques caducifolios de la Depresión Central de Chiapas, principalmente en áreas de vegetación secundaria y zonas con diferentes grados de alteración (Arellano *et al.*, 2013; Moctezuma & Halffter, 2021; Sánchez-Hernández *et al.*, 2022). Por su parte, *O. anthracinus* presenta una amplia tolerancia ambiental, ya que se encuentra en diversos hábitats alterados y en un extenso rango altitudinal (Arriaga-Jiménez *et al.*, 2020; Sánchez-Hernández *et al.*, 2022). Además de las dominantes, otras especies que componen este estudio como *Canthidium pseudopuncticolle* Solís & Kohlmann, 2004, *Canthon vazquezae* (Martínez, Halffter & Halffter, 1964) y *Onthophagus anewtoni* Howden & Génier, 2004, también presentan un amplio espectro en sus preferencias de

alimento y de hábitat (Kohlmann & Solís, 2006; Sánchez-Hernández & Gómez, 2018; Sánchez-Hernández et al., 2021; Gómez-Méndez et al., 2023).

Por el contrario, se ha observado que las poblaciones de *O. discicolle* disminuyen drásticamente en bosques alterados (Rivera-Cervantes & García-Real, 1998), mientras que *Onthophagus chiapanecus* Zunino & Halffter, 1988, especie endémica de los bosques montanos de Chiapas, presenta una distribución muy localizada y es poco frecuente en los muestreos. A pesar de tratarse de un recurso al que (aparentemente) las especies de estas tres familias recurren con poca frecuencia, el uso de hongos fermentados permite la captura de un conjunto mixto de especies de escarabajos, desde especies raras o restringidas a condiciones particulares (estenotópicas), hasta aquellas que hacen uso de una amplia gama de recursos, por lo que es factible utilizar este tipo de atrayentes en los inventarios de biodiversidad.

La composición y estructura de especies entre familias difirió a lo largo del gradiente, es probable que estas diferencias observadas se deban a las características del tipo de vegetación predominante en cada uno de los sitios, ya que este se considera un factor importante que influye en la composición y el recambio de especies en las comunidades de escarabajos (Rodríguez et al., 2018; Sánchez-Hernández et al., 2022). La región comprende dos marcadas estructuras en la cobertura de la vegetación, por ejemplo, en los sitios de menor altitud (870 m y 1,100 m) predominan los bosques tropicales caducifolios y subcaducifolios, mientras que con el incremento de la altitud estos son remplazados por bosques de *Quercus* y *Pinus* (Rocha-Loredo et al., 2010; Villalobos-Sánchez, 2013). Esto permitió establecer diferencias entre sitios, donde aquellos de menor altitud en el gradiente presentaron un alto porcentaje de similitud, diferenciándose con el incremento de la altitud, particularmente con el sitio localizado a 2,370 m, identificando un total de tres comunidades de escarabajos entre los cuatro sitios del gradiente.

Con respecto a la dominancia de las especies de Scarabaeinae en las zonas bajas, se registró que su riqueza disminuye con el incremento de la altitud, principalmente en los bosques templados, donde se reportan entre cinco y nueve especies, resultados que coinciden con los reportados por Cancino-López et al. (2014) y Sánchez-Hernández et al. (2022), hasta estar ausentes en bosques alterados por arriba de los 3,000 m (Moctezuma et al., 2016); por el contrario, esta subfamilia es mucho más diversa en los bosques tropicales de baja elevación en Chiapas, donde se tienen registros desde 20 especies en los bosques secos de la región central (Rodríguez-López et al., 2019; Sánchez-Hernández et al., 2021) hasta 55 especies en los bosques húmedos (Navarrete & Halffter, 2008; Sánchez-Hernández et al., 2018; Rivera et al., 2020).

Por su parte, la predominancia de Staphylinidae en los sitios de mayor altitud en el gradiente se debe a que sus especies están mejor adaptadas a comunidades forestales de alta montaña (bosques de pino, pino-encino y mesófilo de montaña), zonas donde se registran sus mayores abundancias, por lo que el cuerpo fructífero de hongos macromicetos puede representar un recurso valioso para larvas y adultos, particularmente para las especies saprófagas; por el contrario, en tierras bajas donde la vegetación predominante es el bosque tropical caducifolio, su diversidad disminuye drásticamente (Navarrete-Heredia et al., 2002; Caballero & León-Cortés, 2014; Rodríguez et al., 2018).

A pesar de la baja prevalencia de especies de escarabajos y sus abundancias a lo largo del gradiente, estos hallazgos indican que este tipo de atrayentes son eficaces para atraer diferentes especies de insectos y es probable que funcionen como una fuente alterna que permite segregar la competencia por la demanda y la repartición de alimento cuando los recursos preferidos son escasos, particularmente en áreas perturbadas, donde las fuentes que proveen estos recursos suelen ser insuficientes (Halffter & Halffter, 2009; Salomão et al., 2014, 2018; Sánchez-Hernández

et al., 2019). Por lo tanto, ofrecer un número diverso de potenciales recursos alimenticios, incluyendo el uso de atrayentes poco usuales como los hongos fermentados, permite establecer el espectro trófico de las especies de forma más realista y objetiva. Asimismo, estos atrayentes se pueden utilizar como recursos para la captura de escarabajos, situación que permitiría obtener resultados más precisos sobre la diversidad local de insectos.

AGRADECIMIENTOS. Los autores agradecen a Ana Gómez Méndez, Rolando Dávila Sánchez, Carlos Valdez Ramírez, Edivaldo Rodríguez López y Jonatan Agustín Sánchez por su ayuda constante durante las diferentes fases en el desarrollo de este trabajo. El primer autor recibió una beca para estudios de postgrado, proporcionada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), México. Los comentarios de dos revisores anónimos ayudaron a mejorar el manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Arellano, L., León-Cortés, J. L., Halffter, G., Montero J. (2013) *Acacia* woodlots, cattle and dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in a Mexican silvopastoral landscape. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84 (2), 650–660.
<https://doi.org/10.7550/rmb.32911>
- Bohac, J. (1999) Staphylinid beetles as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74 (1-3), 357–372.
[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00043-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00043-2)
- Caballero, U., León-Cortés, J. L. (2012) High diversity beetle assemblages attracted to carrion and dung in threatened tropical oak forests in Southern Mexico. *Journal of Insect Conservation*, 16 (4), 537–547.
<https://doi.org/10.1007/s10841-011-9439-y>
- Caballero, U., León-Cortés, J. L. (2014) Beetle succession and diversity between clothed sun-exposed and shaded pig carrion in a tropical dry forest landscape in Southern Mexico. *Forensic Science International*, 245, 143–150.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.10.040>
- Caballero, U., León-Cortés, J. L., Morón-Ríos, A. (2009) Response of rove beetles (Staphylinidae) to various habitat types and change in Southern Mexico. *Journal of Insect Conservation*, 13 (1), 67–75.
<https://doi.org/10.1007/s10841-007-9121-6>
- Cancino-López, R., Chamé-Vázquez, E. R., Gómez, B. (2014) Escarabajos necrófilos (Coleoptera: Scarabaeinae) en tres hábitats del Volcán Tacaná, Chiapas, México. *Dugesiana*, 21 (2), 135–142.
- Carvalho, R. L., Weir T., Vasconcelos H. L., Andersen A. N. (2020) Dung beetles of an Australian tropical savanna: Species composition, food preferences and responses to experimental fire regimes. *Austral Ecology*, 45 (7), 958–967.
<https://doi.org/10.1111/aec.12910>
- Chao, A., Jost, L. (2012) Coverage based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93 (12), 2533–2547.
<https://doi.org/10.1890/11-1952.1>
- Delgado, L., Kohlmann, B. (2007) Revisión de las especies del género *Uroxys* Westwood de México y Guatemala (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). *Folia Entomológica Mexicana*, 46 (1), 1–36.

- Ebert, K. M., Monteith, G. B., Menéndez, R., Merritt, D. J. (2019) Bait preferences of Australian dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) in tropical and subtropical Queensland forests. *Austral Entomology*, 58 (4), 772–782.
<https://doi.org/10.1111/aen.12396>
- Falqueto, F. A., Vaz-de-Mello, F. Z., Schoereder, J. H. (2005) Are fungivorous Scarabaeidae less specialists? *Ecología Austral*, 15, 17–22.
- García, E. (2004) *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. 5a edición. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. 90 pp.
- Gómez-Méndez, A. D. C., Sánchez-Hernández, G., Gómez, B., González-Martín del Campo, F. (2023) Habitat type affects the structure but not the composition of dung beetle (Coleoptera: Scarabaeinae) assemblages in a tropical deciduous forest of southeastern Mexico. *The Canadian Entomologist*, 155, e25.
<https://doi.org/10.4039/tce.2023.12>
- Halffter, G., Halffter, V. (2009) Why and where coprophagous beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) eat seeds, fruits or vegetable detritus. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 45, 1–22.
- Howden, H. F., Génier, F. (2004) Seven new species of *Onthophagus* Latreille from Mexico and the United States (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). *Faberies*, 29, 53–76.
- Hsieh, T. C., Ma, K. H., Chao A. (2016) iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, 7, 1451–1456.
<https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613>
- Jiménez-Sánchez, E., Quezada-García, R., Padilla-Ramírez, J. (2013) Diversidad de escarabajos necrófilos (Coleoptera: Scarabaeidae, Silphidae, Staphylinidae y Trogidae) en una región semiárida del valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. *Revista de Biología Tropical*, 61 (3), 1475–1491.
- Jost, L. (2006) Entropy and diversity. *Oikos*, 113 (2), 363–375.
<https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Jost, L. (2007) Partition diversity into independent alpha and beta components. *Ecology*, 88 (10), 2427–2439.
<https://doi.org/10.1890/06-1736.1>
- Kohlmann, B., Solís, A. (2001) El género *Onthophagus* (Coleoptera: Scarabaeidae) en Costa Rica. *Giornale italiano di Entomologia*, 9 (49), 159–261.
- Kohlmann, B., Solís, A. (2006) El género *Canthidium* (Coleoptera: Scarabaeidae) en Norteamérica. *Giornale italiano di Entomologia*, 11 (53), 235–295.
- Larsen, T. H., Forsyth, A. (2005) Trap spacing and transect design for dung beetle biodiversity. *Biotropica*, 37 (2), 322–325.
<https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00042.x>
- Larsen, T. H., Lopera, A., Forsyth, A., Génier, F. (2009) From coprophagy to predation: a dung beetle that kills millipedes. *Biology Letters*, 5 (2), 152–155.
<https://doi.org/10.1098/rsbl.2008.0654>
- Lawrence, J. F. (1989) Mycophagy in the Coleoptera: feeding strategies and morphological adaptations. pp. 1–23. In: H. N. Wilding, N. M. Collins, P. M. Hammond (Eds.). *Insect-fungus interactions*. Academic Press, London, UK.
- Moctezuma, V., Halffter, G. (2020) A new species of the *Onthophagus cyanellus* species complex (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae: Onthophagini). *The Coleopterists Bulletin*, 74 (3), 495–501.

- <https://doi.org/10.1649/0010-065X-74.3.495>
- Moctezuma, V., Halffter, G. (2021) Taxonomic revision of the *Phanaeus endymion* species group (Coleoptera: Scarabaeidae), with the descriptions of five new species. *European Journal of Taxonomy*, 747 (1), 1–71.
<https://doi.org/10.5852/ejt.2021.747.1333>
- Moctezuma, V., Halffter, G., Escobar, F. (2016) Response of copronecrophagous communities to habitat disturbance in two mountains of the Mexican Transition Zone: influence of historical and ecological factors. *Journal of Insect Conservation*, 20 (6), 945–956.
<https://doi.org/10.1007/s10841-016-9923-5>
- Moctezuma, V., Sánchez-Huerta, J. L., Halffter, G. (2019) New species of *Canthidium* (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) from Mexico. *The Canadian Entomologist*, 151 (4), 432–441.
<https://doi.org/10.4039/tce.2019.25>
- Murrin, F. (1996) Fungi and Insects. pp. 366–388. En: D. H. Howard, J. D. Miller (Eds.) *The Mycota VI: Human and animal relationship*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Alemania.
- Naranjo-López, A. G., Navarrete-Heredia, J. L. (2011) Coleópteros necrócolos (Histeridae, Silphidae y Scarabaeidae) en dos localidades de Gómez Farías, Jalisco, México. *Revista Colombiana de Entomología*, 37 (1), 103–110.
<https://doi.org/10.25100/socolen.v37i1.9051>
- Navarrete, D. A., Halffter, G. (2008) Dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) diversity in continuous forest, forest fragments and cattle pastures in a landscape of Chiapas, Mexico: The effects of anthropogenic changes. *Biodiversity and Conservation*, 17 (12), 2869–2898.
<https://doi.org/10.1007/s10531-008-9402-8>
- Navarrete-Heredia, J. L. (2004) Sinopsis del género *Xanthopygus* Kraatz, 1857 (Coleoptera: Staphylinidae) de México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 20 (3), 1–13.
<https://doi.org/10.21829/azm.2004.2031578>
- Navarrete-Heredia, J. L. (2009) *Silphidae (Coleoptera) de México: Diversidad y distribución*. Universidad de Guadalajara, México. 159 pp.
- Navarrete-Heredia, J. L., Galindo-Miranda, N. E. (1997) Escarabajos asociados a Basidiomycetes en San José de Los Laureles, Morelos, México (Coleoptera: Scarabaeidae). *Folia Entomológica Mexicana*, 99, 1–16.
- Navarrete-Heredia, J. L., Newton, A. F. (2014) Biodiversidad de Staphylinidae (Insecta: Coleoptera) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85, S332–S338.
<https://doi.org/10.7550/rmb.33488>
- Navarrete-Heredia, J. L., Newton, A. F., Thayer, M. K., Ashe, J. S., Chandler, D. S. (2002) *Guía ilustrada para los géneros de Staphylinidae (Coleoptera) de México*. Universidad de Guadalajara/Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 401 pp.
- Nichols, E., Larsen, T., Spector, S., Davis, A. L., Escobar, F., Favila, M., Vulinec, K. (2007) Global dung beetle response to tropical forest modification and fragmentation: A quantitative literature review and meta-analysis. *Biological Conservation*, 137, 1–19.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.01.023>
- Quiroz-Rocha, G. A., Navarrete-Heredia, J. L., Martínez, P. A. (2008) Especies de Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) y Silphidae (Coleoptera) necrófilas de bosque de pino-encino y bosque mesófilo de montaña en el municipio de Mascota, Jalisco, México. *Dugesiana*, 15 (1), 27–37.

- Rivera, J. D., Gómez, B., Navarrete-Gutiérrez, D. A., Ruiz-Montoya, L., Delgado, L., Favila, M. E. (2020) Mechanisms of diversity maintenance in dung beetle assemblages in a heterogeneous tropical landscape. *PeerJ*, 8, e9860.
<https://doi.org/10.7717/peerj.9860>
- Rivera-Cervantes, L. E., García-Real, E. (1998) Análisis preliminar sobre la composición de los escarabajos necrófilos (Coleoptera: Silphidae y Scarabaeidae) presentes en dos bosques de pino (uno dañado por fuego), en la Estación Científica Las Joyas, Sierra de Manantlán, Jalisco, México. *Dugesiana*, 5 (1), 11–22.
- Rivera-Cervantes, L. E., Halffter, G. (1999) Monografía de las especies mexicanas de *Canthon* del subgénero *Glaphyrocantion* (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 77, 23–150.
<https://doi.org/10.21829/azm.1999.77771693>
- Rocha-Loredo, A. G., Ramírez-Marcial, N., González-Espinoza, M. (2010) Riqueza y diversidad de árboles del bosque tropical caducifolio en la depresión central de Chiapas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 87, 89–103.
- Rodríguez, W. D., Navarrete-Heredia, J. L., Klimaszewski, J. (2018) Rove beetles collected with carrion traps (Coleoptera: Staphylinidae) in *Quercus* forest of Cerro de García, Jalisco and *Quercus*, *Quercus*-pine, and pine forests in other jurisdictions of Mexico. *Zootaxa*, 4433 (3), 457–477.
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.4433.3.4>
- Rodríguez-López, M. E., Sánchez-Hernández, G., Gómez, B. (2019) Escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) en la reserva El Zapotal, Chiapas, México. *Revista Peruana de Biología*, 26 (3), 339–350.
<https://doi.org/10.15381/rpb.v26i3.16778>
- Rodríguez-López, M. E., Sánchez-Hernández, G., Gómez, B. (2021) Evaluación del estiércol de mamíferos nativos como potenciales atrayentes para el muestreo de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeinae). *Neotropical Biodiversity*, 7 (1), 341–349.
<https://doi.org/10.1080/23766808.2021.1943215>
- Salomão, R. P., Lira, A. F. A., Iannuzzi, L. (2014) Dominant dung beetle species (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) species exhibit wider trophic niches on fruits, excrement, and carrion in Atlantic Forest, Brazil. *The Coleopterists Bulletin*, 68 (4), 686–688.
<https://doi.org/10.1649/0010-065X-68.4.686>
- Salomão, R. P., Maia, A. C. D., Bezerra, B. M., Iannuzzi, L. (2018) Attractiveness of different food resources to dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) of a dry tropical area. *Neotropical Entomology*, 47 (1), 69–78.
<https://doi.org/10.1007/s13744-017-0515-1>
- Sánchez-Hernández, G., Agustín-Sánchez, J., Bueno-Villegas, J., Gómez, B. (2019) Utilizando un recurso inusual: escarabajos del estiércol atraídos a milpiés (Diplopoda: Spirobolida). *Revista Peruana de Biología*, 26 (4), 499–502.
<https://doi.org/10.15381/rpb.v26i4.15598>
- Sánchez-Hernández, G., Gómez, B. (2018) First precise locality data for *Onthophagus atriglabrus* Howden and Gill and new state record for *Onthophagus anewtoni* Howden and Génier (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) in Mexico. *The Coleopterists Bulletin*, 72 (4), 873–876.
<https://doi.org/10.1649/0010-065X-72.4.873>

- Sánchez-Hernández, G., Gómez, B., Chamé-Vázquez, E. R., Navarrete-Heredia, J. L., González-Martín del Campo, F. (2022) Dung beetle diversity and community composition along a fragmented landscape in an altitudinal gradient in southeastern Mexico. *Biologia*, 77 (4), 1027–1038.
<https://doi.org/10.1007/s11756-022-01036-4>
- Sánchez-Hernández, G., Gómez, B., Delgado, L., Rodríguez-López, M. E., Chamé-Vázquez, E. R. (2018) Diversidad de escarabajos copronecrófagos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas, México. *Caldasia*, 40 (1), 144–160.
<https://doi.org/10.15446/caldasia.v40n1.68602>
- Sánchez-Hernández, G., Gómez, B., Rodríguez-López, M. E., Dávila-Sánchez, R. A., Chamé-Vázquez, E. R. (2021) Variation in dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) assemblages in a tropical forest remnant from a Mexican National Park. *Papéis Avulsos de Zoología*, 61, e20216150.
<https://doi.org/10.11606/1807-0205/2021.61.50>
- Scholtz, C. H., Davis, A. L. V., Kryger, U. (2009) *Evolutionary biology and conservation of dung beetles*. Pensoft, Sofia, Moscow. 567 pp.
- Trevilla-Rebollar, A., Deloya, C., Padilla-Ramírez, J. R. (2010) Coleópteros necrófilos (Scarabaeidae, Silphidae y Trogidae) de Malinalco, Estado de México, México. *Neotropical Entomology*, 39 (4), 486–495.
<https://doi.org/10.1590/S1519-566X2010000400005>
- Triplehorn, C., Johnson, N. (2005) *Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects*. Thomson Brooks/Cole, Unites States, 864 pp.
- Villalobos-Sánchez, G. (2013) El contexto físico y su importancia para la preservación de la Biodiversidad. pp. 27–40. *En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Ed.) La biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado, vol. I*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Gobierno del Estado de Chiapas. Ciudad de México.