

Ecología

Influencia de los factores abióticos y del tipo de vegetación sobre la abundancia de los adultos de *Photinus palaciosi* (Coleoptera: Lampyridae) en Nanacamilpa, Tlaxcala, México

Influence of abiotic factors and vegetation type on the abundance of Photinus palaciosi adults (Coleoptera: Lampyridae) in Nanacamilpa, Tlaxcala, Mexico

Sandra Isabel Ramírez-Manzano ^{a,*}, Zenón Cano-Santana ^b, Juan Cibrián-Tovar ^a,
Mario Luna-Cavazos ^a, Angélica Romero-Manzanares ^a, Lucero del Mar Ruiz-Posadas ^a
y Edmundo García-Moya ^a

^a Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo, Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Col. Montecillo, 56230 Texcoco, Estado de México, México

^b Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510 Ciudad de México, México

*Autor para correspondencia: ixmanzano@hotmail.com (S.I. Ramírez-Manzano)

Recibido: 29 julio 2022; aceptado: 17 enero 2023

Resumen

Las luciérnagas (Coleoptera: Lampyridae) tienen importancia turístico-cultural debido a su bioluminiscencia. En el “Santuario de las Luciérnagas” (Nanacamilpa, Tlaxcala) habitan poblaciones de *Photinus palaciosi*. Anualmente, este sitio es visitado por una gran cantidad de turistas. Sin embargo, faltan estudios ecológicos sobre la biología de la especie y factores abióticos que afectan la abundancia de sus poblaciones. Se comparó la abundancia de adultos en 3 tipos de vegetación y se analizó la relación de factores abióticos sobre la abundancia local de esta especie, se registró talla promedio y proporción de sexos. Se hicieron muestreos en bosque de encino, pino y mixto (pino-encino), con redes aéreas. Se recolectaron 397 especímenes (386 machos y 11 hembras). La temperatura, humedad, punto de rocío y el índice de calor, afectaron la abundancia de las poblaciones de la especie. No hubo un efecto de la vegetación sobre la abundancia y el tamaño corporal. La proporción sexual mostró un sesgo hacia los machos y diferencias entre el bosque de encino (frecuencia menor a la esperada) y el mixto presentó un patrón contrario. Es necesario seguir con estudios a largo plazo para comprender el estado de las poblaciones y proponer medidas de conservación.

Palabras clave: Temperatura; Lampyridae; Tamaño corporal; Proporción sexual

Abstract

Fireflies (Coleoptera: Lampyridae) have tourist-cultural importance due to their bioluminescence. In the “Sanctuary of the Fireflies” (Nanacamilpa, Tlaxcala) there are populations of *Photinus palaciosi*. Annually this site is visited by a large number of tourists. However, ecological studies on the biology of the species and abiotic factors that affect the abundance of its populations are lacking. The abundance of adults in 3 types of vegetation was compared and the relationship of abiotic factors on the local abundance of this species was analyzed; average size and sex ratio were recorded. Samplings were made in oak, pine and mixed (pine-oak) forests, with aerial nets. Three hundred ninety-seven specimens (386 males and 11 females) were collected. The temperature, humidity, dew point and the heat index affected the abundance of the populations of the species. There was no effect of vegetation on abundance and body size. The sexual proportion showed male-biased and differences between the oak forest (frequency lower than expected) and the mixed one presented an opposite pattern. It is necessary to continue with long-term studies to understand the state of the populations and propose conservation measures.

Keywords: Temperature; Lampyridae; Body size; Sex ratio

Introducción

Las luciérnagas (Coleoptera: Lampyridae) son especies carismáticas y atractivas para el ecoturismo gracias al destello que emiten durante el período de reproducción en los distintos ecosistemas del mundo (Lemelin et al., 2019). El avistamiento de luciérnagas tiene un gran alcance a nivel global que incluye países como Bélgica, Corea del Sur, Estados Unidos, India, Japón, Italia, Malasia, México, Portugal, Suiza, Tailandia, Taiwán y Suiza (Lemelin et al., 2019; Lewis et al., 2021). El turismo en torno a las luciérnagas contribuye a economías locales debido a que muchas poblaciones humanas aprovechan el carisma que tienen estos insectos en la expectativa del turista (Dangles y Casas, 2019). En muchos ecosistemas las luciérnagas son consideradas especies bandera dada su alta importancia cultural y biológica y esto puede inducir a distintos sectores a impulsar la conservación de su hábitat con una visión sostenible y una adecuada gestión de los distintos ecosistemas en los que habitan los lampíridos (Lewis et al., 2021; Singh et al., 2020).

La familia Lampyridae está representada por más de 2,200 especies (Zaragoza-Caballero et al., 2021). Desafortunadamente, éstas se encuentran amenazadas a nivel mundial debido a la pérdida de hábitat, el uso de pesticidas y la contaminación lumínica (Lewis et al., 2020). Las luciérnagas se consideran organismos relativamente sensibles a los cambios ambientales debido a que son poco tolerantes a los disturbios (Maquitico-Rocha y Carrillo-Ruiz, 2019; Takeda et al., 2006). En este sentido, sus especies son vulnerables e indicadores útiles frente a la rápida modificación de los ecosistemas (Mattoni et al., 2000). En particular, la modificación de factores abióticos como la temperatura, pueden afectar y generar alteraciones en la abundancia de sus especies (Faudzi et al., 2021).

La mayoría de los estudios sobre luciérnagas se han hecho principalmente con el género *Pteroptix* y abordan la influencia de los factores ambientales en períodos larvales y prepupales, así como la relación entre la abundancia y ciertos tipos de vegetación, por ejemplo, con los ensambles de vegetación de manglares y el efecto de los rasgos del cuerpo de agua, en donde se registró que la abundancia de luciérnagas aumentó con el aumento del pH, el oxígeno disuelto y la abundancia de presas, mientras que la abundancia disminuía con la menor profundidad del agua y la proporción de longitud de la zanja modificada artificialmente (Jusoh et al., 2010; Takeda et al., 2006). Otros trabajos han determinado los efectos de la perturbación en los hábitats de las luciérnagas mediante el conocimiento de los rasgos de la flora y la vegetación (Jusoh et al., 2011; Wan et al., 2012). Asimismo, estudios recientes encontraron una relación entre la distribución horizontal de *Pteroptix asymmetria* Ballantyne, *Pteroptix malacca* Gorham y *Pteroptix valida* Olivier y ciertos factores abióticos, tales como la dirección y la velocidad del viento (Jaikla et al., 2020), así como el efecto de los sólidos totales disueltos en el agua en luciérnagas que habitan ecosistemas acuáticos (Abdullah et al., 2020).

En México existen 4 subfamilias (Pterotinae, Amydetinae, Lampyrinae y Photurinae), 25 géneros y 280 especies (Zaragoza-Caballero et al., 2023). *Photinus* (Lampyridae) es uno de los géneros con un mayor número de especies en la familia, con 175 especies reportadas en México (Zaragoza-Caballero, 2023). En entidades del centro del país, como Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla y Tlaxcala se han reportado más de 65.6% (152) de las especies de lampíridos de todo México, lo que representa un punto caliente (hot spot) de diversidad para el grupo (Pérez-Hernández et al., 2022; Zaragoza et al., 2020). Dentro de este género podemos encontrar

a 2 especies endémicas que habitan el Santuario de las Luciérnagas de Nanacamilpa, Tlaxcala: *Photinus palaciosi* comb. nov. *Macrolampis palaciosi* sin. nov. Zaragoza-Caballero, 2015 y *Photinus chapingoensis* Zaragoza-Caballero y Campos sp. nov. (Zaragoza-Caballero, 2015).

La alta actividad de *P. palaciosi* durante el período de reproducción y la bioluminiscencia que despliegan sus poblaciones ha llamado fuertemente la atención del turismo nacional, lo que origina que esta área geográfica en particular se le conozca como “Santuario de las Luciérnagas” (SL; Juárez y Hernández, 2017). Derivado de este espectáculo natural, el SL mantiene una actividad turística importante en la región (García-Trujillo et al., 2018). Entre 2014 y 2016 se observó un incremento sustancial de visitas por turismo, pasando de 76,636 turistas en 2014 a 90,000 en 2016 (García-Trujillo et al., 2018). En 2020, debido a la contingencia sanitaria causada por el coronavirus SARS-CoV-2, se prohibió la entrada a los turistas (SECTUR, 2020), de modo que se carece de registros del turismo para este periodo; a partir de 2021 ya se permite el ingreso al turismo (S.I. Ramírez, obs. pers.).

Para enfrentar la vulnerabilidad de las poblaciones de luciérnagas debe haber conocimiento y seguimiento sistemático de las poblaciones, basado en datos demográficos y conocimiento sobre los factores ambientales que influyen sobre ellas (Lewis et al., 2020). Por éso es importante llevar a cabo estudios sobre su biología y ecología, de modo que este conocimiento coadyuve a establecer estrategias de conservación y manejo sustentable, sobre todo en especies como *P. palaciosi*, que habita ecosistemas con gran afluencia turística.

Por lo anterior, este estudio tiene como objetivos: a) cuantificar la abundancia de adultos de *P. palaciosi* en 3 tipos de vegetación: bosque de pino, de encino y mixto (de pino-encino) en el “Santuario de las Luciérnagas”, b) analizar si existe alguna relación entre algunos factores abióticos (temperatura del aire, humedad relativa del aire, presión atmosférica, punto de rocío, sensación térmica, índice de calor y fase lunar) y la abundancia de las luciérnagas adultas en esos 3 tipos de vegetación, y c) registrar si el tipo de vegetación afecta la talla promedio y la proporción de sexos de esta especie.

Materiales y métodos

Photinus palaciosi ha sido descrita en detalle por Zaragoza-Caballero (2012) y López-Palafox et al. (2020), según se expone a continuación. Presenta dimorfismo sexual: los machos adultos tienen 13.1 mm de largo y 3.0 mm de ancho, un cuerpo alargado y de color negro, a excepción del pronoto que presentan 2 manchas rojizas sobre el disco y el margen externo es más claro; el pronoto

casi tan largo como ancho (2.1 a 2.4 mm). Las hembras adultas presentan 7 a 9 mm de largo, sus antenas son más cortas y su abdomen presenta 7 esternitos, el quinto ocupado por el aparato fotónico o linterna. Además, los machos son alados y tienen linternas significativamente más grandes que las hembras y estas últimas tienen sus alas reducidas (son braquípteras).

El “Santuario de las Luciérnagas” (19°29'22” N, 98°32'57” O, 2,720 m snm) se ubica en el municipio de Nanacamilpa, estado de Tlaxcala. Éste cuenta con una superficie de 3,121 ha, de las cuales 1,103 se encuentran registradas desde el 2011 como Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVVC) y se ubican en los ejidos de San Felipe Hidalgo, Lira y Ortega (Conanp, 2019). En 84% del territorio del municipio, el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano de alta humedad, en 14% es semifrío subhúmedo con lluvias en verano y en el 2% es templado subhúmedo con lluvias en verano con humedad media; la temperatura varía entre 12 y 14 °C y la precipitación varía entre 700 a 800 mm (INEGI, 2009). Sus suelos son Phaeozem (51%), Umbrisol (32%), Andosol (9%), Leptosol (5%) y Durisol (1%) (INEGI, 2009).

La vegetación se compone de bosque de oyamel (*Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham.), bosque de pino (*Pinus pseudostrobus* Brongn., *P. hartwegii* Lindl., *P. montezumae* Lamb. y *P. teocote* Schltdl. et Cham.), bosque de encino (*Quercus crassipes* Bonpl., *Q. laurina* Bonpl. y *Q. rugosa* Née) y bosque de pino-encino, todos los tipos de vegetación presentan individuos de *Alnus jorullensis* Kunth, *Salix paradoxa* Kunth y *Arbutus xalapensis*, y de *Festuca tolucensis* Kunth en el estrato bajo (Ramírez-Albores et al., 2014).

Se seleccionaron 3 tipos de vegetación presentes en el “Santuario de las Luciérnagas” (SL): bosque de encino (BE), bosque de pino (BP) y bosque mixto de pino encino (BM). Para cada tipo de vegetación se escogieron 3 parcelas de 30 m × 30 m, lo que da un total de 9 parcelas. Los muestreos se realizaron durante los meses de julio y agosto del 2021.

El estudio demográfico de *P. palaciosi* se basó en el censo y sexado de individuos adultos capturados en cada población de estudio. El censo registra el número de individuos por tipo de vegetación y unidad de muestreo. El muestreo en cada sitio de estudio se llevó a cabo mediante la captura de especímenes adultos machos con redes aéreas de 35 cm de diámetro y 65 cm de largo de hembras mediante recolecta directa durante 20 min, para lo cual se recorrió cada parcela en zig-zag. Este muestreo se ejecutó en distintos días de la época reproductiva, que en 2021 ocurrió del 1 de julio al 2 de agosto. En cada sitio de muestreo se capturaron los individuos entre las 20:30 y las 22:00 h, que es el horario en el que hay mayor actividad de

las luciérnagas, de acuerdo con observaciones efectuadas en las visitas de reconocimiento de los sitios. Capturados los individuos se anotó el sexo, la longitud de cada uno tomada con vernier y, posteriormente, cada ejemplar fue liberado *in situ*. El número de individuos capturados fue el indicador de la abundancia de luciérnagas.

Los factores abióticos registrados antes de iniciar el muestreo fueron: temperatura del aire, humedad relativa del aire, presión atmosférica, punto de rocío, sensación térmica, e índice de calor, todos fueron medidos con un multiparamétrico ambiental Sper Scientific 850025 Mini Environmental Quality Meter (EUA). También se registró la fase lunar, calculada como porcentaje del área de la luna iluminada por el sol.

Para verificar el efecto de cada parámetro abiótico sobre la abundancia de las luciérnagas, se utilizó un modelo lineal generalizado (GLM) con una distribución de Poisson y para la selección del modelo, se utilizó el coeficiente de información de Akaike (AIC por sus siglas en inglés) como una medida de la bondad de ajuste de los modelos estadísticos. Los análisis fueron realizados mediante el programa RStudio.

Se utilizó una prueba de Kruskal-Wallis para determinar si el tipo de vegetación influye en la abundancia respecto a los machos colectados, se estimó la proporción sexual de los organismos adultos de *P. palaciosi* y se aplicó la prueba de χ^2 cuadrada para determinar si el tipo de vegetación influye en la proporción de sexos, posteriormente se utilizó como prueba post-hoc un análisis de residuos estandarizados, mediante el paquete RStudio.

Mediante una un análisis de varianza (Andeva) se determinó si el tipo de vegetación influyó en la longitud corporal en las poblaciones de *P. palaciosi*, en caso de que los resultados del análisis fueran significativos, se llevaron a cabo pruebas de Tukey mediante el paquete InfoStat.

Resultados

El número total de individuos adultos de *P. palaciosi* recolectados fue de 397 (386 machos y 11 hembras; fig. 1). No se encontraron diferencias significativas entre tipos de vegetación en la abundancia de luciérnagas ($H = 3.2, p = 0.20$). En el bosque de pino se encontraron 185 individuos ($61.7 \pm e.e. 14.2 \text{ ind}/20 \text{ min}$), en el bosque mixto 121 ($40.3 \pm e.e. 10.6 \text{ ind}/20 \text{ min}$) y en el bosque de encino 91 ($30.3 \pm 15.5 \text{ ind}/20 \text{ min}$).

El valor del AIC del modelo fue de 71.94. De las 7 variables analizadas en el modelo, solo 4 resultaron significativas en su efecto sobre la abundancia de *P. palaciosi*: la temperatura afectó de manera negativa, mientras que el punto de rocío, la humedad y el índice de calor lo hicieron de manera positiva (tabla 1).

Tabla 1

Factores abióticos que afectan la abundancia de *Photinus palaciosi*, datos recopilados en 9 sitios ubicados en el “Santuario de Luciérnagas” representados en 3 tipos de vegetación. Factores ordenados de mayor a menor. El valor del AIC del modelo es de 71.94. Valores de *p* en negritas son significativos (< 0.05).

Factores	AIC	Estimado	<i>p</i>
Temperatura	104.85	-1.423	< 0.001
Punto de rocío	95.28	4.410	< 0.001
Humedad	78.06	0.085	0.004
Índice de calor	75.87	0.346	0.01
Presión atmosférica	71.65	0.126	0.180
Sensación térmica	71.22	0.209	0.259
Visibilidad de luna	69.94	0.0007	0.940

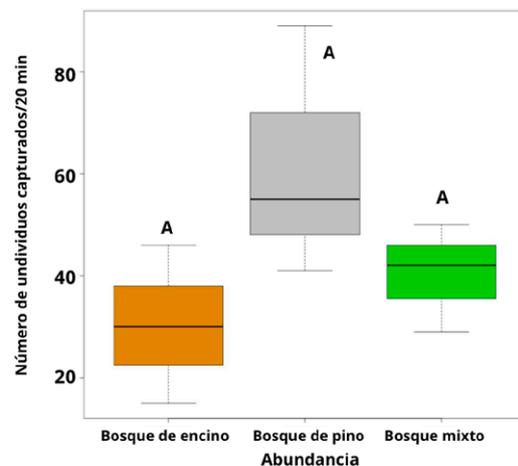


Figura 1. Diagrama de caja y bigote del número de ejemplares de *P. palaciosi* recolectados por unidad de esfuerzo en cada tipo de vegetación del “Santuario de la Luciérnagas”, Nanacamilpa, Tlaxcala. Datos promedio de 3 parcelas. Letras diferentes denotan diferencias significativas con $p < 0.05$ (prueba de Kruskal-Wallis).

Con los datos agrupados de los 3 tipos de vegetación, la proporción sexual estuvo significativamente sesgada a los machos ($p < 0.001$), pues se obtuvo una proporción sexual global de 1:0.02 machos/hembras. Por otra parte, la frecuencia a la que se encuentran ejemplares de cada sexo dependió significativamente del tipo de vegetación ($\chi^2 = 8.39, g.l. = 2, p = 0.015$; fig. 2). Las frecuencias observadas, tanto de hembras en el bosque de encino, como de machos en los bosques de pino y mixtos, fueron significativamente más altas que las frecuencias esperadas; lo inverso pasa

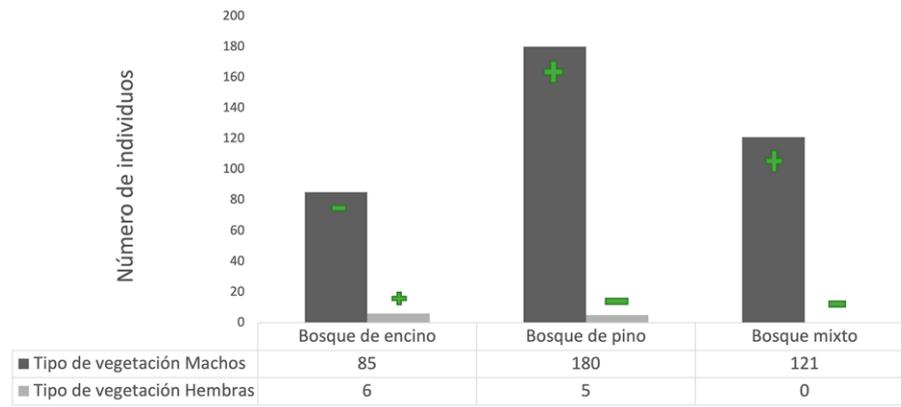


Figura 2. Frecuencia observada de machos y hembras de *P. palaciosi* en los distintos tipos de vegetación. Los signos encima de las barras denotan que la frecuencia observada es significativamente más alta (+) o más baja (-) que la esperada (prueba de residuos estandarizados)

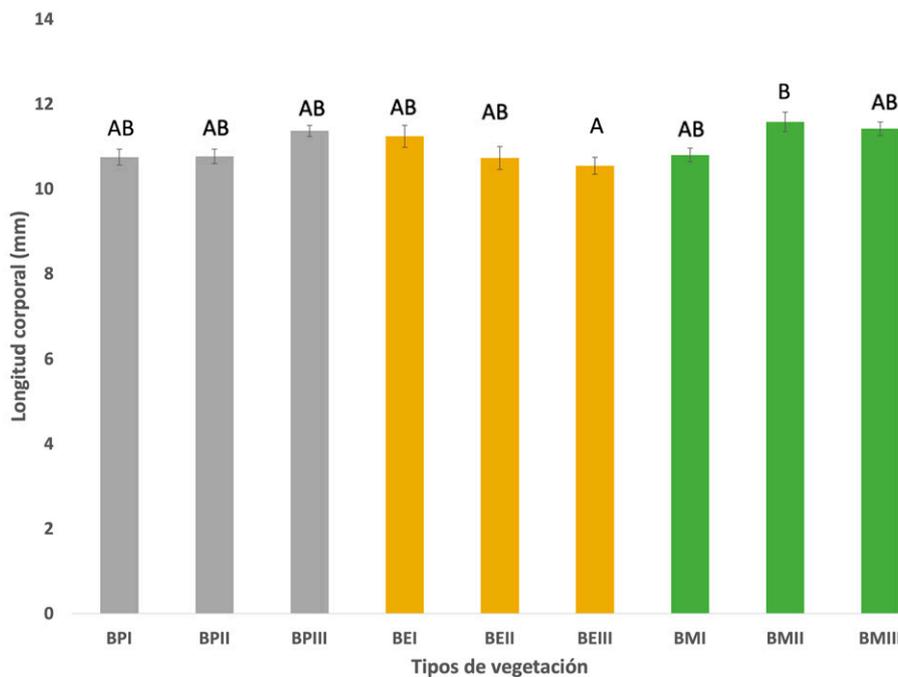


Figura 3. Comparación de la longitud corporal de los machos adultos entre parcelas de 3 tipos de vegetación del “Santuario de las Luciérnagas”: bosque de pino (BP), bosque de encino (BE) y bosque mixto (BM). Letras diferentes denotan diferencias significativas con $p < 0.05$ (prueba de Tukey). Número de réplicas: 3 por cada tipo de vegetación.

con los machos en el primer tipo de vegetación y con las hembras en el bosque de pino (pruebas de residuos estandarizados; fig. 2).

No hubo diferencias significativas en la longitud corporal de los machos adultos entre tipos de vegetación ($H = 3.79$, $p = 0.15$). No obstante, se encontró que este parámetro difirió significativamente entre sitios ($F_{8,1.46} =$

3.61 , $p = 0.0005$): los machos recolectados en el sitio III del bosque de encino (BEIII) fueron significativamente menos largos que los recolectados en el sitio II del bosque mixto (BMII) (fig. 3). El tamaño corporal promedio de los machos fue de 11.08 ± 0.06 mm (rango: 8.10-14.35 mm, $n = 386$). Las hembras, por su parte, midieron 9.63 ± 0.40 mm (rango: 8.20-12.30 mm, $n = 11$).

Discusión

La abundancia de *P. palaciosi* no difirió entre los 3 tipos de vegetación. Existen investigaciones donde demuestran que existe una relación ecológica entre el porcentaje de cubierta vegetal y la abundancia de población de luciérnagas (Jusoh et al., 2010). Por lo que es importante tomar en cuenta otros rasgos que definen el tipo de vegetación tales como la cobertura, altura, densidad arbórea, ésto con la finalidad de obtener más datos que puedan demostrar la relación con la abundancia de la especie de estudio.

La temperatura mostró un efecto negativo sobre la abundancia de *P. palaciosi*, así como un efecto positivo de la humedad relativa del aire. Esto coincide con los resultados de Faudzi et al. (2021), quienes encontraron una fuerte relación negativa entre la temperatura y la abundancia de la población de *Pteroptyx bearni*. Abdullah et al. (2020) encontraron que variables como la temperatura y la humedad relativa del aire afectan negativa y positivamente en relación a la abundancia de las especies *P. bearni* y *P. malaccaae*. Los insectos voladores son poiquilotérmicos, su actividad puede depender de las condiciones adecuadas, aunque algunas variables pueden afectar simultáneamente y con efectos contradictorios, y éstas a su vez, pueden cambiar la abundancia en cuestión de minutos (Ruczyński et al., 2020). La temperatura y humedad son factores comúnmente estudiados en los insectos debido a que son factores necesarios para que algunos insectos emerjan y vuelen, también destacan como los factores más importantes porque limitan su abundancia y su distribución (Savopoulou-Soultani et al., 2012; Yanes-Gómez y Morón, 2010).

En nuestro estudio también se observó que el punto de rocío y el índice de calor afectaron positivamente la abundancia de *P. palaciosi*. No hay antecedentes que evidencien la influencia de estos factores abióticos sobre la abundancia de luciérnagas, pero existen trabajos como el de Lucio-García et al. (2022), que registran que el índice de calor y la evapotranspiración, así como la temperatura, afectan positivamente la abundancia de coleópteros de la familia Chrysomelidae. Koji et al. (2012) discuten que aún no se comprenden bien los rasgos del hábitat que afectan a las luciérnagas, por lo que deben investigarse más a fondo y recopilar información confiable sobre estos atributos que afectan la persistencia de los lampíridos en un hábitat particular. También es importante considerar que los cambios en las condiciones ambientales durante el desarrollo de las luciérnagas resultan en cambios en la abundancia de luciérnagas adultas (Evans et al., 2018).

Por otra parte, encontramos que la proporción de sexos de *P. palaciosi* registró un sesgo a favor de los machos.

Cuando las poblaciones presentan un alto dimorfismo sexual muestran una proporción sexual equitativa, pero si ésto no sucede, las causas podrían derivar por variaciones ecológicas, genéticas o ambientales (Benítez-de la Fuente et al., 2010). *Photinus palaciosi* registra un dimorfismo sexual evidente, debido a que las hembras son braquípteros y éstas permanecen en el estrato bajo del bosque; aunado a ésto, su destello se da con poca frecuencia durante el período de apareamiento (López-Palafox et al., 2020). Tomado en cuenta lo anterior, este punto es importante a considerar debido a que el muestreo se dificulta al hacer las capturas de hembras adultas de *P. palaciosi*, lo que se refleja en un sesgo de la colecta sobre los machos. Cicero (1983) registra que los tiempos de emergencia en machos se da en distintos tiempos que las hembras de *Photinus knulli*. Si también se presentara con *P. palaciosi*, esto podría explicar las proporciones sesgadas en los machos. López-Palafox et al. (2020) discuten que este sesgo basado en machos y el corto período de apareamiento nocturno dan como resultado una fuerte competencia entre los machos. Es importante hacer estudios a lo largo de la temporada de apareamiento para conocer cómo varían las proporciones machos: hembras. Existen investigaciones en *Photinus aquilonius* y *P. marginellus* que demuestran un cambio marcado que va de un sesgo masculino al principio de la temporada de vuelo, a un sesgo femenino al final de la temporada de vuelo (Lewis y Wang, 1991).

La longitud corporal en machos presentó un promedio 11.06 mm mientras que las hembras presentaron un valor promedio de 9.58 mm. Esto contrasta con los datos de Zaragoza (2012), quien reporta una longitud corporal promedio de 10.68 mm en los machos y de 7 a 9 mm en las hembras. En la historia de vida de los organismos, el tamaño corporal se identifica como uno de los caracteres más importantes, pero aún se desconocen los mecanismos fisiológicos que regulan el tamaño o la variación en el tamaño corporal (Davidowitz et al., 2003). Existen algunos estudios en coleópteros que han demostrado que la longitud corporal, en especial la longitud de los élitros, se ven afectados por la vegetación del hábitat (Sukhodolskayaa y Eremeeva, 2013). No obstante, en este trabajo no se encontraron evidencias de que hubiese una variación en la longitud corporal en función del tipo de vegetación, pero sí se notó una variación en las distintas localidades.

Los resultados obtenidos en la presente investigación contribuyen al poco conocimiento que se tiene registrado en las poblaciones de *P. palaciosi*. A pesar de que la vegetación no afectó en el tamaño poblacional de la especie, es necesario investigar más acerca de los rasgos de vegetación para seguir documentando los aspectos del hábitat del “Santuario de las Luciérnagas”. Algunos de los factores abióticos que afectan las poblaciones de

luciérnagas son la temperatura y la humedad (Abdullah et al., 2020). Sin embargo, en este estudio también se registró que el punto de rocío y el índice de calor afectaron a la población de *P. palaciosi*, por lo que se recomienda tomar en cuenta estos factores en futuras investigaciones. Por otro lado, se concluye que la talla corporal muestra variaciones en las distintas localidades. El tipo de vegetación afectó la proporción sexual de *P. palaciosi* y esto indica que el comportamiento reproductivo en los distintos tipos de vegetación no es homogéneo; sin embargo, es necesario seguir con estudios a largo plazo para poder entender más el estado de las poblaciones y proponer medidas de conservación de esta especie y de las luciérnagas en general.

Agradecimientos

Agradecemos la ayuda técnica de Iván Castellanos-Vargas, Yury Glebsky y Arturo Amaya Villegas. También la ayuda en campo de Isabel Manzano, Mariela Morales, Antonio Alanís y Tomás Ramírez Santiago. Al Ejido Lira y Ortega por la disposición y el apoyo brindado.

Referencias

- Abdullah, N. A., Ashri, L. N., Radzi, S. N. F., Musbah, M., Hazmi, I. R. y Sulaiman, N. (2020). Abiotic factors influencing diversity and abundance of congregating fireflies (Coleoptera: Lampyridae) in Miri, Sarawak, Malaysia. *Oriental Insects*, 55, 149–164. <https://doi.org/10.1080/00305316.2020.1757529>.
- Benitez-De La Fuente, H., De La Fuente, H. B., Vidal, M., Briones, R., y Jerez, V. (2010). Sexual dimorphism and morphological variation in populations of *Ceroglossus chilensis* (Eschscholtz, 1829) (Coleoptera: Carabidae). *Journal of the Entomological Research Society*, 12, 87–95.
- Cicero, J. M. (1983). Lek assembly and flash synchrony in the Arizona firefly *Photinus knulli* Green (Coleoptera: Lampyridae). *The Coleopterists Bulletin*, 37, 318–342.
- Conanp (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2019). Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación y cambio climático. Recuperado el 29 de agosto, 2019 de: <https://www.gob.mx/conanp/articulos/areas-destinadas-voluntariamente-a-la-conservacion-y-cambio-climatico>
- Dangles, O. y Casas, J. (2019). Ecosystem services provided by insects for achieving sustainable development goals. *Ecosystem Services*, 35, 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.12.002>.
- Davidowitz, G., D'Amico, L. J. y Nijhout, H. F. (2003). Critical weight in the development of insect body size. *Evolution and Development*, 5, 188–197. <https://doi.org/10.1046/j.1525-142X.2003.03026.x>.
- Evans, T. R., Salvatore, D., van de Pol, M. y Musters, C. J. M. (2019). Adult firefly abundance is linked to weather during the larval stage in the previous year. *Ecological Entomology*, 44, 265–273. <https://doi.org/10.1111/een.12702>
- Faudzi, R., Abas, A., Othman, N. W. y Mazlan, S. M. (2021). Effect of water quality on the abundance of firefly populations at Cherating River, Pahang, Malaysia. *Environment Asia*, 14, 69–79. <https://doi.org/10.14456/ea.2021.8>.
- Foo, K. y Dawood, M. M. (2017). Diversity of *Pteroptyx* fireflies (Coleoptera: Lampyridae) and their display trees at Klias peninsula, Sabah, Malaysia. *Journal of Tropical Biology and Conservation*, 14, 95–103. <https://doi.org/10.51200/jtbc.v14i0.891>.
- García-Trujillo, Z. H. M. K., Almeraya-Quintero, S. X., Guajardo-Hernández, L. G. y Torres-Perez, J. A. (2018). Valoración económica del Santuario de la Luciérnaga en Nanacamilpa, Tlaxcala. *El Periplo Sustentable*, 35, 64–95.
- INEGI (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Nanacamilpa de Mariano Arista, Tlaxcala: Recuperado el 02 de febrero, 2020 de: https://nanacamilpa.ayuntamientodigital.gob.mx/transparencia/nanacamilpa/ayuntamiento_64_I.FV_200324135722_29021-prontuario.pdf
- Jaikla, S., Lewis, S. M., Thancharoen, A. y Pinkaew, N. (2020). Distribution, abundance, and habitat characteristics of the congregating firefly, *Pteroptyx* Olivier (Coleoptera: Lampyridae) in Thailand. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 13, 358–366. <https://doi.org/10.1016/j.japb.2020.06.002>.
- Jusoh, W. F. A. W., Hashim, N. R. e Ibrahim, Z. Z. (2010a). Firefly distribution and abundance on mangrove vegetation assemblages in Sepetang estuary, Peninsular Malaysia. *Wetlands Ecology and Management*, 18, 367–373. <http://dx.doi.org/10.1007%2Fs11273-009-9172-4>.
- Jusoh, W. F. A. W., Wong, C. H. y Hashim, N. R. (2011). Zonation of firefly species and their display trees along Kerteh River, Terengganu. *Serangga*, 16, 59–66.
- Koji, S., Nakamura, A. y Nakamura, K. (2012). Demography of the Heike firefly *Luciola lateralis* (Coleoptera: Lampyridae), a representative species of Japan's traditional agricultural landscape. *Journal of Insect Conservation*, 16, 819–827. <http://dx.doi.org/10.1007/s10841-012-9468-1>.
- Lemelin, R. H., Boileau, E. Y. y Russell, C. (2019). Entomotourism: The allure of the arthropod. *Society and Animals*, 27, 733–750. <https://doi.org/10.1163/15685306-00001830>.
- Lewis, S. M. y Wang, O. T. (1991). Reproductive ecology of two species of *Photinus* fireflies (Coleoptera: Lampyridae). *Psyche*, 98, 293–307.
- Lewis, S. M., Wong, C. H., Owens, A. C. S., Fallon, C., Jepsen, S., Thancharoen, A. et al. (2020). A global perspective on firefly extinction threats. *BioScience*, 70, 157–167. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz157>.
- Lewis, S. M., Thancharoen, A., Wong, C. H., López-Palafox, T., Santos, P. V., Wu, C. et al. (2021). Firefly tourism: Advancing a global phenomenon toward a brighter future. *Conservation Science and Practice*, 3, e391. <https://doi.org/10.1111/csp2.391>.
- López-Palafox, T., Macías-Ordóñez, R. y Cordero, C. R. (2020). The size of signal detection and emission organs

- in a synchronous firefly: sexual dimorphism, allometry and assortative mating. *PeerJ*, 8, e10127. <https://doi.org/10.7717/peerj.10127>.
- Lucio-García, J. N., Sánchez-Reyes, U. J., Horta-Vega, J. V., Reyes-Muñoz, J. L., Clark, S. M. y Niño-Maldonado, S. (2022). Seasonal and microclimatic effects on leaf beetles (Coleoptera, Chrysomelidae) in a tropical forest fragment in northeastern Mexico. *Zookeys*, 1080, 21–52. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1080.76522>.
- Juárez, M., L. A. y Hernández, R.M. D. L. (2017). Estudio comparativo de la percepción del deterioro ambiental en el patrimonio natural de Nanacamilpa, Tlaxcala, *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 2, 2–26.
- Maquitico-Roca, Y. y Carrillo-Ruiz, H. (2019). El sistema reproductivo de *Macrolampis palaciosi* Zaragoza-Caballero 2012 (Coleoptera: Elateroidea: Lampyridae). *Entomología Mexicana*, 6, 583–586. <https://doi.org/10.1016/j.ympv.2016.12.017>.
- Mattoni, R., Longcore T. y Novotny, V. (2000). Environmental auditing arthropod monitoring for fine-scale habitat analysis: a case study of the El Segundo sand dunes. *Environmental Management*, 25, 445–452. <https://doi.org/10.1007/s002679910035>.
- Pérez-Hernández, C. X., Zaragoza-Caballero, S. y Romo-Galicia, A. (2022). Updated checklist of the fireflies (Coleoptera: Lampyridae) of México. *Zootaxa*, 5092, 291–317. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5092.3.3>
- Ramírez-Albores, J. E. (2013). Riqueza y diversidad de aves de un área de la Faja Volcánica Transmexicana, Tlaxcala, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 29, 486–512. <https://doi.org/10.21829/azm.2013.2931593>
- Ramírez-Albores, J. E., León-Paniagua, L. y Navarro-Sigüenza, A. (2014). Mamíferos silvestres del Parque Ecoturístico Piedra Canteada y alrededores, Tlaxcala, México; con notas sobre algunos registros notables para el área. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 48–61. <https://doi.org/10.7550/rmb.30485>.
- Ruczyński, I., Halat, Z., Zegarek, M., Borowik, T. y Dechmann, D. K. (2020). Camera transects as a method to monitor high temporal and spatial ephemerality of flying nocturnal insects. *Methods in Ecology and Evolution*, 11, 294–302. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13339>.
- Savopoulou-Soultani, M., Papadopoulos, N. T., Milonas, P. y Moyal, P. (2012). Abiotic factors and insect abundance. *Psyche*, 2012, 1–2. <https://doi.org/doi:10.1155/2012/167420>.
- Singh, R., Sharma, K. R. y Kumar, S. (2020). Insect biodiversity and its conservation. *Recent Trends in Insect Pest Management*, 115, 1.
- Sukhodolskaya, R. A. y Eremeeva, N. I. (2013). Body size and shape variation in ground beetle *Carabus aeruginosus* F.-W., 1822 (Coleoptera, Carabidae). *Contemporary Problems of Ecology*, 6, 609–615. <https://doi.org/10.1134/S1995425513060127>.
- Takeda, M., Amano, T., Katoh, K. y Higuchi, H. (2006). The habitat requirement of the Genji-firefly *Luciola cruciata* (Coleoptera: Lampyridae), a representative endemic species of Japanese rural landscapes. En D. L. Hawksworth y A. T. Bull (Eds.), *Arthropod diversity and conservation* (pp. 177–189). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5204-0_12.
- Wan, W. A., Shahril, M. H., Rahman, N. A., Nurhanim, M. N., Abdullah, M. y Sulaiman, N. (2012). Vegetation profile of the firefly habitat along the riparian zones of Sungai Selangor at Kampung Kuantan, Kuala Selangor. *Malaysian Applied Biology*, 41, 55–58.
- Yanes-Gómez, G. y Morón, M. A. (2010). Fauna de coleópteros Scarabaeoidea de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla, México: su potencial como indicadores ecológicos. *Acta Zoológica Mexicana*, 26, 123–145. <https://doi.org/10.21829/azm.2010.261683>
- Zaragoza-Caballero, S. (1995). *La familia Lampyridae (Coleoptera) en la Estación de Biología Tropical "Los Tuxtlas"*, Veracruz, México. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología.
- Zaragoza-Caballero, S. (2012). *Macrolampis palaciosi* sp. nov. (Coleoptera: Lampyridae: Photininae), Tlaxcala, México. *Dugesiana*, 19, 117–122. <https://doi.org/10.32870/dugesiana.v19i2.4068>
- Zaragoza-Caballero, S. (2015). Nuevas especies de *Photinus* (Coleoptera: Lampyridae: Photinini) del bosque tropical caducifolio del Pacífico mexicano. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86, 638–651. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2015.08.0013>
- Zaragoza-Caballero, S., Domínguez-León, D. E., González-Ramírez, M., Pérez, S. L., Mirón, G. M. R., Badillo, V. V. et al. (2021). Nuevas especies de luciérnagas (Coleoptera: Lampyridae) de México. *Dugesiana*, 28, 221–231. <https://doi.org/10.32870/dugesiana.v28i2.7161>
- Zaragoza-Caballero, S., López-Pérez, S., González-Ramírez, M., Rodríguez-Mirón, G. M., Vega-Badillo, V., Domínguez-León, D. E. et al. (2023). Luciérnagas (Coleoptera: Lampyridae) del norte-occidente de México, con la descripción de 48 especies nuevas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 94, e945028. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2023.94.5028>
- Zaragoza-Caballero, S., López-Pérez, S., Vega-Badillo, V., Domínguez-León, D. E., Rodríguez-Mirón, G. M., González-Ramírez, M. et al. (2020). Luciérnagas del centro de México (Coleoptera: Lampyridae): descripción de 37 especies nuevas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91, 1–70. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3104>