

Ingesta de microplásticos en insectos terrestres y aéreos provenientes de hábitats contrastantes en la ciudad de Guanajuato, México

Microplastic ingestion in terrestrial and aerial insects from contrasting habitats in Guanajuato, Mexico

Eugenio Trejo-Gómez¹, Erick Enrique Villanueva-Bonilla¹, Kevin Said Ramírez-Dávila², Juan Pablo Huchin-Mian³

¹ Licenciatura en Biología Experimental, Universidad de Guanajuato, Noria Alta S/N, C.P. 36050. Guanajuato, Gto., México.

² Maestría en Ciencias Biológicas, Universidad de Guanajuato, Noria Alta S/N, C.P. 36050. Guanajuato, Gto., México.

³ Departamento de Biología, División de Ciencias Naturales y Exactas. Universidad de Guanajuato. Noria Alta S/N, C.P. 36050. Guanajuato, Gto., México
jp.huchin@ugto.mx

Resumen

Este estudio evaluó la ingesta de microplásticos (MPs) en insectos terrestres y aéreos provenientes de tres hábitats contrastantes en Guanajuato, México: un Área Natural Protegida (ANP), una zona de cultivo y una zona urbana. Se analizaron 266 individuos pertenecientes a seis órdenes (coleóptera, ortóptera, hemíptera, lepidóptera, himenóptera y díptera) mediante digestión con peróxido de hidrógeno (30%). Los MPs encontrados se caracterizaron morfológicamente. Los resultados mostraron que los filamentos fueron los más abundantes con un 98.7% mientras que los fragmentos solo correspondieron al 1.3%. La abundancia de MPs varió significativamente entre órdenes y hábitats, donde lepidópteros e himenópteros presentaron altas concentraciones en ANP, mientras que los hemípteros fueron el orden más afectado en zonas urbanas y agrícolas. No se encontró correlación entre el tamaño o peso de los insectos y la cantidad de MPs ingeridos, pero si se encontró una distribución de colores homogénea, donde predominaron los MPs negros y azules en todos los sitios. Se evidenció la presencia de MPs en todos los hábitats estudiados, lo cual presenta un potencial riesgo para los ecosistemas y los roles ecológicos de insectos, por lo que se sugiere implementar estrategias para mitigar y monitorear la contaminación por MPs, además de estudios ecológicos sobre el tema.

Palabras clave: ecosistema terrestre, área natural protegida, cultivo, urbano, coleópteros, ortópteros, hemípteros, himenópteros, dípteros.

Introducción

El plástico es un material sintético que ha tenido gran presencia en nuestra sociedad gracias a su versatilidad, durabilidad y resistencia. Estas características plantean problemáticas en los ecosistemas, ya que el plástico no se degrada orgánicamente de forma sencilla y acaba por acumularse en la naturaleza si no es correctamente desecharlo (United Nations Environment Programme-UNEP, 2019). Estos plásticos pueden ser de tamaños grandes o pequeños desde su producción, pero por acción física y química, la mayoría acaba transformándose en fragmentos imperceptibles a simple vista llamados microplásticos (MPs). Los MPs son partículas plásticas con tamaños iguales o menores a 5 mm y constituyen uno de los contaminantes más persistentes en ambientes terrestres y acuáticos (Oliveira et al., 2019). Desde su identificación como amenaza ambiental, su presencia se ha documentado en aguas superficiales, sedimentos, suelos agrícolas, organismos marinos, incluso en alimentos destinados para el consumo humano (Rondoni et al., 2021; Gautam et al., 2024).

Los MPs tienen dos principales orígenes: primarios y secundarios. Los MPs primarios provienen de productos como los cosméticos, las pastas dentales, las cremas, algunos detergentes, los pellets industriales y hasta las fibras textiles. Mientras que los MPs secundarios se generan a partir de plásticos grandes, como botellas y bolsas, donde la acción física, química o incluso biológica fragmentan las piezas grandes en piezas cada vez más pequeñas hasta convertirse en MPs (An et al., 2020). Estos fragmentos, debido a su reducido tamaño y persistencia, pueden dispersarse fácilmente a través del aire, el agua y los suelos, generando rutas de exposición directa e indirecta para una amplia variedad de organismos (Shen et al., 2023; UNEP, 2019).

Existen diversos estudios que evalúan las afectaciones de MPs en organismos complejos, dando como resultado afectaciones endocrinas y hormonales en estos organismos, afectando su función biológica (Oliveira *et al.*, 2019). Es importante resaltar que la mayoría de los estudios sobre MPs se han enfocado en ambientes acuáticos y especies marinas. Sin embargo, la presencia e impacto de los MPs en invertebrados terrestres, en especial insectos, no han sido investigados a profundidad (Gautam *et al.*, 2024; Mercado-Cervantes, 2023).

En cuanto a estudios sobre invertebrados, investigaciones recientes han puesto de manifiesto la presencia e impacto de los MPs en organismos terrestres como lombrices de tierra (*Eisenia fetida*), colémbolos y diversos insectos polinizadores (Oliveira *et al.*, 2019; Rondoni *et al.*, 2021; Shen *et al.*, 2023), pero estos estudios son limitados y la mayoría abordan a organismos cercanos filogenéticamente a los insectos pero que no son insectos. Por ejemplo, experimentos controlados han demostrado que lombrices (anélidos) expuestas a MPs pueden alterar la estructura física del suelo y modificar procesos clave como la descomposición de materia orgánica y la actividad microbiana (Rondoni *et al.*, 2021; UNEP, 2019). Por otro lado, los colémbolos, organismos anteriormente agrupados en el grupo de insectos, son sumamente importantes para la degradación de materia orgánica y la dinámica del suelo, y pueden ingerir MPs junto con partículas orgánicas, afectando sus microbiotas, su comportamiento alimenticio y, por consecuencia, la fragmentación de materia vegetal (Rondoni *et al.*, 2021; An *et al.*, 2020; Shen *et al.*, 2023).

En insectos, se ha documentado la presencia de MPs en abejas melíferas (*Apis mellifera*), que pueden transportar partículas plásticas adheridas a su cuerpo o ingerirlas indirectamente a través del néctar y el polen contaminado, lo que plantea riesgos potenciales para la polinización y la salud de las colonias (Oliveira *et al.*, 2019; UNEP, 2019). Asimismo, Mercado-Cervantes (2023) evidenció la presencia de MPs en cuatro ordenes de insectos de bosque alto andino y agroecosistemas, destacando su impacto en la biodiversidad local. Estos hallazgos evidencian que los MPs tienen efectos potencialmente disruptivos, alterando funciones ecosistémicas críticas como la fertilidad del suelo, la formación de humus y la regulación de plagas (Gautam *et al.*, 2024; Rondoni *et al.*, 2021). Sin embargo, aún persisten grandes vacíos de información sobre la magnitud real de la exposición, las rutas de transferencia y los efectos crónicos en diferentes grupos de invertebrados terrestres (Sucharitakul *et al.*, 2024; Mercado-Cervantes, 2023). Frente a este panorama, el objetivo principal de este estudio fue analizar la ingesta de MPs en seis órdenes de insectos (coleóptera, ortóptera, hemíptera, lepidóptera, himenóptera y diptera) muestreados en tres hábitats contrastantes (área natural protegida, área urbana y zona de cultivos) en los alrededores de la ciudad de Guanajuato, México.

Materiales y métodos

Sitios de muestreo

El muestreo de insectos se realizó en tres áreas contrastantes alrededor de la ciudad de Guanajuato: Área Natural Protegida (ANP) de presa La Purísima ($20^{\circ}52'31"N$ $101^{\circ}17'39"W$), área urbana en La antigua Noria alta ($21^{\circ}00'37"N$ $101^{\circ}16'05"W$) y, finalmente, un área de cultivo alrededor de la presa La Purísima ($20^{\circ}53'13"N$ $101^{\circ}17'07"W$) (Figura 1).

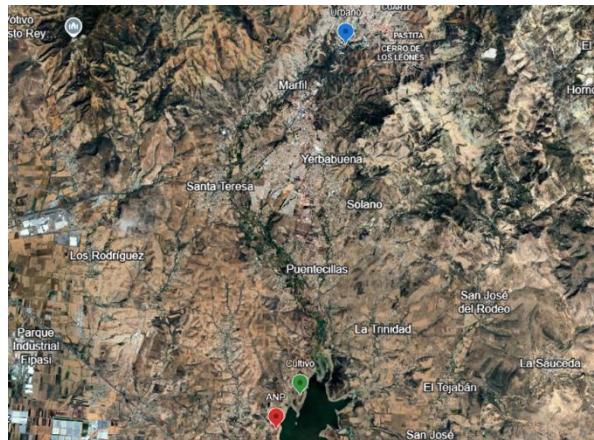


Figura 1. Sitios de muestreo de insectos en los alrededores de la ciudad de Guanajuato, México (urbano en azul, cultivo en verde, ANP en rojo).
Fuente: Google maps.

Muestreo de insectos

Se colectaron un total de 266 insectos, los cuales fueron clasificados en 6 órdenes: Coleóptera (n= 77), Ortóptera (n= 16), Hemíptera (n= 53), Lepidóptera (n= 49), Himenóptera (n= 37) y Díptera (n= 34) (Figura 2). Para capturarlos se utilizaron redes de mano, bolsas Ziploc con etanol y frascos con la tapa transpirable. Posteriormente se transfirieron a jaulas transpirables portátiles para insectos. Las jaulas con los insectos fueron colocadas en un congelador horizontal a – 4 °C (Whirpool) para sacrificarlos y, una vez sacrificados, se colocaron en bolsas Ziploc de acuerdo con el orden al que pertenecen. Se guardaron en el mismo congelador para su preservación hasta su procesamiento.

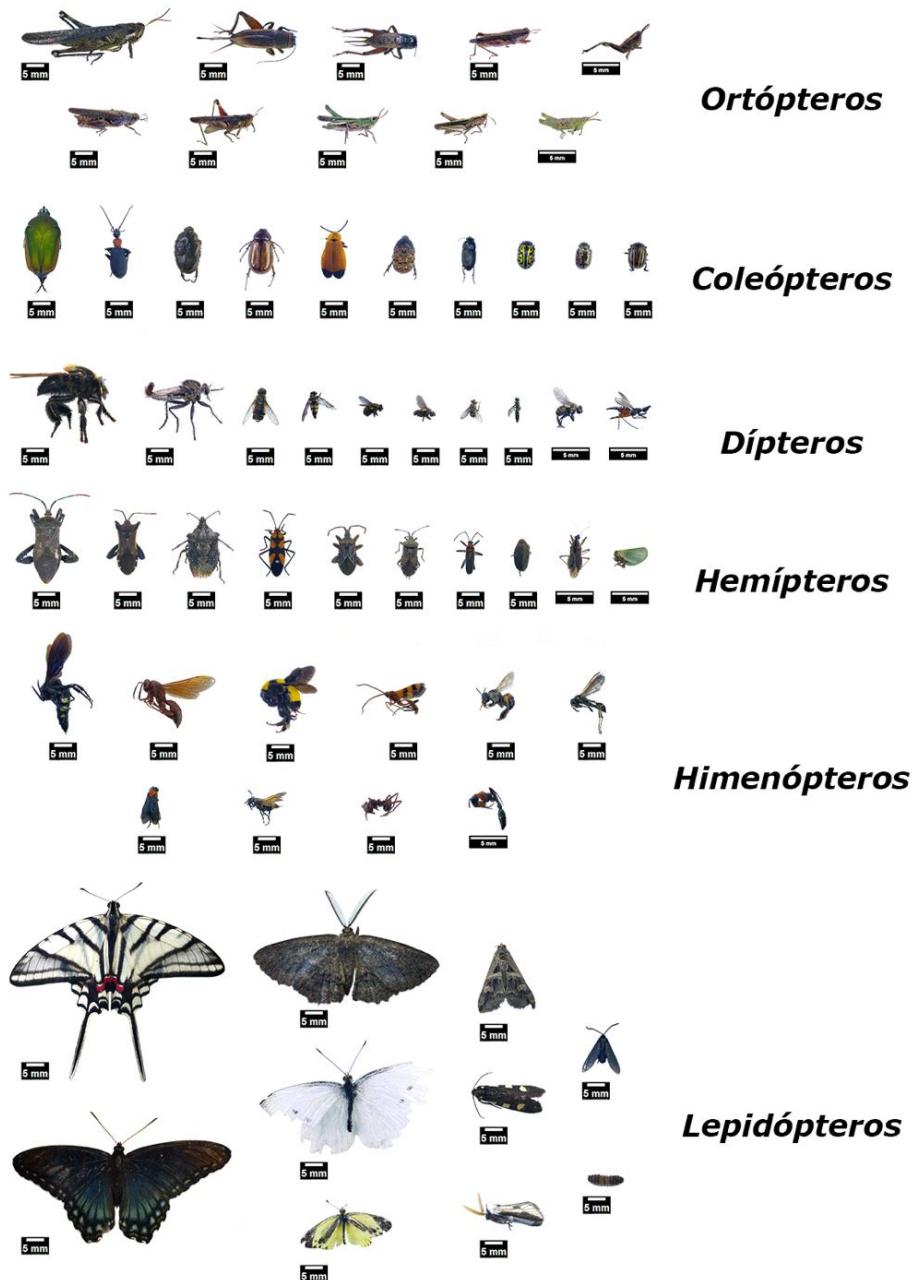


Figura 2. Órdenes de insectos analizados, ejemplificando algunos de los individuos procesados. Fuente: Diseño propio.

Procesamiento de insectos por digestión

Antes de procesar a los insectos, cada individuo fue medido y pesado. La talla de los insectos se registró en milímetros con un vernier electrónico (Steren) y el peso se registró en gramos con una balanza MH-Series Mini Portable Pocket Weight Scale. Cada insecto fue enjuagado con agua destilada para retirar los posibles MPs que contengan adheridos al cuerpo y, luego, fueron transferidos a vasos de precipitado de 100 ml previamente etiquetados con el número de muestra. Después, con ayuda de pinzas para disección, se trozaron los insectos en pedazos pequeños. A cada muestra se les adicionó 20 ml de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30% y se llevaron a parrillas de calentamiento por 20 min a una temperatura de 60-70 °C. Se midió la temperatura de las muestras con termómetros de alcohol, para evitar que sobrepasaran la temperatura límite de 70°C. Se dejaron enfriar las muestras por 30 min a temperatura ambiente (20°C) para después filtrarlas en papel Whatman, con ayuda de una bomba de vacío y un sistema de filtrado conectado a un matraz de Kitasato de 1 L. Los filtros obtenidos de este procesamiento fueron colocados en cajas Petri de vidrio etiquetadas con el número de la muestra para su identificación y caracterización.

Identificación y caracterización de microplásticos

Los filtros obtenidos del procesamiento de muestras fueron revisados bajo un microscopio estereoscópico (Motic SMZ-171) para caracterizarlos por su color y morfología (filamentos, fragmentos, esferas o films). Posteriormente, se transfirieron con ayuda de agujas de jeringas a otro filtro de papel Whatman limpio para ser fotografiados con un estereoscopio y medidos con el software Image J.

Análisis de datos

Se utilizó estadística descriptiva para las abundancias de MPs y sus características físicas (tamaño) y morfológicas (color y forma). Además, se realizaron comparaciones de medias mediante ANOVA o Kruskal-Wallis, previo análisis del cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza de los datos. Las comparaciones múltiples se realizaron por pruebas de Tukey o Wilcoxon. Se emplearon regresiones lineales simples para analizar la asociación entre las abundancias de MPs y su relación con la talla y peso de los insectos analizados. Los análisis de datos se realizaron en los programas Graphpad y R software, versión 1.4.1717 (R Core Team, 2021). Para todas las pruebas se consideró que existió una diferencia significativa cuando p fue < 0.05 .

Resultados

Los microplásticos recolectados presentaron únicamente formas de filamento y fragmento, donde los filamentos fueron los más dominantes (98.7%), seguido de los fragmentos (1.3%) (Figura 3).

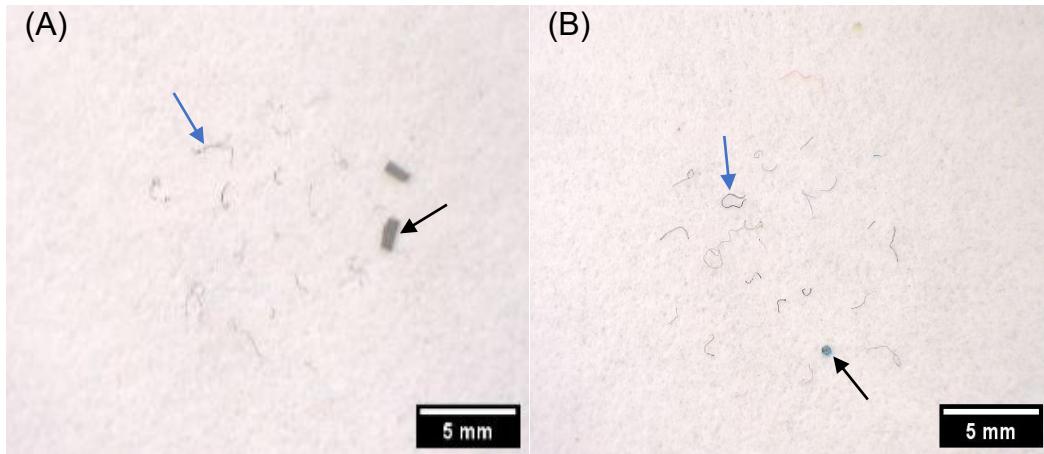


Figura 3. A-B, ejemplos de los microplásticos encontrados en los insectos analizados. Se observan formas de filamento (flechas azules) y de fragmento (flechas negras). Fuente: Diseño propio.

Abundancia de MPs

En el Área Natural protegida (ANP) se encontraron diferencias significativas entre las abundancias medias de los MPs en los órdenes de insectos analizados ($p= 0.005$). Los lepidópteros presentaron una abundancia media de MPs significativamente mayor, seguida por Himenópteros y Ortópteros, y finalmente los Coleópteros, Hemípteros y Dípteros (Figura 4). Se realizaron también pruebas de Wilcoxon y Dunn, que permitieron comparar grupos, donde se hallaron diferencias significativas entre Coleópteros y Lepidópteros ($p= 0.032$) y Lepidópteros y Dípteros ($p= 0.012$) además de diferencias altamente significativas entre Hemípteros con Lepidópteros ($p= 0.004$).

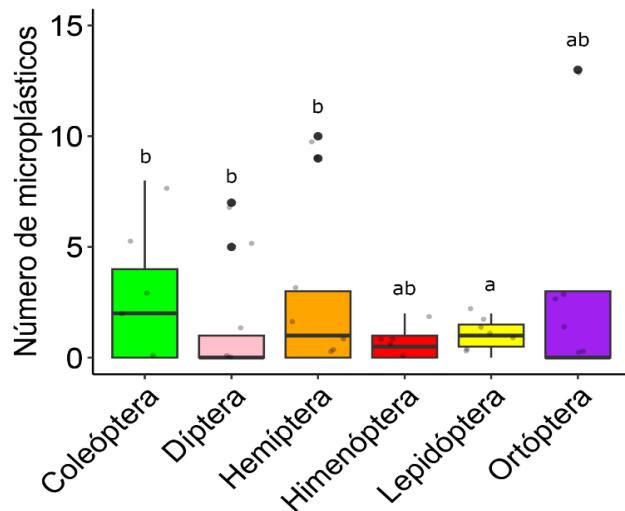


Figura 4. Abundancia de microplásticos en los órdenes pertenecientes a ANP. Comparaciones de medias se realizó mediante Kruskal-Wallis. Letras diferentes indican diferencias significativas. Fuente: Diseño propio.

Respecto a la ingesta de MPs en los insectos colectados en el sitio de cultivo, se encontraron diferencias altamente significativas ($p= <0.0001$). La cantidad más alta de MPs se encontró en los grupos de Hemípteros, Lepidópteros y Ortópteros (Figura 5).

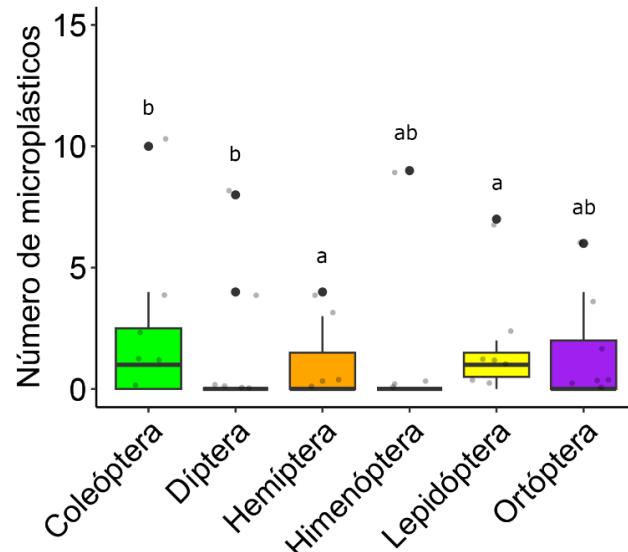


Figura 5. Abundancia de microplásticos en los órdenes pertenecientes a cultivo. Comparaciones de medias se realizó mediante Kruskal-Wallis. Letras diferentes indican diferencias significativas. Fuente: Diseño propio.

En cuanto a la abundancia de MPs en la zona urbana se encontró que los Hemípteros e Himenópteros fueron los órdenes con las mayores abundancias medias de MPs mientras que los Coleópteros tuvieron la menor abundancia (Figura 6). También se evidenciaron diferencias significativas entre los siguientes grupos comparados: Hemípteros y Coleópteros ($p= 0.006$), Lepidópteros y Coleópteros ($p= 0.036$), Himenópteros y Coleópteros ($p= 0.012$), Dípteros y Hemípteros ($p = 0.027$) y Dípteros e Himenópteros ($p = 0.047$).

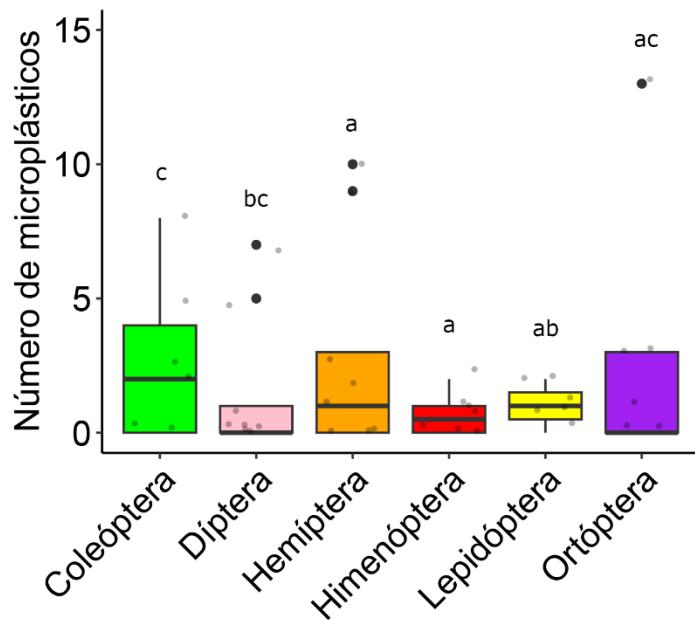


Figura 6. Abundancia de microplásticos en los órdenes pertenecientes a área urbana. Comparaciones de medias se realizó mediante Kruskal-Wallis. Letras diferentes indican diferencias significativas. Fuente: Diseño propio.

Tamaño de MPs

No se encontraron diferencias significativas (ANOVA, $p<0.05$) en el tamaño promedio de MPs entre los 3 lugares muestreados (Figura 7). Los MPs provenientes de la ANP tuvieron una longitud media de 1.62 mm con varios valores atípicos que oscilaron entre los 3.9-4.9 mm, mientras que los de cultivo presentaron una longitud media de 1.56 mm y valores atípicos de 3.8-4.1 mm; por último, los MPs del entorno urbano presentaron una longitud media de 1.66 mm y unos valores atípicos de 4.3-4.5 mm.

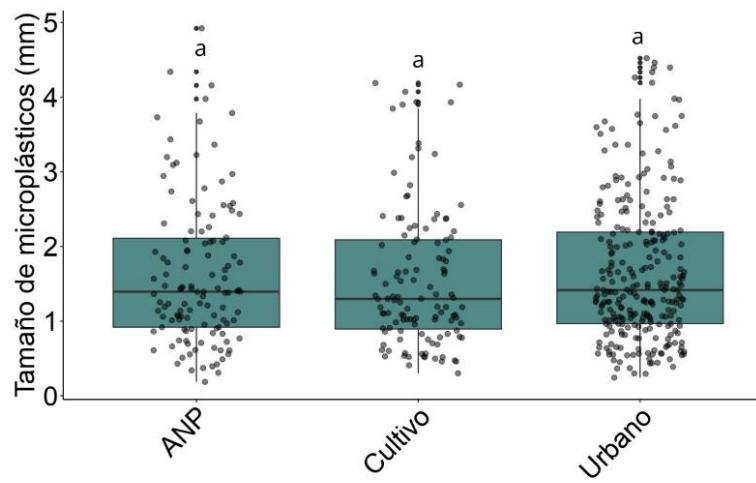


Figura 7. Tamaño de MPs en ANP, cultivo y urbano. Comparaciones de medias se realizó mediante ANOVA. Letras diferentes denotan diferencias significativas. Fuente: Diseño propio.

En cuanto al tamaño de MPs encontrados en los distintos ordenes de insectos se encontraron diferencias significativas (ANOVA, $p < 0.05$) entre los Himenópteros y los Lepidópteros. Los Himenópteros presentaron la mayor variabilidad de tamaños de MPs y una media de 1.51 mm y se encontraron MPs de hasta 4.9 mm, por su parte los Lepidópteros presentaron una menor variabilidad, una media de 1.23 mm y unos datos atípicos que oscilaban entre 3.9-4.5 mm. En el resto de ordenes no se encontraron diferencias significativas. Los Coleópteros presentaron una media de 1.52 mm, los Dípteros una media de 1.27 mm, los Hemípteros una media de 1.29 mm y los Ortópteros una media de 1.51 mm (Figura 8).

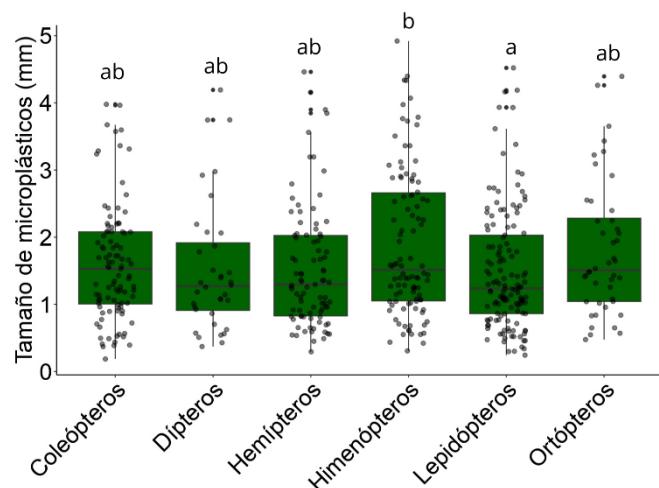


Figura 8. Tamaño de MPs en los distintos ordenes de insectos. Comparaciones de medias se realizó mediante ANOVA. Letras diferentes indican que hubo diferencias significativas ($p < 0.05$), determinado con la prueba de Tukey. Fuente: Diseño propio.

Relación tamaño y peso

Se analizó la asociación entre la abundancia de MPs con el peso y la longitud de los insectos. Las regresiones lineales mostraron una asociación muy débil entre la longitud y la abundancia de MPs, es decir que el tamaño de los insectos está escasamente relacionado con la presencia de MPs, pero que esta presencia de MPs es más aleatoria. El orden *Orthoptera* fue el que tuvo el coeficiente de determinación (R^2) más alto 18.8%, mientras que el orden *Hemiptera* tuvo el coeficiente más bajo con 0.64%. En cuanto al peso se encontró una asociación más alta en comparación con la longitud, pero no lo suficiente para que fueran significativas, por lo que el peso de los insectos tampoco está relacionado con la presencia de MPs, entre los órdenes que presentaron coeficientes de determinación más elevados esta *Himenóptera* con un 29.7% y *Coleóptera* con un 20.1%, mientras que *Lepidóptera* tuvo el coeficiente más bajo con un 0.07%.

Colores de MPs

Entre la diversidad de colores encontrados en los MPs aislados en el ANP de Presa la Purísima (Figura 9A), se encontró que los MPs negros y los azules fueron los más abundantes en todos los órdenes de insectos, seguido de los MPs violetas que se encontraron en todos los órdenes excepto *Diptera*, le siguieron los MPs rojos presentes en *Coleóptera*, *Orthoptera*, *Hemíptera* y *Lepidóptera*. El resto de los colores de MPs estuvieron conformados por cafés, grises, morados, naranjas y verdes. En cuanto a la distribución de colores de MPs en cultivo (Figura 9B) nuevamente los MPs negros y azules predominaron y se observaron en todos los órdenes, al igual que los violetas que se observaron en *Coleópteros*, *Orthópteros*, *Hemípteros* y *Lepidópteros*. El resto de los colores de MPs estuvieron conformados por grises, naranjas, rojos, rosas y verdes. Finalmente, la distribución de colores de MPs en el área urbana (Figura 9C) se encontraron que los MPs negros fueron los más abundantes seguidos de los azules y rojos que tuvieron presencia en todos los órdenes. Posteriormente siguieron los MPs violetas en *Coleópteros*, *Hemípteros*, *Himenópteros* y *Dípteros*. El resto de los colores de MPs estuvieron conformados por cafés, grises, naranjas y blancos.

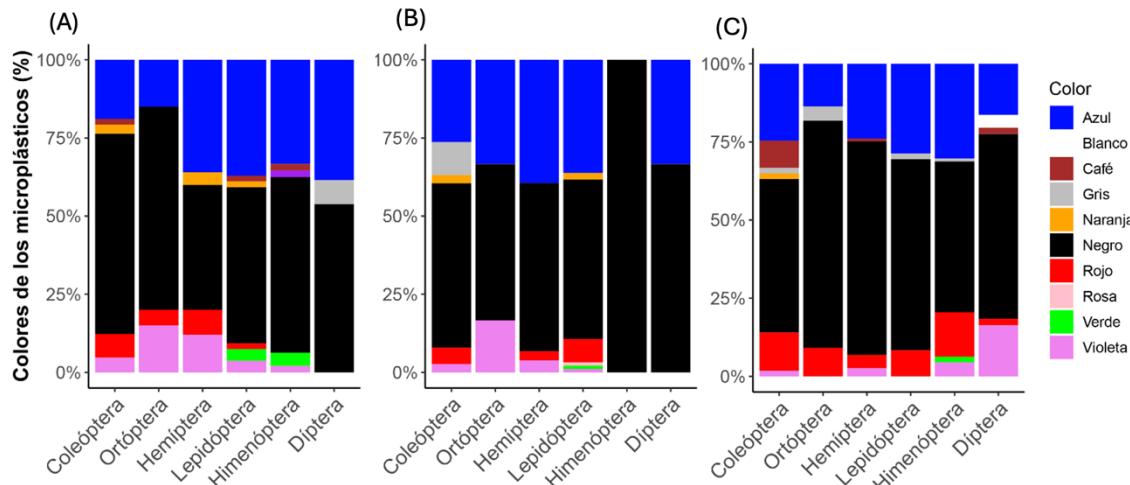


Figura 9. Distribución de colores de MPs en los distintos órdenes de insectos en A) ANP Presa La Purísima, B) Cultivo, y C) Urbano.
Fuente: Diseño propio.

Discusión

Los resultados de este estudio señalan que los seis órdenes de insectos estudiados presentaron MPs en los tres sitios muestreados, coincidiendo con hallazgos reportados por Mercado-Cervantes (2023) en insectos de ecosistemas andinos, donde la contaminación por MPs estuvo generalizada aún en áreas sin tanta actividad humana. En cuanto a las formas de MPs encontrados predominaron los filamentos, seguidos de los fragmentos, estos resultados también coinciden con Mercado-Cervantes (2023). Se considera que entre las principales fuentes de estos MPs se encuentran las fibras textiles, trituración de desechos y la misma degradación por exposición de plásticos al medio ambiente (UNEP, 2019).

Aunque se encontraron MPs en todas las áreas estudiadas, las abundancias encontradas variaron de un sitio a otro. En el Área Natural Protegida la mayor abundancia se encontró en Lepidópteros e Himenópteros, lo cual puede estar asociado a los hábitos de alimentación y movilidad de estos insectos. En ambos casos, insectos como mariposas, polillas, abejas y avispas se ven expuestos a MPs presentes en el néctar o las mismas flores cuando las visitan para alimentarse, como han reportado Oliveira *et al.* (2019) en abejas melíferas. En cuanto a otros Himenópteros, como las hormigas, la presencia de MPs puede deberse a su contacto con el suelo y sus agrupaciones sociales en las que diversos individuos transportan los MPs dentro de la colonia al acarrear materiales del mismo suelo o a la adhesión de MPs a su cuerpo (Luna *et al.*, 2024).

En las zonas urbana y de cultivo, la mayor contaminación estuvo presente en Hemípteros, los cuales interactúan estrechamente con las plantas y los suelos. Estas interacciones podrían explicar la alta presencia de MPs en el caso de las áreas de cultivo, ya que suelen tener colchados plásticos y usar lodos de depuradora (An *et al.*, 2020) contaminando los suelos con los que los hemípteros entran en contacto. Por otra parte, la presencia de un arroyo contaminado cerca de la zona urbana muestreada parece hacer más susceptibles a los insectos aledaños a presentar altas cantidades de MPs que llegan por las corrientes o se degradan por las mismas y luego se depositan en las cercanías. Estos resultados, también observados por Rondoni *et al.* (2021), resaltan a los agroecosistemas y las áreas con afluentes contaminados como reservorios de MPs. Un evento que se presentó en todas las áreas estudiadas fue que la menor presencia de MPs se encontró en los dípteros, lo cual puede relacionarse a que diversas especies de este orden tienen un ciclo de vida acuático en sus etapas de larvas, como ha sido mencionado por Shen *et al.* (2023), haciendo que su exposición sea menos directa hasta la edad adulta.

Respecto a la correlación entre los insectos con el tamaño de los MPs, la falta de diferencias significativas sugiere que la fragmentación de plásticos sucede de forma similar en los tres ambientes, apoyado de las hipótesis sobre la dominancia de los MPs secundarios en todos los ecosistemas. En cuanto a los órdenes de insectos, los himenópteros fueron los que presentaron una mayor diversidad en cuanto a tamaños de MPs, en este orden se encuentran la mayor cantidad de insectos polinizadores, parasitoides y a las hormigas (Cancino *et al.*, 2015), además estos insectos tienen hábitos tanto terrestres como aéreos. De acuerdo con Oliveira *et al.* (2019) insectos como las abejas están expuestas a MPs presentes en el néctar. En cuanto a las hormigas, estas tienen una dieta omnívora oportunista que consta de hojas, semillas o insectos muertos. Li *et al.* (2025) reportó la presencia de MPs en la absorción de tejidos vegetales, pero no se menciona la medida de estos, otro factor que podría explicar la alta diversidad de tamaños en los MPs en himenópteros es la bioacumulación, ya que los MPs pueden acumularse en los organismos y pasar a lo largo de la cadena alimentaria lo que aumenta la concentración de contaminantes en depredadores superiores (Ruiz-Santoyo, 2025). Mientras que los lepidópteros presentaron MPs pequeños, posiblemente porque este orden de insectos suele tener una dieta más restringida, ya que usualmente consumen fluidos como el néctar, agua u otros materiales líquidos (García-Barros *et al.*, 2015).

Teniendo en cuenta la débil asociación entre el tamaño y peso de los insectos con la abundancia de MPs, se sugiere que la ingesta no depende de la biomasa del individuo, sino que más bien intervienen factores biológicos y ecológicos como la alimentación y el nicho ecológico. En el caso de los Coleópteros, al ser insectos detritívoros, pueden ingerir materia orgánica con MPs que han llegado al sitio mediante deposición atmosférica. Otro ejemplo de esto son los Ortópteros, los cuales depredan tejidos vegetales en los que también pudieron depositarse MPs (Ramírez-Dávila, datos no publicados).

La presencia de MPs principalmente negros y azules coincide con los reportes de Mercado-Cervantes (2023) y Oliveira *et al.* (2019), donde estos colores suelen pertenecer a fibras sintéticas y a fragmentos de envases. La presencia de MPs violetas y rojos, especialmente en ANP, podría asociarse con plásticos agrícolas degradados cuyos pigmentos resisten la fotodegradación (An *et al.*, 2020).

Conclusiones

La presencia de MPs en insectos terrestres y aéreos sugiere que pueden verse afectados diversos roles y servicios ecosistémicos como la polinización, la descomposición de materia orgánica y la transferencia trófica. Esta contaminación es variable según el orden o el área estudiada, pero su presencia en Áreas Naturales Protegidas, donde hay poca actividad antropogénica, evidencia la urgencia de crear estrategias de remediación y mejorar las políticas públicas para disminuir el uso de plásticos y, por consecuencia, las afectaciones ecosistémicas actuales.

Aunque el estudio de la contaminación por MPs en insectos es incipiente, se recomienda que se realicen futuros abordajes respecto a la química de estos plásticos encontrados para identificar a los polímeros específicos, que se profundice en las afectaciones hormonales y endocrinas que causan los MPs en insectos, que se monitoreen los cambios que pueda presentar la contaminación según la estación del año y que se estudie a detalle en diferentes géneros y especies de insectos, tanto *in situ* como *in vitro*.

Agradecimientos

Agradecemos a Ian Uriel Nava Rodríguez y Ma. del Carmen Sánchez Leyva por su invaluable apoyo técnico durante los muestreos de campo y en el procesamiento de muestras en el laboratorio.

Bibliografía/Referencias

- An, L., Liu, Q., Deng, Y., Wu, W., Gao, Y., & Ling, W. (2020). Sources of Microplastic in the Environment. In: He, D., Luo, Y. (eds) Microplastics in Terrestrial Environments. En The Handbook of Environmental Chemistry, 95. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/698_2020_449
- Cancino, E. R., Kasparyan, D. R., Blanco, J. M. C., Myartseva, S. N., Trjapitzin, V. A., Aguilar, S. G. H., & Jiménez, J. G. (2015). HYMENOPTERA: Himenópteros de la Reserva "El Cielo", Tamaulipas, México. *Dugesiana*, 17(1). <https://doi.org/10.32870/dugesiana.v17i1.3942>
- García-Barros, E., Romo, H., Sarto Monteys, V., Munguira, M. L., Baixeras, J., Vives Moreno, A., & Yela García, J. L. (2015). Órden Lepidoptera. *Revista IDE@ – Ibero Diversidad Entomológica*, (65), 1–21.
- Gautam, S., Rathikannu, S., Katharine, S. P., Marak, L. K. R., & Alshehri, M. (2024). Beyond the surface: Microplastic pollution its hidden impact on insects and agriculture. *Physics And Chemistry Of The Earth Parts A/B/C*, 135, 103663. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103663>
- Li, Y., Zhang, J., Xu, L. et al. (2025). Leaf absorption contributes to accumulation of microplastics in plants. *Nature*, 641, 666–673. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-08831-4>
- Luna, Á., Rausell-Moreno, A., & Vidal-Cordero, J. M. (2024). Plastics and insects: Records of ants entangled in synthetic fibres. *Ecological Entomology*, 49, 145–148. <https://doi.org/10.1111/een.13284>
- Mercado-Cervantes, Y. E. (2023). Microplásticos en insectos de bosque alto andino y agroecosistemas de la cuenca alta del río Bogotá [Proyecto de grado para optar por el título de Biólogo Ambiental, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano]. <http://hdl.handle.net/20.500.12010/31577>
- Oliveira, M., Ameixa, O. M., & Soares, A. M. (2019). Are ecosystem services provided by insects "bugged" by micro (nano)plastics?. *Trends In Analytical Chemistry*, 113, 317-320.
- <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.02.018>
- R Core and Team. (2021). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rondoni, G., Chierici, E., Agnelli, A., & Conti, E. (2021). Microplastics alter behavioural responses of an insect herbivore to a plant-soil system. *The Science Of The Total Environment*, 787, 147716.
- <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147716>

Ruiz-Santoyo, V., Cruz-Merida, J., Garcia Carvajal, S., & Arenas Arrocena, M. C. (2025). Micropolásticos y nanoplásticos: una amenaza para la salud humana y el medio ambiente. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 18(34), e69832. Epub 25 de febrero de 2025. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2025.34.69832>

Shen, J., Liang, B., & Jin, H. (2023). The impact of microplastics on insect physiology and the indication of hormesis. *TrAC Trends In Analytical Chemistry*, 165, 117130.

<https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117130>

Sucharitakul, P., Wu, W., Zhang, Y., Peng, B., Gao, J., Wang, L., & Hou, D. (2024). Exposure Pathways and Toxicity of Microplastics in Terrestrial Insects. *Environmental Science & Technology*, 58(27), 11887-11900. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c02842>

United Nations Environment Programme. (2019, mayo 3). Microplastics. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/12079/brochure-microplastics.pdf?sequence=1&isAllowed=>