

Estudios y Perspectivas Revista Científica y Académica
ISSN en línea 3005-2599, enero-marzo 2025,
Volumen 5, Número 1.

DOI: <https://doi.org/10.61384/r.c.a.v5i1>

EVALUACIÓN INTEGRAL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA COLONIA MIRAVALLE, GUADALAJARA: UN ENFOQUE MULTIDISCIPLINARIO

*COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF AIR POLLUTION IN THE
MIRAVALLE NEIGHBORHOOD, GUADALAJARA: A
MULTIDISCIPLINARY APPROACH*

Lic. Aura Libertad Calleja-Rivera

Universidad de Guadalajara, México

Dra. Paulina Beatriz Gutiérrez-Martínez

Universidad de Guadalajara, México

Dra. Blanca Catalina Ramírez-Hernández

Universidad de Guadalajara, México

Dr. Javier Eugenio García de Alba Verduzco

Universidad de Guadalajara, México

Dra. María Guadalupe Pulido-Ávila

Universidad de Guadalajara, México



DOI: <https://doi.org/10.61384/r.c.a.v5i1.1013>

Evaluación Integral de la Contaminación Atmosférica en la Colonia Miravalle, Guadalajara: Un Enfoque Multidisciplinario

Lic. Aura Libertad Calleja-Rivera

aura.calleja@alumnos.udg.mx

<https://orcid.org/0009-0003-0259-2302>

Universidad de Guadalajara, Centro
Universitario de Ciencias Biológicas y
Agropecuarias, México

Dra. Paulina Beatriz Gutiérrez-Martínez

paulina.gutierrez@academicos.udg.mx

<https://orcid.org/0000-0002-3684-0576>

Universidad de Guadalajara, Centro
Universitario de Ciencias Biológicas y
Agropecuarias, Departamento de Ciencias
Ambientales, México

Dra. Blanca Catalina Ramírez-Hernández

blanca.ramirez@academicos.udg.mx

<https://orcid.org/0000-0002-0576-8997>

Universidad de Guadalajara, Centro
Universitario de Ciencias Biológicas y
Agropecuarias, Departamento de Ecología,
México

Dr. Javier Eugenio García de Alba Verduzco

javier.dealba@academicos.udg.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8583-2724>

Universidad de Guadalajara, Centro
Universitario de Ciencias Biológicas y
Agropecuarias, Departamento de Ecología,
México

Dra. María Guadalupe Pulido-Ávila

maria.pavila@academicos.udg.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5198-4781>

Universidad de Guadalajara, Centro
Universitario de Ciencias Biológicas y
Agropecuarias, Departamento de Botánica y
Zoología, México

Recibido: 08- febrero-2024 / Aprobado: 12-marzo-2025

RESUMEN

Los contaminantes atmosféricos incluyen metales pesados que pueden causar daños a la salud y a los ecosistemas. Por ello, el biomonitoreo de éstos proporciona información para identificar los niveles de riesgo, se evaluó a la abeja *Apis mellifera* y la planta *Bidens pilosa* como especies biomonitoras de la contaminación atmosférica en la colonia Miravalle de Guadalajara, Jalisco. Se realizó un análisis palinológico que revela que las abejas tuvieron interacción con las flores, además, se analizaron los conocimientos de expertos en diferentes áreas sobre el uso de biomonitores comprender la opinión de los expertos frente a los desafíos ambientales. Se detectó la presencia de ocho metales pesados en ambas especies, las concentraciones más altas fueron en el mes de noviembre siendo de manganeso, circonio e itrio en *Apis mellifera* y, de rubidio y estaño en *Bidens pilosa*, coincidiendo con los registros más altos de PM₁₀ y PM_{2.5} demostrando que existe una relación entre los metales pesados y el material particulado, por otro lado, los expertos consideran que ambas especies pueden ser biomonitoras de contaminación atmosférica, identificando enfermedades relacionadas con la contaminación, subrayando la importancia de la integración de estos datos en políticas públicas para mejorar la salud humana.

Palabras clave: biomonitoreo, contaminación atmosférica, salud ambiental, *Bidens pilosa*, *Apis mellifera*

Comprehensive Assessment of Air Pollution in the Miravalle Neighborhood, Guadalajara: A multidisciplinary approach

ABSTRACT

Atmospheric pollutants include heavy metals that can cause damage to both health and ecosystems. Therefore, biomonitoring these pollutants provides information necessary for identifying risk levels, in this study, the bee species *Apis mellifera* and the plant *Bidens pilosa* were evaluated as biomonitoring species for atmospheric pollution in the Miravalle neighborhood of Guadalajara, Jalisco. A palynological analysis was carried out revealing that the bees interacted with the flowers, in addition, the knowledge of experts in different areas on the use of biomonitors was analyzed to understand the opinion of the experts in front of the environmental challenges. The presence of eight heavy metals was detected in both species, the highest concentrations were in the month of November, being manganese, zirconium and yttrium in *Apis mellifera* and rubidium and tin in *Bidens pilosa*, coinciding with the highest records of PM10 and PM2.5 demonstrating that there is a relationship between heavy metals and particulate matter, on the other hand, experts consider that both species can be biomonitors of atmospheric pollution, identifying pollution-related diseases, underlining the importance of integrating these data into public policies to improve human health.

Keywords: biomonitoring, atmospheric pollution, environmental health, *Bidens pilosa*, *Apis mellifera*

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica en las ciudades está en constante aumento debido a la urbanización, la industrialización, el uso de automóviles y otras actividades antropogénicas. Entre los principales contaminantes atmosféricos se encuentra el material particulado de 10 y 2.5 μ (PM₁₀ y PM_{2.5}) (Córdova-Mendoza et al., 2021). Estas partículas son una mezcla de sustancias en estado líquido o sólido, que permanecen suspendidas en la atmósfera (SEMADET, 2024). Estas partículas contienen metales pesados, siendo de importancia puesto que no se descomponen fácilmente, tienden a bioacumularse y algunos tienen efectos tóxicos o cancerígenos incluso a bajas concentraciones (Cesur et al., 2021; Turkyilmaz et al., 2018). En altas concentraciones, pueden causar intoxicación, muerte prematura, ataques de asma, alergias, daños a órganos vitales, cambios en el comportamiento, dificultades cognitivas y enfermedades cardiovasculares (Legarreta Perusquia et al., 2015; Lodoño-Franco et al., 2016). Además de los daños a la salud que causan los metales pesados a los humanos, estos representan un riesgo significativo para los ecosistemas y los organismos (Koç, 2021). Por tal motivo, es de gran importancia determinar la concentración de estos contaminantes y con ello identificar los niveles de riesgo (Cesur et al., 2021).

El uso de organismos en el monitoreo de la contaminación por metales pesados (biomonitoreo), proporciona información sobre características ecológicas y el posible impacto ambiental (Leyte-Vidal et al., 2019). Los biomonitores brindan información tanto cualitativa como cuantitativa, para lo cual se pueden utilizar plantas, animales, microorganismos, hongos, entre otros, con la finalidad de evaluar las concentraciones de los contaminantes y monitorear los cambios ambientales a través del tiempo (Ali et al., 2021). En este contexto, especies de plantas como *Bidens pilosa* son utilizadas como fitorremediadoras de metales pesados en suelo, debido a que tiene un ciclo de crecimiento corto, alto rendimiento y biomasa, así como una excelente adaptabilidad al estrés ambiental (Li et al., 2023) ya que se encuentra en ambientes silvestres, rurales y perturbados (Herike Vibrans, 2009). Esta planta es melífera (Howes, 1953) por lo que organismos como las abejas y otros insectos dependen de *B. pilosa* para alimentarse (Araujo-Mondragón y Redonda-Martínez, 2019). Dado que las abejas son clave en los

ecosistemas, estudios confirman que tienen una alta sensibilidad a los cambios ambientales, presentan una alta movilidad, se encuentran en constante interacción con todos los componentes ambientales y su capacidad para vivir e interactuar en ambientes urbanos, las hace especialmente propensas a estar continuamente expuestas a la contaminación ambiental (Sánchez Tovar, 2018). Las características de *Apis mellifera* pueden mejorar los esfuerzos del biomonitoreo, ya que estas pueden recoger metales pesados del agua contaminada, las partículas del aire y la vegetación que se adhieren a los pelos de sus cuerpos (Cunningham et al., 2021; Negri et al., 2015; Zarić et al., 2017). En la mayoría de los casos la acumulación de metales en las abejas melíferas y sus colmenas no es letal para la colonia y presenta una oportunidad para el monitoreo ambiental (Cunningham et al., 2021).

Por otro lado, es crucial la participación de las partes interesadas en la generación de conocimientos, lo que resulta beneficioso de diferentes maneras, a saber, promoviendo vínculos entre la ciencia y la sociedad, obteniendo acceso a información o recursos adicionales y mejorando la relevancia o utilidad de la investigación para los usuarios y beneficiarios (Fedoriak et al., 2021). Por lo que los objetivos de este estudio fueron utilizar como especies biomonitoras a *B. pilosa* y *A. mellifera* para evaluar la contaminación atmosférica por metales en la colonia Miravalle del municipio de Guadalajara, Jalisco. Además de analizar las percepciones y conocimientos de expertos en salud, entomología, contaminación ambiental o biología sobre el uso de estas dos especies como biomonitores de la contaminación atmosférica en entornos urbanos y con ello comprender la conciencia social frente a los desafíos ambientales actuales.

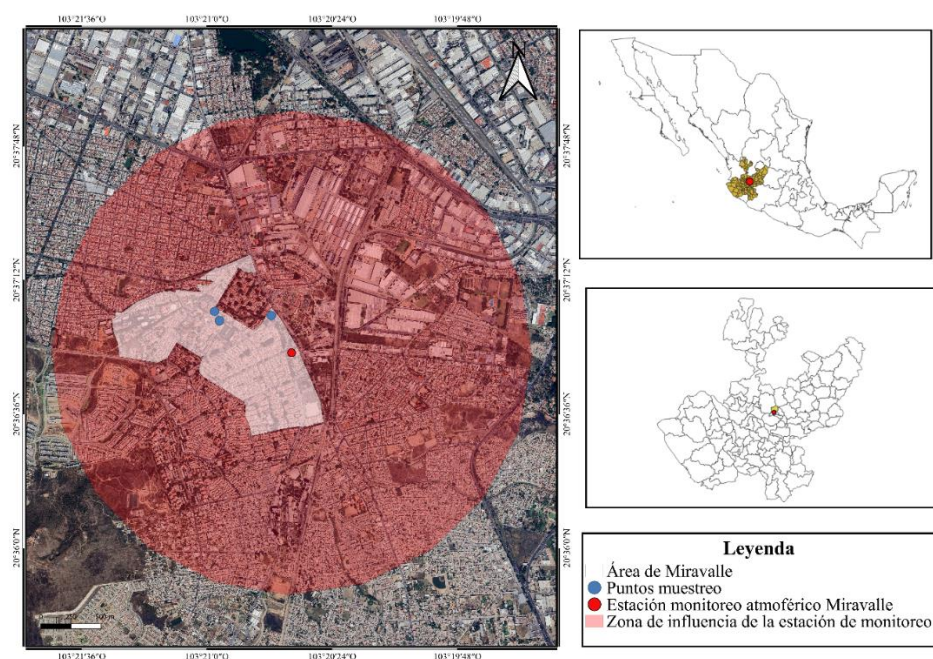
METODOLOGÍA

Área de estudio y colecta

Este estudio fue realizado en la colonia Miravalle del municipio de Guadalajara, Jalisco. Esta área fue elegida debido a que es un sitio que se encuentra mayormente influenciada por las emisiones provenientes de las actividades industriales y por el alto tráfico vehicular. Es considerada una zona crítica, ya que por su ubicación geográfica dificulta la dispersión de los contaminantes atmosféricos y por su orografía provoca que los vientos choquen y disminuya drásticamente su velocidad (Garibay et

al., 2007). Sumado a la escasez de áreas verdes y una deficiente recolección de desechos, es considerada una de las colonias más contaminadas del municipio de Guadalajara (Medina-Covarrubias, 2010). Para la colecta de abejas se tramitó el permiso correspondiente ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), donde fue otorgado el permiso oficio SPARN/DGVS/13791/2. La colecta de *A. mellifera* fue realizada en donde estuviera presente *B. pilosa*.

Figura 1. Mapa con los puntos de muestreo de *Apis mellifera* y *Bidens pilosa* en la colonia Miravalle.



Las colectas fueron realizadas de octubre a diciembre de 2023 de las 10:00 a 13:00 horas, para el caso de *A. mellifera* se tomaron de 33 abejas mediante el uso de red entomológica y colocadas en bolsa de papel mantequilla. Posteriormente, se colocaron en un recipiente cerrado con acetato de etilo como ingrediente activo. Las flores de *B. pilosa* fueron tomadas a la altura del inicio del tallo con unas tijeras previamente desinfectadas y de igual manera se almacenaron en bolsas de papel mantequilla. Finalmente, todas las muestras fueron almacenadas a - 2°C para su posterior análisis.

Análisis palinológico

Se analizó la presencia de polen de *B. pilosa* en los vellos de la escopa de *A. mellifera* para garantizar la interacción de las abejas con las flores de esta planta, asimismo se analizó el polen colectado directamente de las flores de *B. pilosa*. Siguiendo la metodología de Caccavari y Cilla, 2010. Las

observaciones de los granos de polen tanto en abeja como en flor fueron realizadas mediante microscopia óptica (ZEISS, Primostar). Para la identificación de los granos de polen de *B. pilosa*, estos fueron medidos y comparados de acuerdo con Sánchez y Lupo (2009).

Determinación de metales pesados

Una vez realizado el análisis palinológico, tanto las muestras de *B. pilosa* como de *A. mellifera* fueron secadas a 80°C durante 24 horas. Las muestras fueron trituradas para homogenizar y colocadas en bolsas de polietileno. Las concentraciones de los metales fueron determinadas mediante espectrofotometría de fluorescencia de rayos X (GENIUS XRF 5000) durante un minuto por muestra, realizando cinco repeticiones. Asimismo, se tomaron los datos del PM₁₀ y PM_{2.5} de la estación de monitoreo de Miravalle de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET) de los meses de colecta.

Entrevistas

Se realizaron entrevistas semi estructuradas a profundidad con expertos en diversas áreas, en este estudio utilizamos el término "expertos" para referirnos a profesionales que tienen conocimientos en un área en particular (Döringer, 2020), en este caso en salud, entomología, contaminación ambiental o biología. La elección de los participantes se realizó basándose en el conocimiento y la experiencia de los entrevistados, así como su participación informada y voluntaria al presente estudio. La entrevista fue distribuida mediante formulario de Google, en el cual se agregó el propósito del estudio y la política de privacidad la cual establece que se mantendrá el anonimato de los participantes y con respeto absoluto a su privacidad. La entrevista fue organizada en cuatro secciones: 1) área y años de experiencia en su especialidad; 2) contaminación en el área de Miravalle; 3) evaluación de *B. pilosa* y *A. mellifera* como especies biomonitoras; y 4) implicaciones para la salud.

Análisis de los datos

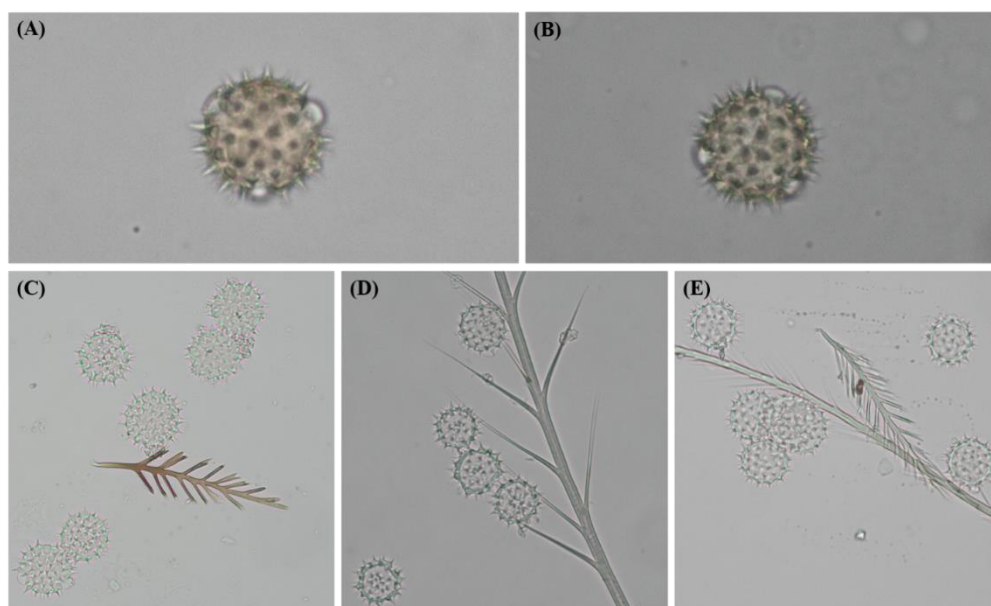
Los resultados de los metales pesados se expresaron como la media $\pm$ desviación estándar; la normalidad se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homocedasticidad con la prueba de Levene. Posteriormente se utilizó un análisis estadístico multivariado no restringido basado en

permutaciones (PERMANOVA), Se creó una matriz de similitud de Bray Curtis, el análisis PERMANOVA se realizó con 9999 permutaciones y suma de cuadrados tipo III; asimismo, se realizó un Análisis de Coordenadas Principales (PCO). Los análisis fueron realizados con el software PRIMER v6.1.11 con PERMANOVA v1.01, siguiendo las metodologías de Anderson et al. (2008) y Clarke y Gorley (2006). Se consideró una diferencia significativa en el nivel $p \leq 0.05$. Los datos de las entrevistas fueron transcritos textual y posteriormente procesados mediante la técnica de análisis temático.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis palinológico reveló que las abejas que fueron colectadas en los meses de octubre, noviembre y diciembre en los sitios de muestreo, tuvieron interacción con las flores de *B. pilosa*, ya que se observó la presencia de escalpelos de *A. mellifera* en los granos de polen (Figura 2).

Figura 2 . Analisis palinologico de los granos de polen de *Bidens pilosa* colectadas en el área de Miravalle

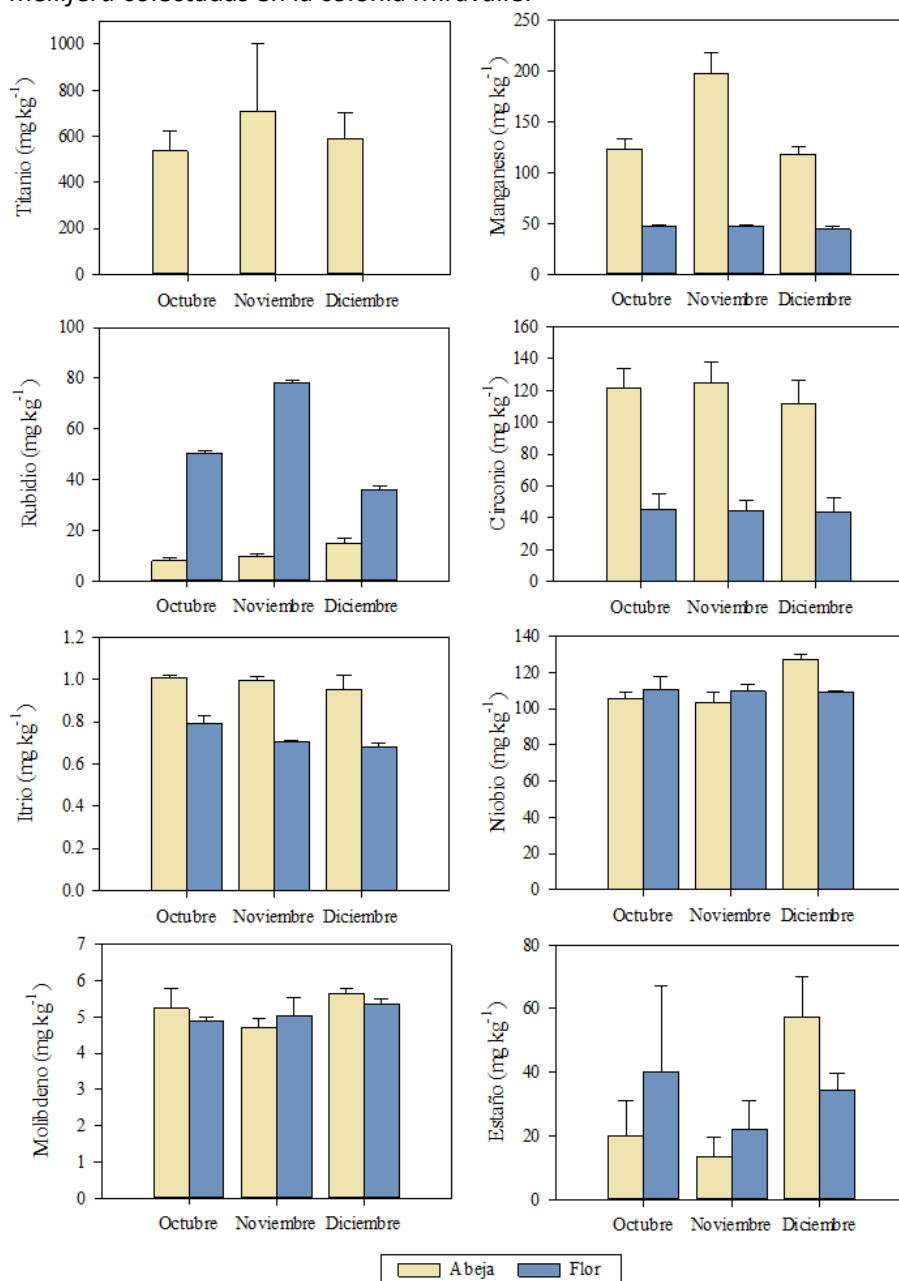


Nota: Las imágenes A y B muestran los granos de polen de *Bidens pilosa*. Las imágenes C, D y E muestran los granos de polen en el vello de la escopa de *Apis mellifera* colectadas en los meses de octubre, noviembre y diciembre, respectivamente.

Con respecto al análisis de los elementos, se registran ocho metales pesados raros en *A. mellifera*, los cuales fueron titanio (Ti), manganeso (Mn), rubidio (Rb), circonio (Zr), itrio (Y), niobio (Nb), molibdeno (Mo) y estaño (Sn). En las flores de *B. pilosa*, con excepción del Ti, se registraron todos los elementos encontrados en *A. mellifera*, encontrándose la concentración más alta de este metal durante el mes

de noviembre; con respecto a las concentraciones de Mn, Zr e Y fueron las más altas en *A. mellifera* durante los tres meses de estudio, mientras que las de Rb y Sn también mostraron los niveles más elevados en *B. pilosa* en este mismo periodo de tiempo. En relación con los meses, en noviembre se encontraron las concentraciones más altas de Mn, Rb, Zr, Ti e Y (Figura 3).

Figura 3. Concentraciones de los metales raros ($\text{mg kg}^{-1} \pm \text{DE}$) en las flores de *Bidens pilosa* y *Apis mellifera* colectadas en la colonia Miravalle.



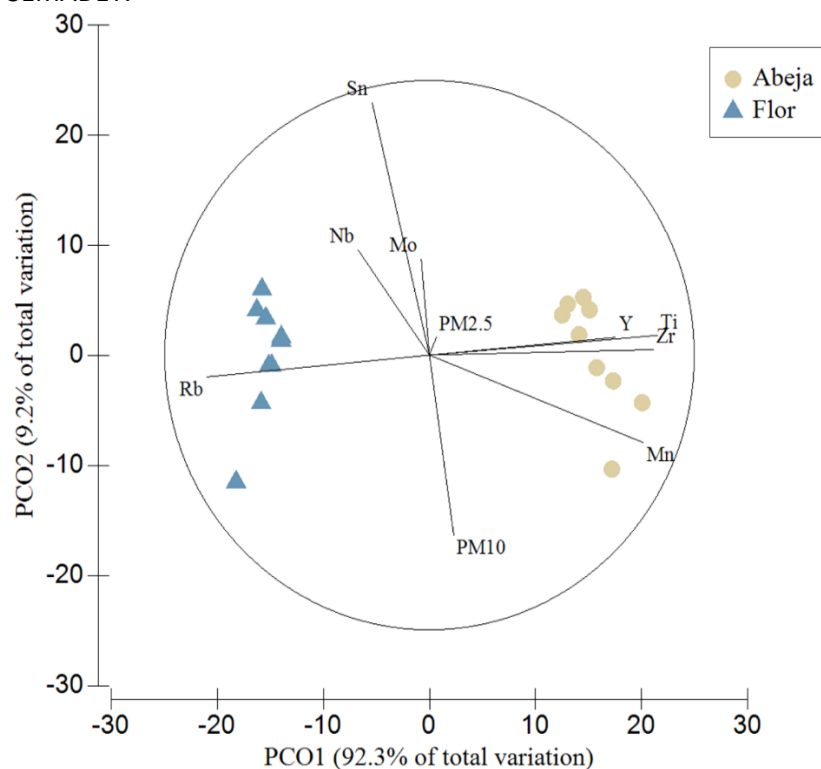
El uso de *A. mellifera* y *B. pilosa* proporcionan información adicional sobre la contaminación atmosférica en áreas con altos niveles de contaminación como Miravalle, por lo que estas especies

pueden ser empleadas como biomonitoras en zonas urbanas del municipio de Guadalajara. Cabe destacar en la colonia Miravalle las principales fuentes de emisión provienen de diversas industrias, incluyendo la producción de acero, hierro, pinturas, cristales, vidrio, cerámica y procesos relacionados con el petróleo (Peña-García et al. 2023; Hernández-Caricio et al. 2022). Al-Alam et al. (2019), mencionan que los contaminantes en abejas pueden ser por la interacción indirecta por aire o de manera directa por las plantas debido al forrajeo y su continuo movimiento. Otros estudios han evaluado la acumulación de metales pesados como el plomo, cadmio y níquel en *A. mellifera* (Costa et al., 2018; Di Fiore et al., 2022) siendo útiles para el biomonitoreo de la contaminación atmosférica. Nuestros resultados del análisis palinológico demuestran que existe una interacción con las flores de *B. pilosa* en los meses de colecta, lo que concuerda con publicaciones que asocian esta planta como mellifera (Granados- Argüello, 2020; Howes, 1953). Por su parte, estudios con *B. pilosa* han demostrado que esta especie es acumuladora de metales pesados, tales como los realizados por Dai et al. (2020) y Wei et al. (2023), esto resalta la importancia de esta planta como una especie potencialmente relevante los estudios de biomonitoreo, ya que puede reflejar la contaminación por metales pesados en zonas urbanas. Ya que el análisis palinológico demostró que ambas especies interactuaron durante los meses de estudio, y *A. mellifera* es conocida por su sensibilidad a los cambios ambientales (Davodpour et al., 2019) y la capacidad de *B. pilosa* para acumular metales pesados (Giglio et al., 2016), estos resultados resaltan el valor de integrar tanto a las plantas como a las abejas como biomonitores de la contaminación por metales pesados.

Por otro lado, el análisis PERMANOVA mostró diferencias significativas entre los meses ($p = 0.0003$) así como para *A. mellifera* y *B. pilosa* ($p = 0.0001$). Por otro lado, los datos promedio del PM_{10} del mes de noviembre fueron de $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y en octubre y diciembre fueron de 49.20 y $59.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Los registros del $PM_{2.5}$ en octubre, noviembre y diciembre fueron de 18.63 , $26.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $26.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. El Análisis de Coordenadas Principales (PCO) muestra la relación entre los metales encontrados en *A. mellifera*, *B. pilosa* con el PM_{10} y $PM_{2.5}$. Se puede observar que el PM_{10} contribuye a las mayores concentraciones de Mn, Rb, Y, Zr, y Ti, siendo los niveles más

altos encontrados en noviembre, lo que concuerda con los datos del PM_{10} de la estación de monitoreo de Miravalle (SEMADET).

Figura 4. Análisis de Coordenadas Principales (PCO) de concentraciones de metales pesados en *Apis mellifera* y *Bidens pilosa*, y los niveles de Material Particulado (PM) de las estaciones de monitoreo de SEMADET.



Los resultados indican que Miravalle presenta problemas de contaminación atmosférica por metales pesados (Ti, Mn, Rb, Zr, Y, Nb, Mo y Sn), ya que los niveles de estos en los organismos analizados y las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el aire, sugieren que estas partículas podrían estar actuando como vectores de transporte de metales emitidos de las industrias y de las actividades diarias, coincidiendo con lo reportado en Benítez-García et al. (2014). Este escenario podría asociarse a riesgos para la salud de los habitantes, incluyendo la acumulación de contaminantes en pulmones, efectos cancerígenos y tóxicos (Legarreta Perusquia et al., 2015).

Esto representa un desafío significativo para la salud pública en la colonia Miravalle, en este contexto, se realizaron 14 entrevistas con expertos en las áreas de salud, entomología, contaminación ambiental o biología, cada uno con entre 5 a más de 20 años de experiencia en su área, lo que permite recopilar información en relación con los niveles de contaminación, el uso de biomonitores y las implicaciones

para la salud humana. De los expertos entrevistados, diez manifestaron estar familiarizados la problemática de la emisión de los contaminantes industriales en el área de Miravalle, lo que indica el grado de conocimiento sobre esta problemática ambiental. En relación con el uso de especies como *A. mellifera* y *B. pilosa* como especies biomonitoras, se encontró que ocho entrevistados consideran que estas especies son efectivas para el monitoreo de contaminantes industriales, mientras que seis expresan que no pueden confirmar su eficacia. Con relación a las implicaciones para la salud humana, los expertos en contaminación ambiental informaron sobre enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer. Por su parte, los expertos en salud destacan problemas respiratorios, digestivos, renales y riesgo de cáncer. Los expertos en biología mencionan las afectaciones al sistema inmunológico, al sistema nervioso central, así como posibles alteraciones genéticas y oncológicas. Finalmente, los expertos en entomología señalan problemas respiratorios, enfermedades autoinmunes y efectos teratogénicos. Estas afectaciones reflejan la toxicidad de los metales pesados, cuya exposición ha sido estudiada en investigaciones, evidenciando sus efectos perjudiciales en la salud humana y en los ecosistemas (Dong et al., 2009; Mishra et al., 2019). En cuanto a las recomendaciones los expertos ofrecieron varias recomendaciones de estudios adicionales que ayudarían a entender mejor el impacto de los contaminantes industriales. Los resultados de las entrevistas realizadas a los expertos en las diferentes áreas destacan el conocimiento de la contaminación industrial y sus implicaciones para la salud pública, así como del uso de especies biomonitoras. Además, subrayan la necesidad de una colaboración interdisciplinaria para abordar esta problemática ambiental y desarrollar estrategias efectivas para su mitigación. Lo que podría proporcionar una respuesta eficiente a los desafíos que representa la contaminación, considerando las características específicas del sitio y la disponibilidad de datos ambientales, sanitarios y sociodemográficos (Martin-Olmedo et al., 2019). Finalmente, los entrevistados manifiestan que estos hallazgos deben de llegar a los tomadores de decisiones para la formulación de políticas públicas orientadas a mejorar la salud y el bienestar de la población, y de esta manera los responsables de las

políticas basados en evidencia pueden fundamentar la creación de estrategias para mitigar la contaminación atmosférica (Tilt, 2018).

CONCLUSIONES

Los resultados del estudio revelan la presencia de metales raros en la colonia Miravalle de Guadalajara, en particular se identificaron ocho metales raros en *A. mellifera*: titanio Ti, Mn, Rb, Zr, Y, Nb, Mo y Sn. Asimismo, todos estos elementos, con excepción del Ti, también se detectaron en las flores de *B. pilosa*. El biomonitoreo utilizando *A. mellifera* y *B. pilosa* demuestra ser una herramienta para evaluar la contaminación por metales, permitiendo correlacionar los niveles de contaminación atmosférica con las concentraciones de estos elementos en los organismos estudiados. Por otro lado, los expertos entrevistados en los campos de salud, entomología, contaminación ambiental y biología reconocen el potencial de estas especies como bioindicadoras de la calidad del aire, lo que podría proporcionar información para evaluar los efectos de la contaminación en la salud humana. Integrar los datos de este estudio con investigaciones en salud y medio ambiente es fundamental para obtener una visión más completa sobre los efectos adversos de los metales pesados en la salud pública. Esta integración puede facilitar la toma de decisiones más informadas y la formulación de estrategias de prevención y mitigación de la contaminación atmosférica. Además, los resultados sugieren que el biomonitoreo no sólo ayuda a identificar la presencia de contaminantes, sino que también puede correlacionarse con los niveles de material particulado, particularmente en áreas de alta actividad industrial. Se recomienda llevar a cabo investigaciones adicionales para profundizar en relación a la bioacumulación en los organismos como *A. mellifera* y *B. pilosa* y los niveles de material particulado en diferentes zonas de áreas urbanas como lo es el municipio de Guadalajara. Esto permitirá obtener una visión más detallada sobre la concentración y distribución de los contaminantes, lo que podría guiar la implementación de políticas públicas más efectivas. La colaboración con expertos en salud, medio ambiente y diversas áreas de la biología es esencial para abordar de manera integral los desafíos que representa la contaminación atmosférica y proteger tanto la salud de la población como la del ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Alam, J., Chbani, A., Faljoun, Z., & Millet, M. (2019). The use of vegetation, bees, and snails as important tools for the biomonitoring of atmospheric pollution—a review. *Environmental Science And Pollution Research*, 26(10), 9391-9408. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04388-8>
- Ali, A., Mudasir, S., Ganie, S. A., Mir, M., Bilal, S., Hamadani, H., Shah, F., Rashid, N., Mir, M. U. R. y Majid, S. (2021). Biomonitoring and Bioindicators. En *Apple Academic Press eBooks* (pp. 185-204). <https://doi.org/10.1201/9781003130116-8>
- Anderson, M. J., Gorely, R. N. y Clarke, K. R. (2008). PERMANOVA+ Primer: Guide to Software and Statistical Methods. PRIMER-E Ltd., Plymouth, UK, 214.
- Araujo-Mondragón, F. y Redonda-Martínez, R. (2019). Flora melífera de la región centro-este del municipio de Pátzcuaro, Michoacán, México. *Acta Botánica Mexicana*, 126. <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1444>
- Benítez-García, S., Kanda, I., Wakamatsu, S., Okazaki, Y. y Kawano, M. (2014). Analysis of Criteria Air Pollutant Trends in Three Mexican Metropolitan Areas. *Atmosphere*, 5(4), 806-829. <https://doi.org/10.3390/atmos5040806>
- Caccavari, M. y Cilla, G. (2010). Remoción química como nueva alternativa a la remoción mecánica para el estudio de polen trasportado en las escopas de abejas silvestres. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 12(2), 255-262.
- Cesur, A., Cetin, I. Z., Aisha, A. E. S. A., Alrabiti, O. B. M., Aljama, A. M. O., Jawed, A. A., Cetin, M., Sevik, H. y Ozel, H. B. (2021). The usability of Cupressus arizonica annual rings in monitoring the changes in heavy metal concentration in air. *Environmental Science And Pollution Research*, 28(27), 35642-35648. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13166-4>
- Clarke, K. R. y Gorley, R. N. (2006). PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER E, Plymouth.

- Córdova-Mendoza, P., Barrios-Mendoza, T. y Córdova-Barrios, I. (2021). Primera caracterización de emisiones contaminantes y la calidad del aire en Ica, Perú. *Revista cubana de Química*, 33(1), 138-152.
- Costa, A., Veca, M., Barberis, M., Tosti, A., Notaro, G., Nava, S., Lazzari, M., Agazzi, A. y Tangorra, F. M. (2018). Heavy metals on honeybees indicate their concentration in the atmosphere. a proof of concept. *Italian Journal Of Animal Science*, 18(1), 309-315.
<https://doi.org/10.1080/1828051x.2018.1520052>
- Cunningham, M. M., Tran, L., McKee, C. G., Polo, R. O., Newman, T., Lansing, L., Griffiths, J. S., Bilodeau, G. J., Rott, M. y Guarna, M. M. (2021). Honey bees as biomonitors of environmental contaminants, pathogens, and climate change. *Ecological Indicators*, 134, 108457.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108457>
- Dai, H., Wei, S., Pogrzeba, M., Krzyżak, J., Rusinowski, S. y Zhang, Q. (2020). The cadmium accumulation differences of two *Bidens pilosa* L. ecotypes from clean farmlands and the changes of some physiology and biochemistry indices. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, 209, 111847.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111847>
- Davodpour, R., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M., Abdi, N. y Lorestani, B. (2019). Honeybees (*Apis mellifera* L.) as a Potential Bioindicator for Detection of Toxic and Essential Elements in the Environment (Case Study: Markazi Province, Iran). *Archives of environmental contamination and toxicology*, 77(3), 344–358. <https://doi.org/10.1007/s00244-019-00634-9>
- Di Fiore C, Nuzzo A, Torino V, De Cristofaro A, Notardonato I, Passarella S, Di Giorgi S. y Avino P. (2022). Honeybees as Bioindicators of Heavy Metal Pollution in Urban and Rural Areas in the South of Italy. *Atmosphere*, 13(4), 624. <https://doi.org/10.3390/atmos13040624>
- Dong, X., Li, C., Li, J., Wang, J., Liu, S. y Ye, B. (2009). A novel approach for soil contamination assessment from heavy metal pollution: A linkage between discharge and adsorption. *Journal Of Hazardous Materials*, 175(1-3), 1022-1030. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.10.112>

- Döringer, S. (2020). 'The problem-centred expert interview'. Combining qualitative interviewing approaches for investigating implicit expert knowledge. *International Journal Of Social Research Methodology*, 24(3), 265-278. <https://doi.org/10.1080/13645579.2020.1766777>
- Fedoriak, M., Kulmanov, O., Zhuk, A., Shkrobanets, O., Tymchuk, K., Moskalyk, G., Olendr, T., Yamelynets, T. y Angelstam, P. (2021). Stakeholders' views on sustaining honey bee health and beekeeping: the roles of ecological and social system drivers. *Landscape Ecology*, 36(3), 763-783. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01169-4>
- Garibay, C. G., Curiel, B. A., y Hernández, T. V. (2007) Partículas suspendidas en el aire de Guadalajara. *Ciencia – Académica Mexicana de Ciencias*, 58(1), 40-51.
- Giglio, A., Ammendola, A., Battistella, S., Naccarato, A., Pallavicini, A., Simeon, E., Tagarelli, A. y Giulianini, P. G. (2016). *Apis mellifera* ligustica, Spinola 1806 as bioindicator for detecting environmental contamination: a preliminary study of heavy metal pollution in Trieste, Italy. *Environmental Science And Pollution Research*, 24(1), 659-665. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7862-z>
- Granados-Argüello, R.I., Villanueva-Gutiérrez, R., Martínez-Hernández, E., García-Mayoral, L.E. y González de la Torre, J.E. (2020). Análisis melisopalínológico de mieles de *Apis mellifera* L. en la zona centro de Veracruz, México. *Polibotánica*, (50), 147-163. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.50.11>
- Herike Vibrans (ed.) 2009. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Malezas de México, fichas informativas. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/bidens-pilosa/fichas/ficha.htm>
- Hernández-Caricio, C., Ramírez, V., Martínez, J., Quintero-Hernandez, V., Baez, A., Munive J. y Rosas-Murrieta, N. (2022). Los metales pesados en la historia de la humanidad, los efectos de la contaminación por metales pesados y los procesos biotecnológicos para su eliminación: el caso de Bacillus como bioherramienta para la recuperación de suelos. *Zenodo (CERN European Organization For Nuclear Research)*, 7(27), 1-68. <http://doi.org/10.5281/zenodo.7091407>

- Howes, F. N. (1953). *Plantas mellíferas*. Editorial Reverté S. A. San Magín, 26-Barcelona.
- Koç, I. (2021). Using *Cedrus atlantica*'s annual rings as a biomonitor in observing the changes of Ni and Co concentrations in the atmosphere. *Environmental Science And Pollution Research*, 28(27), 35880-35886. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13272-3>
- Legarreta Perusquia, A., Corral Avitia, A. Y., Delgado Ríos, M., Torres Pérez, J. y Flores Marguez, J. P. (2015). Material particulado y metales pesados en aire en ciudades mexicanas. *CULCYT Cultura científica y Tecnológica*, 56(12), 234-245.
- Leyte-Vidal, J. J. P., González-Fernández, L. A., Gutiérrez-Artiles, O., Márquez-Llauger, L., y Del Cristo, T. A. (2019). Caracterización de tres bioindicadores de contaminación por metales pesados. *Revista Cubana de Química*, 31(2), 293-308.
- Li, Y., Shi, X., Tan, W., Ling, Q., Pei, F., Luo, S., Qin, P., Yuan, H., Huang, L. y Yu, F. (2023). Metagenomics combined with metabolomics reveals the effect of *Enterobacter* sp. inoculation on the rhizosphere microenvironment of *Bidens pilosa* L. in heavy metal contaminated soil. *Journal Of Hazardous Materials*, 458,132033. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132033>
- Lodoño-Franco, L. F., Lodoño-Muñoz, P. T. y Muñoz-García, F. G. 2016. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153.
- Martin-Olmedo, P., Ranzi, A., Santoro, M., Dack, S., De Hoogh, K., Martuzzi, M., Dogliotti, E., Hoek, G., Tomasova, J., Dimovska, M., y Iavarone, I. (2019). Methods and data needs to assess health impacts of chemicals in industrial contaminated sites. *Epidemiologia E Prevenzione*, 43(4), 223-237. <https://doi.org/10.19191/ep19.4.a01.068>
- Medina Covarrubias, J. A., 2010. Estrategia educativa ambiental para reducir la exposición y vulnerabilidad por contaminación del aire. Tesis de maestría en ciencias de la salud ambiental.
- Mishra, S., Bharagava, R. N., More, N., Yadav, A., Zainith, S., Mani, S. y Chowdhary, P. (2018). Heavy Metal Contamination: An Alarming Threat to Environment and Human Health. En *Springer eBooks* (pp. 103-125). https://doi.org/10.1007/978-981-10-7284-0_5

- Negri, I., Mavris, C., Di Prisco, G., Caprio, E. y Pellecchia, M. 2015. Honey Bees (*Apis mellifera*, L.) as Active Samplers of Airborne Particulate Matter. *PLoS ONE*, 10(7), e0132491.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132491>
- Peña-García, L., Rosas-Elguera, J. y Miciel-Flores, R. (2023). Characterization of environmental ultrafine particles in the metropolitan area of Guadalajara. *Journal of Experimental Systems*, 10(29), 1-11. <https://doi.org/10.35429/ejb.2020.13.7.11.17>
- Sánchez Tovar, A. (2018). *Factores que reducen la población de abejas (Apis mellifera) en zonas tropicales: una revisión*. Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de: Especialista en Planeación ambiental. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá.
- Sánchez, A. C. y Lupo, L. C. (2009). Asteraceae de interés en la Melisopalinoología: Bosque montano de las yungas (Jujuy - Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 44(1-2), 57-64.
<http://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.2022.49039>
- Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET). (2024). Contaminantes y Salud. <https://aire.jalisco.gob.mx/contaysalud>. Fecha consultad: 05 de octubre de 2024.
- Tilt, B. (2018). China's air pollution crisis: Science and policy perspectives. *Environmental Science & Policy*, 92, 275-280. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.11.020>
- Turkyilmaz, A., Sevik, H., y Cetin, M. 2018. The use of perennial needles as biomonitors for recently accumulated heavy metals. *Landscape And Ecological Engineering*, 14(1), 115-120. <https://doi.org/10.1007/s11355-017-0335-9>
- Wei, M., Sun, Z., Cui, B., He, Y., Dong, Z. y Meng, L. (2023). Accumulation behavior of heavy metals by *Bidens pilosa* L. from metallurgical slag: effects on plant physiology and absorption characteristics. *Journal Of Mountain Science*, 20(9), 2580-2591.
<https://doi.org/10.1007/s11629-023-7981-1>
- Zarić, N. M., Ilijević, K., Stanisavljević, L. y Gržetić, I. (2017). Use of honeybees (*Apis mellifera* L.) as bioindicators for assessment and source appointment of metal pollution. *Environmental Science And Pollution Research*, 24(33), 25828-25838. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0196-7>