

Primer reporte sobre la minería como amenaza para *Liometopum apiculatum* (Himenóptera: Formicidae) en el Altiplano Potosino

REBOLLOSO-HERNÁNDEZ, Carlos A.¹, CARRIZALES-YÁÑEZ, Leticia², VALLEJO-PÉREZ, Moisés R.³ & CRUZ-LABANA, José D.^{3*}

¹ Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Zona Universitaria, México.

² Facultad de Medicina-Centro de Investigación Aplicada en Ambiente y Salud (CIAAS), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.

³ CONAHCYT, Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y Tecnología (CIACYT), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.

*E-mail: domingo.cruz@uaslp.mx

Recibido 5 - IX - 2023 | Aceptado 6 - II - 2024 | Publicado 31 - III - 2024

<https://doi.org/10.25085/rsea.830107>

First report about mining as a threat to *Liometopum apiculatum* (Hymenoptera: Formicidae) in the Altiplano Potosino

ABSTRACT. This research identifies mining as a possible threat to *Liometopum apiculatum* Mayr, 1870 in the Altiplano Potosino through the pollution assessment of potentially toxic elements in a mercury mining zone and the design of cartography about the distribution of this edible insect and potentially polluted mining sites. Pollution assessment in the mining zone consisted in the arsenic and mercury quantification in mining waste, soil, anthills, and worker ants from the mining zone and a reference site by atomic absorption spectrophotometry; the mining zone showed higher levels of both toxicants in all assessed components. The cartography revealed that most potentially polluted mining sites are located within the areas with the highest probability of distribution of *L. apiculatum* in the Altiplano Potosino.

KEYWORDS. Arsenic. Edible insects. Mercury. Primary mercury mining.

RESUMEN. Esta investigación identifica a la minería como una posible amenaza para *Liometopum apiculatum* Mayr, 1870 en el Altiplano Potosino a través de la evaluación de la contaminación por elementos potencialmente tóxicos en una zona minera de mercurio y el diseño de cartografía sobre el área de distribución de este insecto comestible y sitios mineros potencialmente contaminados. La evaluación de la contaminación en la zona minera consistió en la cuantificación de arsénico y mercurio en residuos mineros, suelo, hormigueros y hormigas obreras de la zona minera y un sitio de referencia mediante espectrofotometría de absorción atómica; la zona minera presentó niveles más altos de ambos tóxicos en todos los componentes evaluados. La cartografía reveló que la mayoría de los sitios mineros potencialmente contaminados se localizan dentro de las áreas de alta probabilidad de distribución de *L. apiculatum* en el Altiplano Potosino.

PALABRAS CLAVES. Arsénico. Insectos comestibles. Mercurio. Minería primaria de mercurio.

México cuenta con 472 especies de insectos comestibles y la hormiga escamolera *Liometopum apiculatum* Mayr, 1870 (Himenóptera: Formicidae) es una de ellas (Jongema, 2017). Las pupas de la casta reproductora de este insecto se conocen popularmente como "escamoles" (Ramos-Rostro et al., 2012) y son un alimento costoso, lo cual ha provocado la disminución de sus poblaciones debido a su sobreexplotación (Lara-

Juárez et al., 2015). Sin embargo, existen otras amenazas potenciales para *L. apiculatum* como la contaminación química que es una amenaza global para la entomofauna (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019). Es preciso señalar que la exposición de los insectos comestibles a contaminantes químicos representa una ruta de exposición para los humanos.

El Altiplano Potosino es una región en San Luis Potosí, México, donde se distribuyen poblaciones de *L. apiculatum* (Lara-Juárez et al., 2015). Allí la minería es una importante actividad económica que ha contaminado el ambiente con elementos potencialmente tóxicos (Fernández-Macías et al., 2020). En esta región se localiza Taponá, Villa Hidalgo, el cual es un poblado donde se recolectan escamoles y realiza minería primaria de mercurio (MPM), por lo que es un sitio ideal para evidenciar que *L. apiculatum* puede exponerse a elementos potencialmente tóxicos ya que esta minería contamina el ambiente con arsénico y mercurio (INECC, 2020; Ordóñez et al., 2014). Estos contaminantes son capaces de bioacumularse en insectos terrestres y disminuir sus poblaciones a través del incremento de la mortalidad o efectos reproductivos como reducción de la fertilidad o número de huevos producidos (Mathews et al., 2009; Reboloso-Hernández et al., 2023). Anteriormente, Hasriyanty et al. (2018) demostraron que las poblaciones de insectos terrestres son afectadas por la contaminación química minera.

El objetivo del presente trabajo fue determinar si la minería es una posible amenaza para *L. apiculatum* en el Altiplano Potosino a través de la evaluación de la contaminación por arsénico y mercurio en la zona minera de mercurio en Taponá, Villa Hidalgo, y mediante el diseño de cartografía sobre la distribución potencial de esta especie y ubicación de sitios mineros potencialmente contaminados. El análisis del caso de la zona minera de mercurio en Taponá permitirá visibilizar si la contaminación química en sitios mineros puede amenazar a *L. apiculatum*, mientras que la cartografía permitirá identificar los sitios donde la contaminación generada por la minería es una posible amenaza para esta especie.

Los sitios de estudio fueron la zona minera de mercurio en Taponá, Villa Hidalgo, San Luis Potosí (lat 22.82° long -100.63°, matorral desértico rosetófilo, suelo litosol y clima BS₀hw) y un sitio de referencia que correspondió a la Unidad de Manejo para la Conservación de Vida Silvestre (UMA) "El Milagro", ubicado en Villa González Ortega, Zacatecas (lat 22.62° long -101.93, matorral crasicaule, suelo xerosol luvico y clima BS₀kw) (Fig. 1). En Taponá los pobladores señalan que los yacimientos de mercurio se explotaron aproximadamente desde 1950 y actualmente la actividad es intermitente. Desde su inicio la población local ha sido la única que ha aprovechado los recursos minerales. El proceso minero consiste en extraer el mineral de la mina, triturarlo, fundirlo para generar vapores de mercurio, condensar los vapores de mercurio, obtener el mercurio metálico y disponer las calcinas en los suelos (residuos de la fundición del mineral). Los hornos de fundición y un montículo de calcinas se presentan en la Fig. 1.

En ambos sitios se realizaron recorridos de reconocimiento con el propósito de encontrar nidos de *L. apiculatum* y coleccionar muestras de suelo de hormigueros y

hormigas. En Taponá se identificaron dos nidos y en el sitio de referencia cinco nidos. Aunado a lo anterior, en Taponá se recolectaron muestras de calcinas y suelo "natural" en puntos ubicados a 1 km de distancia de la zona minera. El muestreo de calcinas y suelo se realizó de acuerdo con la norma NMX-AA-132-SCFI-2016 (Secretaría de Economía, 2016). El muestreo biológico consistió en recolectar 40 individuos de hormigas obreras utilizando pinzas entomológicas, las cuales se sacrificaron y mantuvieron en etanol al 70 % durante su traslado al Laboratorio de Microbiología en Agricultura de la Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología (CIACYT). Una vez en el laboratorio las hormigas se lavaron con agua desionizada y almacenaron a -20 °C. La identificación taxonómica se realizó mediante las claves de Fisher & Cover (2007) y Del Toro et al., (2009).

Antes de la determinación de arsénico y mercurio las muestras se secaron a temperatura ambiente hasta alcanzar peso constante. La determinación de arsénico y mercurio consistió en la digestión ácida de las muestras en un horno de microondas (MARS 6, CEM) (EPA 1996, 2007) y la medición de los analitos a través espectrofotometría de absorción atómica (PinAAcle 900T, PerkinElmer) (Perkin-Elmer, 1994). Como controles de calidad se utilizaron los materiales de referencia SRM 2710 Montana Soil (As: 97 % de recobro; Hg: 99 % de recobro) y Kodak 1508 (As: 91 % de recobro; Hg: 96 % de recobro). Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Absorción Atómica de la CIACYT.

El modelado de la distribución potencial de *L. apiculatum* se elaboró a partir de las 104 coordenadas indicadas por Dáttilo et al., (2020) utilizando el software de distribución libre Maxent (Araújo & Guisan, 2006), evaluando 19 variables bioclimáticas (Cuervo-Robayo et al., 2014), tres topográficas (elevación, pendiente y exposición de la pendiente) (INEGI, 2019), y una capa de cobertura de vegetación (Hansen et al., 2000). Todas las capas fueron procesadas a una resolución de 1 km² (0.01 píxeles). Con una prueba de Jackknife se estimó el valor de aporte de cada variable. Una vez obtenido el modelo de Maxent (mapa binario), mediante el umbral de corte del mínimo de presencia se realizó una reclasificación con tres categorías de distribución potencial de *L. apiculatum* (baja, media y alta probabilidad). Posteriormente, con el propósito de identificar a los sitios mineros potencialmente contaminados se revisaron exhaustivamente los inventarios físicos de los recursos minerales de los municipios del Altiplano Potosino (SGM, 2023), una vez identificados los sitios, estos se ubicaron en el mapa por sobreposición. Los análisis cartográficos se realizaron en ArcMap 10.3.1 (Esri, USA, 2015).

Las únicas variables que se sometieron a análisis estadístico fueron los niveles de arsénico y mercurio (variables dependientes) en calcinas de la zona minera y suelos recolectados a 1 km de distancia de la zona minera

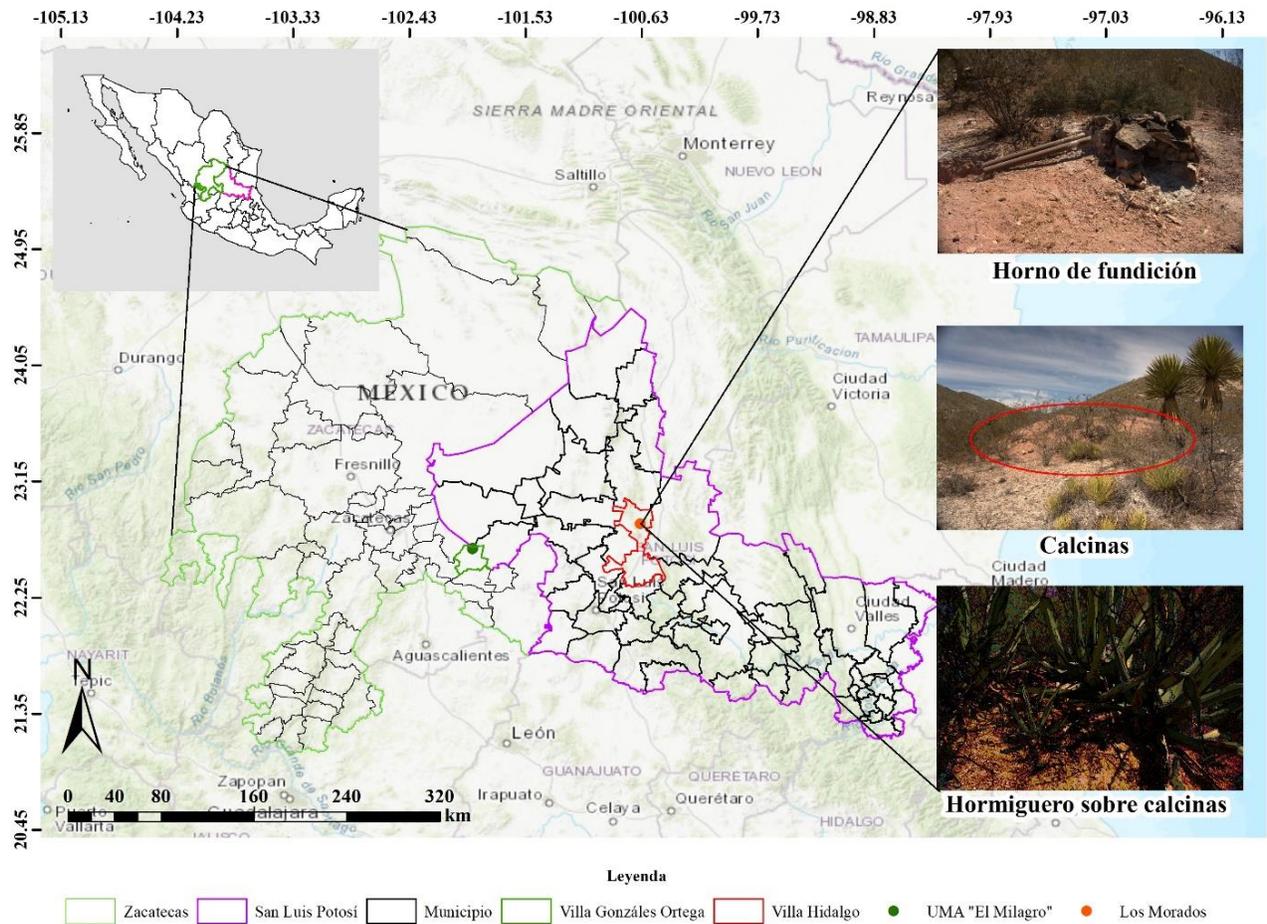


Fig. 1. Ubicación de los sitios de estudio. Fuente (INEGI, 2023). Mapa creado con el software ArcMap 10.3 (Esri, USA).

en Tapona (variables independientes). El análisis consistió en la comparación de los sitios a través de la prueba U de Mann-Whitney con el software SPSS 25.0 (IBM, USA, 2017). La comparación de los niveles de arsénico y mercurio en hormigas y hormigueros entre la zona minera y el sitio de referencia fue imposible de

realizarse debido a los tamaños muestrales, por lo que se optó por determinar las veces que los valores máximos del sitio problema superaron los del sitio de referencia.

Los niveles de arsénico y mercurio en calcinas, suelo, hormigueros y hormigas se presentan en la Tabla I.

Tabla I. Niveles de arsénico y mercurio en calcinas, suelo, hormigueros y hormigas de Tapona y Villa Gonzáles Ortega (mg/kg peso seco).

Contaminante	Tapona ^{a,b}				Villa Gonzáles Ortega ^{a,b}	
	Calcinas (n = 4)	Suelo a 1 km (n = 4)	Hormiguero (n = 2)	Hormigas (n = 2)	Hormiguero (n = 5)	Hormigas (n = 5)
As	<u>82,19</u> (37,83 – 119,66)	<u>4,65</u> (3,74 – 5,03)	<u>37,81</u> (34,13 – 41,49)	<u>0,65</u> (0,64 – 0,66)	<u>6,89</u> (4,60 – 10,43)	<u>0,14</u> (0,10 – 0,29)
Hg	<u>74,39</u> (26,56 – 376,67)	<u>0,14</u> (0,10 – 0,34)	<u>215,41</u> (76,44 – 354,38)	<u>3,89</u> (3,62 – 4,16)	<u>0,05</u> (0,03 – 0,12)	<u>0,03</u> (0,03 – 0,07)

^aCifras subrayadas _ son la mediana del conjunto de datos.

^bEntre paréntesis () Mínimo – Máximo.

En primer lugar, en Tapona los niveles de contaminación en calcinas fueron mayores a los de suelos recolectados a 1 km de distancia de la zona minera (Mann-Whitney $U_{test} = < 0.0001$, $z=2.309$; $p < 0.05$). En segundo lugar, los suelos de hormigueros en Tapona

presentaron concentraciones de arsénico y mercurio 4 y 2,953 veces más altas respecto al sitio de referencia, correspondientemente. Por último, las hormigas de la zona minera mostraron 2 y 59 veces más arsénico y mercurio, correspondientemente, que las del sitio de

referencia. El análisis cartográfico permitió identificar siete sitios en los que la minería es una potencial amenaza para *L. apiculatum*, uno en zona de baja probabilidad (Cedral), dos en zonas de media probabilidad (Santo

Domingo y Villa de la Paz) y cuatro en zonas de alta probabilidad (Catorce, Charcas, Guadalcázar y Villa Hidalgo) (Fig. 2).

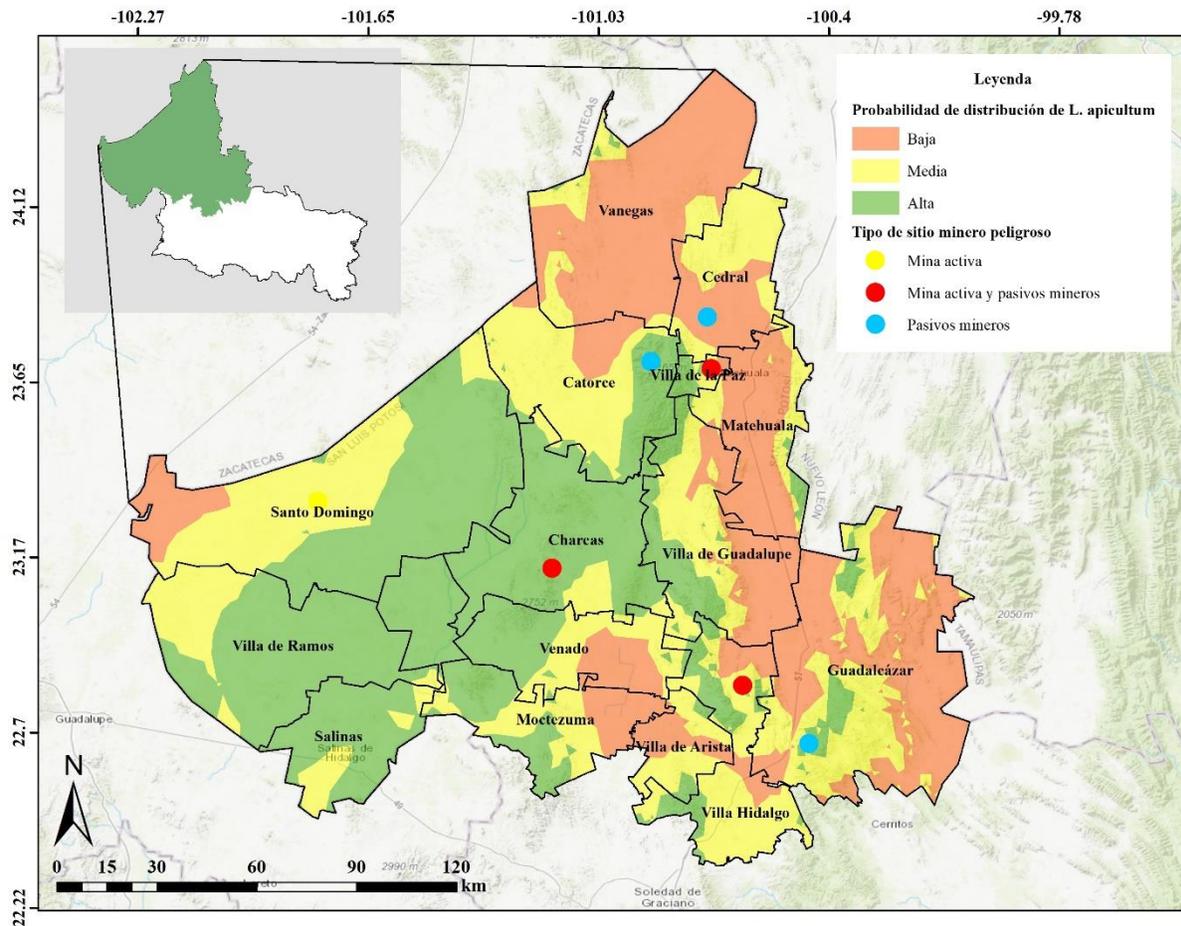


Fig. 2. Distribución potencial de *Liometopum apiculatum* y sitios mineros potencialmente contaminados en el Altiplano Potosino.

En los sitios con MPM, las pilas de calcinas son una fuente de contaminación por arsénico y mercurio (Loredo et al., 2003; Ordóñez et al., 2014), y los resultados obtenidos corroboran este hecho en Taponá ya que sus concentraciones en calcinas superaron los límites permisibles en suelo de la normativa mexicana (arsénico: 22 mg/kg; mercurio: 23 mg/kg) (SEMARNAT, 2007) y los suelos recolectados a 1 km de distancia de la zona minera. La exposición en hormigas indica que los contaminantes están biodisponibles y, por lo tanto, hay riesgo de que se presenten afectaciones como estrés oxidativo, genotoxicidad, efectos en el desarrollo y reproductivos, neurotoxicidad y disminuciones poblacionales (Mathews et al., 2009; Monchanin et al., 2021; Ramos-Morales & Rodríguez-Arnaiz, 1995; Reboloso-Hernández et al., 2023; Zaman et al., 1995).

Las rutas de exposición son esenciales para el diseño de un plan de reducción de la exposición y en este sentido las potenciales rutas para *L. apiculatum* son las siguientes. La contaminación del suelo es una ruta de exposición directa debido a la ingesta involuntaria de

suelo contaminado con arsénico y mercurio (Moriarty et al., 2009; Nasr et al., 2020; Reboloso-Hernández et al., 2023). Esta exposición involuntaria puede suceder cuando las hormigas caminan en sus senderos de abastecimiento o dentro del mismo nido ya que son capaces de construirlos sobre montículos de calcinas (Fig. 1). La contaminación del suelo también es el inicio de otras vías de exposición indirectas. En el caso del mercurio, otra ruta de exposición plausible es la respiración de vapores de mercurio emitidos desde las calcinas (Reboloso-Hernández et al., 2023). Asimismo, las plantas cuando absorben el mercurio y arsénico (Bhattacharya et al., 2021; Li et al., 2016; Zhou et al., 2021) tienen el potencial de transferirlos a *L. apiculatum* por medio de los productos vegetales que son parte de su dieta como el polen, semillas, néctar, entre otros (Lara-Juárez et al., 2015). Otra ruta de exposición que involucra a las plantas es aquella donde los tóxicos primero son transferidos de las plantas a los hemípteros succionadores de savia que las hormigas crían y luego de estos insectos a las hormigas mediante el consumo de las secreciones de ligamaza o ambrosía (Lara-Juárez et al., 2015; Mathews

et al., 2009). Finalmente, otras rutas de exposición pueden ser el consumo de invertebrados como anélidos o carroña de vertebrados (Lara-Juárez et al., 2015), los cuales son receptores ecológicos de la contaminación generada por la MPM (Camacho et al., 2021).

En cuanto al riesgo para la salud humana por consumo de escamoles de la zona minera, en especial por mercurio, puede argumentarse lo siguiente. Si bien las cuantificaciones se realizaron en hormigas adultas, puede hipotetizarse que el consumo de escamoles es un riesgo ya que los niveles de mercurio en insectos adultos son aproximadamente la mitad de los mostrados por sus estados inmaduros (Reboloso-Hernández et al., 2023). Por ello, podemos suponer que, dados los valores reportados en las obreras adultas de Taponá, las concentraciones en los escamoles podrían superar los niveles permisibles de este metal en alimentos como pescado (SSA, 2009). Es de vital importancia evaluar la exposición y la especiación de los contaminantes en escamoles para determinar los riesgos para la salud humana.

Con relación a los sitios mineros potencialmente contaminados que se identificaron como potenciales amenazas para *L. apiculatum* puede mencionarse lo siguiente. En Catorce las amenazas son los jales mineros contaminados con arsénico, plomo, antimonio; plata, además del mercurio y sulfato de cobre liberados entre 1772 y 1827 (Ávalos-Lozano et al., 2007; SGM, 2019). En Charcas las amenazas son las numerosas explotaciones artesanales de plata que utilizaron mercurio en los procesos de producción y que generaron residuos con hasta 442 años de antigüedad contaminados con arsénico y plomo (Fernández-Macías et al., 2020), además de la gran minería productora de plomo, cobre y zinc (SGM, 2019). En Guadalcázar la amenaza son los montículos de calcinas y terreros generados por la minería primaria de mercurio del siglo pasado y que presentan altos niveles de mercurio (Leura, 2017). En Santo Domingo la única amenaza identificada es la minería de manganeso (SGM, 2019). En Villa de la Paz las amenazas son las grandes acumulaciones de jales actuales y poscoloniales contaminados con arsénico y plomo (Fernández-Macías et al., 2020). Finalmente, en Villa Hidalgo la amenaza es la minería primaria de mercurio que se abordó en el presente estudio.

Los resultados de la presente investigación indican que la minería en el Altiplano Potosino es una posible amenaza para *L. apiculatum*. Esta investigación demuestra que en sitios mineros esta especie puede exponerse a elementos potencialmente tóxicos, lo que se traduce en mayores cargas corporales de dichos tóxicos. Asimismo, se demuestra que las zonas con mayor probabilidad de distribución convergen con sitios mineros potencialmente contaminados. Es necesario que en el sitio de estudio se desarrolle un biomonitorio sólido que caracterice las rutas de exposición y efectos para la

hormiga escamolera, así como los riesgos para la salud humana asociados al consumo de estos escamoles. Finalmente, a escala regional, debe corroborarse que *L. apiculatum* está presente en las zonas de riesgo identificadas para determinar si es necesaria la evaluación de riesgo ecológico.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Alejandro Chávez de la localidad de Taponá por su apoyo durante el muestreo realizado en Taponá, asimismo, se agradece a Fernando Montoya por permitarnos realizar el muestreo en la UMA "El Milagro".

REFERENCIAS

- Araújo, M., & Guisan, A. (2006) Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography*, **33**(10), 1677-1688.
- Ávalos-Lozano, J., Medellín-Milán, P., Aguilar-Robledo, M., & Nieto-Caraveo, L. (2007) Amenaza previsible. Lecciones de historia sobre la aplicabilidad del principio precautorio. *Trayectorias*, **9**, 31-44.
- Bhattacharya, S., Sharma, P., Mitra, S., Mallick, I., & Ghosh, A. (2021) Arsenic uptake and bioaccumulation in plants: a review on remediation and socio-economic perspective in Southeast Asia. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, **15**, 100430.
- Camacho, A.A., Espinosa, G., Reboloso, C.A., Carrizales, L., Ilizaliturri, C.A., Reyes, L.E., & Díaz-Barriga, F. (2021) Holistic health risk assessment in an artisanal mercury mining region in Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, **193**(8), 1-10.
- Cuervo-Robayo, A., Téllez-Valdés, O., Gómez-Albores, M.A., Venegas-Barrera, C.S., Manjarrez, J., & Martínez-Meyer, E. (2014) An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology*, **34**(7), 2427-2437.
- Dáttilo, W., Vásquez-Bolaños, M., Ahuatzin, D.A., Antoniazzi, R., & Ian, M. (2020) Mexico ants: incidence and abundance along the Nearctic–Neotropical interface. *Ecology*, **101**(4), e02944.
- Del Toro, I., Pacheco, J., & Mackay, W. (2009) Revision of the ant genus *Liometopum* (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, **53**(2), 299-370.
- EPA. (1996) Method 3052. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3052.pdf> (Accedido el 19 de abril 2023).
- EPA. (2007). Method 3051A. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf> (Accedido el 19 de abril 2023).

- Fernández-Macías, J.C., González-Mille, D.J., García-Arreola, M.E., Cruz-Santiago, O., Rivero-Pérez, N.E., Pérez-Vázquez, F., & Ilizaliturri-Hernández, C.A. (2020) Integrated probabilistic risk assessment in sites contaminated with arsenic and lead by long-term mining liabilities in San Luis Potosí, Mexico. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **197**, 110568.
- Fisher, B.L., & Cover, S.P. (2007) *Ants of North America a guide to the genera*. University of California Press, California, USA.
- Hansen, M.C., Defries, R.S., Townshend, J.R.G., & Sohlberg, R. (2000) Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. *International Journal of Remote Sensing*, **21(6-7)**, 1331-1364.
- Hasriyanty, A., Saleh, S., Cyio, M., & Yunus, M. (2018) Effect of mercury contamination on the diversity of soil arthropods in Poboya gold mining. *Journal of Environmental Science and Technology*, **11**, 254-261.
- INEGI. (2019) Modelo Digital de Elevación tipo superficie con 5m de resolución derivado de datos de sensores remotos satelitales y aerotransportados. F13D18f2. In Modelo Digital de Elevaciones. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463783527> (Accedido el 19 de abril 2023).
- INECC. (2020) Identificación de los riesgos a la salud y al medio ambiente asociados a la minería primaria de mercurio en la Sierra Gorda de Querétaro. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/604680/83_2020_Informe_Final_Riesgos_Salud_.pdf (Accedido el 19 de abril 2023).
- INEGI. (2023). Marco geoestadístico, diciembre 2023. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=794551067314> (Accedido el 19 de abril 2023)
- Jongema, Y. (2017) Worldwide list of recorded edible insects. Wageningen, University & Research. <https://www.wur.nl/en/research-results/chair-groups/plant-sciences/laboratory-of-entomology/edible-insects/worldwide-species-list.htm> (accedido el 22 de marzo de 2023).
- Lara-Juárez, P., Aguirre-Rivera, J.R., Castillo-Lara, P., & Reyes-Agüero, J.A. (2015) Biología y aprovechamiento de la hormiga de escamoles, *Liometopum apiculatum* Mayr (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zoológica Mexicana*, **31(2)**, 251-264.
- Leura, A. (2017) *Geoquímica ambiental del mercurio en pasivos ambientales minero-metalúrgicos*. UASLP.
- Li, N., Wang, J., & Song, W.Y. (2016) Arsenic uptake and translocation in plants. *Plant and Cell Physiology*, **57(1)**, 4-13.
- Loredo, J., Ordóñez, A., Baldo, C., & García-Iglesias, J. (2003) Arsenic mobilization from waste piles of the El Terronal mine, Asturias, Spain. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, **3**, 229-237.
- Mathews, S., Ma, L.Q., Rathinasabapathi, B., & Stamps, R.H. (2009) Arsenic reduced scale-insect infestation on arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. *Environmental and Experimental Botany*, **65**, 282-286.
- Monchanin, C., Drujont, E., Devaud, J., Lihoreau, M., & Barron, A. (2021) Metal pollutants have additive negative effects on honey bee cognition. *Journal of Experimental Biology*, **224(12)**, jeb241869.
- Moriarty, M.M., Koch, I., Gordon, R.A., & Reimer, K. (2009) Arsenic speciation of terrestrial invertebrates. *Environmental Science & Technology*, **43**, 4818-4823.
- Nasr, E.E., Khater, Z.Z., Zelenakova, M., Vranayova, Z., & Abu-Hashim, M. (2020) Soil physicochemical properties, metal deposition, and ultrastructural midgut changes in ground beetles, *Calosoma chlorostictum*, under agricultural pollution. *Sustainability*, **12**, 1-16.
- Ordóñez, A., Álvarez, R., & Loredo, J. (2014) Soil pollution related to the mercury mining legacy at Asturias (Northern Spain). *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, **28(6)**, 389-396.
- Perkin-Elmer. (1994). *Flow Injection Mercury/Hydride Analyses. Recommended Analytical Conditions and General Information*.
- Ramos-Morales, P., & Rodríguez-Arnaiz, R. (1995) Genotoxicity of two arsenic compounds in germ cells and somatic cells of *Drosophila melanogaster*. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, **25**, 288-299.
- Ramos-Rostro, B., Salazar, B.Q., Ramos-Elorduy, J., Moreno, J.M.P., Campos, S.C.Á., Pérez, Á.G., & García, V.D.B. (2012) Análisis químico y nutricional de tres insectos comestibles de interés comercial en la zona arqueológica del municipio de San Juan Teotihuacán y en Otumba, en el estado de México. *Interciencia*, **37(12)**, 914-920.
- Reboloso-Hernández, C., Vallejo-Pérez, M., Razo-Soto, I., Díaz-Barriga, F., & Carrizales-Yáñez, L. (2023) Mercury entomotoxicology. *Chemosphere*, **311**, 136965.
- Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. (2019) Worldwide decline of the entomofauna: a review of its drivers. *Biological Conservation*, **232**, 8-27.
- Secretaría de Economía (2016) NMX-AA-132-SCFI-2016: Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra. <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-aa-132-scfi-2016.pdf> (Accedido el 19 de abril 2023).
- SEMARNAT (2007) NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/ vanadio.

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4964569&fecha=02/03/2007#gsc.tab=0 (Accedido el 19 de abril 2023).

SGM (2019) Panorama minero del Estado de San Luis Potosí.

https://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/panoramas/SAN_LUIS_POTOSI_dic2019.pdf (Accedido el 19 de abril 2023).

SGM (2023) GeolInfoMEx. <https://www.sgm.gob.mx/GeolInfoMexGobMx/#> (Accedido el 19 de abril 2023).

SSA (2009) NORMA Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba.

<https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4295/salud2a/salud2a.htm> (Accedido el 19 de abril 2023).

Zaman, K., MacGill, R., Johnson, J., Ahmad, S., & Pardini, R. (1995) An insect model for assessing oxidative stress related to arsenic toxicity. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, **29**, 199-209.

Zhou, J., Obrist, D., Dastoor, A., Jiskra, M., & Ryjkov, A. (2021) Vegetation uptake of mercury and impacts on global cycling. *Nature Reviews Earth and Environment*, **2**, 269-284.