

Artrópodos edáficos en diferentes usos de suelo de la Sierra Nevada, Tepetlaoxtoc, Estado de México, México

Edaphic arthropods in different land use forms at Sierra Nevada, Tepetlaoxtoc, Estado de México, Mexico

 ARTURO E. HERNÁNDEZ-TIRADO¹,  GABRIELA CASTAÑO-MENESES^{1*},
 ABEL IBAÑEZ-HUERTA¹,  DAVID E. RAMOS-CHÁVEZ¹,
 LIZETH AGUIRRE-PLATA²,  DANIELA PÉREZ-VELÁZQUEZ¹,
 SARAÍ MONTES-RECINAS³,  ROCÍO CRUZ-ORTEGA³

¹ Universidad Nacional Autónoma de México, UMDI-Juriquilla, Querétaro, México. arturoht@ciencias.unam.mx, gabycast99@hotmail.com, abel.ibanez@ciencias.unam.mx, rmcde_19@ciencias.unam.mx, siankaan_namib@hotmail.com

² Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México. plagali_32_3@hotmail.com

³ Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ecología, Ciudad de México, México. saraimontes@ciencias.unam.mx, rcruz@ecologia.unam.mx

* Autor de correspondencia

Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, Campus Juriquilla, Campus UNAM 3001, 76230 Juriquilla, Querétaro, México, gabycast99@hotmail.com

Citación sugerida

HERNÁNDEZ-TIRADO, A. E.; CASTAÑO-MENESES, G.; IBAÑEZ-HUERTA, A.; RAMOS-CHÁVEZ, D. E.; AGUIRRE-PLATA, L.; PÉREZ-VELÁZQUEZ, D.; MONTES-RECINAS, S.; CRUZ-ORTEGA, R. 2022. Artrópodos edáficos en diferentes usos de suelo de la Sierra Nevada, Tepetlaoxtoc, Estado de México, México. 2022. Revista Colombiana de Entomología 48 (1): e11632. <https://doi.org/10.25100/socolen.v48i1.11632>

Recibido: 01-Oct-2021

Aceptado: 15-Mar-2022

Publicado: 21-may-2022

Revista Colombiana de Entomología

ISSN (Print): 0120-0488

ISSN (On Line): 2665-4385

<https://revistacolombianaentomologia.univalle.edu.co>

Open access



BY-NC-SA 4.0
creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Publishers: Sociedad Colombiana de Entomología
SOCOLEN (Bogotá, D. C., Colombia)

<https://www.socolen.org.co>

Universidad del Valle (Cali, Colombia)

<https://www.univalle.edu.co>

© 2021 Sociedad Colombiana de Entomología -
SOCOLEN y Universidad del Valle - Univalle

Resumen: Este estudio tuvo como objetivo describir la diversidad y abundancia de los micro artrópodos edáficos, en relación con las características físicas y químicas de suelos bajo diferente uso y manejo, así como caracterizar su estructura en un área de minería pétreo o de cantera. Para esto se estudiaron los ensamblajes de microartrópodos edáficos en cinco zonas con diferente uso de suelo: Bosque de Pino-Encino conservado (B), Bosque de Pino-Encino degradado (Z), Agrícola (V), Erosión (E), y Mina (M), en Sierra Nevada (Tepetlaoxtoc, México), su relación con parámetros físicos y químicos del suelo y su potencial como bioindicadores, utilizando los valores del índice QBS-ar, en zonas de minería pétreo. Se encontró correlación positiva y significativa con la abundancia y los porcentajes de humedad y materia orgánica del suelo. Se identificaron grupos descritos como bioindicadores, hiperparasitoides y depredadores en sitios más conservados que los que presentan mayor degradación. Los valores del índice QBS-ar fueron mayores en el área B. Se identificaron tres zonas, B, M y E, definidas por su aptitud para realizar acciones de rehabilitación ecológica y el potencial de los microartrópodos para ser integrados en los programas de manejo y estrategias de conservación y rehabilitación en áreas de minería pétreo.

Palabras clave: Ácaros, bioindicadores, Collembola, índice QBS-ar, minería pétreo.

Abstract: The objective of this study was to describe the diversity and abundance of edaphic microarthropods in relation to the physical and chemical characteristics of soils under different use and management and to characterize their structure in an area of stone mining or quarrying. For this purpose, edaphic microarthropods assemblages were studied in five zones with different land use: Conserved Pine-Oak forest (B), Degraded Pine-Oak forest (Z), Agricultural (V), Erosion (E), Mine (M), in Sierra Nevada (Tepetlaoxtoc, Mexico), in order to know their relationship with both physical and chemical parameters, and also their potential as bioindicators, using the values of the QBS-ar index, in stony mining areas. A positive and significant relationship was found with the abundance and moisture and organic matter percentages. Groups described as bioindicators, hyperparasitoids and predators were identified in sites with more conservation than those with greater degradation. The QBS-ar index values were higher in the area B. Three zones, B, M and E, were identified, according to their suitability for ecological rehabilitation action. The potential of soil microarthropods to be integrated into management programs and conservation and rehabilitation strategies in areas of stone mining was recognized.

Keywords: Bioindicators, Collembola, mites, QBS-ar index, stone mining.

Introducción

En los ecosistemas terrestres, los artrópodos son de suma importancia dada su participación en múltiples procesos y el mantenimiento de diversos servicios ecosistémicos (Kremen *et al.* 1993; Maleque *et al.* 2006; Menta y Remelli 2020). Por esto, su presencia puede ser un buen indicador para evaluar la calidad del ambiente, y han sido utilizados como bioindicadores de las condiciones de los ecosistemas (Spiller *et al.* 2017; Medhi *et al.* 2020). En México, los bosques templados de coníferas y latifoliadas son ecosistemas que presentan gran diversidad, albergando

aproximadamente 7,000 especies de plantas, de las cuales alrededor de 70 pertenecen a Pino (género *Pinus* L. 1753), y 200 a Encino (género *Quercus* L. 1753) (Romeu 1995; Toledo y Ordóñez 1998; Valencia-A. 2004). Estos bosques de Pino-Encino se distribuyen principalmente en las cadenas montañosas de la Sierra Madre Oriental, la Faja Volcánica Transmexicana (FVT), la Sierra Madre del Sur, y las sierras de Chiapas, Oaxaca y Baja California. Aunque representan el 14 % de la superficie nacional, en el período de 1976 a 2011 se han perdido 940,267 hectáreas (Sánchez-Velásquez y Galindo-González 2008; SEMARNAT 2012).

Las principales causas de la pérdida de este ecosistema están asociadas a: (1) cambio de uso de suelo para fines agrícolas, (2) expansión urbana, (3) extracción forestal y (4) explotación minera, tanto para metales como pétreo o de cantera (Challenger y Dirzo 2009; Fry 2011; Alfaro-Reyna *et al.* 2020). En este sentido, particularmente, en la explotación minera, las minas de cantera llegan a ser un factor importante para la degradación de los bosques si se tiene en cuenta que los principales sitios de extracción están asociados geológicamente a materiales basálticos y piroclastos, como los que componen la FVT. Adicionalmente, su realce en materia económica como uno de los cinco sectores más productivos en los últimos años en México (Fry 2011; Secretaría de Economía 2015; IMCYC 2017).

La zona limítrofe entre el Estado de México y Tlaxcala, en la llamada “Sierra Nevada”, cuya extensión es de 110 km y está localizada en la zona central de la FVT, presenta una gran presión antrópica sobre la flora y fauna de los bosques de la región, debido a actividades como la minería pétreo, que modifican el uso del suelo. En este momento se calcula que operan en el área alrededor de 212 minas, de acuerdo con el directorio del Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Gobierno del Estado de México (IFOMEGEM 2017). Algunas de las cuales aportaron entre 30 y 90 millones de metros cúbicos de material basáltico para el cancelado Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (Villalobos 2017; Barragán 2018).

Algunas investigaciones realizadas para evaluar el estado de conservación y diversidad en la Sierra Nevada reconocen la urgencia de describir y proteger las comunidades nativas que aún existen en estos ecosistemas, tanto de flora (Santibañez-Andrade *et al.* 2015), como de fauna (Granados *et al.* 2004; Martínez *et al.* 2014). Los grupos que han sido más estudiados en la región de la Sierra Nevada han sido vertebrados (Bojorges Baños 2004), plantas vasculares (Sánchez-González y López-Mata 2005) y hongos (Estrada-Martínez *et al.* 2009). Con relación a los artrópodos, sólo se tienen algunos trabajos sobre mariposas (Luna-Reyes y Llorente 2004), mientras que, para grupos de la fauna del suelo, que juegan un papel clave en relación con las cadenas tróficas, al ayudar al procesamiento y el reciclaje de la biomasa vegetal muerta (hojarasca) y animal, restos de microorganismos y excrementos de animales (Eisenbeis y Wichard 1987), no se tienen trabajos en la zona. La necesidad de conocer la diversidad de estos artrópodos edáficos, como ácaros y colémbolos, dada su importancia en los ciclos de nutrientes para las plantas, hace necesario el profundizar en su estudio y en el potencial papel que tienen no solo en el mantenimiento de los ecosistemas, sino en estudios de rehabilitación o de reforestación (Sanchez *et al.* 2021). Por todo esto, el objetivo del presente estudio es describir la diversidad y abundancia de los micro artrópodos edáficos, en relación con las características físicas y químicas

de suelos bajo diferente uso y manejo y caracterizar la estructura de las comunidades de dichos microartrópodos en un área de minería pétreo o de cantera.

Materiales y métodos

Descripción del sitio. La zona de estudio se localiza en terrenos de la Empresa Basaltex, dentro del poblado de Santo Tomás Apipilhuasco, Municipio Tepetlaoxtoc, Estado de México. El clima predominante en los valles es templado, pero en las cumbres de los estratovolcanes de la zona, es frío. Las temperaturas medias anuales del área están entre 6 °C a 28 °C, la precipitación media anual oscilante de 600 a 1,800 mm (Köppen, modificada por García 2004).

Esta región central de la FVT se describe geológicamente como zona de depositación de lavas y flujos piroclásticos dacítico-riolíticos pleistocénicos con la presencia de los estratovolcanes Telapón y Tláloc (García-Tovar y Martínez-Serrano 2011). Asociados al material parental se reportan suelos Andosoles que se forman sobre cenizas, vidrios volcánicos y de otros materiales piroclásticos; con presencia de minerales de rango corto como son los alófanos y la imogolita. Como propiedad física de carácter diagnóstico, el suelo presenta densidad aparente menor o igual a 0,9 g/cm³ (Acevedo-Sandoval *et al.* 2008). En este suelo, regularmente la erosión hídrica es baja, pero si hay cambios en la cubierta vegetal se desencadenan importantes eventos erosivos al grado de perder la totalidad del suelo (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2002; Sotelo *et al.* 2011).

Sobre estos suelos se encuentra una vegetación residual, que tuvo por comunidades originales a bosques de pino y de pino-encino (Suárez-Mota *et al.* 2013). Sin embargo, históricamente y hasta nuestros días el manejo antrópico dado desde los pueblos originarios nahuas (de los cuáles aún hay vestigios), hasta las actividades económicas actuales han fomentado el cambio de uso de suelo por medio de la agricultura, ganadería (Kuromiya 2006; IGECM 2015) y minería, con la consecuente fragmentación de los bosques.

Muestreo. Para caracterizar las comunidades de artrópodos edáficos de la Sierra Nevada, se eligieron cinco zonas de muestreo con diferente grado de disturbio antrópico a lo largo de un transecto de 100 m. Las zonas representan diferentes condiciones de uso y manejo (Fig. 1): Bosque de Pino-Encino Conservado (B), Bosque de Pino-Encino Degradado (Z), Zona Agrícola (V), Zona de Mina (M) y Zona de Erosión hídrica (E). Los muestreos se realizaron en febrero de 2017 y en febrero de 2018, para las zonas B, Z y V se tomaron cinco muestras por zona, mientras que para las zonas M y E, se tomaron 10 muestras en cada ocasión. La toma de muestras se llevó a cabo en dos días en cada ocasión.

Análisis en laboratorio. Todas las muestras de suelo se tomaron a una profundidad de 0-10 cm, y fueron procesadas en embudos de Berlese-Tullgren para la extracción de la arthropofauna, permaneciendo en los embudos durante 6 días, los tres primeros a temperatura ambiente y los siguientes bajo un foco de 60 watts (Palacios-Vargas y Mejía-Recamier 2007). Los organismos recolectados se conservaron en alcohol al 90% para su posterior separación y cuantificación con ayuda de un microscopio estereoscópico (Carl Zeiss Modelo Stemi 2000C). El material se conserva en el Laboratorio de Ecología de Artrópodos en Ambientes Extremos (UMDI-Juriquilla, Facultad de Ciencias, UNAM).



Figura 1. Zonas de estudio con distinto grado de alteración: B) Bosque de Pino-Encino Conservado, Z) Bosque de Pino-Encino Degradado, V) Zona Agrícola, E) Zona de Erosión y M) Zona de Mina.

Para correlacionar la diversidad de los artrópodos con las propiedades del suelo se determinaron los siguientes parámetros físicos y químicos: (i) pH, (ii) conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), (iii) porcentaje de humedad, (iv) densidad aparente (método del cilindro de volumen conocido), (v) densidad real (método del picnómetro), (vi) porosidad, (vii) porcentaje de carbono y (viii) materia orgánica (MO) por el método de Walkley & Black (van Reeuwijk 2002). Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Ecología de Artrópodos en Ambientes Extremos.

Análisis de datos. Para describir las comunidades, se calcularon para cada zona el índice de diversidad de Shannon y la equitatividad de Pielou, mediante el programa PAST ver. 4.0 (Hammer *et al.* 2001). Se realizó la separación y registro por grupos taxonómicos, determinando la riqueza y abundancia de cada muestra a través de la suma de individuos. El efecto de la zona asociada a cada parámetro edáfico sobre la abundancia fue estimado mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, puesto que no se encontró normalidad en los datos. Para determinar la relación entre las variables edáficas y la abundancia de los artrópodos, se realizó un análisis de correlación múltiple, mediante el programa R (R Core Team 2013).

A partir de los grupos encontrados, se realizó la evaluación de éstos como posibles bioindicadores, y se obtuvo el Índice de Calidad Biológica del Suelo, basado en artrópodos (QBS-ar). Este índice se basa en el enfoque de formas de vida, con los objetivos de evaluar, por un lado, las adaptaciones de los artrópodos al medio edáfico, y por otro, de reducir los problemas de identificación de las especies en grupos como los microartrópodos (Gardi *et al.* 2002). Para estimarlo se aplicó la metodología propuesta por Parisi *et al.* (2005), calculando el QBS-ar para cada sitio, al sumar los valores asignados para cada grupo según el índice eco-morfológico (EMI por sus siglas en inglés), los cuales son asignados con un valor entre 1 y 20. Las formas de la superficie del suelo o epiedáficas tienen valor de 1, mientras que las formas más adaptadas a la vida en

el suelo o euedáficas, tienen valores de 20. Este índice permite unir la biodiversidad encontrada en un suelo determinado, con el grado de vulnerabilidad del suelo, ya que suelos más sanos y con menor alteración, tiene fauna con mayores adaptaciones al medio. Su aplicación en diversos usos de suelo ha mostrado que es un índice con gran validez en actividades de monitoreo para la evaluación de la calidad de los suelos en zonas que han sido alteradas (Madej *et al.* 2011; Menta *et al.* 2018). En esta investigación se realizó una estandarización del índice de QBS-ar por 40 para cada muestra, para después tener valores estandarizados por zona (D'Avino, 2002). Con los valores del índice QBS-ar, se hizo también una correlación logarítmica con el grado de alteración del sitio (Madej *et al.* 2011).

Resultados

Se registraron un total de 1617 individuos, asociados a 11 grupos taxonómicos (Acari, Araneae, Collembola, Coleoptera, Diplura, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Pseudoscorpionida, Psocoptera, Thysanoptera), y 71 morfoespecies. La abundancia disminuyó de acuerdo con la degradación de la zona. Acari fue el único grupo que estuvo presente en todas las zonas, en particular Prostigmata y Oribatida, ya que grupos como Astigmata y Mesostigmata, no estuvieron presentes en la zona E. Los Hemiptera, a excepción de la zona E, se encontraron en todas las demás. En relación con la abundancia, la zona B (Bosque de Pino-Encino Conservado), fue la que registró los mayores valores, con 667 individuos, y el grupo con mayor presencia fue Oribatida (Acari), en particular la morfoespecie Oribatida sp. 1 (197), seguida por Prostigmata sp. 1 (191); en total se registraron 23 morfoespecies. Le siguió en abundancia la zona Z (Bosque de Pino-Encino Degradado) con 381 organismos, Mesostigmata sp. 1 fue la morfoespecie más abundante (133), seguida de Prostigmata sp. 8 (68), en total se registraron 24 morfoespecies. En la zona V (Agrícola) se recolectaron 260 individuos, con Prostigmata como

el taxón más abundante (244), siendo Prostigmata sp. 8 (83 ejemplares) y Prostigmata sp. 7 (73) las especies más abundantes; en total se registraron 14 morfoespecies. Para la zona M (Mina), se obtuvieron 229 organismos, con la morfoespecie Prostigmata sp. 7 como la más abundante (34 individuos), sin embargo, fue donde se encontraron más morfoespecies, con un total de 48, aunque la mitad de ellas solo estuvieron representadas por un único ejemplar. Por último, la abundancia más baja se registró en la zona E (Erosión), con un total de 80 organismos, y con Prostigmata sp. 1 como la morfoespecie más abundante, (47); también fue donde se registró el menor número de morfoespecies, con 10 (Fig. 2).

En la Tabla 1 se muestran los resultados generales de los parámetros de la comunidad para cada zona.

La mayor cantidad de ácaros fue registrada en las zonas B (promedio ± desviación estándar = 107 ± 115.63) y Z (71 ± 69.43), seguida de la zona V (49 ± 21.58) y los valores más bajos fueron para M (13 ± 10) y E (8 ± 9.41). En el caso de los colémbolos, sólo se encontraron en las zonas B y M,

registrando la mayor abundancia en la primera (B = 7.4 ± 439, M = 1.7 ± 2.58). En la Zona M se encontró un único ejemplar de Diplura.

Los resultados de los análisis de los parámetros edáficos de todas las muestras se agruparon por zonas y se promediaron (Tabla 2).

Con respecto al análisis de correlación múltiple, se encontró que la abundancia de artrópodos se relaciona significativamente con los parámetros edáficos, con un coeficiente de correlación de $r = 0,65$ ($F_{7,27} = 2,94$, $p < 0,05$). Se encontró una relación negativa con la densidad aparente ($r = 0,63$) y la porosidad ($r = 0,4$), y positiva con la densidad real ($r = 0,5$) y el % de Carbono ($r = 0,11$), ambas estadísticamente significativas.

Respecto a la correlación de las abundancias de los microartrópodos con los parámetros edáficos, para la mayoría de los casos el coeficiente resultó bajo, si bien significativo (Fig. 3), con excepción de la correlación con la porosidad (Fig. 3e) y los tamaños de partículas (limos, arcillas, arenas; Fig. 3g-i), que no fueron significativos.

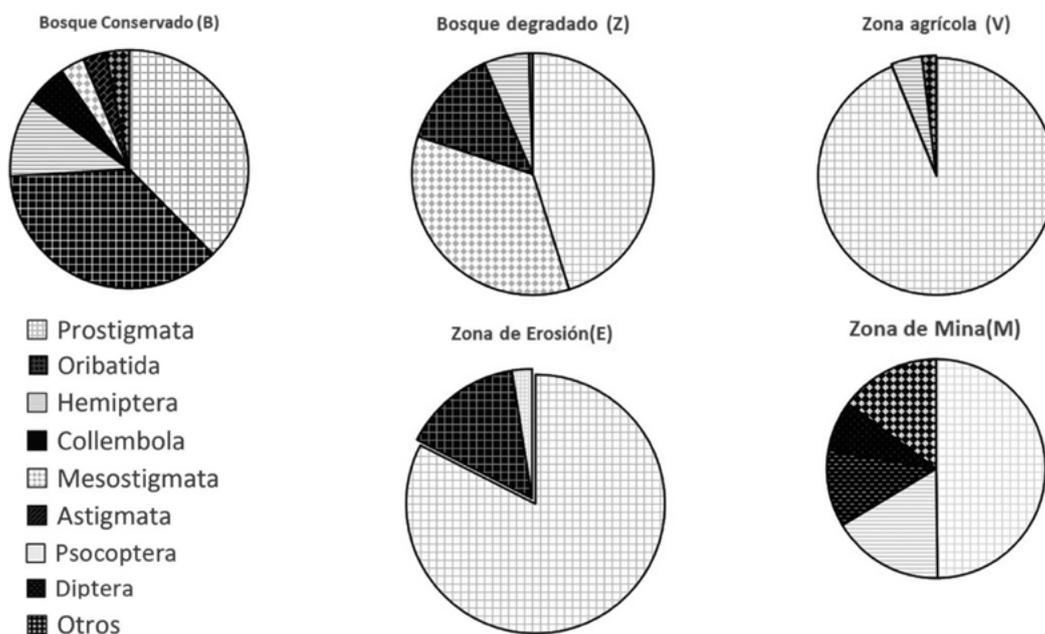


Figura 2. Abundancia relativa de individuos por grupo taxonómico. Otros, incluye grupos con abundancias menores a 9 organismos como arañas, pseudoscorpiones, coleópteros, dipluros, lepidópteros y tisanópteros.

Tabla 1. Parámetros de la comunidad de microartrópodos edáficos en las cinco zonas estudiadas que representan distintos usos de suelo en Tepetlaoxtoc, Estado de México.

Zona	Abundancia total	Abundancia por muestra	Densidad (organismos/cm ²)	Índice de Shannon	Equitatividad de Pielou
B	667	133,4 ± 139,4	1,16	1,74	0,73 ± 0,15
Z	260	52 ± 25,9	0,45	1,78	0,81 ± 0,15
V	381	76,2 ± 73,3	0,66	1,35	0,77 ± 0,14
M	229	22,9 ± 12,0	0,20	1,95	0,90 ± 0,04
E	80	8 ± 9,2	0,08	0,30	0,86 ± 0,03

B = Bosque de Pino-Encino Conservado; Z = Bosque de Pino-Encino Degradado; V = Zona Agrícola; E = Zona de Erosión; M = Zona de Mina.

Tabla 2. Parámetros edáficos de las zonas con distinto uso de suelo. *= diferencia respecto a la zona de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis.

Zonas	% Humedad	pH	CE (μS/cm)	DA (g/cm ³)	DR (g/cm ³)	Porosidad (%)	Carbono (%)	MO (%)
B	17,96 ± 4,16	6,28 ± 0,42	546 ± 74,18 *E*M	0,51 ± 0,09	1,52 ± 0,24 *E	66,21 ± 5,61 *E	15,66 ± 5,37 *E	27,00 ± 9,26 *E
Z	6,96 ± 1,49	6,1 ± 0,10	189,44 ± 48,95	0,76 ± 0,09	1,88 ± 0,46	56,47 ± 16,31	4,93 ± 1,60	8,50 ± 2,75
V	5,41 ± 1,16 *B*M	6,9 ± 0,11	84,66 ± 44,29	0,96 ± 0,11	2,41 ± 0,05	60,26 ± 3,99	0,83 ± 0,28	1,43 ± 0,49
E	10,89 ± 5,29	7,06 ± 0,39	86,48 ± 32,35	1,33 ± 0,05	2,51 ± 0,12 *Z	46,89 ± 3,22	0,28 ± 0,14	0,49 ± 0,24
M	17,36 ± 8,57	8,52 ± 0,24 *B*Z	73,11 ± 35,32 *B*Z	1,33 ± 0,25	2,57 ± 0,22 *B*Z	48,54 ± 5,61 *B	0,07 ± 0,02 *BZV	0,12 ± 0,03 *BZV

B = Bosque de Pino-Encino Conservado; Z = Bosque de Pino-Encino Degradado; V = Zona Agrícola; E = Zona de Erosión; M = Zona de Mina. CE = Conductividad eléctrica; DA = Densidad aparente; DR = Densidad real; MO = Materia orgánica.

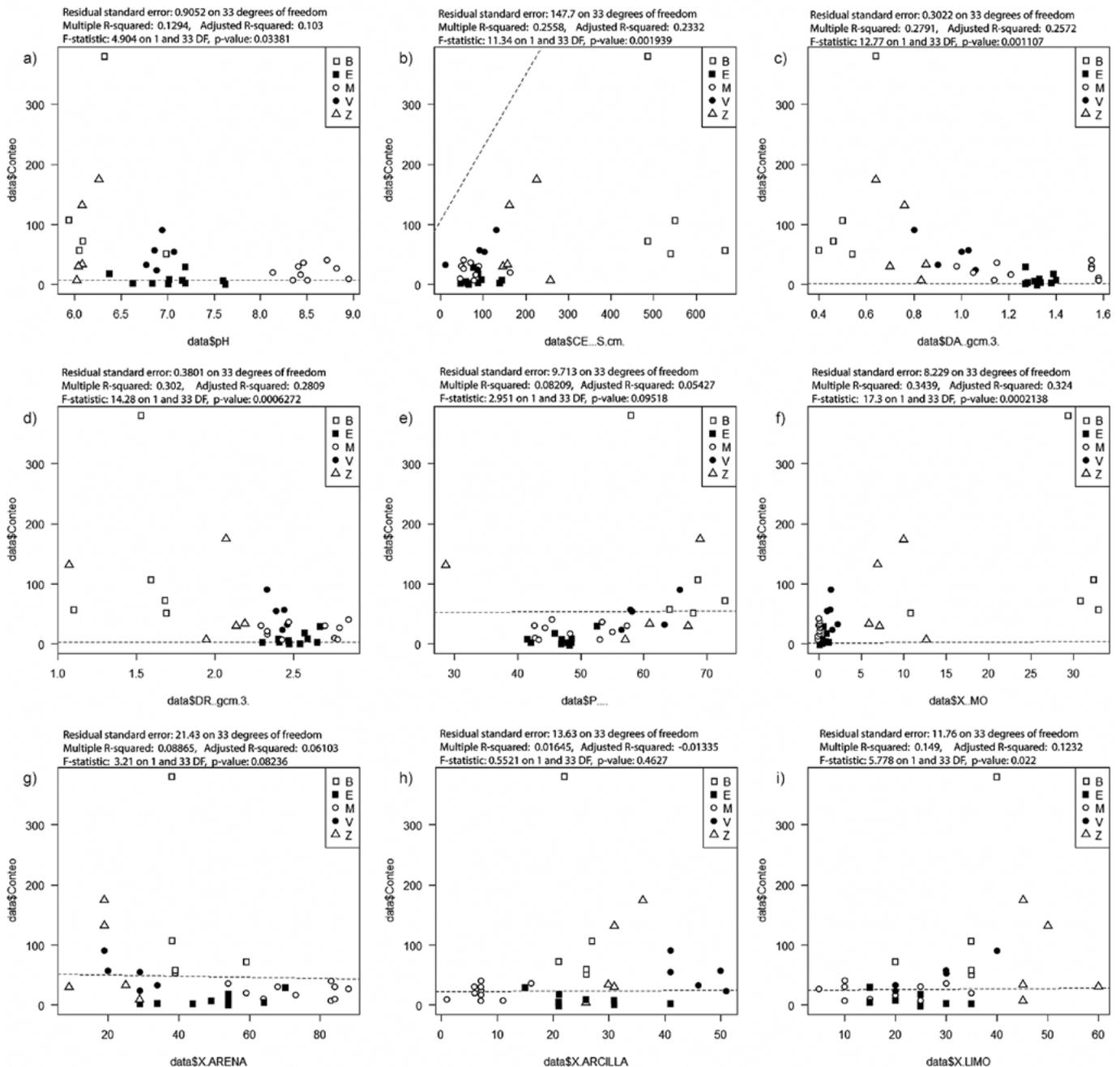


Figura 3. Correlación entre abundancias de microartrópodos edáficos y parámetros edáficos: a) pH; b) Conductividad eléctrica; c) Densidad aparente; d) Densidad real; e) Porosidad; f) Materia orgánica; g) Arena; h) Arcilla; i) Limo, en las zonas estudiadas. B = Bosque de Pino-Encino Conservado, Z = Bosque de Pino-Encino Degradado, V = Zona Agrícola, E = Zona de Erosión y M = Zona de Mina.

De acuerdo con el índice QBS-ar determinado para cada sitio (Tabla 3), a partir de los valores EMI, se obtuvo que la zona B es la que registró el valor más alto (76), mientras que la zona V posee el valor más bajo (26), lo cual indica que el área más conservada es donde se encuentra la mayor asociación con valores más altos de presencia de fauna edáfica. Para las zonas con mayor grado de alteración, no se encontraron diferencias significativas entre ellas (Fig. 4). Si bien cabe mencionar que las zonas M y E, presentaron valores más altos que las zonas Z y V. La regresión logística entre la relación de los valores del índice QBS-ar como función del grado de conservación de las zonas, mostró un coeficiente de correlación de 0,56 (Fig. 5).

Discusión

El grupo de artrópodos edáficos de mayor abundancia de la zona B fueron los ácaros Oribatida. Esta dominancia se asocia a sus hábitos saprófagos y micófilos en los horizontes orgánicos de suelos conservados (Behan-Pelletier 1999; Neher y Barbercheck 1998; Iturrondobeitia y Subías 2015). Dentro de los oribátidos se encontraron representantes de Damaeidae, familia con poca representación en México, con tres especies conocidas, dos de ellas del volcán Popocatepetl, y otra de la gruta de Aguacachil en Guerrero (Iglesias y Guzmán 2012), por lo que es probable que se trate al menos de registros nuevos para esta

Tabla 3. Valores de EMI (índice ecomorfológico) de grupos de artrópodos edáficos e índice QBS-ar por zona de estudio basados en la propuesta de Parisi et al. (2005) y la modificación de D'Avino (2002).

Grupo taxonómico	B	Z	V	E	M
Acari	20	20	20	16	16
Araneae	-	-	4	-	-
Collembola	14	-	-	3	-
Coleoptera	8	-	-	10	-
Diplura	-	-	-	-	20
Hemiptera	10	8	2	7	-
Hymenoptera	1	-	-	-	-
Lepidoptera	-	-	-	5	-
Pseudoscorpiones	20	-	-	-	-
Psocoptera	1	-	-	-	-
Thysanoptera	1	-	-	-	-
Índice QBS-ar	75	28	26	42	36

B = Bosque de Pino-Encino Conservado; Z = Bosque de Pino-Encino Degradado; V = Zona Agrícola; E = Zona de Erosión; M = Zona de Mina.

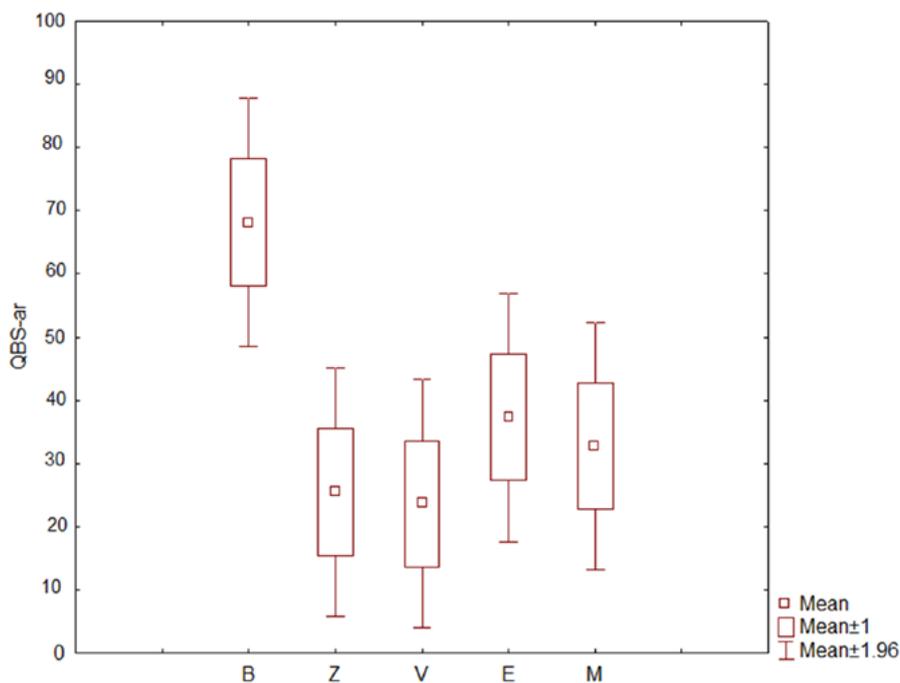


Figura 4. Valores de QBS-ar en zonas con diferente uso de suelo. B = Bosque de Pino-Encino Conservado, Z = Bosque de Pino-Encino Degradado, V = Zona Agrícola, E = Zona de Erosión y M = Zona de Mina.

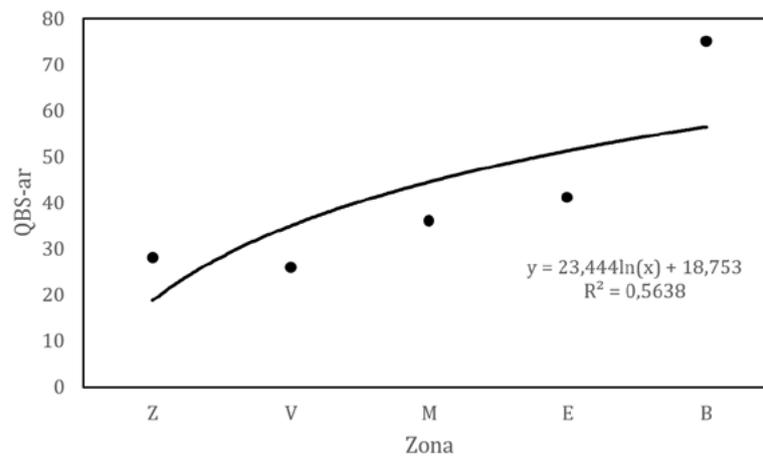


Figura 5. Regresión (log) entre los valores de QBS-ar y diferente uso de suelo. B = Bosque de Pino-Encino Conservado, Z = Bosque de Pino-Encino Degradado, V = Zona Agrícola, E = Zona de Erosión y M = Zona de Mina.

familia en el país. En la zona B, también fue abundante la familia Aphididae (Hemiptera), que tiene especies que se han reportado como plagas asociadas a diferentes cultivos forestales. En esta zona, también fueron registrados ejemplares de Cynipidae (Hymenoptera), que podría estar actuando como parasitoide secundario de áfidos (Gaona *et al.* 2000). Cabe señalar que en esta zona también se han registrado gran cantidad de agallas causadas por cinípidos en los encinos (S. Montes obs. pers.)

El segundo grupo en abundancia en la zona B fueron los ácaros Prostigmata, del cual se identificaron representantes de las familias Cunaxidae y Bdellidae, que son depredadores activos de artrópodos pequeños, huevos y larvas (Atyeo, 1960; Skvarla *et al.* 2014). También se registraron ejemplares de la familia Trombidiidae, que contiene especies que han sido descritas como parasitoides de invertebrados (Vázquez-Rojas *et al.* 2015). El resto de los grupos como Collembola, Mesostigmata (ácaros parasitiformes) y Astigmata (ácaros sarcóptiformes) se presentaron en menor abundancia en esta zona.

Los colémbolos suelen ser abundantes en los suelos conservados y al igual que los oribátidos, son micófitos y bacteriófagos, por ende, los encargados de promover los procesos de descomposición en el suelo (McGonigle 1995). Sin embargo, la abundancia de colémbolos es susceptible a los cambios estacionales, registrando modificaciones en la abundancia y composición a lo largo del año (Palacios-Vargas 2014). Las diferentes especies de colémbolos pertenecientes a la familia Entomobryidae han sido descritas en una gran diversidad de hábitats y condiciones (Mari-Mutt 1979). Por otro lado, la familia Tullbergiidae, que únicamente se registró en la zona B, es mencionada como indicadora de impacto ambiental por su alta sensibilidad ante los cambios ecológicos del entorno (Palacios-Vargas y Castaño-Meneses 2015).

En el caso de la zona Z, hay un incremento en las abundancias, principalmente de Mesostigmata, seguido de los grupos Prostigmata, Oribatida y Hemiptera y llama la atención que es la única zona donde se detectó la presencia de Araneae. Sin embargo, Hymenoptera, Collembola, y Astigmata no fueron registrados (Fig. 2). Un factor que se ha encontrado que es determinante en la distribución de arañas en sitios alterados y conservados, es la presencia de hojarasca, que ofrece refugios y mayor disponibilidad de presas (Reta-Heredia *et al.* 2018), los sitios E, M y V, tienen poca cobertura vegetal, y el no haber encontrado arañas en el sitio B, quizás tenga relación con

que tienen más sitios para refugiarse, y por ello no cayeron en las muestras estudiadas. Por otra parte, en la zona V la predominancia del grupo Prostigmata respecto a los demás grupos es muy notoria. En esta zona se presentaron principalmente grupos que son herbívoros o pueden resultar plagas en cultivos agrícolas, lo que era de esperarse. Los Prostigmata podrían estar aprovechando estos recursos como posibles presas o bien también algunos de estos ácaros son también plagas de cultivos agrícolas. Respecto a la zona E, Prostigmata y Oribatida son los grupos más dominantes y para la zona M, el grupo predominante también es Prostigmata, aunque también está presente Collembola.

De acuerdo con los resultados, la zona M es particularmente interesante, ya que fue donde se presentó el mayor número de taxones, así como el mayor valor en el índice de diversidad de Shannon, alta densidad relativa, la presencia de Collembola, y el único ejemplar de Diplura, a pesar del bajo porcentaje de materia orgánica en esta zona y el grado de alteración. La presencia de Diplura también generó un aumento en su valor QBS-ar.

Debido a que los sitios de muestreo corresponden a zonas con disturbios recientes, en mayor o menor grado, los resultados obtenidos se pueden explicar desde dos procesos de colonización y su relación con las diversas estrategias de adaptación de los microartrópodos. La primera perspectiva se relaciona con la colonización de zonas de montaña, en donde después de un evento que modifica la cobertura vegetal, ciertos artrópodos son los primeros en llegar, a través de medios aéreos como la dispersión por viento o al utilizar estructuras de vuelo, que son características de etapas juveniles de algunos grupos (Edwards 1986), o bien como el caso de algunos depredadores como arañas, que pueden ser desplazadas también por el viento (Jiménez-Valverde *et al.* 2009). Lo anterior, sumado a su rápida capacidad de adaptación a los cambios ambientales, les permite habitar sitios con condiciones desfavorables, tales como superficies de flujos de escombros. La segunda perspectiva se relaciona con el establecimiento de comunidades de microartrópodos en zonas con un proceso de restauración. Pese a que las comunidades de artrópodos edáficos presentan disminución en su abundancia y riqueza, se ha registrado la importancia de establecer junto con las acciones de reforestación para la restauración, corredores ecológicos entre los sitios no degradados y los que han sido

restaurados para ayudar a la colonización de especies no voladoras (Zeppelini *et al.* 2009).

Es necesario subrayar que la zona M es una zona de depositación de restos de una mina pétreo y que, pese al recubrimiento, no hay una remoción de la cobertura vegetal original, ni de los horizontes orgánicos del suelo. Lo anterior, podría llegar a considerarse como un contacto entre las comunidades de artrópodos originarias de los horizontes orgánicos que fueron cubiertas con el material depositado y las comunidades que pueden estar llegando a través de medios aéreos. En esta especie de corredor ecológico vertical presente en la zona M, debemos también de señalar que posiblemente los valores altos de humedad y porosidad pueden estar formando microhábitats que coadyuvan en el establecimiento de colonizadores en la zona M (Razo-González *et al.* 2014).

La diversidad de artrópodos de cada zona de muestreo presentó una correlación discreta con los parámetros edáficos, aunque estadísticamente significativa. Esta relación es más apreciable entre la abundancia por muestra y los porcentajes de humedad y MO del suelo, siendo la zona B la que presenta los valores más altos de humedad, de MO y de abundancia de especies, aunado a que también es donde el índice QBS-ar es mayor, lo que indica que los artrópodos que ahí se encuentran, tienen mayor afinidad al medido edáfico. Estas condiciones edáficas pueden favorecer el incremento en la densidad de consumidores primarios (oribátidos y colémbolos) y, en consecuencia, el establecimiento de mayor número interacciones y redes tróficas (Vreeken-Buijs *et al.* 1998).

Conclusiones

El bosque conservado (zona B) presentó la mayor abundancia de individuos respecto a otras zonas, así como el valor más alto en el índice QBS-ar, y los grupos encontraron en esta área mayor afinidad por el medio edáfico, lo que sugiere que el índice QBS-ar puede ser un buen indicador de la conservación del suelo. Aunque es necesario realizar un muestreo en zonas con menores disturbios ambientales-temporales, los resultados de este trabajo representan una importante aproximación descriptiva de la zona ante las diferentes presiones y usos del suelo, y subraya la necesidad de realizar mayor investigación en la descripción de las comunidades de microartrópodos edáficos para integrarlas en estrategias y planes integrales a favor de la conservación y la rehabilitación encaminada a la restauración de zonas degradadas por minería pétreo. Considerando que el estudio tuvo la limitante de comparar la misma temporada en dos años distintos, también es necesario considerar las variaciones estacionales que pueden tener las comunidades de artrópodos edáficos.

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro agradecimiento al proyecto CONACyT PN 2015-1-218 “Estrategia de rehabilitación ecológica empleando biodiversidad nativa, en bosque templado afectado por actividad minera pétreo y agropecuaria”, por el financiamiento otorgado y la beca para el primer autor, y la beca posdoctoral a la Dra. Saraí Montes-Recinas, así como al Proyecto PAPIME PE201919 (DGAPA-UNAM) “Guía ilustrada de los artrópodos del suelo: morfología, biología y servicios ecosistémicos”, por el apoyo para el montaje e identificación

de los microartrópodos. Al M. en C. Jorge Escutia por su participación en la logística de campo. La estudiante de Ciencias de la Tierra Diana Guadalupe Hernández Rubio ayudó en la revisión de las muestras y la separación inicial de los organismos.

Las valiosas sugerencias de dos revisores anónimos permitieron una mejor integración del trabajo y análisis de los resultados.

Literatura citada

- ACEVEDO-SANDOVAL, O.; PRIETO-GARCÍA, F.; GORDILLO-MARTÍNEZ, A. 2008. Identificar las fracciones de aluminio en un Andosol del Estado de Hidalgo, México. *Revista de la Sociedad Geológica de España* 21 (3-4): 125-132. [https://sge.usal.es/archivos/REV/21\(3-4\)/art03.pdf](https://sge.usal.es/archivos/REV/21(3-4)/art03.pdf)
- ALFARO-REYNA, T.; RETANA, J.; ARASA-GISBERT, R.; VAYREDA, J.; MARTÍNEZ-VILALTA, J. 2020. Recent dynamics of pine and oak forests in Mexico. *European Journal of Forest Research* 139 (2): 179-187. <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01258-8>
- ATYEO, W. 1960. A revision of the mite family Bdellidae in North and Central America. *The University of Kansas Science Bulletin* 40: 345-499.
- BOJORGES BAÑOS, J. C. 2004. Riqueza de aves de la región nordeste de la Sierra Nevada, Estado de México. *Acta Zoológica Mexicana* 20 (3): 15-29. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0065-17372004000300002&script=sci_abstract&tlng=en
- BARRAGÁN, S. 2018. Sindicato manipulado desde GACM controló negocio multimillonario de aeropuerto en Texcoco. *Aristegui Noticias*. Disponible en: <https://aristeguinoticias.com/0912/mexico/sindicato-manipulado-desde-gacm-controlo-negocio-multimillonario-de-aeropuerto-en-texcoco/>
- BEHAN-PELLETIER, V. 1999. Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: role for bioindication. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74 (1-3): 411-423. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00046-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00046-8)
- CHALLENGER, A.; DIRZO, R. 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. pp. 37-73. En: DIRZO, R.; GONZÁLEZ, R.; MARCH, I. J. (Comps.). *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México, D. F. 821 p.
- D'AVINO, L. 2002. Esposizione del método di Vittorio Parisi per la valutazione della Qualità Biológica del Suolo (QBS) e proposta di standardizzazione delle procedure. CD ROM, Museo di Storia Naturale di Parma, Italia.
- EDWARDS, J. 1986. Arthropods as pioneers: recolonization of the blast zone on Mt. St. Helens. *Northwest Environmental Journal* 2 (1): 63-73. <https://andrewsforest.oregonstate.edu/sites/default/files/lter/pubs/pdf/pub30.pdf>
- EISENBEIS, G.; WICHARD W. 1987. Atlas on the Biology of Soil Arthropods. Springer. Berlín. 426 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-72634-7>
- ESTRADA-MARTÍNEZ, E.; GUZMÁN, G.; CIBRIÁN, D.; ORTEGA, R. 2009. Contribución al conocimiento etnomicológico de los hongos comestibles silvestres de mercados regionales y comunidades de la Sierra Nevada (México). *Interciencia* 34 (1): 25-33. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33934104.pdf>
- FRY, M. 2011. From crops to concrete: urbanization, deagriculturalization, and construction material mining in Central Mexico. *Annals of the Association of American Geographers* 101 (6): 1285-1306. <https://doi.org/10.1080/00045608.2011.584289>
- GAONA GARCIA, G.; RUIZ CANCINO, E.; PEÑA MARTÍNEZ, R. 2000. Los pulgones (Homoptera: Aphididae) y sus enemigos naturales en la naranja, *Citrus sinensis* (L.), en la zona centro de Tamaulipas, México. *Acta Zoológica Mexicana* 81: 1-12. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57508101>
- GARCÍA, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª Edición. Universidad Nacional Autónoma

- de México, Instituto de Geografía. México, D. F. 92 p. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>
- GARCÍA-TOVAR, G.; MARTÍNEZ-SERRANO, R. 2011. Geología y geoquímica de las lavas pleistocénicas del estratovolcán Telapón, Sierra Nevada, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 28 (2): 301-322. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcg/v28n2/v28n2a11.pdf>
- GARDI, C.; MENTA, C.; PARISI, V. 2002. Use of microarthropods as biological indicators of soil quality: the BSQ synthetic indicator. pp. 297-304. En: ZDRULI, P.; STEDUTO, P.; KAPUR, S. (Eds.). 7 International meeting on soil with Mediterranean type of climate. Bari: CIHEAM, Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens, 50. Valenno, Italia. 432 p. <http://om.ciheam.org/om/pdf/a50/04002044.pdf>
- GRANADOS, D.; LÓPEZ, G. F.; HERNÁNDEZ, M. A.; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, A. 2004. Ecología de la fauna silvestre de la Sierra Nevada y de la Sierra del Ajusco. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 10 (2): 111-117. <https://www.redalyc.org/pdf/629/62910207.pdf>
- HAMMER, Ø.; HARPER, D.; RYAN, P. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9 pp. Recuperado el 03/08/2020. Disponible en: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- IGLESIAS, R.; GUZMÁN, H. 2012. Nueva especie de *Epidamaeus* (Oribatei: Damaeidae) del estado de Guerrero, México. *Dugesiana* 19 (2): 99-104. <http://dugesiana.cucba.udg.mx/index.php/DUG/article/view/4063>
- INSTITUTO DE INFORMACIÓN E INVESTIGACIÓN GEOGRÁFICA, ESTADÍSTICA Y CATASTRAL DEL ESTADO DE MÉXICO (IGCEM). 2015. Plan de Desarrollo Municipal de Tepetlaoxtoc. http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/Tepetlaoxtoc/PMDU.pdf
- INSTITUTO DE FOMENTO MINERO Y ESTUDIOS GEOLÓGICOS DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO (IFOMEGEM). 2017. Directorio de minas en el Estado de México I, 2017. Disponible en: <http://ifomegem.edomex.gob.mx/sites/ifomegem.edomex.gob.mx/files/files/Inf%20Geologico%20Minera/Directorio%20minas2017.pdf>
- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y CONCRETO (IMCYC). 2017. La industria minera en México: diagnóstico y oportunidades. *Construcción y Tecnología en Concreto* 7 (1): 3-4. <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/abril2017/abril2017.pdf>
- ITURRONDOBEITIA, J. C.; SUBÍAS, L. S. 2015. Orden Oribatida (=Cryptostigmata). *Revista Ide@SEA* 16: 1-17. <http://bba.bioucm.es/cont/docs/541.pdf>
- JIMÉNEZ-VALVERDE, A., BASELGA, A., MELIC A., TXASKO, N. 2009. Climate and regional beta-diversity gradients in spiders: dispersal capacity has nothing to say?. *Insect Conservation and Diversity* 3 (1): 51-60. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2009.00067.x>
- KREMEN, C.; COLWELL, R. K.; ERWIN, T. L.; MURPHY, D. D.; NOSS, R. A.; SANJAYAN, M. A. 1993. Terrestrial arthropod assemblages: Their use in conservation planning. *Conservation Biology* 7 (4): 796-808. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1993.740796.x>
- KUROMIYA, A. 2006. Salir adelante: Conflicto, armonía y la práctica local del progreso en Santo Tomás Apipilhuasco, Estado de México. Tesis de Maestría en Antropología Social. Universidad Iberoamericana, México, D.F. 167 p. <http://ri.iberomex.mx/handle/iberomex/441>
- LUNA-REYES, M.; LLORENTE-BOUSQUETS, J. 2004. Papilionoidea (Lepidoptera: Rhopalocera) de la Sierra Nevada, México. *Acta Zoológica Mexicana* 20 (2): 79-102. <https://doi.org/10.21829/azm.2004.2022347>
- MADEJ, G.; BARCZYK, G.; GDAWIEC, M. 2011. Evaluation of soil biological quality index (QBS-ar): its sensitivity and usefulness in the post-mining chronosequence. *Preliminary research. Polish Journal of Environmental Studies* 20 (5): 1367-1372. https://rebus.us.edu.pl/bitstream/20.500.12128/6636/6/Barczyk_Evaluation_of_Soil_Biological_Quality_Index.pdf
- MALEQUE, M. A.; ISHII, H. T.; MAETO, K. 2006. The use of arthropods as indicators of ecosystem integrity in forest management. *Journal of Forestry* 104 (3): 113-117. <https://academic.oup.com/jof/article/104/3/113/4598700>
- MARI-MUTT, J. A. 1979. A revision of the genus *Dicranocentrus* Schött (Insecta: Collembola: Entomobryidae). *Agricultural Experiment Station of the University of Puerto Rico Bulletin*. 259.
- MARTÍNEZ GARCIA, J. A.; MENDOZA MARTÍNEZ, G. D.; PLATA P, F. X.; ROSAS ROSAS, O. C.; TARANGO ARÁMBULA, L. A.; BENDER, L. C. 2014. Use of prey by sympatric bobcat (*Lynx rufus*) and coyote (*Canis latrans*) in the Izta-Popo National Park, Mexico. *The Southwestern Naturalist* 59 (2): 157-162. <https://doi.org/10.1894/F02-TAL-56.1>
- MCGONIGLE, T. P. 1995. The significance of grazing of fungi in nutrient cycling. *Canadian Journal of Botany* 73 (S1): 1370-1376. <https://doi.org/10.1139/b95-399>
- MEDHI, J.; DUTTA, J.; KALITA, M. C. 2020. Biomonitoring ecosystem: Modelling relationship with arthropods. (Online First), *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.94313>
- MENTA, C.; REMELLI, S. 2020. Soil health and arthropods: From complex system to worthwhile investigation. *Insects* 11 (1): 54. <https://doi.org/10.3390/insects11010054>
- MENTA, C.; CONTI, F. D.; PINTO, S.; BODINI, A. 2018. Soil biological quality index (QBS-ar): 15 years of application at global scale. *Ecological Indicators* 85: 773-780. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.030>
- NEHER, D.; BARBERCHECK, M. 1998. Diversity and function of soil mesofauna. pp. 27-47. En: COLLINS, W. W.; QUALSET, C. O. (Eds.). *Biodiversity in Agroecosystems*. CRC Press, Boca Raton, CA. 252 p.
- PALACIOS-VARGAS, J. G. 2014. Biodiversidad de Collembola (Hexapoda: Entognatha) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 220-231. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532014000200026#:~:text=Seg%C3%BAAn%20Hopkin%20\(1998\)%20el%20total,tiene%20un%20conocimiento%20muy%20incipiente](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532014000200026#:~:text=Seg%C3%BAAn%20Hopkin%20(1998)%20el%20total,tiene%20un%20conocimiento%20muy%20incipiente)
- PALACIOS-VARGAS, J. G.; CASTAÑO-MENESES, G. 2015. Los colémbolos (Arthropoda: Hexapoda) como bioindicadores. pp. 291-307. En: González, C. Z.; Vallarino, A.; Pérez, J. C.; Low, A. M. (Eds.). *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental. El colegio de la Frontera Sur-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México*. 779 p. https://www.researchgate.net/publication/283571534_Collembola_as_bioindicators
- PALACIOS-VARGAS, J. G.; MEJÍA-RECAMIÉR, B. E. 2007. Técnicas de colecta, preservación y montaje de microartrópodos. *Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.* 74 p. <https://tienda.fcien.unam.mx/es/inicio/177-tecnicas-de-colecta-montaje-y-preservacion-de-microartrópodos-edaficos-9789703243167.html>
- PARISI, V.; MENTA, C.; GARDI, C.; JACOMINI, C.; MOZZANICA, E. 2005. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105 (1-2): 323-333. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.02.002>
- R CORE TEAM. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Recuperado el 03/08/2020. Disponible en: <http://www.R-project.org/>
- RAZO-GONZÁLEZ, M.; CASTAÑO-MENESES, G.; CALLEJAS-CHAVERO, A.; PÉREZ-VELÁZQUEZ, M.; PALACIOS-VARGAS, J. G. 2014. Temporal variations of soil arthropods community structure in El Pedregal de San Ángel Ecological Reserve, Mexico City, Mexico. *Applied Soil Ecology* 83: 88-94. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.02.007>

- RETA-HEREDIA, I.; JURADO, E.; PANDO-MORENO, M.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, H.; MORA-OLIVO, A.; ESTRADA-CASTILLÓN, E. 2018. Diversity of spiders in forest ecosystems as elevation and disturbance indicators. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9 (50): 21. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.2255>
- RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, C.; ARBELO, D.; GUERRA, J.; MORA, J. 2002. Erosión hídrica en andosoles de las Islas Canarias. *Edafología* 9 (1): 23-30. <http://edafologia.net/revista/tomo9a/a23tex.pdf>
- ROMEU, E. 1995. Los pinos mexicanos, récord mundial de biodiversidad. *Biodiversitas* 2: 11-15. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/1388.pdf>
- SANCHEZ PELAEZ, S.; COURTNEY, R.; SCHMIDT, O. 2021. Chapter 4. Soil meso and macrofauna indicators of restoration success in rehabilitated mine sites. pp. 67-94. En: PRASAD, M. N. V. (Ed.). *Handbook of Ecological and Ecosystem Engineering*. Jhon Wiley & Sons, Inc. 544 p. <https://doi.org/10.1002/9781119678595.ch4>
- SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, A.; LÓPEZ-MATA, A. 2005. Plant species richness and diversity along an altitudinal gradient in the Sierra Nevada, Mexico. *Diversity and Distributions* 11 (6): 567-575. <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2005.00186.x>
- SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, S.; GALINDO-GONZÁLEZ, J. 2008. *Ecología, Manejo y Conservación de los Ecosistemas de Montaña en México*. Grupo Mundi-Prensa, México. 393 p.
- SANTIBAÑEZ-ANDRADE, G.; CASTILLO-ARGÜERO, S.; MARTÍNEZ-OREA, Y. 2015. Evaluación del estado de conservación de la vegetación de los bosques de una cuenca heterogénea del Valle de México. *Bosque (Valdivia)* 36 (2): 299-313 <https://doi.org/10.4067/s0717-92002015000200015>
- SECRETARÍA DE ECONOMÍA. 2015. Estudio de la cadena productiva de los materiales pétreos. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/51927/cp_materiales_petros.pdf
- SEMARNAT. 2012. Informe de la situación del medio ambiente en México 2012. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx>
- SKVARLA, M.; FISHER, R.; DOWLING, A. 2014. A review of Cunaxidae (Acariformes, Trombidiformes): histories and diagnoses of subfamilies and genera, keys to World species, and some new locality records. *ZooKeys* 418: 1-103. <https://doi.org/10.3897/zookeys.418.7629>
- SPILLER, M. S.; SPILLER, C.; GARLET, J. 2017. Arthropod bioindicators of environmental quality. *Revista Agro@mbiente Online* 12 (1): 41-57. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v12i1.4516>
- SOTELO RUIZ, E. D.; GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, A.; CRUZ BELLO, G.; MORENO SÁNCHEZ, F.; CRUZ CÁRDENAS, G. 2011. Los suelos del Estado de México y su actualización a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo 2006. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2 (8): 71-84. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i8.538>
- SUÁREZ-MOTA, M. E.; TÉLLEX-VALDÉS, O.; LIRA-SAADE, R.; VILLASEÑOR, J. L. 2013. Una regionalización de la Faja Volcánica Transmexicana con base en su riqueza florística. *Botanical Sciences* 91 (1): 93-105. <https://doi.org/10.17129/botsci.405>
- TOLEDO, V. M.; ORDÓÑEZ, M. J. H. 1998. El panorama de la biodiversidad de México: una revisión de los hábitats terrestres. pp. 273-757. En: RAMAMOORTHY, T. P.; BYE, R.; LOT, A.; FA, J. (Eds.). *Diversidad Biológica de México: Orígenes y Distribución*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 812 p.
- VALENCIA-A., S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Botanical Sciences* (75): 33-53. <https://doi.org/10.17129/botsci.1692>
- VAN REEUWIJK, L. 2002. Procedures for soil analysis. 6a ed. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen, Holanda. 119 p. https://www.isric.org/sites/default/files/ISRIC_TechPap09.pdf
- VÁZQUEZ-ROJAS, I.; LÓPEZ-CAMPOS, M. G. JIMÉNEZ-JIMÉNEZ, M. L.; PALACIOS, C. 2015. Nuevo registro del género *Dinothrombium* (Acari: Parasitengona: Trombidiidae) como parásito de *Syspira longipes* (Araneae: Mitugidae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86 (1): 265-268. <https://www.redalyc.org/journal/425/42538797023/html/>
- VILLALOBOS, A. 2017. El hundimiento del nuevo aeropuerto, otro negocio multimillonario. Proceso. 2131. Disponible en: <https://www.proceso.com.mx/reportajes/2017/9/5/el-hundimiento-del-nuevo-aeropuerto-otro-negocio-multimillonario-190804.html>
- VREEKEN-BUIJS, M.; HASSINK, J.; BRUSSAARD L. 1998. Relationships of soil microarthropod biomass with organic matter and pore size distribution in soils under different land use. *Soil Biology and Biochemistry* 30 (1): 97-106. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00064-3](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00064-3)
- ZEPPELINI, D.; CALVACANTE, B.; CREÃO-DUARTE, A.; MEDINA, M. 2009. Collembola as bioindicators of restoration in mine sand dunes of Northeastern Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 18: 1161-1170. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9505-2>

Origen y financiación

El presente trabajo derivó de la línea de investigación Microartrópodos del suelo que se desarrolla en el Laboratorio de Ecología de Artrópodos en Ambientes Extremos de la Universidad Nacional Autónoma de México en la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, de la Facultad de Ciencias, Campus Juriquilla. El apoyo financiero para este estudio fue otorgado por el proyecto CONACYT PN 2015-1-218 y Proyecto PAPIME PE201919 (DGAPA-UNAM).

Contribución de los autores

El primer autor desarrolló los objetivos de la investigación, participó en el trabajo de campo, separación del material, análisis de suelo y contribuyó en el análisis del documento y en la escritura del artículo conjuntamente con la autora de correspondencia.

El tercer autor planteó los objetivos, contribuyó con la idea original, coordinó la fase de investigación de campo, contribuyó en el análisis de datos y la escritura del artículo.

El cuarto autor participó en la separación de los ejemplares, así como en el análisis de las muestras de suelo.

La quinta autora contribuyó en la separación de muestras y montaje de ejemplares,

La sexta autora participó en el trabajo de campo e identificación de ejemplares.

La séptima autora planteó los objetivos de la investigación, consiguió la financiación y participó en la escritura del artículo.

La octava autora contribuyó en la idea original, consiguió la financiación y participó en la escritura del artículo.

La autora de Correspondencia contribuyó con la idea original, realizó la identificación de los especímenes, contribuyó al análisis de la información y colecta y preservación de los organismos, así como la escritura del artículo en conjunto los demás autores.

Conflictos de interés

Los autores que participaron en esta publicación hicieron contribuciones significativas al manuscrito; todos los autores están de acuerdo y expresan que no hay conflictos de intereses en este estudio.