



Plaguicidas organoclorados: Respuesta de la macrofauna en ranchos de Xico, Veracruz

Organochlorine Pesticides: Response of Macrofauna on Ranches in Xico, Veracruz

Carolina Valdespino <https://orcid.org/0000-0002-5688-6862>

Lucrecia Arellano* <https://orcid.org/0000-0001-6364-2447>

Isabelle Barois <https://orcid.org/0000-0003-3723-5471>

Jaime Rendón von Osten <https://orcid.org/0000-0002-3585-0211>

Instituto de Ecología, A.C. Red de Ecoetología. Carretera Antigua a Coatepec no 351.
El Haya. Xalapa, Veracruz, México. CP 91073.

*Autor de correspondencia: lucrecia.arellano@inecol.mx

Recibido: 23 de octubre de 2023

Aceptado: 20 noviembre de 2023

Publicado: 15 febrero de 2024

Resumen

Objetivo. Determinar la presencia y concentraciones de plaguicidas organoclorados en el suelo de ranchos lecheros con producción rústica y tecnificada y analizar la presencia y abundancia de taxones de la macrofauna del suelo y su relación con las concentraciones de plaguicidas organoclorados del suelo. **Materiales y métodos.** Se caracterizaron zonas dentro de cada rancho, de acuerdo con las actividades que los propietarios llevan a cabo en cada uno y se efectuaron determinaciones de concentración de familias de plaguicidas organoclorados (Σ DDT, Σ HCH, Σ Heptacloro, Σ Endosulfan, Σ Clordano, Σ Drines) y del número de individuos de los grupos taxonómicos de la macrofauna del suelo. **Resultados.** Se encontró una relación negativa, aunque no sig-

Abstract

Objective. Determine the presence and concentrations of organochlorine pesticides in the soil of dairy farms with rustic and technified production and to analyze the presence and abundance of soil macrofaunal taxa and their relationship with the concentrations of organochlorine pesticides in the soil. **Materials and methods.** Zones within each ranch were characterized according to the activities carried out by the owners on each ranch and determinations of concentration of organochlorine pesticide families (Σ DDT, Σ HCH, Σ Heptachlor, Σ Endosulfan, Σ Chlordane, Σ Drins) and the number of individuals of the taxonomic groups of the macrofauna were evaluated. **Results.** A negative, although not significant, relationship was found between measured concentrations and number of organisms. Rank

nificativa, entre las concentraciones medidas y el número de organismos. Se reportaron las curvas de rango abundancia de los grupos evaluados para cada rancho, analizando la importancia relativa de los taxones encontrados. En algunos ranchos, los potreros tienen cantidades de organoclorados por debajo del límite de detección de los instrumentos utilizados en el laboratorio, asegurando una producción de leche libre de estos plaguicidas. **Conclusiones.** Los plaguicidas organoclorados pueden permanecer largo tiempo acumulados en el suelo, por lo que es necesario usar otras formas para la solución de problemas como las plagas y plantas no consumidas por el ganado, como el pastoreo racional o el establecimiento de sistemas silvopastoriles.

Palabras clave

Agroquímicos, escarabajos estercoleros, lombrices de tierra, pastizales, suelo.

abundance curves of the evaluated groups were reported for each ranch, analyzing the relative importance of the taxa found. In some ranches, the pastures have amounts of organochlorines below the detection limit of the instruments used in the laboratory, assuring a milk production free of these pesticides. **Conclusions.** Organochlorine pesticides can remain accumulated in the soil for a long time. It would be necessary to use rational grazing or the establishment of silvopastoral systems to solve problems such as pests and eliminate plants not consumed by livestock.

Keywords

Agrochemicals, dung beetles, earth worms, pastures, soil.

Introducción

El suelo es un recurso natural fundamental con influencia sobre el ambiente y la economía local, regional y mundial; de él dependen, en gran medida, la supervivencia y el bienestar de la población actual y de las generaciones futuras. Conservar sus propiedades es una prioridad en los sistemas de producción ganadera, por las implicaciones que la condición del suelo tiene en la productividad en los agostaderos; sin embargo, aunque hay productores que están realizando ganadería regenerativa o están en la transición a la mejora de la actividad, aún existen problemas importantes por el uso de prácticas de manejo inadecuadas (labranza, sobrepastoreo, uso inadecuado de fertilizantes, deposición y acumulación de residuos orgánicos, aguas residuales, fármacos y agroquímicos) que no permiten tal conservación.

Los plaguicidas organoclorados (POC) son compuestos químicos que proporcionan grandes beneficios por su aplicación sobre sistemas agrícolas y sobre el ganado para eliminar patógenos, así como para la erradicación de vectores de enfermedades como la malaria y el paludismo, causando, entre los años 1940-1970, impacto positivo en el desarrollo de la población humana (Choudhary *et al.*, 2018); sin embargo, su efecto nocivo sobre poblaciones de fauna silvestre se reportó hacia los años de 1950, y desde finales de esa década los hallazgos indican que los POC afectan funciones reproductivas en vertebrados, por lo que son conocidos como desorganizadores endocrinos (Liu *et al.*, 2020). Además, por sus características químicas, los POC (que son hidrófobos y tienen estabilidad a reacciones) permanecen en el ambiente sin degradarse, por períodos que varían desde unos meses hasta décadas, dependiendo del compuesto del que se trate (Mlynarczuk *et al.*, 2020) y generando efectos nocivos, no sólo sobre la fauna silvestre sino sobre los organismos del suelo. Al ser ingeridos por otros organismos, los POC entran a formar

parte de las cadenas alimenticias (Schanzer *et al.*, 2022), como se reportó recientemente en la zona de estudio (Valdespino *et al.*, 2017; 2022), y su efecto en cascada cambia el tamaño poblacional de especies que se alimentan de ellos y altera funciones como la remoción, el reciclaje y la descomposición de la materia orgánica (Pinheiro, 2015).

Los macroinvertebrados edáficos viven y se alimentan en el suelo, facilitando los procesos de descomposición, humificación y mineralización de la materia orgánica; son parte importante para la descompactación del suelo (Blanchart *et al.*, 1999), pues contribuyen a mejorar su infiltración, estructura y porosidad (Subler y Kirsch, 1998: lombrices de tierra), e incorporan la materia orgánica y reducen las pérdidas de nitrógeno (Nichols *et al.*, 2008: escarabajos estercoleros). Además, contribuyen en la desintegración de la hojarasca e influyen en la aireación del suelo, por ejemplo, termitas y hormigas (Lobry de Bruyn, 1999). Por su importancia funcional y alta diversificación, la macrofauna edáfica puede ser utilizada como indicador de las condiciones del suelo (Pelosi *et al.*, 2014).

Una revisión reciente sobre las causas de la disminución de los insectos (Sánchez-Bayo y Wyckhuys, 2019) indica que, después de la conversión del hábitat para nuevos usos del suelo, la aplicación de plaguicidas es la segunda amenaza para la persistencia de entomofauna. Veracruz es reportado como el primer estado productor de ganado en México: 4 571 170 cabezas, 13.5% del hato nacional (ENA, 2019), y existen reportes previos de la presencia de POC en productos agrícolas y lácteos (Waliszewski, 2008). De este modo, en este trabajo se buscó determinar la presencia y concentraciones de POC en el suelo de ranchos lecheros en la parte central de dicho estado, con producción rústica y tecnificada; además de determinar la presencia y abundancia de algunos grupos de la macrofauna y analizar su relación con las concentraciones de POC del suelo.

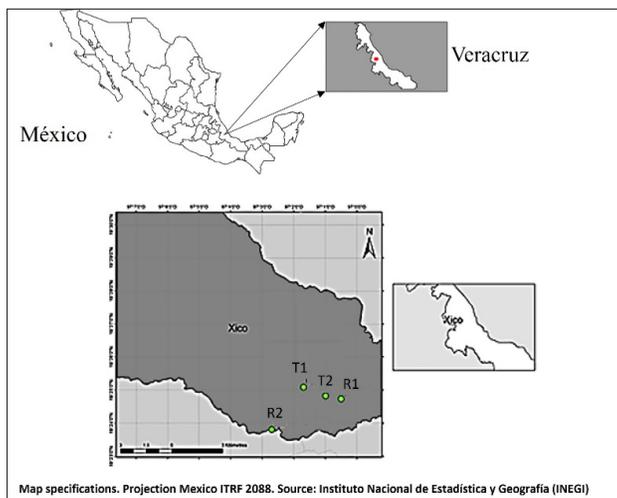
Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el centro del estado de Veracruz, en el municipio de Xico (figura 1) ubicado a 1 320 msnm. Pertenece a la cuenca del río La Antigua y tiene una superficie de 179.64 km². Su clima es templado-frío, su temperatura anual promedio es de 18 °C y su precipitación anual oscila entre 1 500 y 2 000 mm. Su suelo es de tipo andosol y su vegetación original era el bosque de niebla que sufre grandes pérdidas en su extensión por cambios de uso de suelo para actividades agropecuarias (café y ganadería) (Williams-Linera *et al.*, 2002), así como para urbanización. Los potreros ocupan alrededor del 38% de la superficie total del municipio y hay cerca de 3 500 cabezas vacunas (Cruz-Rosales *et al.*, 2016).

En el municipio de Xico hay 329 unidades de producción pecuaria (UPP) y en su zona centro (1 285 y 1 800 msnm) existen 35 ranchos ganaderos lecheros, que sumados ocupan 618 ha. Una descripción detallada de las características de la ganadería lechera en el centro de Xico puede consultarse en Cruz-Rosales *et al.* (2016). Dentro del grupo de propietarios interesados en hacer manejo más sustentable en su rancho, efectuando actividades de conservación y manejo de sus suelos, se seleccionaron cuatro ranchos (cuadro 1): dos de ellos corresponden a ranchos tecnificados (T) y dos a ranchos rústicos (R). Los ranchos están separados $2\ 113.1 \pm 1\ 324.11$ m entre sí.

Figura 1

Ubicación de los ranchos en los que se efectuó esta investigación en el municipio de Xico, estado de Veracruz, México



Cuadro 1

Características de los ranchos tecnificados (T) y rústicos (R) de la zona centro de Xico, Veracruz

Características	Ranchos tecnificados	Ranchos rústicos
Equipos de apoyo	6 a 8	1 o 2
Cabezas vacunas totales (número)	30 a 50	< 25
Superficie con pastizales (ha)	6 a 20	2 a 12
Divisiones (número)	10 a 30	0 a 10
Cerco eléctrico	Sí	casi todos
Cercas vivas	No	Sí
Producción de leche (litros/día)	12 a 18	< 12
Destino de sus productos	Nestlé®	Queseros, fabricantes de yogurt o venta directa a consumidores finales
Aplicaciones de herbicidas/año	1	0
Aplicaciones de desparasitantes/año	1 a 4	0 y 2
Aplicaciones de insecticidas	Cada 20 o 30 días	< 10 veces al año
Tipo de fertilizante	Estiércol, químicos	Estiércol
Quemas	Escasas	0
Árboles en los potreros (número)	1-2	> 2
Residencia	Xico o Xalapa	Xico o en su rancho

Fuente: Cruz-Rosales *et al.* (2016).

Medición de plaguicidas

Cada rancho se subdividió en 3-4 zonas, según el manejo que los propietarios llevan a cabo, para un total de 14 zonas de acuerdo con el cuadro 3. En cada una de ellas se evaluó la cantidad de POC a partir de muestras del suelo de los 10 cm superiores, se utilizó un nucleador de 20 cm de diámetro para extraer 99 cm³ de muestra de suelo en cruz, es decir, en cinco puntos ubicados dentro de cada zona, a modo de cubrir sus puntos extremos y un punto central. Las muestras se mezclaron y se guardaron 200 g de la muestra compuesta a partir de las cinco tomas, descartándose el resto. Las 14 muestras compuestas se mantuvieron a temperatura baja (4 °C) durante el día de colecta en una hielera con geles refrigerantes.

Las muestras se guardaron en un ultracongelador en el Laboratorio de Biología de la Reproducción del Instituto de Ecología, A.C. (Inecol) hasta su procesamiento. Cada muestra de suelo se procesó según la metodología modificada descrita en González-Jauregui *et al.* (2014). El proceso de extracción de los plaguicidas, en vez de hacerse con el equipo Soxhlet, se hizo con un horno de extracción MARs (CEM laboratories), después cada muestra se purificó y se cuantificó en un cromatógrafo de gases (Varian 3800). Se usó el estándar EPA CLP Organochlorine Pesticide Mx (de Sigma-Aldrich Supelco) que permite la medición de n-hexano, tolueno, clordano, epóxido de heptacloro, heptacloro, sulfato de endosulfan, β -endosulfan, endrin, clordano, (1 α ,2 α ,3 β ,4 α ,5 β ,6 β)-1,2,3,4,5,6-HCH, 2,2-bis(4-clorofenil)-1,1-dicloroetano, γ -1,2,3,4,5,6-hexaclorociclohexano, (1 α ,2 β ,3 α ,4 β ,5 α ,6 β)-1,2,3,4,5,6-HCH, dieldrin, aldrin, 1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)etano, (1 α ,2 α ,3 α ,4 β ,5 α ,6 β)-1,2,3,4,5,6-HCH, 2,2-bis(p-clorofenil)-1,1-dicloroetileno, isómero α endosulfan y endrin cetona. Para cada compuesto, los límites de detección fueron 10 ng/mL para α , δ y γ HCH, heptacloro, aldrin, epóxido de heptacloro; 50 ng/mL para β HCH, endosulfan, α clordano, p,p'DDE, dieldrin, endrin, endrin cetona; 100 ng/mL para endosulfan II, p, p'DDD, p,p'DDT y 150 ng/mL para aldehído de endrin y sulfato de endosulfan. Los resultados se reportan en partes por millón (ppm), como la sumatoria de los compuestos de la misma familia: Σ DDT, Σ Drines, Σ Clordano, Σ HCH, Σ Heptacloro y Σ Endosulfan.

Macrofauna del suelo

Se realizaron muestreos de macrofauna (organismos > 2 mm y < 20 cm) en el pastizal y en el área aledaña al establo de los cuatro ranchos (donde se depositan muchos de los residuos de estiércol, orina y paja). En el pastizal se tomaron cinco muestras en cruz separadas de 50 m entre sí. En el área del establo se tomaron tres muestras en línea, separadas 5 m entre sí. La macrofauna se extrajo de un monolito de suelo de 25 x 25 x 30 cm de profundidad mediante la metodología del Programa Internacional de Biología y Fertilidad de Suelo Tropical (Anderson e Ingram, 1993; Moreira *et al.*, 2008). El monolito se desmoronó manualmente y se colectaron todos los organismos pertenecientes a la macrofauna. Se depositaron en frascos con alcohol al 70%, que se llevaron al laboratorio y se identificaron a nivel de orden o clase. Las larvas fueron colocadas en frascos

con líquido pampel (Morón y Terrón, 1988). Todos los organismos se contaron para estimar su densidad (individuos/m²), y las densidades que se presentan son el promedio de las ocho muestras colectadas.

En cada rancho, en los potreros donde se revisaron los monolitos, también se colectaron escarabajos estercoleros. Se delimitó una hectárea donde se colocaron nueve trampas de caída, tres de ellas cebadas con estiércol vacuno, tres con heces humanas y tres con calamar, con una separación de 50 m entre ellas, y se dejaron expuestas en campo durante 48 h. Después, los individuos se colectaron, se registraron, se lavaron y se identificaron a nivel de especie. La metodología fue diferente de la usada para otros grupos de macrofauna por la dieta de los organismos, aunque las densidades se presentan en la misma escala que para los demás grupos de macrofauna. Para la caracterización de los suelos de los ranchos se tomaron submuestras de suelo en cruz/zona para entregar una muestra compuesta de 500 g en el laboratorio y obtener su pH, % carbono total (CT) y % nitrógeno total (NT).

Análisis de datos

Debido a que uno de los sitios rústicos no reportó químicos (POC) en el suelo, se llevaron a cabo predicciones de los valores en este sitio utilizando métodos no paramétricos y el límite de detección correspondiente a cada compuesto. Para la comparación de las concentraciones de plaguicidas entre ranchos (tecnificados y rústicos) se usaron modelos lineales generalizados, debido a la distribución de los datos. Se utilizaron análisis de correlación de Spearman para conocer si existía relación entre la densidad de individuos de cada grupo taxonómico y las concentraciones de los plaguicidas organoclorados persistentes. Todos los análisis se efectuaron usando el programa R-Studio 4.2.2 (R-Development Core Team, 2021). Además, se elaboraron gráficos de rango abundancia con base en la densidad de los diferentes grupos de macrofauna, para conocer sus relaciones de dominancia diversidad en los potreros estudiados.

Resultados

Comparación de plaguicidas en los ranchos

El cuadro 2 resume algunas de las características de los suelos de cada rancho y en el cuadro 3 se muestra el número de plaguicidas encontrado en cada una de las zonas en que se dividieron los ranchos muestreados. No se encontraron zonas de uso comparable en todos los ranchos y ninguno de los ranchos presentó plaguicidas en todas las zonas muestreadas.

Cuadro 2

Características del suelo y concentraciones de plaguicidas de cada rancho muestreado en Xico, Veracruz, México

Ranchos	pH	C (%)	N (%)	ΣDrines (ppm)	ΣHCH (ppm)	ΣEndosulfan (ppm)	ΣDDT (ppm)
Tecnificados							
T1	4.8	11	0.8	1.151	0.065	0.510	0.117
T2	5.0	8	0.7	11.019	0.535	5.857	4.471
Rústicos							
R1	5.0	7	0.6	0.921	2.580	1.550	1.301
R2*	5.0	3	0.3	0.060	0.065	0.055	0.060

*Las concentraciones de plaguicidas organoclorados en R1 corresponden a predicciones de concentraciones hechas por métodos no paramétricos con fines comparativos (T= ranchos tecnificados; R= ranchos rústicos).

Cuadro 3

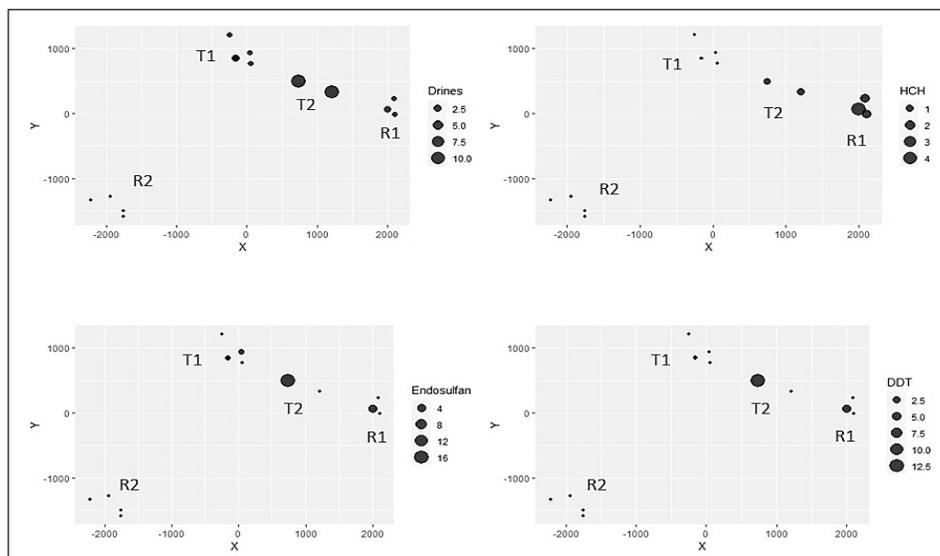
Plaguicidas organoclorados medidos en cada una de las zonas consideradas dentro de cada rancho estudiado en Xico, Veracruz, México

Tipo rancho	Rancho	Zona	Plaguicidas (número)
Rústico	1	Potrero uno	0
		Cafetal uno	0
		Potrero dos	4 (Drines, DDT, Endosulfan, HCH)
	2	Potrero plano	0
		Potrero pendiente	0
		Río	0
Tecnificado	1	Árboles río	0
		Bosque uno	0
		Bosque dos	1 (Endosulfan)
	2	Potrero uno	0
		Potrero dos	2 (Drines, DDT)
		Ribera uno	6 (Endosulfan, DDT, Clordano, HCH, Heptacloro)
		Potrero dos	2 (Endosulfan, Drines)

En la figura 2 se muestra la distribución espacial de las concentraciones de Σ Drines, Σ HCH, Σ Endosulfan y Σ DDT dentro de cada rancho. Los Σ Clordanos, Σ Metoxicloros y Σ Heptacloros se registraron únicamente en una de las áreas de uno de los ranchos tecnificados, por lo que no se muestran gráficamente

Figura 2

Representación espacial de las concentraciones de plaguicidas organoclorados cuantificados en cada una de las zonas de los ranchos muestreados en Xico, Veracruz, México



El diámetro de los círculos (ppm del compuesto) corresponde al rango de escala al margen de la figura para Σ Drines, Σ HCH, Σ Endosulfan y Σ DDT. Ejes de las figuras: X= Longitud geográfica normalizada; Y = Latitud geográfica normalizada. Tipos de ranchos: R=Rústico; T=Tecnificado.

En el cuadro 4, se resumen las comparaciones de concentraciones de cada plaguicida en los diferentes ranchos. El análisis estadístico no muestra diferencias significativas entre los dos tipos de ranchos (T o R), pero sí entre zonas dentro del mismo rancho, de acuerdo con el cuadro 3.

Diversidad de macrofauna edáfica

En el cuadro 5 se reporta la densidad promedio de individuos de los ocho diferentes grupos taxonómicos de la macrofauna cuantificados para cada rancho. El T1 tuvo la mayor densidad y los ranchos rústicos tuvieron densidades similares. El grupo dominante, en general, fue el de las lombrices de tierra (*Oligochaeta*), también hubo numerosas larvas y huevos de diferentes taxa (denominados estados inmaduros), los coleópteros también fueron un grupo bien representado, tanto por los coprófagos como por otros grupos rizófagos, saprófagos, etcétera. Los isópteros y los nemátodos fueron los taxa menos abundantes.

Cuadro 4

Comparación de concentraciones de organoclorados registrados en los ranchos tecnificados (T) y rústicos (R) en la región de Xico, Veracruz, México

Plaguicida-Rancho	Devianza*	t	P
∑ Drines	187.95	1.875	0.085
R1		0.418	0.685
T1		0.572	0.580
T2		3.666	0.004 **
∑ HCH	19.70	-1.377	0.194
R1		4.326	0.002 **
T1		0.000	1.000
T2		0.808	0.438
∑ Endosulfan	263.85	0.866	0.403
R1		0.443	0.667
T1		0.146	0.887
T2		1.718	0.117
∑ DDT	167.90	0.710	0.491
R1		0.458	0.657
T1		0.023	0.982
T2		1.627	0.135

*Devianza= medida de la bondad de ajuste de los modelos lineales generalizados.

Cuadro 5

Densidad de individuos de cada grupo taxonómico (ind/m²) en cada uno de los ranchos muestreadas en la región de Xico Veracruz, México

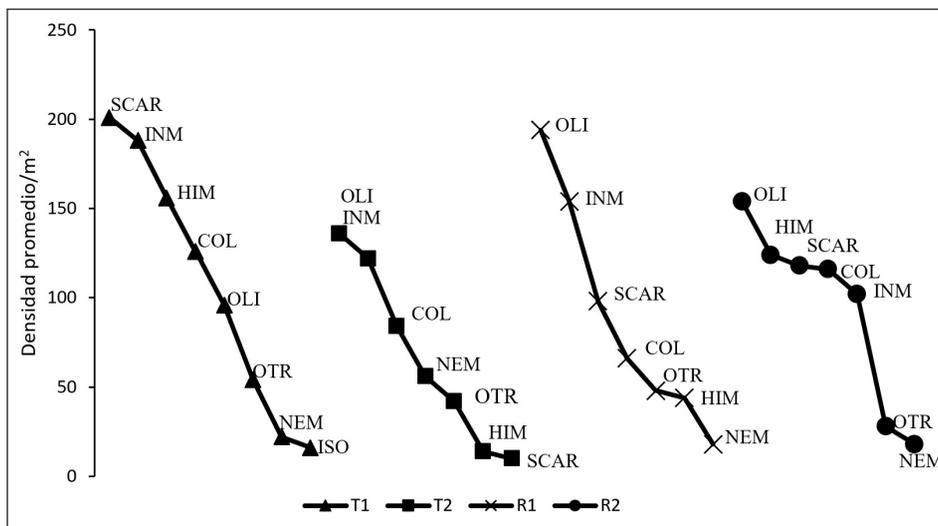
ID	Grupo Taxonómico	R1	R2	T1	T2	Total
OLI	Oligochaeta	194	154	96	122	566
INM	Inmaduros	154	102	188	136	580
ISO	Isoptera	0	0	16	0	16
COL	Coleoptera monolitos	66	116	126	84	392
NEM	Nematoda	18	18	22	56	114
HIM	Himenoptera	44	124	156	14	338
OTR	Otros	48	28	54	42	172
SCAR	Escarabajos estercoleros	82	109	146	9	346
	Total	606	651	804	463	2524

R=Rústico, T=Tecnificado.

La figura 3 muestra las relaciones de abundancia (representados como densidades) de los taxa de la macrofauna para cada rancho. En los ranchos rústicos el taxon dominante fue el de las lombrices (OLI) y en el T2 las lombrices fueron las segundas más abundantes (después de los estados inmaduros). En el T1, donde se colectaron más individuos, el grupo dominante fue el de los escarabajos (SCAR) seguido por los estados inmaduros (INM) y por las hormigas (HIM). En los escarabajos estercoleros las especies más abundantes fueron *Onthophagus incensus* (Say, 1835) y *Copris incertus* (Say, 1835). En T2 sólo se colectaron nueve escarabajos estercoleros (SCAR).

Figura 3

Curvas de rango abundancia de los grupos taxonómicos de la macrofauna registrados en el suelo de los ranchos estudiados



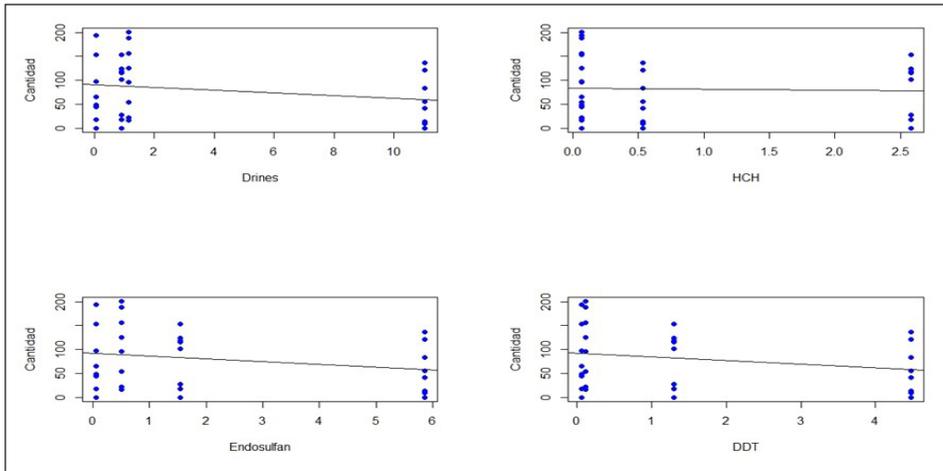
T1 y T2= Técnicos; R1 y R2= Rústicos (en la región de Xico Veracruz, México); OLI= Oligochaeta, INM= Inmaduros; ISO= Isoptera; COL= Coleoptera monolitos; NEM= Nematoda; HIM= Himenoptera; OTR= Otros; SCAR= Escarabajos estercoleros.

Relación OCPs-organismos del suelo

En la figura 4 se muestran las correlaciones entre los grupos de organismos del suelo y las concentraciones de plaguicidas organoclorados registradas en cada rancho; aun cuando la pendiente es negativa, en ninguno de los casos la relación es significativa.

Figura 4

Correlación de las concentraciones de plaguicidas organoclorados cuantificadas Σ Drines, Σ HCH, Σ Endosulfan y Σ DDT en ppm, con la densidad de organismos de cada grupo taxonómico en el suelo de Xico, Veracruz, México



Cuadro 6

Valores de correlación de las concentraciones de compuestos organoclorados y la densidad de todos los taxa evaluados

Compuesto	Correlación	P
Σ Drines	R = -0.2	0.92
Σ HCH	R = 0	1
Σ Endosulfan	R = -0.4	0.75
Σ DDT	R = -0.4	1

Discusión

En términos de la comparación entre los dos tipos de ranchos, en este estudio se encontraron diferencias en el número de POC en el suelo de los ranchos tecnificados (seis registrados) con relación a los ranchos rústicos (cuatro) sugiriendo menor variedad de estos compuestos en ranchos con producción rústica en Xico, Veracruz. El clordano y heptacloro se registraron únicamente en uno de los ranchos tecnificados, particularmente en la zona correspondiente a vegetación de ribera. En un estudio previo, efectuado en la zona, se registraron ambos POC en tejidos de murciélagos *Sturnira hondurensis* capturados en bosques de ribera (Valdespino y Sosa, 2017), lo que sugeriría una asociación con este tipo de vegetación en la región. La proporción de murciélagos con bioacumulación de estos dos compuestos fue baja (18-27%), de manera similar a la baja presencia en los suelos de los ranchos (7.1%).

Cruz-Rosales *et al.* (2016) encontraron que en Xico se usan para control de mosca y garrapata los plaguicidas organofosforados (43%), fenilpirazoles y piretroides (20%), y en menor medida amidinas (7%) y productos orgánicos (3%); y como desparasitantes lactonas macrocíclicas (17%, ivermectina principalmente), benzimidazoles (48%) e imidazotiazoles (20%). Seguramente, existe un cambio en la cantidad que se aplica de estos compuestos en las propiedades cada año. Hace 7 años se habrá aplicado una cantidad distinta de la que se usará este año. Los POC no aparecen enlistados dentro de los que utilizaron en ese tiempo los propietarios de los ranchos estudiados; sin embargo, en el presente trabajo se encontró la presencia de plaguicidas organoclorados en esa misma zona, confirmando su persistencia. El *Catálogo Oficial de Plaguicidas*, en su versión actualizada (2020), mantiene el estatus de prohibidos para los organoclorados aldrín, dieldrín y endrín, sin mencionar los de carácter restringido desde hace 25 años: lindano, DDT y endosulfán (Ponce-Vélez y Botello, 2018).

Las concentraciones máximas registradas de Σ Endosulfan (46 ppm) se encuentran dentro del mismo orden de magnitud o un orden menor de las registradas en otras regiones de México: 16.7 ppm en Chiapas (García-Hernández *et al.*, 2021), y de Latinoamérica: 90-750 ppm en Brasil, por citar un ejemplo (Sifuentes-Dos Santos *et al.*, 2015); pero son mayores que las registradas en el Valle de Mancadero, Baja California (0.008 ppm, Zúñiga-Violante *et al.*, 2015), y en suelos de cultivo de soya en Argentina (0.55 ppm, Lupi *et al.*, 2016). Las mayores concentraciones de Σ DDT (13 ppm) registradas en alguno de los sitios muestreados son varios órdenes de magnitud mayores que las de metabolitos de DDT registrados en otras regiones del país; por ejemplo, 0.02 ppm de DDE en el valle de Culiacán (García-De La Parra *et al.*, 2012); 0.07 ppm de DDE en el valle de Guaymas (Leal-Soto *et al.*, 2014), 0.99 ppm de DDT en Puebla y Estado de México, y 5.5 ppm de Σ DDT en San Luis Potosí (Pérez-Vázquez *et al.*, 2015)]. Se registraron hasta 15 ppm de Σ Drines, en tanto que en una revisión hecha por Wong *et al.* (2010), quienes comparan valores para suelos urbanos y agrícolas, reportan que los valores más altos en Mazatlán de Dieldrin (fracción de Σ Drines en este estudio) fue de 0.02 ppm en suelos urbanizados y de 0.22 ppm en suelos agrícolas. Excepto por el Σ HCH, cuyas mayores concentraciones se registraron en R1, las mayores concentraciones de los otros seis plaguicidas organoclorados se midieron en muestras de ranchos tecnificados, sin llegar a ser mayores a 20 ppm.

El análisis espacial de las concentraciones de POC muestra diferencias en Σ Drines, Σ HCH, Σ Endosulfan y Σ DDT, sin que sean significativas entre ranchos, pero sí entre las zonas muestreadas dentro de cada uno, en particular para los Σ HCH en el caso de R1 y los Σ Drines para T2. Las concentraciones registradas se encuentran en el rango de concentraciones obtenidas hace 15 años en otros sitios a menor altitud y dentro de la misma cuenca donde se ubican los ranchos (Waliszewski, 2008), alertando sobre la persistencia de estos compuestos en la zona en la que se efectuó este estudio.

En uno de los ranchos (R2) todas las concentraciones de POC se encontraban por debajo del límite de detección reportado en los métodos, por lo que, en términos de práctica de mantenimiento de ganado y manejo del mismo, puede ser usado como modelo

para otros ranchos en la zona. Debido a que no todas las áreas muestreadas dentro de los ranchos presentan las mismas concentraciones, existen aún áreas que pueden ser utilizadas para fines de las actividades sustentables en las que se interesaron los dueños de las propiedades, aquellas con cero presencias de organoclorados en el cuadro 3.

En cuanto a la macrofauna, en este estudio se encontró que, por un lado, las concentraciones de los POC que se midieron no tienen correlación significativa con la densidad de organismos en el suelo; pero, además, que en algunos de los potreros muestreados en ranchos tecnificados las concentraciones son incluso menores que en el suelo de bosques o riberas, pues existe una laguna de oxidación donde se tratan los residuos en esos potreros. Con lo anterior, se puede tener seguridad de que la leche producida por las vacas en esos potreros estará ausente de POC o tendría cantidades mínimas. Esto asegura una producción libre o casi libre de plaguicidas en esos casos.

La riqueza taxonómica de grandes grupos de macrofauna es menor a la que generalmente se encuentra en otros sitios, ya que se registraron sólo siete grupos de taxa y en general se tienen de 12 a 15 en potreros. Igual las densidades obtenidas están por debajo del promedio que es de $1\ 178 \pm 154$ individuos/m², y aquí variaron de 463 a 804 individuos/m² (Lavelle *et al.*, 2022). En todos los ranchos hubo altas densidades de lombrices de tierra y de coleópteros, y en R1 y T1 también de hormigas. Los potreros manejados favorecen a grupos oportunistas como algunas lombrices de tierra, en particular la especie *Pontoscolex corethrurus* (Brown *et al.*, 2004), que es la especie dominante en este muestreo, o a especies generalistas de escarabajos estercoleros, como *Onthophagus incensus* y *Copris incertus*, que están asociadas a ambientes ganaderos y adaptadas, aparentemente, a las condiciones de manejo de esos ambientes. No se registraron Myriapoda, Isopoda y Arachnida, que son grupos de macrofauna sensibles a la falta de hojarasca por la ausencia de árboles en los potreros (Lavelle *et al.*, 2022).

En los ranchos rústicos, en donde se hubiera esperado más diversidad y abundancia de organismos, no se observaron; en particular en el R2, esto puede ser el resultado de que aunque el suelo es de tipo andosol de origen volcánico (Williams-Linera, 2002), cuyas características son textura franca y alta fertilidad, por ser ricos en materia orgánica; en este caso tienen disponibilidad reducida de nutrientes por su fuerte retención de alófono y arcilla no cristalizada de los andosoles (Quantin y Geissert, 1988). Este suelo está agotado por falta de un buen manejo, ya que su contenido de carbono es de solo 3%.

Por otra parte, en la revisión de Sánchez-Bayoa y Wychuys (2019) se cita a Lepidoptera, Himenoptera y a los escarabajos del estiércol (Coleoptera) como los taxa más afectados en los ecosistemas terrestres, debido a la aplicación de plaguicidas y fertilizantes en actividades agrícolas y agropecuarias. Esta relación de decremento poblacional es sugerida como explicación en la reducción de diversidad de escarabajos en la zona de Palma Sola, Veracruz (Martínez *et al.*, 2017), donde se realizan estudios de largo plazo. Específicamente la aplicación experimental del medicamento más comúnmente utilizado para control de parásitos internos (macrolactonas) en el ganado en un sustrato de estiércol, indica que una dosis de 1.00 ppm reduce a la mitad el número de individuos de la especie más abundante de escarabajos (*Euoniticellus intermedius* Reiche, 1849) (Cruz-Rosales

et al., 2012), así como un sesgo en la proporción de hembras:machos también de los escarabajos (González-Tokman *et al.*, 2017).

La correlación entre las concentraciones de Σ Drines, Σ DDT, Σ Endosulfan y Σ HCH fue negativa con la densidad de macrofauna, aunque esta relación no es significativa, quizás por el tamaño de la muestra; sin embargo, se observa una tendencia que podría denotar que los POC merman las poblaciones de la macrofauna. Excepto por Isoptera, que se registró exclusivamente en uno de los sitios y con baja densidad de población respecto a otros grupos, todos los demás grupos taxonómicos registrados se encontraron en todas las propiedades muestreadas.

Una revisión reciente (Bonilla-Bedoya, 2023) sobre el uso de indicadores de calidad del suelo enfatiza que, en los últimos años, se da un incremento del uso de medidas de diversidad de organismos en el suelo por sobre aquellas medidas basadas en propiedades físicas o químicas de sus componentes. Es evidente la necesidad de conservación de especies del suelo para mantener el reciclaje de nutrientes y procesos que tienen lugar en él, lo que se reflejaría también en la calidad del suelo y en la producción de forrajes. La recomendación es hacia la adopción de medicamentos veterinarios y plaguicidas que permitan la conservación de la diversidad de organismos del suelo, y esta diversidad debiera ser cuantificada y monitoreada regularmente en los ranchos muestreados para determinar los cambios en el estado del suelo y en función de los diferentes manejos.

Conclusiones

En la zona de trabajo se encontraron POC cuyo uso fue prohibido desde finales de los años ochenta y las personas propietarias de los ranchos muestreados no los utilizan actualmente, por lo que se confirma que los POC se degradan lentamente. La comparación entre ranchos tecnificados y rústicos reflejó mayor número de POC en los primeros y mostró que las concentraciones difieren entre las diferentes áreas dentro de cada rancho, en particular las áreas de ribera que registran concentraciones más altas y parecen acumular y retener los POC.

En este estudio, las concentraciones de los POC no tienen correlación significativa con la densidad de organismos en el suelo; sin embargo, la riqueza taxonómica y densidad de grandes grupos de macrofauna fue menor a la que se encuentra en otros sitios. No se registraron Myriapoda, Isopoda y Arachnida, que son grupos de macrofauna sensibles a los disturbios, y en contraste se favorece la presencia de grupos oportunistas y de especies generalistas de macrofauna.

Agradecimientos

Este trabajo se desarrolló con el apoyo del proyecto Inecol 200 3530926. Agradecemos a la MC. Alejandra Cristancho su ayuda durante la fase de campo, el procesamiento y la cuantificación de plaguicidas organoclorados en el Laboratorio de Ecotoxicología del Instituto EPOMex de la UACam; al Lic. Andrés Cruz Martínez por el procesamiento de la macrofauna; y a la Licda. Isis Maviel, MC. David García-Segura, MC. Ricardo

Madrigrál Chavero, Biól. Jaime Pelayo y Licda. Elvia Villani por ser parte del equipo de colecta de la fauna; así como a los propietarios de los ranchos que nos permitieron llevar a cabo este trabajo.

Literatura citada

- Anderson, J. M. e Ingram, J. I. S. (1993) *Tropical Soil Biology and Fertility A Handbook of Methods*. 2nd Edition, CAB International. Wallingford, United Kindom. 221 p.
- Blanchart, E.; Albrecht, A.; Alegre, J.; Duboisset, A.; Gilot, C.; Pashanasi, B.; Lavelle, P. y Brussaard, L. (1999). Effects of earthworms on soil structure and physical properties in P. Lavelle L., P. Brussaard, and F. Hendrix (eds). *Earthworms Management in Tropical Agro-Ecosystems*. CAB International. Wallingford, United Kindom. Pp. 149-172.
- Bonilla-Bedoya, S.; Valencia, K.; Herrera, M. A.; López-Ulloa, M.; Donoso D. A. y Macedo Pezzopane J. E. (2023). Mapping 50 years of contribution to the development of soil quality biological indicators. *Ecol. Indic.* 148: 11009 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110091>
- Brown, G.G.; Moreno, A.G.; Barois, I.; Fragoso, C.; Rojas, P.; Hernández, B. y Patrón, J.C. (2004) Soil macrofauna in SE Mexican pastures and the effect of conversion from native to introduced pastures. *Agric. Ecosys. Environ.* 103: 313-327. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.006>
- Catálogo Oficial de Plaguicidas [COFEPRIS]. (2020). <https://www.gob.mx/senasica/documentos/registro-de-plaguicidas-agricolas?state=published>. English Version: National Service for Agro-Alimentary Public Health, Safety and Quality. (Consultado 16 febrero 2020).
- Choudhary, S.; Raheja, N.; Kumar, S.; Kamboj, M. y Sharma, A. (2018). A review: Pesticide residue: Cause of many animal health problems. *J. Entomol. Zool. Stud.* 6(3): 330-333. <https://www.researchgate.net/publication/325314814>
- Cruz-Rosales, M.; Martínez, I.; López-Collado, J.; Vargas-Mendoza, M.; González-Hernández, H. y Fajersson, P. (2012). Effect of ivermectin on the survival and fecundity of *Euoniticellus intermedius* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Rev. Biol. Trop.* 60 (1): 333-345.
- Cruz-Rosales M.; Huerta C. y Arellano, L. (2016). *Situación Actual de la ganadería en el centro de Xico Veracruz*. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Ver., México. 30 p.
- Encuesta Nacional Agropecuaria [ENA] (2019). SADER-INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2019/>. (Consulta 20 de agosto de 2023).
- García-de la Parra, L. M.; Cervantes-Mojica, L. J.; González-Valdivia, C.; Martínez-Cordero, F. J.; Aguilar-Zárate, G.; Bastidas-Bastidas, P. y Betancourt-Lozano, M. (2012). Distribution of Pesticides and PCBs in Sediments of Agricultural Drains in the Culiacan Valley, Sinaloa, Mexico. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 63: 323-336.
- García-Hernández, J.; Leyva-Morales, J. B.; Bastidas-Bastidas, P. de J.; Leyva-García, G. N.; Valdez-Torres, J. B.; Aguilar-Zarate, G. y Betancourt-Lozano, M. (2021). A comparison of pesticide residues in soils from two highly technified agricultural valleys in northwestern Mexico. *J. Environ. Health Sci.* 56(6): 1-18. <https://doi.org/10.1080/03601234.2021.1918977>
- González-Tokman, D.; Martínez, I.; Villalobos-Ávalos, M.; Munguía-Steyer, Y.; Ortiz-Zayas, R.; Cruz-Rosales, M. y Lumaret, J. P. (2017). Ivermectin alters reproductive success, body condition and sexual trait expression in dung beetles. *Chemosphere.* 178: 129-135. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.013>
- González-Jauregui, M.; Valdespino, C. y Rendón von Osten, J. (2014). Residuos de contaminantes orgánicos persistentes (COP) en sedimentos del río Champotón y de la Reserva de la Biosfera de los Petenes, Campeche. In: A.V. Botello, J Rendón von Osten, J. A. Benitez y G. G. Bouchot (Eds.) *Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias UAC, UNAM-ICMYL, CINVESTAV-U Mérida*. Pp. 323-335.
- Lavelle, P.; Mathieu, J.; Spain, A.; Brown, G.; Fragoso, C.; Lapied, E.; De Aquino, A.; Barois I.; Barrios, E.; Barros M. E.; Bedano, J.C.; Blanchart, E.; Caulfield, M.; Chagueza, Y.; Dai, J.; Decaëns, T.; Domínguez, A.; Domínguez, Y.; Feijoo, A.; Folgarait, P.; Fonte, S.J.; Gorosito N.; Huerta E.; Jiménez, J.J.; Kelly, C.; Loranger, G.; Marchão, R.; Marichal, R.; Praxedes, C.; Rodríguez, L.; Rousseau,

- G.; Rousseau, L.; Sanabria, C.; Suárez, J.C.; Tondoh, J.E.; De Valença, A.; Vanek, S.J.; Vásquez, J.; Velásquez E.; Webster, E. y Zhang, C. (2022). Soil macroinvertebrate communities: a worldwide assessment. *Glob. ecol. biogeogr.* 31: 1261-1276. <https://doi.org/10.1111/geb.13492>
- Leal-Soto, S. D.; Valenzuela, A. I.; Quintanar, M. L.; Gutiérrez-Coronado, M. C.; Bermúdez-Almada, J.; García-Hernández, M. L.; Aldana-Madrid, P.; Grajeda-Cota, M. I.; Silveira-Gramont, M.; Meza-Montenegro, M.; Palma Durán, S. A.; Leyva-García, G. N.; Camarena-Gómez, B. O. y Valenzuela-Navarro, C. P. (2014). Organochlorine Pesticide Residues in Agricultural Soils. *Terra Latinoam.* 32: 1-11.
- Liu, Y.; Luo, X.; Zeng, Y.; Tu, W.; Deng, M.; Wu, Y. y Mai, B. (2020). Species-specific biomagnification and habitat-dependent trophic transfer of halogenated organic pollutants in insect-dominated food webs from an e-waste recycling site. *Environ. Int.* 138: 105674. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105674>
- Lobry de Bruyn, L. A. (1999) Ants as bioindicators of soil function in rural environments. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74(1-3): 425-441. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00047](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00047)
- Lupi, L.; Bedmar, F.; Wunderlin, D. A. y Miglioranza, K. S. B. (2016). Organochlorine pesticides in agricultural soils and associated biota. *Environ. Earth Sci.* 75(6): 519. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-5140-x>
- Martínez, I.; Ramírez-Hernández, A. y Lumaret, J.P. (2017). *Veterinary Medicines, Pesticides, and Dung Beetles 1 in the Tropical Zone of Palma Sola. Southwestern Entomol.* 42(2): 563-574. <https://bioone.org/terms-of-use>
- Mlynarczuk, J.; Górska, M. y Wrobel, M.H. (2020). Effects of DDT, DDE, aldrin and dieldrin on prostaglandin, oxytocin and steroid hormone release from smooth chorion explants of cattle. *Anim. Reprod. Sci.* 223: 106623. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106623>
- Moreira, F.M.S.; Bignell, D.E. y Huising, E.J. (2008). *A handbook of tropical soil biology: Sampling and characterization of below-ground biodiversity*. 1st Edition. Earthscan, London. 256 pp. <https://doi.org/10.4324/9781849770286>
- Morón, M.A. y Terrón, R. 1988. Entomología Práctica. Instituto de Ecología, A. C. México, D.F. 504 p.
- Nichols, E.; Spector, S.; Louzada, J.; Larsen, T.; Amezcuita, S.; Favila, M.E. y Network, T.S.R. (2008). Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biol. Conserv.* 141(6): 1461-1474.
- Pelosi, C.; Barot, S.; Capowiez, Y.; Hedde, M. y Vandenbulcke, F. (2014) Pesticides and earthworms. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 34: 199-228. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0151-z>
- Pérez-Vázquez, F.J.; Flores-Ramírez, R.; Ochoa-Martínez, A.C.; Orta-García, S.T.; Hernández-Castro, B.; Carrizalez-Yáñez, L. y Pérez-Maldonado, I.N. (2015). Concentrations of persistent organic pollutants (POPs) and heavy metals in soil from San Luis Potosí, México. *Environ. Monit. Assess.* 187: 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4119-5>
- Pinheiro, M.L.C. (2015). *Pastoreo Racional Voisin. Tecnología agroecológica para el tercer milenio*. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 253 p.
- Ponce-Vélez, G. y Botello, A.V. (2018). Plaguicidas organoclorados en organismos costeros y marinos de los litorales mexicanos: una revisión. *Rev. Int. Cont. Amb.* 34: 81-98.
- Quantin, P. y Geissert, D. (1988). *Características químicas y mineralógicas de un andosol y de un suelo ferralítico de Xalapa, Veracruz*. INIREB, Xalapa, Ver., México. 24 p.
- R-Development Core Team. (2021). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org>
- Sánchez-Bayoa, F. y Wýckhuys, K.A.G. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biol. Conserv.* 231: 8-27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>
- Schanzer, S.; Koch, M.; Kiefer, A.; Jentke, T.; Veith, M.; Bracher, F.; Bracher, J. y Müller, C. (2022). Analysis of pesticide and persistent organic pollutant residues in German bats. *Chemosphere*, 305: 135342. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135342>
- Sifuentes-Dos Santos, J.; Schwanz, T.G.; Coelho, A.N.; Heck-Marques, M.C.; Mexia, M.M.; Emanuelli, T. y Costabeber, I. (2015). Estimated daily intake of organochlorine pesticides from dairy products in Brazil. *Food Contr.* 53: 23-28. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.12.014>

- Subler, S. y Kirsch, A. S. (1998). Spring dynamics of soil carbon, nitrogen, and microbial activity in earthworm middens in a no-till cornfield. *Biol. Fertil. Soils*. 26: 243-249.
- Valdespino, C. y Sosa, V.J. (2017). Effect of landscape tree cover, sex and season on the bioaccumulation of persistent organochlorine pesticides in fruit bats of riparian corridors in eastern Mexico. *Chemosphere* 175: 373-382.
- Valdespino, C.; Sosa, V.J. y Alvarado, F. (2022). Organochlorine Pesticides in Rivers from Riparian Cloud Forests: Prediction of Concentrations in the Fruit Bat *Sturnira hondurensis*. In: M. L. Larramendy y G. Liwszyc (Eds). *Marsupial and Placental Mammal Species in Environmental Risk Assessment Strategies*. Royal Society of Chemistry. Pp. 115-132.
- Waliszewski, S. M., Herrero Mercado, M., y Cantú Martínez, P. C. (2008). Tejido adiposo: indicador de la contaminación por plaguicidas organoclorados. *Respyn*. 9(2). <https://respyn.uanl.mx/index.php/respyn/article/view/215>
- Williams-Linera, G.; Manson, R. H. y Vera, E. I. (2002). La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera y bosques*. 8(1): 73-89.
- Wong, F., Alegria, H. A. y Bidleman, T. F. (2010). Organochlorine pesticides in soils of Mexico and the potential for soil-air exchange. *Environ. Pollut.* 158(3): 749-755. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.10.013>
- Zúñiga-Violante, E.; Daesslé, L.W.; Camarena-Ojinaga, M.L.; Gutiérrez-Galindo, E.A.; Arellano-García, M.E. (2015). Distribution of organic and inorganic pollutants in the agricultural valley of Maneadero, Baja California, Mexico. *Investigación ambiental*. 7(1): 13-24.