

## Detección y cuantificación de plaguicidas en heces de *Cynomys mexicanus* en colonias de dos estados del norte de México

Detection and quantification of pesticides in *Cynomys mexicanus* feces from two states in northern Mexico

Arely Cano García<sup>1</sup>, Ernesto Cerna Chávez<sup>2\*</sup>, Augusto Gil Ceballos Ceballos<sup>3</sup>, Yisa María Ochoa Fuentes<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Parasitología Agrícola, Campus Saltillo, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

<sup>2\*</sup> Departamento de Parasitología Agrícola, Campus Saltillo, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. C.P.25315. Tel. 844 4110200. jabaly1@yahoo.com

<sup>3</sup> Departamento de Parasitología Agrícola, Campus Saltillo, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

<sup>4</sup> Departamento de Parasitología Agrícola, Campus Saltillo, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

\*Autor de correspondencia

### Resumen

El perrito de la pradera mexicana (*Cynomys mexicanus*) es una de las especies emblemáticas y endémicas del norte de México y tiene una gran importancia para el ecosistema donde habita (los pastizales). Actualmente se encuentra en peligro de extinción debido, principalmente, al crecimiento de la frontera agrícola, provocando su exposición a diversos químicos, como los plaguicidas aplicados en los cultivos. El objetivo de este trabajo fue analizar las heces de individuos de perrito de la pradera mexicana de los estados de Coahuila y Nuevo León para detectar y cuantificar residuos de plaguicidas. Se analizaron un total de 53 muestras por medio de cromatografía líquida de alta eficiencia. Los resultados muestran altas concentraciones de glifosato y metamidofos de 2.50 mg/g-12.7 mg/g y 2.9 mg/g-14.7 mg/g, respectivamente. Estos rangos pueden causar daños en el organismo del perrito de la pradera mexicana, interviniendo en procesos de reproducción e influyendo así en la disminución de sus poblaciones.

**Palabras clave:** *Cynomys mexicanus*; metamidofos; glifosato; mamíferos; plaguicidas.

### Abstract

The Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*) is one of the emblematic and endemic species to northern Mexico, and it is of importance to the ecosystem where it lives (the grasslands). It is currently an endangered species due to the growth of the agricultural frontier, causing its exposure to various chemicals, such as pesticides applied to crops. The objective of this work was to analyze the feces of Mexican prairie dogs from the states of Coahuila and Nuevo León in order to detect and quantify pesticide residues. A total of 53 samples were analyzed by high performance liquid chromatography. The results show high concentrations of glyphosate and methamidophos of 2.50 mg/g-12.7 mg/g and 2.9 mg/g-14.7 mg/g, respectively. These ranges can cause damage in the organism of the Mexican prairie dog, interfering in reproduction processes, thus influencing the decrease of their populations.

**Keywords:** *Cynomys mexicanus*; methamidophos; glyphosate; mammals; pesticides.

Recibido: 02 de mayo de 2023

Aceptado: 05 de octubre de 2023

Publicado: 08 de noviembre de 2023

**Cómo citar:** Cano García, A., Cerna Chávez, E., Ceballos Ceballos, A. G., & Ochoa Fuentes, Y. M. (2023). Detección y cuantificación de plaguicidas en heces de *Cynomys mexicanus* en colonias de dos estados del norte de México. *Acta Universitaria* 33, e3865. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2023.3865>

## Introducción

La agricultura intensiva ha dado como resultado el uso intensivo de plaguicidas que tienen el fin de proteger a los cultivos de organismos que provoquen daños en ellos y disminuyan su producción. Los plaguicidas más utilizados hasta el 2018, según una compilación del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), son la abamectina, carbarilo, benomilo, imidacloprid, captan, malatión, atrazina, dimetoato, diazinon, monocrotofós, clorpirifós, metamidofos, paraquat, glifosato, cipermetrina, carbofurano y paratión (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [Semarnat-INECC], 2018). En México, los cultivos que usan mayor cantidad de plaguicidas son maíz, algodón, papa, chile, tomate, frijol, trigo, aguacate, café y tabaco, aplicándose hasta 13 136 toneladas al año (García-Gutiérrez & Rodríguez-Mesa, 2012).

Dependiendo de la composición química de los plaguicidas, estos se pueden clasificar en distintos grupos, aunque los más utilizados son los organofosforados, organoclorados, carbamatos, piretroides y neonicotinoides, que son muy recurrentes en distintos cultivos como el maíz, sorgo, jitomate, papa, frijol, chile y algunas cucurbitáceas (Prado *et al.*, 2018).

Los organoclorados son muy estables en su estructura, por lo cual son estables en el ambiente, son liposolubles y tienen una alta residualidad (Betancourt & Díaz, 2018; Murga *et al.*, 2017). Tienen un efecto neurotóxico, son genotóxicos y causan problemas reproductivos (Leal *et al.*, 2013). Los organofosforados son menos persistentes en el ambiente, pero tienen mayor toxicidad en los vertebrados (Badii *et al.*, 2009). Los carbamatos son altamente residuales y muy tóxicos para los vertebrados; pueden disminuir la producción de anticuerpos y afectan la acción de la acetilcolinesterasa. Los piretroides pueden degradarse por la exposición a la luz solar, duran poco tiempo, entre uno o dos días en el aire; sin embargo, estos compuestos tienen gran adherencia al suelo. Son tóxicos para los insectos y mamíferos y pueden ser muy tóxicos para los peces (Betancourt & Díaz, 2018).

Existe una gran preocupación por parte de la sociedad científica entorno al uso indebido y excesivo de los plaguicidas, los cuales representan un riesgo para la salud humana y tiene efectos negativos en el ambiente debido a sus características de toxicidad (del Puerto *et al.*, 2014; Semarnat-INECC, 2018). El uso de estos productos ha ido aumentando al paso de los años (Semarnat-INECC, 2018). Hasta el año 2017, la producción de plaguicidas fue de más de 106 mil toneladas, estando los fungicidas como los de mayor producción (45%), seguido de los insecticidas (28%) y los herbicidas (27%) (Moo-Muñoz *et al.*, 2020).

Los plaguicidas son sustancias tóxicas para el ambiente dependiendo de sus propiedades de persistencia, la facilidad de dispersión, la bioacumulación y la biomagnificación por medio de la cadena trófica. Pueden encontrarse residuos en el suelo, agua, aire, plantas y animales; ya que pueden transportarse por distintos medios como la lixiviación, la volatilización o la escorrentía hasta llegar a lugares más lejanos del sitio donde fueron aplicados los plaguicidas (Betancourt & Díaz, 2018).

Los residuos presentes en el ambiente pueden causar daños a la fauna silvestre presente en los ecosistemas cercanos. Se ha comprobado que en pequeños mamíferos, como los roedores, los plaguicidas pueden permanecer en su organismo (Richardson *et al.*, 2019). Afectan, por ejemplo, funciones de termorregulación; el comportamiento, como los tiempos de forrajeo; la habilidad de aprendizaje; y el consumo de alimento. Esto puede expresarse en bajas tasas de reproducción y daños en el desarrollo físico (Chi-Coyoc *et al.*, 2016).

Una de las especies de fauna silvestre que se encuentra expuesta a los residuos de plaguicidas es el perrito de la pradera mexicano (*Cynomys mexicanus*), el cual es considerado endémico del Norte de México, ya que solo se distribuye en los estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas y San Luis Potosí. Están asociados a zonas de pastizales cortos, viven en grupos familiares denominados colonias y son mamíferos diurnos que cavan madrigueras para refugiarse. Se alimentan de hojas, tallos y raíces de algunos pastos, hierbas y brotes de arbustos. Este organismo se considera una especie clave para el ecosistema donde habita, ya que ayuda a la oxigenación de suelo, aumenta la materia orgánica, facilita la infiltración del agua al subsuelo y mantiene el hábitat adecuado para especies de aves de pastizal y polinizadores (Semarnat, 2018).

El estudio de distribución más reciente que se ha realizado sobre el perrito de la pradera es del año 2021, el cual reporta que esta especie abarca 215 km<sup>2</sup> en colonias de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas (Medellín & Bárcenas, 2021). Esto representa una disminución del 73% de su distribución histórica (800 km<sup>2</sup>) (Ceballos-G. & Wilson, 1985). Su principal problemática es que la mayoría de las colonias se encuentran dentro de propiedades privadas y ejidos con actividades de ganadería y agricultura, aunado a que hay malas prácticas aplicadas por los productores debido a su falta de capacitación. Actualmente, *C. mexicanus* se encuentra en peligro de extinción a nivel nacional (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2010) y está catalogado como *en peligro* dentro de la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) (Álvarez-Castañeda *et al.*, 2019).

Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue detectar y cuantificar, por medio de la cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC, por sus siglas en inglés), residuos de plaguicidas en heces de individuos de *C. mexicanus* de los estados de Coahuila y Nuevo León. Esto permitirá analizar el grado de exposición en el que se encuentran estos individuos e identificar si dichos residuos pueden ser considerados como un factor para la disminución de sus poblaciones.

## Materiales y métodos

### Zona de estudio

Las colonias de *Cynomys mexicanus* se encuentran distribuidas solamente dentro de una región específica denominada Región Terrestre Prioritaria (RTP 80) al norte de México, la cual abarca los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas, con un área de 8632 km<sup>2</sup>. Esta área es de gran importancia para la conservación de las poblaciones de perrito de la pradera mexicana. En total, según los últimos reportes, se encuentran 49 colonias activas, cubriendo una superficie de 215 km<sup>2</sup> en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas (Medellín & Bárcenas, 2021). En esta región predomina la vegetación de matorral desértico micrófilo, rosetófilo y algunas zonas de chaparral, además de zonas de pastizal gipsófilo. Se presenta un clima principalmente árido y semiárido. Los suelos donde habita *C. mexicanus* están conformados por dos grupos distintos, los que tienen un alto contenido de yeso (60%) y menor cantidad de carbonato de calcio y suelos con una gran cantidad de carbonato de calcio y poco yeso o nulo (Pando *et al.*, 2018).

### Muestreo

Las coordenadas de las colonias de perrito de la pradera fueron tomadas de Carrera (2008), quien actualizó los polígonos registrados por Treviño-Villarreal & Grant (1998), reportando en Coahuila 39 colonias, en Nuevo León 37 y en San Luis Potosí 12. También se tomó en cuenta los sitios de las colonias activas registradas actualmente (Medellín & Bárcenas, 2021).

Se muestrearon las colonias del estado de Coahuila y Nuevo León a las que se pudo tener acceso, ya que varias de ellas se encuentran en predios privados a donde no se permite la entrada. En total se obtuvieron 53 muestras de heces de perrito de la pradera, se muestrearon 31 sitios en colonias activas del estado de Nuevo León (Tabla 1) y 22 sitios de colonias activas en el estado de Coahuila (Tabla 2) (Carrera, 2008). La colecta de heces se realizó de forma directa del suelo en las madrigueras (Gallina, 2015), cuidando coleccionar las heces más frescas con el fin de disminuir el tiempo de contacto con el suelo y disminuir así el contacto que pudiera tener con plaguicidas presentes en suelo. Además, las heces son muy sólidas y secas, por lo que reduce la posibilidad de llevarse una cantidad de suelo significativa. En cada colonia se coleccionaron submuestras, recorriendo el terreno en forma de zigzag con la intención de abarcar la mayor área posible. Las muestras se guardaron en bolsas de papel para posteriormente transportarlas al laboratorio.

Tabla 1. Coordenadas de muestreo (UTM) de heces en colonias de *Cynomys mexicanus* en Nuevo León.

Muestra	Estado	Colonia	Coordenadas UTM	
			X	Y
1	Nuevo León	Salero 1	377270.0	2723720.6
2	Nuevo León	San Joaquín-La Paz	350029.3	2760939.2
3	Nuevo León	Seis de Enero	354876.1	2757748.7
4	Nuevo León	San José de Contreras	342170.1	2770227.5
5	Nuevo León	Artesillas 2	325726.4	2788644.8
6	Nuevo León	San Roberto A4-2	366784.4	2741691.4
7	Nuevo León	Sn. Roberto	368931.1	2734072.0
8	Nuevo León	Milagro	342426.3	2765701.4
9	Nuevo León	La Luz A-3	366348.7	2743110.9
10	Nuevo León	Raíces-B	377213.1	2717260.9
11	Nuevo León	La Concha-SR	341915.0	2769984.3
12	Nuevo León	Artesillas 6	326058.8	2790548.5
13	Nuevo León	Artesillas 1	328149.2	2787629.2
14	Nuevo León	Tokio	372670.3	2728130.4
15	Nuevo León	Refugio	359596.4	2705674.8
16	Nuevo León	Serma 2	339564.4	2767950.1
17	Nuevo León	Tokio 2	372088.2	2729027.9
18	Nuevo León	Llano de la Soledad 1	328852.9	2754386.9
19	Nuevo León	Providencia-Navidad	337530.0	2773697.5
20	Nuevo León	Serma	337189.5	2766285.9
21	Nuevo León	Cerca A3	366599.1	2742862.3
22	Nuevo León	Área 4	366583.7	2741262.7
23	Nuevo León	San Roberto área 4	366982.1	2738889.9
24	Nuevo León	Navidad	337871.1	2774093.4
25	Nuevo León	Salero 2	371158.9	2707532.6
26	Nuevo León	Artesillas 5	326676.5	2790694.4
27	Nuevo León	Tokio Raíces	377270.0	2723720.6
28	Nuevo León	Refugio 2	359960.3	2705455.8
29	Nuevo León	Llano de la Soledad 2	327952.9	2754244.2
30	Nuevo León	Seis de Enero 2	359537.6	2752685.3
31	Nuevo León	Artesillas 3	325711.5	2789660.5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Coordenadas de muestreo (UTM) de heces en las colonias de *Cynomys mexicanus* en Coahuila.

Muestra	Estado	Colonia	Coordenadas UTM	
			X	Y
1	Coahuila	La India 2	310944.7	2759485.5
2	Coahuila	El Huron	286838.5	2764203.7
3	Coahuila	Cercado 4	290552.3	2779344.7
4	Coahuila	Cercado R	308730.6	2774655.8
5	Coahuila	Los Ángeles 1	346866.6	2762588.1
6	Coahuila	Los Ángeles 2	344771.9	2762416.9
7	Coahuila	Sn. Juan del Banco C	308779.4	2766130.4
8	Coahuila	Venado 2	262886.0	2774924.3
9	Coahuila	El Venado	310590.5	2759344.8
10	Coahuila	Las Puyas 2	348221	2764023.4
11	Coahuila	Cercado	305393.1	2772548.7
12	Coahuila	Sn. Juan del Banco	313561.5	2763126.5
13	Coahuila	Tanque Nuevo	298816.2	2772663.6
14	Coahuila	El Fraile	276148.8	2770365.4
15	Coahuila	Las Hormigas	338252.9	2763820.7
16	Coahuila	Encarnación de Guzmán	304608.4	2669643.1
17	Coahuila	Las Puyas 1	342449.3	2765656.5
18	Coahuila	La India	274464.6	2775703.0
19	Coahuila	Encarnación de Guzmán 2	293361.1	2746134.0
20	Coahuila	Las Hormigas 2	340907.1	2762716.2
21	Coahuila	Sn. Juan del Retiro	288078.1	2749661.3
22	Coahuila	Artesillas 4	326704.6	2794445.0

Fuente: Elaboración propia.

## Tratamiento y extracción

Una vez en el laboratorio, las muestras se secaron en estufa a 50 °C por 4 h, después se trituraron para realizar la extracción. La extracción de los plaguicidas se hizo utilizando un equipo Soxhlet. Para esto, se pesaron 10 g de muestra seca y triturada y se envolvió en papel filtro para ponerlo en el extractor, usando hexano como solvente. Al final de este proceso, el producto fue colectado en frascos de vidrio ámbar.

## Análisis cromatográfico

Se prepararon seis disoluciones estándares de glifosato, endosulfán, clorpirifos, metamidofos, malatión, glifosato, imidacloprid, deltametrina y metomilo en agua destilada con concentraciones desde los 0.001 mg/ml hasta los 0.5 mg/ml. Los plaguicidas por detectar se eligieron mediante una revisión de la literatura que refiere aquellos que se utilizan frecuentemente en cultivos de papa, maíz y tomate presentes en la zona de estudio (Bejarano, 2017; Silveira-Gramont et al., 2018; Vargas-González et al., 2019).

Para realizar la detección y cuantificación de los plaguicidas, las muestras se llevaron a evaporación total para eliminar el solvente, se reconstituyeron con 10 ml de agua destilada cada una y se pasaron a viales para su análisis en HPLC. Se utilizó un equipo HPLC marca Agilent, modelo 1100 Series, acoplado a un detector UV-Vis, con una columna de la misma marca de 5 mm de diámetro, con 150 mm de longitud y 4.6 mm de diámetro de partícula. La detección se realizó a una longitud de onda de 234 nm y se corrió a una temperatura de 25.5 °C, utilizando como solventes acetonitrilo (A) y agua grado HPLC (B). Se mantuvo una velocidad de 0.5 ml/min con un volumen de inyección de 20 µL.

## Resultados

Para la validación del método analítico se realizó una curva de calibración con distintas concentraciones, se inyectaron al HPLC y se obtuvieron las áreas bajo la curva, se graficaron contra las concentraciones y se obtuvo el coeficiente de linealidad ( $R^2$ ) de cada plaguicida. Los resultados de las curvas estuvieron entre 0.8926-0.9842, los cuales se presentan en la siguiente tabla (Tabla 3).

Tabla 3. Coeficiente linealidad del método ( $R^2$ ) de analitos a detectar en muestras de heces de *Cynomys mexicanus*.

Plaguicida	$R^2$
Clorpirifos	0.9821
Metamidofos	0.9842
Malatión	0.9135
Glifosato	0.9461
Endosulfán	0.8926
Imidacloprid	0.9158
Deltametrina	0.9683
Metomilo	0.9051

Fuente: Elaboración propia

Se detectaron plaguicidas en el total de las muestras colectadas de los dos estados en los que se colectaron las muestras.

Para las muestras del estado de Nuevo León, las concentraciones más altas detectadas fueron el herbicida glifosato y el insecticida metamidofos, con concentraciones de entre 2.9 mg/g a 8.7 mg/g y de 2.5 mg/g a 7.5 mg/g, respectivamente. La colonia que obtuvo mayor concentración de estos plaguicidas fue la que se encuentra en el Ejido San Antonio del Salero, la cual tiene zonas de cultivo a 300 m de distancia del sitio donde se encuentran los perritos de la pradera. En el grupo de los organofosforados, el clorpirifos presentó concentraciones desde 0.1 mg/g a 0.4 mg/g, con un promedio de 0.18 mg/g. Para el malatión se detectó desde 0.2 mg/g al 0.6 mg/g, con una concentración promedio de 0.30 mg/g. Para el endosulfán, que pertenece al grupo de los organoclorados, este presentó concentraciones de entre 0.06 mg/g a 0.2 mg/g, con una concentración promedio de 0.08 mg/g. Para el imidacloprid, del grupo de los neonicotinoides, se detectaron concentraciones de entre 0.03 mg/g a 0.1 mg/g, con una concentración promedio de 0.05 mg/g. Para la deltametrina, del grupo de los piretroides, se detectaron concentraciones de entre 0.01 mg/g al 0.03 mg/g, con un promedio de 0.01 mg/g. Finalmente, del grupo de los carbamatos, el metomilo presentó concentraciones de entre 0.04 mg/g a 0.1 mg/g, con un promedio de 0.06 mg/g (Tabla 4).

Tabla 4. Resultado de concentraciones de plaguicidas en muestras de heces de *Cynomys mexicanus* colectadas en colonias de Nuevo León.

Muestra	Organofosforados			Organoclorados	Neonicotinoides	Piretroides	Carbamatos	
	Clorpirifos (mg/g)	Metamidofos (mg/g)	Malatión (mg/g)	Glifosato (mg/g)	Endosulfán (mg/g)	Imidacloprid (mg/g)	Deltametrina (mg/g)	Metomilo (mg/g)
<b>M1</b>	0.40	<b>7.50</b>	0.60	<b>8.70</b>	0.20	0.10	0.03	0.10
<b>M2</b>	0.30	7.10	0.60	8.20	0.20	0.09	0.02	0.10
<b>M3</b>	0.20	4.00	0.30	4.60	0.09	0.05	0.01	0.07
<b>M4</b>	0.20	4.50	0.40	5.30	0.10	0.06	0.02	0.08
<b>M5</b>	0.20	3.70	0.30	4.30	0.08	0.05	0.01	0.06
<b>M6</b>	0.20	3.40	0.30	4.00	0.08	0.05	0.01	0.06
<b>M7</b>	0.20	3.20	0.30	3.70	0.07	0.04	0.01	0.05
<b>M8</b>	0.20	3.80	0.30	4.40	0.09	0.05	0.01	0.06
<b>M9</b>	0.10	3.00	0.20	3.50	0.07	0.04	0.01	0.05
<b>M10</b>	0.20	3.20	0.30	3.70	0.07	0.04	0.01	0.05
<b>M11</b>	0.30	5.90	0.50	6.90	0.10	0.08	0.02	0.09
<b>M12</b>	0.20	4.30	0.30	5.00	0.10	0.06	0.01	0.07
<b>M13</b>	0.20	3.60	0.30	4.20	0.08	0.05	0.01	0.06
<b>M14</b>	0.20	3.20	0.30	3.70	0.07	0.04	0.01	0.05
<b>M15</b>	0.20	3.20	0.30	3.70	0.07	0.04	0.01	0.05
<b>M16</b>	0.20	3.20	0.30	3.70	0.07	0.04	0.01	0.05
<b>M17</b>	0.20	3.20	0.30	3.70	0.07	0.04	0.01	0.05
<b>M18</b>	0.20	3.20	0.30	3.70	0.07	0.04	0.01	0.05
<b>M19</b>	0.20	3.30	0.30	3.80	0.07	0.04	0.01	0.05
<b>M20</b>	0.20	3.20	0.30	3.80	0.07	0.04	0.01	0.05
<b>M21</b>	0.20	3.30	0.30	3.80	0.07	0.04	0.01	0.05
<b>M22</b>	0.10	2.70	0.20	3.00	0.06	0.04	0.01	0.04
<b>M23</b>	0.10	2.50	0.20	2.90	0.06	0.03	0.01	0.04
<b>M24</b>	0.10	2.50	0.20	2.90	0.06	0.03	0.01	0.04
<b>M25</b>	0.10	2.50	0.20	2.90	0.06	0.03	0.01	0.04
<b>M26</b>	0.10	2.80	0.20	3.20	0.06	0.04	0.01	0.05
<b>M27</b>	0.10	2.90	0.20	3.40	0.06	0.04	0.01	0.05
<b>M28</b>	0.10	3.00	0.20	3.50	0.07	0.04	0.01	0.05
<b>M29</b>	0.10	3.00	0.20	3.50	0.07	0.04	0.01	0.05
<b>M30</b>	0.10	2.90	0.20	3.40	0.07	0.04	0.01	0.05
<b>M31</b>	0.20	3.10	0.30	3.60	0.07	0.04	0.01	0.05
<b>Promedio</b>	0.18	3.58	0.30	4.15	0.08	0.05	0.01	0.06

Nota. En recuadros se presentan las concentraciones más altas detectadas.  
Fuente: Elaboración propia.

Para el estado de Coahuila, en cuanto a los organofosforados, para el clorpirifos se detectaron concentraciones de entre 0.2 mg/g a 0.6 mg/g, con un promedio de 0.33 mg/g. Para el malatión se detectaron concentraciones de entre 0.2 mg/g y 1 mg/g, con un promedio de 0.52 mg/g. Las concentraciones más altas se detectaron en el metamidofos y glifosato; el primero se detectó con concentraciones de entre 2.7 mg/g y 12.7 mg/g, con un promedio de 6.53 mg/g, y el segundo se detectó en concentraciones más altas, desde los 3.2 mg/g a los 14.7 mg/g, con un promedio de 7.56. En cuanto al plaguicida organoclorado, que fue el endosulfán, se detectaron concentraciones de 0.06 mg/g a 0.5 mg/g, con un promedio de 0.16 mg/g. Para el plaguicida de los neonicotinoides, que es el imidacloprid, presentaron concentraciones de 0.03 mg/g a 0.20 mg/g, con un promedio de 0.08 mg/g. Para la familia de los piretroides, representada por la deltametrina, esta fue la que presentó una menor concentración en cuanto a los demás plaguicidas (de 0.04 mg/g hasta 0.7 mg/g). Por último, de la familia de los carbamatos, que fue el metomilo, se obtuvieron concentraciones de 0.04 mg/g a 0.70 mg/g, con un promedio de 0.13 mg/g. La muestra 9 coincide en ser la de mayor concentración para todos los plaguicidas, excepto para el metomilo. Esta muestra pertenece a la localidad de El Venado, la cual se encuentra aproximadamente a 700 m de zonas de cultivo (Tabla 5).

Tabla 5. Resultado de concentraciones de plaguicidas en muestras de heces de *Cynomys mexicanus* colectadas en colonias de Coahuila.

Muestra	Organofosforado				Organoclorado	Neonicotinoide	Piretroide	Carbamato
	Clorpirifos (mg/g)	Metamidofos (mg/g)	Malatión (mg/g)	Glifosato (mg/g)	Endosulfán (mg/g)	Imidacloprid (mg/g)	Deltametrina (mg/g)	Metomilo (mg/g)
M1	0.10	2.70	0.20	3.20	0.06	0.04	0.01	0.04
M2	0.20	4.20	0.30	4.80	0.09	0.05	0.01	0.07
M3	0.20	4.20	0.30	4.90	0.09	0.06	0.01	0.07
M4	0.30	5.50	0.40	6.40	0.10	0.07	0.02	0.09
M5	0.20	3.30	0.30	3.80	0.08	0.03	0.01	0.06
M6	0.20	4.70	0.40	5.50	0.10	0.06	0.02	0.08
M7	0.20	4.30	0.30	4.90	0.10	0.06	0.01	0.07
M8	0.30	5.20	0.40	6.00	0.10	0.07	0.02	0.09
M9	0.60	12.70	1.00	14.70	0.30	0.20	0.04	0.20
M10	0.30	6.30	0.50	7.30	0.10	0.08	0.02	0.10
M11	0.50	10.67	0.90	12.40	0.20	0.10	0.04	0.20
M12	0.50	9.20	0.70	10.72	0.20	0.10	0.03	0.20
M13	0.30	5.70	0.50	6.60	0.10	0.08	0.02	0.10
M14	0.40	7.90	0.60	9.20	0.20	0.10	0.03	0.10
M15	0.40	7.60	0.60	8.80	0.20	0.10	0.03	0.10
M16	0.40	7.70	0.60	8.90	0.20	0.10	0.03	0.10
M17	0.40	8.30	0.70	9.60	0.20	0.10	0.03	0.10
M18	0.40	8.40	0.70	9.70	0.50	0.10	0.03	0.10
M19	0.20	4.50	0.40	5.20	0.10	0.06	0.02	0.70
M20	0.30	7.00	0.60	8.20	0.20	0.09	0.02	0.10
M21	0.30	6.50	0.50	7.50	0.10	0.09	0.02	0.10
M22	0.30	7.00	0.50	8.00	0.20	0.09	0.02	0.10
Promedio	0.32	6.53	0.52	7.56	0.16	0.08	0.02	0.13

Nota. En recuadros se presentan las concentraciones más altas detectadas.  
Fuente: Elaboración propia.

Comparando los resultados de los dos estados, Coahuila aparece como el estado con las concentraciones más altas en todos los plaguicidas, incluyendo el glifosato y metamidofos, que fueron los plaguicidas con las concentraciones más altas; es decir, las concentraciones de las diferentes localidades de Coahuila fueron casi el doble de las detectadas en Nuevo León.

## Discusión

En los estados donde se colectaron las muestras de heces de individuos de *C. mexicanus* se detectaron residuos de los ocho plaguicidas propuestos para su detección. El grupo que presentó concentraciones más altas fueron los organofosforados, los cuales, aunque son menos persistentes en el ambiente en comparación con los organoclorados, sí son los plaguicidas mayormente utilizados a nivel mundial (Narváez *et al.*, 2012), pero también son los más utilizados a nivel nacional y en la zona de estudio (Semarnat-INECC, 2018).

Un estudio realizado en la zona de la Comarca Lagunera, en los estados de Coahuila y Durango, demostró que se aplican aproximadamente el 67% de organofosforados en los cultivos de la zona de estudio, principalmente en cultivos de melón, sandía, chile verde y tomate rojo. También menciona que el metamidofos es de los más utilizados (Esquivel-Valenzuela *et al.*, 2019), lo que concuerda con los resultados obtenidos en este estudio, ya que fue uno de los que se detectaron en concentraciones más altas.

El glifosato fue el plaguicida que se detectó en mayores concentraciones en los dos estados, esto puede deberse a que es uno de los herbicidas más utilizados en México; en dos de cada tres unidades de producción que existen se utiliza glifosato (Hernández *et al.*, 2021). El uso del glifosato en México está asociado principalmente a la siembra de cultivos genéticamente modificados, los cuales son resistentes al glifosato. Los principales cultivos que se siembran con esta característica son el maíz, el algodón, la papa, la alfalfa y el jitomate (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [Conacyt], 2020).

Existe una variedad de estudios que demuestran que el glifosato puede causar daños en el organismo de pequeños mamíferos. La mayoría de estos estudios han sido realizados en laboratorio utilizando a las ratas como objeto de estudio (Coullery *et al.*, 2020; Romano *et al.*, 2010; Truzzi *et al.*, 2021; Woźniak *et al.*, 2018). Se ha demostrado que la aplicación de dosis de glifosato de 24 mg/kg a 35 mg/kg por 48 horas en ratas preñadas afectó su sistema nervioso y provocó cambios en los reflejos, el movimiento y las funciones cognitivas (Coullery *et al.*, 2020). La aplicación de dosis de hasta 50 mg/kg durante cuatro semanas en fosas nasales de ratas aumentó los niveles de ansiedad, también afectó la memoria de reconocimiento y la función locomotora, demostrando los daños que el glifosato puede causar en el Sistema Nervioso Central (SNC) (Baier *et al.*, 2017). También se ha demostrado que dosis de hasta 250 mg/kg y 500 mg/kg en exposiciones agudas afectan la memoria de trabajo, mientras que exposiciones crónicas de hasta 12 semanas provocan en los individuos de ratas alteraciones en la memoria de reconocimiento y retención. De acuerdo con los resultados que se obtuvieron, sabemos que la exposición que presentan los perritos de la pradera es mayor a estas concentraciones, detectando niveles de glifosato de hasta 14.7 mg/g en heces de perrito de la pradera. Si tomamos en cuenta la DL<sub>50</sub> oral de glifosato en ratas, que es de más de 4230 mg/kg (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2020), podemos deducir con los resultados obtenidos que los individuos están expuestos a concentraciones mayores a la DL<sub>50</sub>. Sin embargo, sólo se absorbe del 30% a 36% al llegar al tubo digestivo, mientras que por vía cutánea se puede absorber muy poco. Una vez que el glifosato se encuentra dentro del organismo, este se distribuye, y del 15% al 29% es expulsado por medio de la orina, el 2% por medio de la respiración y el 70% por medio de las heces (es decir, no se metaboliza dentro del organismo) y el 97% se elimina como glifosato (Varona *et al.*, 2009).

Con relación a los plaguicidas neonicotinoides, que en este caso sólo se analizó el imidacloprid, se ha demostrado que pueden afectar a los animales silvestres, principalmente a las aves, las cuales, expuestas a concentraciones de 31 mg/kg, pueden afectar procesos como la reproducción de los individuos y afectaciones en la tiroides (Pandey & Mohanty, 2015). También se ha detectado imidacloprid en peces presentes en el hábitat de chimpancés, con rangos de 0.008 mg/kg-0.016 mg/kg (Krief *et al.*, 2017). Las concentraciones que se obtuvieron en este estudio fueron más altas, la más elevada fue de 200 mg/kg, lo que nos demuestra que están expuestos a concentraciones que puedan afectar sus procesos vitales para sobrevivir, como la reproducción. Si tomamos en cuenta la DL<sub>50</sub> en mamíferos, que es de 450 mg/kg, las concentraciones detectadas son menores a esta; sin embargo, la DL<sub>50</sub> está clasificada como un plaguicida moderadamente peligroso, más tóxico que el glifosato (OMS, 2020).

En cuanto a los organofosforados, se han detectado afectaciones físicas en el cuerpo de los animales, como los chimpancés, provocadas por la exposición a plaguicidas. Algunas afectaciones que se detectaron fueron deformaciones en las fosas nasales, labio leporino, deformaciones en extremidades, problemas reproductivos, así como hipopigmentación. Se han detectado concentraciones de clorpirifos de 0.026 mg kg<sup>-1</sup>-0.372 mg kg<sup>-1</sup> en semillas de maíz que son consumidas por los chimpancés, y en peces de la zona de distribución del chimpancé se detectó clorpirifos en 0.005 mg/kg-0.030 mg/kg (Krief *et al.*, 2017). Estos resultados son menores a los detectados en las heces de perrito de la pradera, donde la concentración más alta fue de 600 mg/kg. Si tomamos como base la DL<sub>50</sub> del clorpirifos, que es de 135 mg/kg (OMS, 2020), las concentraciones obtenidas en este estudio resultan hasta cuatro veces más altas. En cuanto al metamidofos, que es altamente tóxico, este también puede afectar los procesos de reproducción.

Estudios realizados en ratones con dosis de 5 mg/kg por cuatro días mostraron que afectó el proceso de espermatogénesis, produciendo espermatozoides inmaduros, reduciendo la motilidad y la viabilidad de los espermatozoides, y afectando su morfología y causando daños en el ADN (Ortega-Olvera *et al.*, 2018; Urióstegui-Acosta *et al.*, 2014). También se han realizado pruebas en ratas con dosis de 0.6 mg/kg y 3 mg/kg durante cuatro semanas, donde la dosis más alta provocó daños en los tejidos de los órganos, principalmente atrofia en hepatocitos y células anormales (Araoud *et al.*, 2016). Estas dosis fueron menores a las detectadas en este estudio, donde la concentración más alta fue de 12.7 mg/g y la más baja fue de 2.5 mg/g. Tomando en cuenta la DL<sub>50</sub> que establece la OMS de 30 mg/kg (OMS, 2020), las concentraciones que se detectaron sí resultan concentraciones demasiado altas.

En cuanto al grupo de los piretroides, se ha encontrado en estudios con ratas que dosis de deltametrina a 0.003 mg/kg/día, 0.03 mg/kg/día y hasta 0.3 mg/kg (por 30, 45 y 60 días) provoca que se detenga el proceso de la espermatogénesis, dando como resultado un desequilibrio en las hormonas sexuales (Issam *et al.*, 2009). Las concentraciones de deltametrina que se detectaron en el presente estudio son menores (10 mg/kg-40 mg/kg) a las dosis probadas en ratas de 125 mg/kg y 225 mg/kg con exposición por 30 días, demostrando que dosis altas estimulan el sistema nervioso central (SNC), provocando una depresión continua. Además, se detectó que la deltametrina se acumuló en tejidos del cerebro, hígado, testículos, riñones, pulmones y corazón (Manna *et al.*, 2005). Las concentraciones de deltametrina detectadas en heces de perrito de la pradera en este estudio, de acuerdo con los datos anteriores, pueden causar daños reproductivos en la especie. Sin embargo, las concentraciones detectadas en las heces no son tan altas como para causar efectos de depresión y alta acumulación en órganos de perrito de la pradera.

En cuanto a la fauna silvestre, la deltametrina se ha detectado en semillas de maíz consumido por los chimpancés en rangos de concentración de  $0.026 \text{ mg/kg}^{-1}$ - $0.372 \text{ mg/kg}^{-1}$  (Krief *et al.*, 2017), dichas concentraciones resultan muy bajas en comparación con lo detectado en este estudio. En cuanto a si la cantidad de deltametrina afecta a la sobrevivencia de las poblaciones de mamíferos pequeños, se ha demostrado que la aplicación de deltametrina directamente en las madrigueras de pequeños roedores disminuye la sobrevivencia de sus poblaciones con aplicaciones de 2 g a 104 g durante 34 días (Goldberg *et al.*, 2022). Si se compara con la  $DL_{50}$  de la deltametrina, que es de  $135 \text{ mg/kg}$ , las concentraciones detectadas en este estudio fueron menores a la  $DL_{50}$  (OMS, 2020).

El grupo de los organoclorados son más persistentes que los organofosforados y son lipofílicos, por lo que pueden acumularse en tejidos grasos de los mamíferos. El endosulfán forma parte de este grupo y se ha demostrado que tiene efectos neurotóxicos en los organismos. Una exposición aguda causa neurodegeneración en roedores, también provoca un mal desarrollo en el sistema nervioso central, influyendo en el comportamiento, la memoria y el aprendizaje (Richardson *et al.*, 2019). Se ha comprobado que, en ratas, una dosis de  $2 \text{ mg/kg}$  causa daños en la mitocondria (por ejemplo, inflamación) e induce al estrés oxidativo (Lakroun *et al.*, 2015), por lo que las concentraciones detectadas en este estudio ( $60 \text{ mg/kg}$ - $500 \text{ mg/kg}$ ) bien podrían causar daños en el perrito de la pradera, ya que son mucho mayores a las concentraciones probadas que pueden causar daños en el comportamiento, la memoria y el aprendizaje. Tomando en cuenta la  $DL_{50}$  del endosulfán, que es de  $80 \text{ mg/kg}$  y que forma parte de los plaguicidas moderadamente peligrosos, las concentraciones detectadas en este estudio en su mayoría se encuentran arriba de la  $DL_{50}$  (OMS, 2020).

El grupo de los carbamatos son poco persistentes y se metabolizan y eliminan por medio de la excreta en un lapso corto, por lo que es difícil que se acumulen en tejidos. A pesar de ello, si se produce una exposición que cause una intoxicación aguda, puede llegar a provocar la muerte, paralizando los músculos respiratorios (Narváez *et al.*, 2012). La mayoría de los estudios con carbamatos están enfocados a las aves, ya que son las más sensibles a estos productos. Algunos carbamatos como el metomilo se han detectado en halcones envenenados, reportando concentraciones de  $64 \text{ mg/kg}$  en hígado (Vogler *et al.*, 2015). En palomas intoxicadas se han detectado concentraciones mayores a  $20 \text{ mg/kg}$ , causando su muerte casi al instante (Villar *et al.*, 2010). Estos resultados difieren de lo obtenido en este estudio, ya que la concentración más baja fue de  $40 \text{ mg/kg}$  y la más alta fue de  $700 \text{ mg/kg}$ . Está comprobado que el metomilo causa disrupción endocrina y tiene una gran capacidad genotóxica, sobre todo en mamíferos. Se ha evaluado que la aplicación de metomilo vía oral en ratas con dosis de  $1/10 DL_{50}$  y  $1/30 DL_{50}$  afecta de manera significativa su ciclo estral, su peso corporal, así como la formación de sus fetos (Toledo *et al.*, 2019), por lo que, si se toma en cuenta a las concentraciones que podrían estar expuestos los individuos de *C. mexicanus*, se puede inferir que los plaguicidas podrían estar causando daños a nivel ADN, así como en sus procesos de reproducción. El metomilo está considerado como un plaguicida muy tóxico que con una  $DL_{50}$  de  $17 \text{ mg/kg}$  forma parte del grupo de plaguicidas altamente peligrosos (OMS, 2020); por lo tanto, las concentraciones detectadas en heces que nos muestran los niveles de exposición a estas sustancias pueden ser de preocupación para la salud de las poblaciones silvestres.

Las altas concentraciones que se han detectado en este estudio pueden deberse principalmente al mal manejo de los plaguicidas que se da por parte de los productores y las personas dedicadas a aplicar este tipo de productos. Esto se ha podido constatar al menos en la zona de la Comarca Lagunera, en Coahuila y Durango, que es un área cercana a la zona de estudio, en la que solo un 40% de los productores cuentan con capacitación para el uso y manejo adecuado de los plaguicidas y el 90% no conocen el ingrediente activo del que está compuesto el producto que utilizan. Aunado a esto, el 61% de los productores dejan envases vacíos en el campo, lo que resulta en otra fuente de exposición para los mamíferos pequeños que puedan estar presentes (Esquivel-Valenzuela *et al.*, 2019).

La disminución de las poblaciones de *C. mexicanus* ha sido evidente a lo largo del tiempo, los primeros reportes que se tienen sobre su distribución mencionan que las colonias abarcaban 800 km<sup>2</sup> de territorio (Ceballos-G. & Wilson, 1985), con densidades promedio de 44.7 ind/ha (Semarnat, 2018). Actualmente ha perdido un 73% de su distribución histórica mencionada, abarcando solo 215 km<sup>2</sup>.

En cuanto a la densidad, se tienen datos donde se evidencia su disminución; por ejemplo, para el estado de Nuevo León se reporta una densidad promedio de 3.2 ind/ha, en Coahuila 6.1 ind/ha, en San Luis Potosí de 1.6 ind/ha a 15.6 ind/ha y en Zacatecas 20.6 ind/ha (Medellín & Bárcenas, 2021). Una de las principales amenazas reportadas para la especie es el avenamiento por parte de los agricultores, ya que los perritos de la pradera desde hace muchos años han sido considerados como una plaga para los cultivos y para el pastoreo (Medina, 1972; Semarnat, 2018). También, la fragmentación de las colonias y su destrucción es una de las grandes amenazas, esto debido al cambio ilegal de uso de suelo para la agricultura y la ganadería extensiva, así como el uso de los plaguicidas que se dispersan hacia las colonias (CITES, 2020; Semarnat, 2018).

En cuanto al tema de los plaguicidas, estos ya se han detectado en suelo y agua dentro de las colonias de perrito de la pradera, con concentraciones altas de hasta 13.5 mg/g en suelo y 14.8 mg/g en agua de glifosato (Cano-García *et al.*, 2022). Es claro que los plaguicidas se transportan hasta las colonias de perrito de la pradera, y la presencia de ellos en heces demuestra que se bioacumulan dentro de su organismo. Por tanto, las concentraciones detectadas, de acuerdo con estudios realizados, pueden causar daños en su reproducción, disminuyendo la producción de espermatozoides y la producción de testosterona, reduciendo la motilidad de espermatozoides, así como incidiendo en su comportamiento con el aumento en los niveles de ansiedad, afectaciones en la memoria de trabajo y reconocimiento y en la función locomotora (Baier *et al.*, 2017; Bali *et al.*, 2019; Coullery *et al.*, 2020; Dallegrove *et al.*, 2007). Estos daños provocan una repercusión directa en la composición y dinámica de las poblaciones contaminadas con plaguicidas (Chi-Coyoc *et al.*, 2016). Considerando entonces las afectaciones de los plaguicidas en los mamíferos pequeños y la drástica disminución de las poblaciones de *C. mexicanus* expuestas a plaguicidas, se puede considerar que la presencia de residuos de plaguicidas conforma un factor importante en el estudio de la disminución de las poblaciones de perrito de la pradera.

## Conclusiones

Este estudio demuestra que sí existe una exposición de las colonias de *C. mexicanus* a plaguicidas aplicados en los campos de cultivo que se encuentran cercanos a las colonias del perrito de la pradera. La presencia de residuos de plaguicidas en las heces de perrito de la pradera demuestra que estos se transportan desde el lugar de aplicación hasta llegar a las colonias, contaminando distintas matrices ambientales y bioacumulándose en su organismo. Las concentraciones detectadas de glifosato y metamidofos se encuentran por encima de la DL<sub>50</sub> establecida para cada plaguicida, por lo que hay mayor riesgo de intoxicación, influyendo en los procesos de reproducción y comportamiento, lo que impacta en la supervivencia de la especie.

Si bien los resultados de este estudio no afirman una relación concreta sobre la presencia de plaguicidas y la disminución de las poblaciones de perrito de la pradera, sí demuestran la importancia de considerar este factor en futuras investigaciones debido a las altas concentraciones que se detectaron. Además, es necesario realizar monitoreos constantes y a largo plazo sobre las poblaciones, así como sobre los efectos directos en la salud de los individuos de dicha especie. Este estudio proporciona entonces una base para realizar estudios futuros sobre el impacto de los plaguicidas en la salud de esta especie, así como la generación de estrategias que puedan reducir el impacto del uso de plaguicidas en especies silvestres.

## Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

## Referencias

- Álvarez-Castañeda, S.T., Lacher, T., & Vázquez, E. (2019). *Cynomys mexicanus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018, T6089A22260873.
- Araoud, M., Neffeti, F., Doouki, W., Khaled, L., Fadhel, M., Kenani, A., & Houas, Z. (2016). Toxic effects of methamidophos on paraoxonase 1 activity and on rat kidney and liver and ameliorating effects of alpha-tocopherol. *Environmental Toxicology*, 31(7), 1–13. <https://doi.org/10.1002/tox.22095>
- Badii, M. H., Hernández, S., & Guerrero, S. (2009). Efecto de los plaguicidas en pequeños mamíferos: implicaciones de sustentabilidad. *CULCYT: Cultura Científica y Tecnológica*, 30(6), 5–16. <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/353>
- Baier, C. J., Gallegos, C. E., Raisman-Vozari, R., & Minetti, A. (2017). Behavioral impairments following repeated intranasal glyphosate-based herbicide administration in mice. *Neurotoxicology and Teratology*, 64, 63–72. <https://doi.org/10.1016/J.NTT.2017.10.004>
- Bali, Y. A., Kaikai, N., Ba-M'hamed, S., & Bennis, M. (2019). Learning and memory impairments associated to acetylcholinesterase inhibition and oxidative stress following glyphosate based-herbicide exposure in mice. *Toxicology*, 415, 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2019.01.010>
- Bejarano, F. (2017). *Los plaguicidas altamente peligrosos en México*. Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, A.C. (RAPAM). <https://www.rapam.org/wp-content/uploads/2017/09/Libro-Plaguicidas-Final-14-agst-2017sin-portada.pdf>
- Betancourt, C. C. R., & Díaz, O. (2018). Los pesticidas: clasificación, necesidad de un manejo integrado y alternativas para reducir su consumo indebido: una revisión. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(2), 14–30. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/190>
- Cano-García, A., Cerna-Chávez, E., Ochoa-Fuentes, Y. M., Maldonado-Ortega, V., Ceballos-Ceballos, A. G., Linares-Márquez, P., & Lafón-Terrazas, A. (2022). Determinación y cuantificación de residuos de plaguicidas en suelo y agua en pastizales del noroeste de México, hábitat del perrito de la pradera mexicana. *Revista Mexicana de Mastozoología, Nueva Época*, 12(1), 33–48. <https://doi.org/10.22201/ie.20074484e.2022.12.1.347>
- Carrera, M. A. (2008). Situación actual, estrategias de conservación y bases para la recuperación del perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*) [Tesis de maestría]. Repositorio Institucional de la UNAM. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/90976>
- Ceballos-G., G., & Wilson, D. E. (1985). *Cynomys mexicanus*. *Mammalian Species*, (248), 1–3. <https://doi.org/10.2307/3503981>
- Chi-Coyoc, T. E., Escalona, G., Vallarino, A., Vargas, J. A., Castillo, G. E., & Lara, J. L. (2016). Plaguicidas organoclorados y anticolinérgicos en ratones silvestres en ecosistemas de humedales costeros del Golfo de México. *Therya*, 7(3), 465–482. <https://doi.org/10.12933/therya-16-422>
- CITES. (2020). *Examen Periódico de Cynomys mexicanum*. AC31 Doc. 41.2. <https://cites.org/sites/default/files/esp/com/ac/31/Documents/S-AC31-41-02.pdf>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). (2020). *Expediente científico sobre el glifosato y los cultivos GM*. [https://conahcyt.mx/wp-content/uploads/documentos/glifosato/Dossier\\_formato\\_glifosato.pdf](https://conahcyt.mx/wp-content/uploads/documentos/glifosato/Dossier_formato_glifosato.pdf)
- Coullery, R., Pacchioni, A. M., & Rosso, S. B. (2020). Exposure to glyphosate during pregnancy induces neurobehavioral alterations and downregulation of Wnt5a-CaMKII pathway. *Reproductive Toxicology*, 96, 390–398. <https://doi.org/10.1016/J.REPROTOX.2020.08.006>
- Dallegrove, E., Mantese, F. D., Oliveira, R. T., Andrade, A. J. M., Dalsenter, P. R., & Langeloh, A. (2007). Pre- and postnatal toxicity of the commercial glyphosate formulation in Wistar rats. *Archives of Toxicology*, 81, 665–673. <https://doi.org/10.1007/s00204-006-0170-5>

- Del Puerto, A. M., Suárez, S., & Palacio, D. E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372-387.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1561-30032014000300010&lng=es&tng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000300010&lng=es&tng=es)
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (30 de diciembre de 2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, *Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. Semarnat.  
[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010)
- Esquivel-Valenzuela, B., Cueto-Wong, J. A., Valdez-Cepeda, R. D., Pedroza-Sandoval, A., Trejo-Calzada, R., & Pérez-Veyna, Ó. (2019). Prácticas de manejo y análisis de riesgo por el uso de plaguicidas en la Comarca Lagunera, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(1), 25-33.  
<https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.01.02>
- Gallina, S. (ed.). (2015). *Manual de técnicas del estudio de la fauna*. Instituto de Ecología, A.C.  
[http://www1.inecol.edu.mx/cv/CV\\_pdf/libros/tecnicas\\_fauna.pdf](http://www1.inecol.edu.mx/cv/CV_pdf/libros/tecnicas_fauna.pdf)
- García-Gutiérrez, C., & Rodríguez-Mesa, G. D. (2012). Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. *Ra Ximhai*, 8(3), 41-49.  
chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-25baticulosPDF/1%20GARCIA-GUTIERREZ.pdf
- Goldberg, A. R., Biggins, D. E., Ramakrishnan, S., Bowser, J. W., Conway, C. J., Eads, D. A., & Wimsatt, J. (2022). Deltamethrin reduces survival of non-target small mammals. *Wildlife Research*, 49(8), 698-708.  
<https://doi.org/10.1071/WR21153>
- Hernández, R., García, D., & Romero, H. (2021). Uso del glifosato en México. *Revista Iberoamericana de Bioética*, 17, 1-12. <https://doi.org/10.14422/rib.i17.y2021.007>
- Issam, C., Samir, H., Zohra, H., Monia, Z., & Hassen, B. C. (2009). Toxic responses to deltamethrin (DM) low doses on gonads, sex hormones and lipoperoxidation in male rats following subcutaneous treatments. *Journal of Toxicological Sciences*, 34(6), 663-670. <https://doi.org/10.2131/jts.34.663>
- Krief, S., Berny, P., Gumisiriza, F., Gross, R., Demeneix, B., Fini, J. B., Chapman, C. A., Chapman, L. J., Seguya, A., & Wasswa, J. (2017). Agricultural expansion as risk to endangered wildlife: pesticide exposure in wild chimpanzees and baboons displaying facial dysplasia. *Science of the Total Environment*, 598, 647-656.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.113>
- Lakroun, Z., Kebieche, M., Lahouel, A., Zama, D., Desor, F., & Soulimani, R. (2015). Oxidative stress and brain mitochondria swelling induced by endosulfan and protective role of quercetin in rat. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 7776-7781. <https://doi.org/10.1007/S11356-014-3885-5/METRICS>
- Leal, S. D., Valenzuela, A. I., Quintanar, Gutiérrez, M. D. L., Bermúdez, M. del C., García, J., Aldana, M. L., Grajeda, P., Silveira, M. I., Meza, M. M., Palma, A., Leyva, G. N., Camarena, B. O., & Valenzuela, C. P. (2013). Residuos de plaguicidas organoclorados en suelos agrícolas. *Terra Latinoamericana*, 32(1), 1-11.
- Manna, S., Bhattacharyya, D., Mandal, T. K., & Das, S. (2005). Repeated dose toxicity of deltamethrin in rats. *Indian Journal of Pharmacology*, 37(3), 160. <https://doi.org/10.4103/0253-7613.16212>
- Medina, J. G. (1972). Contribución al estudio ecológico y control del perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*, Merriam), en el rancho demostrativo "Los Angeles", propiedad de la Escuela Superior de Agricultura "Antonio Narro", de la Universidad de Coahuila [Tesis de Grado]. Universidad de Coahuila, Escuela Superior de Agricultura "Antonio Narro".
- Medellín, R. A., & Bárcenas, H. V. (2021). *Evaluación del estado de conservación y amenazas de Cynomys mexicanus en el marco del examen de revisión periódica de especies listadas en los Apéndices de la CITES* [Informe Final del Proyecto QE005]. <http://www.cbmm.gob.mx/institucion/cgi-bin/datos.cgi?Letras=QE&Numero=5>
- Moo-Muñoz, A. J., Azorín-Vega, E. P., Ramírez-Durán, N., & Moreno-Pérez, M. P. (2020). Estado de la producción y consumo de plaguicidas en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23, 1-11.  
<http://hdl.handle.net/20.500.11799/109820>
- Murga, M. N., Gutiérrez, R., Vega y León, S., Pérez, J. J., Schettino, B., Ruíz, J. L., & Yamazaki, A. (2017). Presencia de plaguicidas organoclorados en forraje para ganado en unidades de producción de leche orgánica en Tecpatán, Chiapas. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 8(2), 157-166.  
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i2.4432>

- Narváez, J. F., Palacio, J. A., & Molina, F. J. (2012). Persistencia de plaguicidas en el ambiente y su ecotoxicidad: una revisión de los procesos de degradación natural. *Gestión y Ambiente*, 15(3), 27–38. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/1694/169424893002.pdf](https://www.redalyc.org/pdf/1694/169424893002.pdf)
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020). *Clasificación recomendada por la OMS de los plaguicidas por el peligro que presentan y directrices para la clasificación 2019*. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789240005662>
- Ortega-Olvera, J. M., Winkler, R., Quitanilla-Vega, B., Shibayama, M., Chávez-Munguía, B., Martín-Tapia, D., Alarcón, L., & González-Mariscal, L. (2018). The organophosphate pesticide methamidophos opens the blood-testis barrier and covalently binds to ZO-2 in mice. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 360, 257–272. <https://doi.org/10.1016/j.TAAP.2018.10.003>
- Pandey, S. P., & Mohanty, B. (2015). The neonicotinoid pesticide imidacloprid and the dithiocarbamate fungicide mancozeb disrupt the pituitary-thyroid axis of a wildlife bird. *Chemosphere*, 122, 227–234. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.11.061>
- Pando, M., Reyna, L., Scott, L., & Jurado, E. (2018). Caracterización del suelo en colonias de *Cynomys mexicanus* Merriam, 1892 en el Noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(17), 98–105. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i17.424> Prado, G., Olivares, J., Payán, F., & Alarcón, G. (2018). Naturaleza y acciones de los plaguicidas organofosforados sobre el ambiente y la salud. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 18(35), 151–179. <https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/article/view/346/344>
- Richardson, J. R., Fitsanakis, V., Westerink, R. H. S., & Kanthasamy, A. G. (2019). Neurotoxicity of pesticides. *Acta Neuropathologica*, 138(3), 343–362. <https://doi.org/10.1007/s00401-019-02033-9>
- Romano, R. M., Romano, M. A., Bernardi, M. M., Furtado, P. V., & Oliveira, C. A. (2010). Prepubertal exposure to commercial formulation of the herbicide glyphosate alters testosterone levels and testicular morphology. *Archives of Toxicology*, 84, 309–317. <https://doi.org/10.1007/s00204-009-0494-z>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). (2018). *Programa de Acción para la Conservación de las Especies Perrito Llanero de Cola Negra (Cynomys ludovicianus) y Perrito Llanero Mexicano (Cynomys mexicanus)*. Semarnat-Conanp. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/443951/PACE\\_Perrito\\_llanero\\_de\\_cola\\_negra.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/443951/PACE_Perrito_llanero_de_cola_negra.pdf)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (Semarnat-INECC). (2018). *Estudio sobre el uso de plaguicidas en México. Compilación 1980-2018*. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/728079/141\\_2022\\_Estudios\\_plaguicidas\\_Mexico\\_1980-2018.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/728079/141_2022_Estudios_plaguicidas_Mexico_1980-2018.pdf)
- Silveira-Gramont, M. I., Aldana-Madrid, M. L., Piri-Santana, J., Valenzuela-Quintanar, A. I., Jasa-Silveira, G., & Rodríguez-Olibarria, G. (2018). Plaguicidas agrícolas: Un marco de referencia para evaluar riesgos a la salud en comunidades rurales en el estado de sonora, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(1), 7–21. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.01.01>
- Toledo, J. M., Gamalo, L. E., Suetos, K. J., Galapon, M., & Maligalig, M. D. (2019). Estrous cycle and early pregnancy of white mice exposed to methomyl. *Pollution*, 5(2), 279–286. <https://doi.org/10.22059/poll.2018.265744.518>
- Treviño-Villarreal, J., & Grant, W. E. (1998). Geographic range of the endangered Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*). *Journal of Mammalogy*, 79(4), 1273–1287. <https://doi.org/10.2307/1383019>
- Truzzi, F., Mandrioli, D., Gnudi, F., Scheepers, P. T. J., Silbergeld, E. K., Belpoggi, F., & Dinelli, G. (2021). Comparative evaluation of the cytotoxicity of glyphosate-based herbicides and glycine in L929 and Caco2 cells. *Frontiers in Public Health*, 9, 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.643898>
- Urióstegui-Acosta, M., Hernández-Ochoa, I., Sánchez-Gutiérrez, M., Piña-Guzmán, B., Rafael-Vázquez, L., Solís-Heredia, M. J., Martínez-Aguilar, G., & Quintanilla-Vega, B. (2014). Methamidophos alters sperm function and DNA at different stages of spermatogenesis in mice. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 279(3), 391–400. <https://doi.org/10.1016/j.TAAP.2014.06.017>
- Vargas-González, G., Alvarez-Reyna, V. D. P., Guigón-López, C., Cano-Ríos, P., & García-Carrillo, M. (2019). Impacto ambiental por uso de plaguicidas en tres áreas de producción de melón en la Comarca Lagunera, México. *CienciaUAT*, 13(2), 113. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i2.1141>
- Varona, M., Henao, G. L., Díaz, S., Lancheros, A., Murcia, Á., Rodríguez, N., & Álvarez, V. H. (2009). Evaluación de los efectos del glifosato y otros plaguicidas en la salud humana en zonas objeto del programa de erradicación de cultivos ilícitos. *Biomédica*, 29(3), 456. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v29i3.16>

- Villar, D., Balvin, D., Giraldo, C., Motas, M., & Olivera, M. (2010). Plasma and brain cholinesterase in methomyl-intoxicated free-ranging pigeons (*Columba livia* f. domestica). *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 22(2), 313–315. <https://doi.org/10.1177/104063871002200229>
- Vogler, B. R., Hoop, R., Sinniger, M., & Albin, S. (2015). Intentional methomyl-poisoning of peregrine falcons (*Falco peregrinus*) in Switzerland. *European Journal of Wildlife Research*, 61(4), 611–615. <https://doi.org/10.1007/s10344-015-0914-8>
- Woźniak, E., Sicińska, P., Michałowicz, J., Woźniak, K., Reszka, E., Huras, B., Zakrzewski, J., & Bukowska, B. (2018). The mechanism of DNA damage induced by Roundup 360 PLUS, glyphosate and AMPA in human peripheral blood mononuclear cells-genotoxic risk assesment. *Food and Chemical Toxicology*, 120, 510-522. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.07.035>