

Evaluación de parámetros clínicos y actividad acetilcolinesterasa en trabajadores agrícolas expuestos a plaguicidas organofosforados de Guasave, Sinaloa, México

Evaluation of clinical parameters and acetylcholinesterase activity in agricultural workers exposed to organophosphate pesticides from Guasave, Sinaloa, Mexico

Leyva-Morales, J.B.¹, Perea-Domínguez, X.P.², Martínez-Álvarez, I.G.³,
Soto-Alcalá, J.³, Rodríguez-Aguilar, B.A.⁴, Machado-Campos, E.²

¹Área Académica de Química-Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), Carretera Pachuca-Tulancingo km. 4.5, Mineral de la Reforma, 42184, Hidalgo, México.

²Departamento de Salud, Universidad Autónoma de Occidente (UAdeO), Av. Universidad S/N, Fraccionamiento Villa Universidad, Guasave, 81048, Sinaloa, México.

³Departamento de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Occidente (UAdeO), Av. Universidad S/N, Fraccionamiento Villa Universidad, Guasave, 81048, Sinaloa, México.

⁴Facultad de Ciencias Marinas, Universidad de Colima, Manzanillo 28868, Colima, México.

RESUMEN

Sinaloa es uno de los estados agrícolas más productivos de México, pero esta actividad implica el uso intensivo de plaguicidas, los cuales pueden afectar la salud de los trabajadores expuestos. Se realizó un estudio descriptivo, transversal y analítico para evaluar los efectos de los plaguicidas organofosforados en parámetros clínicos y enzimáticos de trabajadores agrícolas en Guasave, Sinaloa. Se aplicó un instrumento de recolección de datos y se monitorearon parámetros clínicos y la actividad de acetilcolinesterasa en muestras de sangre. Los resultados mostraron que los trabajadores no utilizan el equipo de protección adecuado, lo que indica una exposición por diversas vías. Entre los síntomas reportados con mayor frecuencia se encuentran la micción (45.8 %), salivación (41.7 %) y sudoración (29.7 %). Aunque la mayoría de los parámetros clínicos estuvieron dentro de los rangos de referencia tanto en personas expuestas como no expuestas, se observó una disminución considerable en la actividad de acetilcolinesterasa en los expuestos. Se concluye que la exposición a plaguicidas organofosforados está afectando dicha actividad en trabajadores agrícolas. No obstante, se recomienda incorporar más biomarcadores en diferentes muestras biológicas para obtener un panorama más completo sobre las afectaciones a la salud derivadas de esta exposición.

PALABRAS CLAVE: Agroquímicos, Biomarcadores, Agricultura, Exposición ocupacional.



Please cite this article as/Como citar este artículo: Leyva-Morales, J.B., Perea-Domínguez, X.P., Martínez-Álvarez, I.G., Soto-Alcalá, J., Rodríguez-Aguilar, B.A., Machado-Campos, E. (2026). Evaluation of clinical parameters and acetylcholinesterase activity in agricultural workers exposed to organophosphate pesticides from Guasave, Sinaloa, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 13, e1995. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1995>

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: June 06, 2025.

Accepted/Aceptado: November 7, 2025.

Available on line/Publicado: January 09, 2026.

*Corresponding Author:

X.P. Perea-Domínguez. Departamento de Salud, Universidad Autónoma de Occidente (UAdeO), Av. Universidad S/N, Fraccionamiento Villa Universidad, Guasave, 81048, Sinaloa, México. Teléfono (687) 872 9807. E-mail: xiomara.perea@uadeo.mx

ABSTRACT

Sinaloa is one of Mexico's most productive agricultural states. However, this activity involves intensive pesticide use, which can have detrimental effects on the health of those exposed. The present descriptive, cross-sectional, and analytical study evaluated the effects of organophosphate pesticides on the clinical and enzymatic parameters of agricultural workers in Guasave, Sinaloa. Clinical parameters and acetylcholinesterase activity in blood samples were monitored using a data-collection instrument. The findings indicated that workers were not utilizing adequate protective equipment, suggesting exposure through various routes. The most frequently reported symptoms were urination (45.8 %), salivation (41.7 %), and sweating (29.7 %). While most clinical parameters were within the reference range for both exposed and unexposed individuals, a substantial decline in acetylcholinesterase activity was evident in the exposed cohort. It can be concluded that exposure to organophosphate pesticides influences acetylcholinesterase activity in agricultural workers. Nevertheless, incorporating a greater number of biomarkers from various biological samples is recommended to obtain a more comprehensive picture of the health effects resulting from this exposure.

KEY WORDS : Agrochemicals, Biomarkers, Agriculture, Occupational Exposure.

Introducción

Sinaloa es uno de los estados de mayor riqueza en el desarrollo de los campos agrícolas, por lo que se ha convertido en un estado importante en la producción agrícola a nivel nacional. No obstante, su productividad ha implicado que gran parte de su población esté afectada por el uso excesivo e inadecuado de plaguicidas (Arciniega-Galaviz, 2021). Una de las zonas agrícolas más importantes en Sinaloa, en cuanto a superficie y producción, es el Distrito de Riego 063 (DR063) el cual se ubica en la Región Hidrológica III de la Cuenca Pacífico Norte, en el extremo norte de Sinaloa, en los municipios de Guasave y Sinaloa de Leyva, cuenta con 118,218 ha de superficie de riego, cuyos cultivos (maíz, frijol, garbanzo, papa, trigo y sorgo, principalmente) requieren la aplicación de un elevado volumen de plaguicidas (Hernández-Antonio & Hansen 2011; González-Farias *et al.*, 2014; CONAGUA, 2019; López-Gaxiola *et al.*, 2021). En este sentido, se ha reportado que las principales clases químicas de plaguicidas, en orden de importancia, usadas en Guasave, Sinaloa, corresponden a organofosforados, piretroides, organoclorados, carbamatos, benzimidazoles, sales de ácido benzoico y clorofenoxi (Hernández-Antonio & Hansen 2011; García-Gutiérrez & Rodríguez-Meza 2012; González-Farias *et al.*, 2014). Los organofosforados, la clase química más empleada en el DR063, inducen toxicidad al inhibir la enzima acetilcolinesterasa (AChE) en las terminaciones nerviosas del sistema nervioso central

y periférico (Mitra *et al.*, 2019). Esta inhibición conduce a una incapacidad para hidrolizar el neurotransmisor acetilcolina (ACh), lo que aumenta sus niveles en la sinapsis nerviosa y provoca una sobreestimulación de los receptores muscarínicos y nicotínicos, lo que podría causar efectos tóxicos neuronales y no neuronales en los organismos expuestos (Bernal-González *et al.*, 2023). En este sentido, la desregulación del sistema colinérgico resultado de la exposición a este tipo de compuestos ha sido asociada con alteraciones sensoriales, motoras, inmunológicas, endocrinas y neurológicas, conduciendo al desarrollo de diversas patologías, como cáncer, hipersensibilidad, enfermedades neurodegenerativas, infecciones y diabetes (Del Puerto-Rodríguez *et al.*, 2014; García-Hernández *et al.*, 2018; Martínez-Valenzuela *et al.*, 2019; Saborío-Cervantes *et al.*, 2019; Estremadoyro, 2022; Bernal-González *et al.*, 2023). Investigaciones recientes hacen hincapié en que los trabajadores agrícolas, comunidades indígenas, mujeres embarazadas y niños forman parte de los grupos más vulnerables a la exposición a plaguicidas, incluidos los organofosforados, y por lo tanto requieren de una protección especial, particularmente las personas ocupacionalmente expuestas (Martínez-Valenzuela *et al.*, 2019; Cestonaro *et al.*, 2022; Chen *et al.*, 2024; Vaezafshar *et al.*, 2024).

Como biomarcador de exposición y efecto a plaguicidas organofosforados en población ocupacionalmente expuesta, la inhibición de la colinesterasa (acetilcolinesterasa y butirilcolinesterasa) en sangre ha sido ampliamente reportada (Díaz *et al.*, 2017; Bernal-Hernández *et al.*, 2018; Dhananjayan *et al.*, 2019; Caro-Gamboa *et al.*, 2020; Herrera-Moreno *et al.*, 2021; Kaur *et al.*, 2023; Finhler *et al.*, 2023; Kohoutova *et al.*, 2024). En este sentido, diversos estudios ponen de manifiesto la afectación a la salud de trabajadores agrícolas por la exposición a plaguicidas organofosforados en el estado de Sinaloa, la mayoría de estos se basan en recabar información a través de la aplicación de cuestionarios para asociar la exposición con cierta sintomatología en particular y/o con la medición de la disminución de la actividad enzimática de colinesterasa, específicamente acetilcolinesterasa (Palacios-Nava, 2003; Palacios-Nava & Moreno-Tetlacuilo, 2004; Palacios-Nava *et al.*, 2009; Palacios-Nava & Paz, 2011; Palacios-Nava, 2012; Arciniega-Galaviz, 2021; Ibarra-Ceceña & López de Haro, 2021; Arciniega-Galaviz & Fontalvo-Buelvas, 2024).

En este sentido, entre los estudios realizados en Sinaloa, Palacios-Nava & Paz (2011) evidencian la asociación entre la exposición a plaguicidas organofosforados y la presencia de síntomas persistentes (cefalea, dolor estomacal, mialgias, calambres, vértigo, debilidad y lagrimeo) en trabajadores agrícolas. Demostrando una probable adaptación de los niveles de acetilcolinesterasa ante una exposición cotidiana a dosis moderadas pero constantes de plaguicidas.

Finalmente, Palacios-Nava (2012) realizó un estudio para determinar la prevalencia de síntomas, su relación con las condiciones de trabajo y el nivel de actividad de la acetilcolinesterasa. Se encontró que la prevalencia de síntomas persistentes fue del 63 % en 100 trabajadores; el promedio de actividad enzimática estuvo dentro de rangos normales (3.69 ± 0.65 U/mL) y se detectó anemia en el 65 % del total de jornaleros, lo que hace altamente probable que esta se deba a la exposición a plaguicidas. Sin embargo, los resultados no mostraron asociación entre los síntomas persistentes y los niveles de actividad de la acetilcolinesterasa.

Debido a la relevancia de las actividades agrícolas y su asociación con la aplicación de grandes cantidades de plaguicidas organofosforados en el estado de Sinaloa, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar los efectos en parámetros clínicos y actividad enzimática de la acetilcolinesterasa por exposición a plaguicidas organofosforados en jornaleros agrícolas del municipio de Guasave, Sinaloa ya que, a pesar de la información disponible, no existen estudios en Sinaloa y en otros estados de la república mexicana son escasos, que asocien los posibles efectos negativos a la salud de las personas expuestas a plaguicidas organofosforados.

Material y Métodos

Población de estudio

Se realizó un estudio descriptivo, transversal y analítico con dos grupos de trabajadores agrícolas del municipio de Guasave, Sinaloa, México. El primer grupo no tuvo contacto ocupacional con plaguicidas organofosforados (no expuestos, $n = 11$); mientras que, el segundo estuvo constituido por trabajadores con diferentes grados de exposición (aplicación o exposición en el campo) a plaguicidas organofosforados (expuestos, $n = 25$).

Diseño y validación del cuestionario

Se diseñó un cuestionario semiestructurado para evaluar los posibles efectos en la salud derivados de la exposición a plaguicidas en jornaleros agrícolas del municipio de Guasave. El cuestionario estuvo estructurado en tres secciones: la primera incluyó preguntas relacionadas con aspectos sociodemográficos (nombre, edad, peso, sexo, entre otros) y condiciones generales de salud consideradas peligrosas para un trabajador agrícola expuesto a plaguicidas organofosforados; la segunda, con preguntas sobre el uso de plaguicidas organofosforados; y la tercera, para confirmar que el trabajador aplica este tipo de plaguicidas. La segunda contempló preguntas sobre características ocupacionales, puesto de trabajo, factores de riesgo de exposición y uso de equipo de protección durante la manipulación/aplicación. Finalmente, la tercera cuestionó a los entrevistados sobre la frecuencia de la presencia de alguna sintomatología relacionada con una posible intoxicación por plaguicidas organofosforados. Los cuestionarios fueron entregados impresos, mientras que a los trabajadores con dificultades para leer y escribir se les proporcionó ayuda para responder el instrumento.

El cuestionario empleado como instrumento fue revisado por seis expertos en exposición a plaguicidas. Se revisaron las preguntas y se acordó cuáles eran pertinentes para la exposición ocupacional a plaguicidas y cuáles requerían modificaciones para adecuarlas al contexto sociocultural de la población de estudio, lo que permitió evaluar la validez del instrumento. Posteriormente, para evaluar la viabilidad de este se realizó una prueba piloto en 13 trabajadores expuestos obteniendo información que permitió realizar un análisis estadístico de fiabilidad mediante la prueba de alfa de Cronbach (Rodríguez-Rodríguez & Reguant-Álvarez, 2020; Cancino *et al.*, 2023; Torres-Sánchez *et al.*, 2024).

Criterios de selección

Se incluyeron trabajadores agrícolas (grupo expuesto), hombres y mujeres, mayores de 18 años, que aceptaron participar voluntariamente en el estudio, para lo cual firmaron una carta de consentimiento informado. No se incluyeron en el estudio a los individuos que no deseaban participar, a quienes padecían alguna enfermedad crónica diagnosticada por un médico, ni a mujeres embarazadas y/o a personas que no contaban con su carta de consentimiento debidamente firmada. En el caso del grupo no expuesto, se invitó a participar a personas que cumplieran los mismos criterios que el grupo expuesto, con la excepción de que trabajaran en actividades relacionadas con el uso o manejo de plaguicidas.

Muestreo

Se realizó un muestreo no probabilístico de tipo intencional, donde los trabajadores expuestos fueron seleccionados con base a los criterios establecidos por Arciniega-Galaviz & Fontalvo-Buelvas (2024): 1) el trabajador estuviera implicado en la aplicación de plaguicidas o exposición en el campo; 2) se comprometiera a proporcionar información clara y confiable; 3) radicara y laborara en localidades que se ubican dentro del Distrito de Riego 063; y 4) estuvieran dispuestos a responder el cuestionario y proporcionar una muestra biológica de sangre para la medición de parámetros bioquímicos y de actividad enzimática de acetilcolinesterasa.

Aspectos éticos

Para la implementación de esta investigación se tomaron en cuenta las consideraciones éticas establecidas en la Declaración de Helsinki y el Código de Núremberg. Este estudio fue aprobado por el Comité de Bioética de la Universidad Autónoma de Occidente (UAdeO) (CM-UAdeO 29.08/2021) (Material suplementario). Cada participante firmó una carta de consentimiento informado y se garantizó la confidencialidad de sus datos (Formato disponible en el material suplementario).

Determinaciones analíticas

Recolección y procesamiento de muestras biológicas: Las muestras de sangre (10 mL) se obtuvieron mediante venopunción, durante el periodo otoño-invierno (temporada de alta exposición), utilizando tubos con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) como anticoagulante. Todas las muestras fueron analizadas el día de su recolección en un plazo inferior a 8 horas (Herrera-Moreno *et al.*, 2021).

Biometría hemática y química sanguínea: Para evaluar el estado de salud de los jornaleros, se realizaron análisis de laboratorio rutinarios. Los análisis de biometría hemática completa (eritrocitos, hemoglobina, hematocrito, volumen corpuscular medio (MCV), hemoglobina corpuscular media (MCH), concentración de hemoglobina corpuscular media (MCHC), amplitud de distribución eritrocitaria (RDW), plaquetas, volumen plaquetario, leucocitos, neutrófilos,

linfocitos, monocitos y eosinófilos) y química sanguínea (glucosa, urea, creatinina, ácido úrico, colesterol total, triglicéridos y nitrógeno ureico) en las muestras de sangre se realizaron en un laboratorio de análisis clínicos certificado mediante los métodos de impedancia y colorimétrico, respectivamente.

Actividad de colinesterasa en sangre total: La actividad de colinesterasa se determinó según el método descrito por Tor *et al.* (1994), con ligeras modificaciones. Las muestras fueron diluidas 1:100 con Triton X-100. Posteriormente, de cada muestra se diluyeron 500 µL en 1 mL de buffer de fosfatos (0.1 M, pH 8). Para la reacción se añadieron 250 µL de muestra diluida por pozo a una microplaca de 96 pozos donde se asignaron los pocillos correspondientes a las muestras, réplicas y controles sus respectivos pocillos, posteriormente se añadieron 25 µL del reactivo DTNB (5,5'-dithio-bis (ácido 2-nitrobenzónico)), se permitió que la temperatura de los pozos se mantuviera a 25 °C y se añadieron 25 µL de yoduro de acetilcolina a los pocillos de muestra. Se añadieron 25 µL de buffer de fosfatos a los pocillos de “blanco de sustrato”. Se esperó 1 min a que la reacción se equilibrara. Se midió la absorbancia a 405 nm cada 8 segundos durante 5 min en un lector fotométrico de placas (Multiskan FC Thermo Scientific) con automezclado. Los análisis se realizaron por triplicado. La actividad enzimática (EA) fue corregida por hemoglobina de acuerdo con lo reportado por Herrera-Moreno *et al.* (2021):

$$AE \text{ U/g de Hb} = \frac{AE \text{ en U/mL}}{\left(\frac{Hb \text{ en g/dL}}{100}\right)} \text{ Ecuación (1)}$$

Análisis estadísticos

Se realizó un análisis estadístico descriptivo, para lo cual se obtuvieron los promedios, desviaciones estándar, mínimos y máximos para las variables continuas, y frecuencias y proporciones para las variables categóricas. Posteriormente, se realizó un análisis de correlación para las variables obtenidas a partir de los parámetros clínicos y de actividad de acetilcolinesterasa, así como entre todas las variables evaluadas en el presente estudio, con el fin de explorar el nivel de relación entre variables. En este sentido, se evaluó el cumplimiento del supuesto de normalidad de las variables mediante la prueba de Shapiro-Wilk, con el fin de determinar la prueba óptima para el análisis de correlación. Posteriormente, se realizó un análisis de regresión lineal con las variables que presentaron el mayor valor de correlación positiva o negativa, con el fin de evaluar la dependencia entre variables. Se evaluó, de igual manera, que todos los modelos cumplieran con los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) y de homocedasticidad de varianza mediante la prueba de Breusch-Pagan, en la que un valor de p menor a 0.05 rechaza la homocedasticidad del modelo.

Se realizaron análisis para evaluar diferencias entre los parámetros clínicos y de actividad de acetilcolinesterasa determinados en sangre de trabajadores expuestos y no expuestos. Como

primer enfoque, se procedió a realizar pruebas t de Student; para ello, se evaluaron los supuestos de normalidad. En caso de no cumplirse, se procedió a realizar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. En caso de observarse diferencias significativas, se compararon las medias mediante la prueba de Tukey.

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software SPSS, versión 22, para el análisis de las variables obtenidas del cuestionario semiestructurado, y R, versión 3.6.2, para el análisis de las variables obtenidas de las muestras biológicas. Los valores de $p < 0.05$ se consideraron estadísticamente significativos.

Resultados y Discusión

Validación del cuestionario

Los resultados de la validación indicaron un valor de alfa de Cronbach general de 0.742, considerando todos los ítems, mientras que, para los ítems individuales, se encontró en el rango de 0.70 a 0.75. El valor mínimo aceptable del coeficiente alfa de Cronbach es 0.70; por debajo de ese valor, la consistencia interna de la escala es baja. Por lo tanto, se afirma que, en general, la consistencia del instrumento es adecuada para el fin planteado. Esta prueba ha sido ampliamente reportada en diversos campos de las ciencias como una herramienta eficaz para demostrar la fiabilidad de un instrumento de recolección de datos (González-Alonso & Pazmiño-Santa Cruz, 2015; Toledo-Morales & Sánchez-García, 2015; Tuapanta-Dacto *et al.*, 2017).

Muñoz-Quezada *et al.* (2019) evaluaron la fiabilidad y validez de un cuestionario para evaluar la exposición a plaguicidas organofosforados en trabajadores agrícolas en Maule, Chile, demostrando que el instrumento generado presentaba una buena consistencia interna (alfa de Cronbach > 0.7) y, por ende, una alta confiabilidad para predecir exposiciones probables a plaguicidas. Los factores evaluados por ellos fueron: 1) condiciones laborales durante la aplicación de los plaguicidas; 2) uso de equipo de protección personal; 3) condiciones del lugar de trabajo relacionadas con la exposición a los plaguicidas; y 4) condiciones del hogar relacionadas con la exposición a estos compuestos. Concluyendo que el cuestionario desarrollado tenía propiedades métricas suficientes para caracterizar la exposición probable a plaguicidas entre los trabajadores agrícolas de la región estudiada.

Características de la población de estudio y exposición ocupacional a plaguicidas

Del total de la población estudiada, 76 % fueron masculinos y 24 % femeninos. Su promedio de edad fue de 32.9 ± 12.7 años, con un rango de 19 a 54 años. El total de participantes expuestos declaró estar involucrado en actividades que implicaban el contacto con plaguicidas organofosforados. El 29 % declaró ser jornaleros agrícolas, el 29 % expresó ser fumigadores/aplicadores, el 21 % indicó realizar actividades de preparación de plaguicidas, el 15 % cosechadores y el 2 % indicó realizar diversas actividades.

Palacios-Nava & Paz (2011) reportaron en un estudio realizado a jornaleros agrícolas que el puesto más frecuentemente ocupado era el de cortador (43.4 %), seguido de aplicador de plaguicidas (26.4 %), ayudante general (11.3 %), supervisor o mayordomo (11.3 %) y auxiliar de aplicación (7.5 %). Ibarra-Ceceña & López de Haro (2021) reportaron que, en una comunidad indígena de El Fuerte, Sinaloa, alrededor del 25 % de los encuestados declaró ser jornaleros agrícolas, mientras que el resto correspondió a amas de casa (45 %), maestros (20 %), estudiantes (5 %) y ejidatarios (5 %).

En este estudio se obtuvo que el 50 % de los trabajadores tenían entre 1 y 10 años de exposición a plaguicidas organofosforados, mientras que el resto mostró el mismo porcentaje de respuesta (16.7 %), correspondiente a las categorías de menos de un año, entre 11 y 20 años y más de 20 años. Los resultados del presente estudio difieren de lo reportado en el valle de Culiacán, donde se registra que el 81 % de los jornaleros agrícolas tiene entre 16 y 35 años (Haro-García *et al.*, 2002).

Palacios-Nava (2003) reportó en un estudio realizado en un campo agrícola en Sinaloa que el 75 % de la población estudiada tenía entre 15 y 26 años, lo cual difiere del presente estudio. Sin embargo, Palacios-Nava declara que de los jornaleros agrícolas considerados en dicho estudio, el 83 % eran migrantes de otros estados de México. Palacios-Nava (2012) realizó un estudio en el que encontró que el 87 % de los jornaleros agrícolas encuestados eran hombres de 15 a 31 años, de los cuales 31 % presentaban analfabetismo y el 71 % eran migrantes.

Los resultados obtenidos en el presente estudio son similares a lo reportado por Arciniega-Galaviz (2021) en Ahome, Sinaloa, donde los jornaleros agrícolas declararon haber iniciado actividades relacionadas con el manejo de plaguicidas entre los 20 y 25 años (45 %) y entre los 15 y 20 años (28 %). Asimismo, Arciniega-Galaviz *et al.* (2021) reportaron que en Ahome, Sinaloa, el 3 % de los jornaleros agrícolas indígenas encuestados declaró haber empezado a trabajar en actividades agrícolas con uso de plaguicidas siendo menores de edad. En este sentido, la exposición ocupacional a plaguicidas y sus efectos sobre la salud de los jornaleros agrícolas han sido asociados de manera reduccionista, ya que estos últimos suelen pertenecer al nivel socioeconómico más bajo en las regiones agrícolas de Sinaloa (Haro-García *et al.*, 2002).

En lo que respecta a los aspectos relacionados con la exposición a plaguicidas, en el presente estudio, se obtuvo que el 83.3 % de los encuestados expresaron hacer uso actual de plaguicidas organofosforados para el control de plagas en los cultivos establecidos en el municipio de Guasave, algunos de ellos expusieron hacerlo de manera permanente (58.3 %) y el resto de manera estacional (41.7 %), además el 87.5 % declararon empezar a realizar actividades relacionadas con el uso de estas sustancias desde una edad temprana (<15 y entre 16-25 años). Esto es un factor importante, ya que se ha reportado que las personas más susceptibles a los efectos adversos de los plaguicidas son infantes y ancianos, debido a que su sistema inmunológico se encuentra en desarrollo o en deterioro, respectivamente (Muñoz-Quezada *et al.*, 2021; Prah *et al.*, 2021). Por otro lado, cabe mencionar que en México existe normativa que prohíbe a los menores de edad (<18 años) realizar actividades agrícolas que impliquen cualquier diligencia de contacto directo con plaguicidas (STPS, 1999).

En cuanto al tiempo de exposición ocupacional derivado del uso de plaguicidas, en un estudio realizado a jornaleros agrícolas del valle de Culiacán el 65 % de los sujetos declaró haber sido contratado por un periodo mayor a cinco años con trabajo a destajo, sin diferencias estadísticas con los trabajadores formalmente contratados por 4 a 8 horas/jornada (Haro-García et al., 2002). Uno de los factores preponderantes en la exposición a plaguicidas es el tiempo de exposición durante la jornada laboral; en este sentido, a las personas involucradas en el presente estudio se les cuestionó sobre la frecuencia del último uso de plaguicidas. La respuesta más predominante correspondió con el último uso de más de una semana y menos de un mes (54.2%), seguido de más de un mes y menos de un año (37.5 %) y finalmente más de un año y menos de dos años, así como más de dos años con una misma frecuencia de uso (4.2 %) (**Figura 1**).

En lo que respecta a los ítems del cuestionario relacionados con la protección empleada durante la aplicación de plaguicidas, declarados por los encuestados, se resumen en la **Figura 2**. Solamente el 75 % declaró hacer uso de equipo de protección personal (PPE), aunque con distinta frecuencia, las prendas reportadas como siempre usadas correspondieron a botas o zapatos (75 %), camisa manga larga y pantalón manga larga (88 % para ambos) y uso de impermeable u overol (71 %), mientras que las otras partes de la vestimenta presentaron porcentajes con frecuencia de uso menores al 30 %. Siendo careta o máscara de gas, guantes, lentes y sombrero o casco, aquellos cuya frecuencia de respuesta fue mayoritariamente nunca con porcentajes de 58, 62, 46 y 58 %, respectivamente.

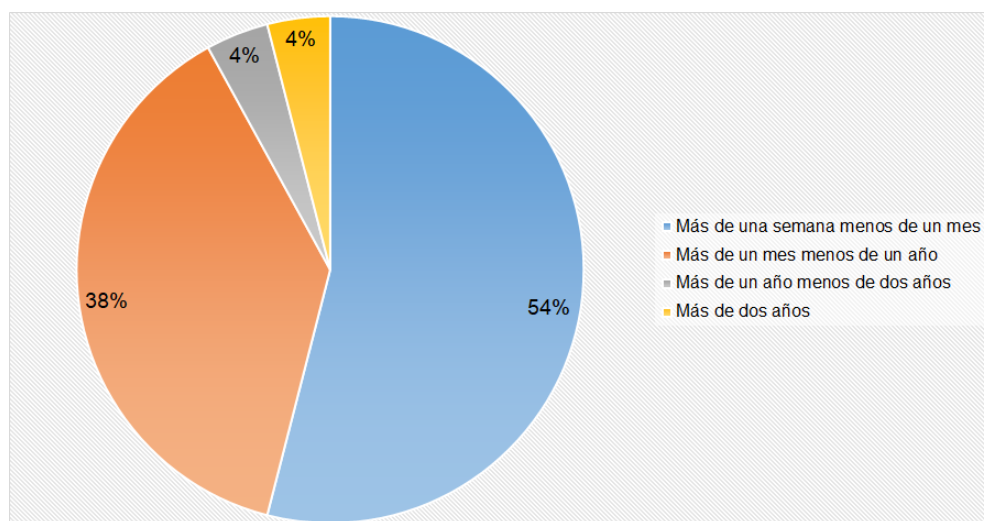


Figura 1. Frecuencia de aplicación respecto al último uso de plaguicidas organofosforados reportado por las personas entrevistadas en el municipio de Guasave.

Fuente: elaboración propia.

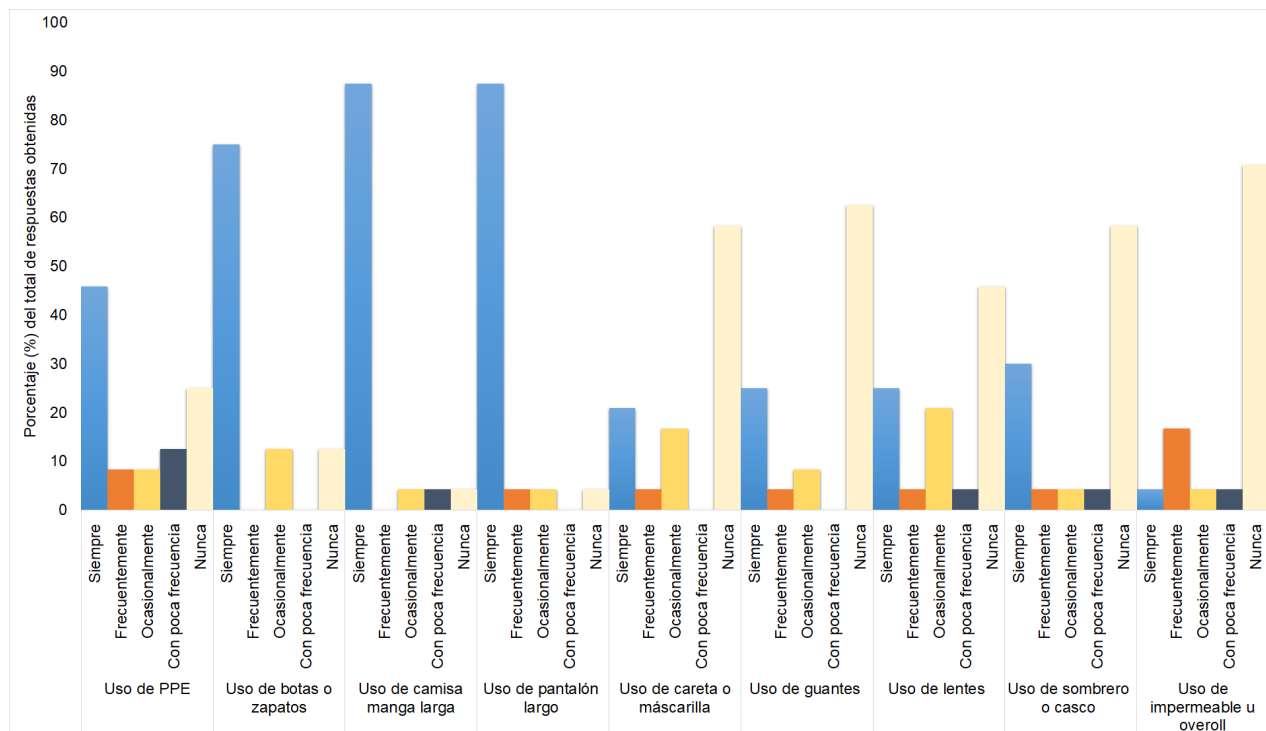


Figura 2. Porcentaje de uso del equipo de protección personal (PPE) entre los trabajadores agrícolas durante el manejo de plaguicidas organofosforados en Guasave, Sinaloa, México.

Fuente: elaboración propia.

Palacios-Nava (2003) declara que la mayoría de los jornaleros agrícolas en Sinaloa utiliza un PPE rudimentario como sombrero, paliacate y huaraches. Palacios-Nava (2011) señala que en un campo agrícola de Sinaloa el 23.5 % de los jornaleros entrevistados declararon no hacer uso de PPE; mientras que el 46.8 % emplea sombrero, paliacate y huaraches, el 16.2 % usa sombrero, mascarilla, impermeable, guantes y zapatos (denominado por ellos como equipo completo), y finalmente el 13.5 % declaró hacer uso conjunto de sombrero, paliacate, impermeable y guante.

Arciniega-Galaviz (2021) y Arciniega-Galaviz *et al.* (2021) mostraron resultados similares a los observados en el presente estudio, en los que el PPE más utilizado por los trabajadores agrícolas en lo que respecta al manejo de plaguicidas fue el pantalón largo, la camisa de manga larga, el pañuelo, la mascarilla y los zapatos-tenis. Los autores indican que el PPE es rudimentario y contrasta con lo recomendado para la aplicación de plaguicidas, lo que implica un mayor riesgo de exposición (Arciniega-Galaviz & Fontalvo-Buelvas, 2024).

Con respecto a lo anterior, cabe señalar que los jornaleros agrícolas en Sinaloa no utilizan el PPE requerido. Por ende, no se cumplen las recomendaciones de uso emitidas por los fabricantes, por lo que los trabajadores podrían estar expuestos a plaguicidas por vía dérmica, inhalatoria y por vía oral o gastrointestinal. Entre las causas probables está que el patrón no les proporciona el PPE adecuado, a pesar de que en la NOM-003-STPS-1999 se señala que es obligación del proveedor proporcionarlo. Además, las condiciones climáticas en la zona de estudio suelen ser muy extremas, principalmente debido a las temperaturas elevadas, lo que hace que los trabajadores desistan de usar algunas prendas. Y que los trabajadores no reciben capacitación en las medidas de seguridad para la aplicación de plaguicidas (Arciniega-Galaviz, 2021; Arciniega-Galaviz *et al.*, 2021; Arciniega-Galaviz & Fontalvo-Buelvas, 2024).

Presencia de sintomatología relacionada con la exposición a plaguicidas organofosforados

En lo que respecta a la sintomatología, la prevalencia de síntomas manifestados por los encuestados al estar expuestos a plaguicidas organofosforados fue muy variable. Entre los reportados como padecidos con frecuencia, destacan la micción (45.8 %), la salivación (41.7 %) y la sudoración (29.7 %); el resto declaró nunca haber padecido síntomas o valores de frecuencia inferiores al 29 % (Figura 3). Palacios-Nava (2003) declaró que, entre los síntomas reportados como padecidos por jornaleros agrícolas en un campo de Sinaloa, los que presentaron mayor frecuencia fueron: cansancio o debilidad (35 %), dolor de cabeza (27 %), dolor muscular (25 %), visión borrosa (23 %), ojos irritados (21 %) y mareo y/o vértigo (19 %). Por su parte, Palacios-Nava y Paz (2011) en un estudio realizado en un campo agrícola de Sinaloa encontraron una asociación entre días de exposición a plaguicidas y síntomas persistentes, así como entre nivel de exposición y presencia de síntomas probables (vértigo, dificultad respiratoria, dolor en el pecho, debilidad, náusea) y específicos (visión borrosa, nerviosismo, calambres, hormigueo, salivación, temblores en cuerpo).

Un estudio más detallado, realizado por Palacios-Nava (2012) en un campo agrícola de Sinaloa, también reportó que los síntomas más comunes fueron el dolor de cabeza (26.7 %), seguido de debilidad o cansancio (20.9 %) y lagrimeo (20.3 %). La presencia y el número de síntomas se asociaron con diversos factores, como la edad, la frecuencia de aplicación, el tiempo de reingreso al campo tras la aplicación de plaguicidas, las horas semanales trabajadas y el equipo de protección personal utilizado, entre otros.

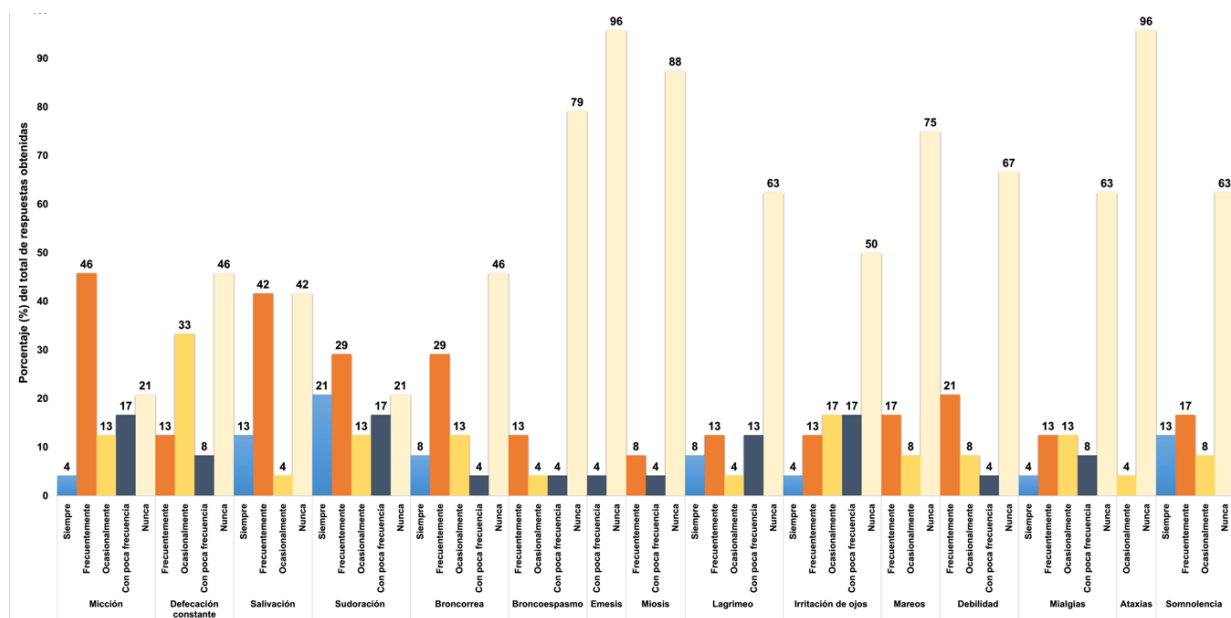


Figura 3. Porcentaje de frecuencia de síntomas que declararon presentar los trabajadores agrícolas relacionados con la intoxicación por el manejo de plaguicidas organofosforados en Guasave, Sinaloa, México.

Las categorías en la frecuencia de síntomas son: Siempre, Frecuentemente, Ocasionalmente, Con Poca Frecuencia y Nunca, en la figura se omitieron las respuestas con 0% para mejorar su visualización.

Fuente: elaboración propia.

Arciniega-Galaviz (2021) reportó que los principales síntomas que manifiestan los trabajadores agrícolas en Ahome, Sinaloa, al realizar actividades de contacto directo con plaguicidas son: irritación de la piel (24 %), dolor de cabeza (19 %) y mareos (16 %). Sin embargo, los efectos manifestados son menoscabados por los jornaleros, quienes afirman que son solo pasajeros o tienden a disminuir o desaparecer al día siguiente, por lo que el 75 % no consideran necesario recibir atención médica. Esto último puede deberse a que los sueldos recibidos por jornada son muy bajos y a que acudir a atención médica implica ausencia en el trabajo, lo que reduce el monto percibido.

Por otro lado, Arciniega-Galaviz *et al.* (2021) reportaron que los jornaleros agrícolas indígenas de San Miguel Zapotitlán, Ahome, Sinaloa declararon presentar, de entre la sintomatología relacionada con la exposición a plaguicidas, dolor de cabeza (65 %), seguido de mareos (39 %), náuseas (26 %), irritación de la piel (16 %) y visión borrosa (3 %); mientras que, el 26 % declararon no padecer síntoma alguno. Indicando que se debe tener mucho cuidado al interpretar la sintomatología declarada, porque en algunas ocasiones puede confundirse con la provocada por los efectos climatológicos, como el calor o la intensidad del sol predominantes en la zona.

Percepción del riesgo por la exposición a plaguicidas en la población expuesta

En lo que respecta a la percepción de los posibles riesgos para la salud ocasionados por la exposición a plaguicidas organofosforados, el 95,8 % declaró estar totalmente de acuerdo y el 4,2 % estuvo de acuerdo en que la exposición continua y sin protección a plaguicidas genera un daño directo a la salud. Además, el 83.3 % y el 16.7 % estuvieron “totalmente de acuerdo” y “de acuerdo” en que los plaguicidas no sólo dañan la salud humana, sino que también afectan severamente al medioambiente.

Arellano *et al.* (2009) evaluaron la percepción del riesgo para la salud derivada de la exposición a mezclas de contaminantes en trabajadores agrícolas de los valles de Mexicali y San Quintín, en Baja California, México. Según este estudio, los participantes solo perciben padecimientos agudos y excluyen los efectos crónicos. Además, su percepción del riesgo está estrechamente relacionada con su nivel de escolaridad e ingreso salarial; entre más bajos son estos, más baja es su percepción del riesgo.

En un estudio realizado en Chiapas por Hernández-Valdés *et al.* (2017), se evaluó la percepción de riesgos para la salud asociados a la exposición a plaguicidas en productores de maíz, flores y hortalizas. Independientemente del cultivo que declararon producir y del nivel de escolaridad declarado, los agricultores no poseen creencias suficientes que viabilicen la reducción de riesgos por la exposición a estas sustancias, lo que promueve patrones conductuales que favorecen escenarios que merman su salud.

Rangel-Ortiz *et al.* (2023) identificaron las prácticas de uso de plaguicidas y la percepción del riesgo de exposición durante su manejo en Guanajuato, México. El 69 % de los agricultores encuestados consideró que hay efectos ambientales por el uso de plaguicidas, mientras que entre los proveedores encuestados esta afirmación se observó en el 63 % de los participantes. En lo que respecta a la percepción del riesgo a la salud por la exposición a plaguicidas, esta varía dependiendo del grupo encuestado, el 74 % de los agricultores reconoce la existencia de afectaciones a la salud asociada al uso de estas sustancias; mientras que, en el caso de los proveedores solamente el 54 % registró la existencia de este problema.

Análisis de parámetros bioquímicos y actividad de acetilcolinesterasa

Se obtuvo un total de 36 muestras de sangre de trabajadores expuestos y no expuestos ocupacionalmente a plaguicidas. Con estas muestras se obtuvieron los análisis de los parámetros de biometría hemática (eritrocitos, hemoglobina, hematocrito, MCV, MCH, MCHC, RDW, plaquetas, volumen plaquetario, leucocitos, neutrófilos, linfocitos y monocitos). Asimismo, se obtuvieron los resultados de química sanguínea de los mismos trabajadores, con base en los siguientes parámetros: glucosa, urea, creatinina, ácido úrico, colesterol total, nitrógeno ureico y triglicéridos (Tablas 1 y 2). Todos los parámetros de la biometría hemática presentaron valores promedio dentro de los rangos de referencia (Tabla 1).

En el caso de los parámetros considerados en la química sanguínea, tanto los individuos expuestos como los no expuestos registraron valores dentro de los rangos de referencia establecidos en el método empleado para su determinación (**Tabla 2**). Los análisis estadísticos entre los grupos expuestos y no expuestos mostraron que eritrocitos ($p = 0.006$), hemoglobina ($p = 0.004$), hematocrito ($p = 0.01$), MCHC ($p = 0.03$), eosinófilos ($p = 0.02$) y colesterol total ($p = 0.0008$) presentaron diferencias estadísticamente significativas. Los parámetros eritrocitos, hemoglobina, hematocrito y MCHC mostraron una mayor concentración en los trabajadores expuestos, mientras que los parámetros eosinófilos y colesterol total mostraron una mayor concentración en los trabajadores no expuestos (**Tablas 1 y 2**).

Tabla 1. Parámetros evaluados en la biometría hemática en trabajadores expuestos y no expuestos ocupacionalmente a plaguicidas organofosforados en Guasave, Sinaloa, México

Parámetros	Valores de Referencia		Expuestos		No expuestos	
	Hombres	Mujeres	Media \pm S.D.	Rango	Media \pm S.D.	Rango
Eritrocitos ($10^6/\mu\text{L}$)	4.3 - 5.8	4.0 - 4.9	5.2 \pm 0.4 ^a	4.5 - 5.7	4.9 \pm 0.3 ^b	4.5 - 5.4
Hemoglobina (g/dL)	13.0 - 17.0	12 - 14.6	14.6 \pm 1.2 ^a	11.4 - 16.7	13.5 \pm 0.8 ^b	12.5 - 14.7
Hematocrito (%)	39.0 - 52.0	36.0 - 44.0	44.2 \pm 3.1 ^a	36.5 - 49.4	41.8 \pm 2.3 ^b	39.1 - 45.3
MCV (fL)	83.0 - 100	83 - 100	84.8 \pm 3.7 ^a	74.2 - 92.1	85.3 \pm 4.0 ^a	79.6 - 93.6
MCH (pg)	28.0 - 32.0	27.0 - 32.0	28.1 \pm 1.6 ^a	23.2 - 30.4	27.6 \pm 1.5 ^a	25.2 - 30.0
MCHC (g/dL)	32.0 - 34.5	31.5 - 34.5	33.1 \pm 0.8 ^a	31.2 - 34.4	32.4 \pm 0.8 ^b	31.7 - 34.5
Plaquetas ($10^3/\mu\text{L}$)	11.6 - 13.7	11.6 - 13.7	14.0 \pm 0.9 ^a	13.0 - 17.7	14.2 \pm 1.2 ^a	13.2 - 17.1
Volumen plaquetario (fL)	150 - 400	150 - 400	247.8 \pm 67.2 ^a	155.0 - 385.0	270.1 \pm 48.8 ^a	199.0 - 352.0
Leucocitos (células/ μL)	8.0 - 12.0	8.0 - 12.0	8.4 \pm 0.9 ^a	6.7 - 10.0	8.3 \pm 0.9 ^a	7.1 - 10.0
Neutrófilos (células/ μL)	5000 - 10000	5000 - 10000	7268.0 \pm 2404.8 ^a	3500 - 13600	7445.5 \pm 2162.6 ^a	4700.0 - 11900.0
Linfocitos (células/ μL)	2500 - 7000	2500 - 7000	4523.6 \pm 2123.3 ^a	1750.0 - 10880.0	4421.2 \pm 1641.3 ^a	2726.0 - 8092.0
Monocitos (células/ μL)	1000 - 4000	1000 - 4000	2362.7 \pm 1098.6 ^a	1128.0 - 6825.0	2567.3 \pm 587.7 ^a	1551.0 - 3358.0
Eosinófilos (células/ μL)	100 - 1000	100 - 1000	242.4 \pm 109.1 ^a	117.0 - 525.0	264.5 \pm 89.9 ^a	171.0 - 476.0
	0 - 400	0 - 400	139.2 \pm 72.1 ^a	47.0 - 300.0	192.5 \pm 77.8	76.0 - 357.0

S.D. = desviación estándar; MCV = volumen corpuscular medio; MCH = hemoglobina corpuscular media; MCHC = concentración corpuscular media de hemoglobina; RDW = anchura de la distribución de los glóbulos rojos. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los grupos ($p < 0.05$).

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Parámetros evaluados en la química sanguínea de trabajadores expuestos y no expuestos ocupacionalmente a plaguicidas organofosforados en Guasave, Sinaloa, México.

Parámetros	Valores de Referencia		Expuestos		No expuestos	
	Hombres	Mujeres	Media \pm S.D.	Rango	Hombres	Mujeres
Glucosa (mg/dL)	65 - 110	70 - 110	89.6 \pm 9.3 ^a	72.0 - 108.0	93.1 \pm 6.3 ^a	84.0 - 103.0
Urea (mg/dL)	20 - 60	10 - 50	24.8 \pm 4.9 ^a	16.0 - 34.0	26.4 \pm 5.1 ^a	21.0 - 37.0
Creatinina (mg/dL)	0.7 - 1.4	0.6 - 1.1	0.8 \pm 0.1 ^a	0.6 - 1.0	0.8 \pm 0.1 ^a	0.7 - 1.1
Ácido Úrico (mg/dL)	3.5 - 7.2	3.0 - 5.5	4.7 \pm 0.9 ^a	3.1 - 6.5	4.5 \pm 1.3 ^a	3.4 - 7.9
Colesterol total (mg/dL)	Low risk <200 Moderate risk 200-239 High risk >240		120.0 \pm 31.2 ^a	78.0 - 198.0	161.2 \pm 28.2 ^b	116.0 - 211.0
Triglicéridos (mg/dL)	Desirable <150 Limit values 150-199 High values 200-500 Very high values >500		113.3 \pm 53.0 ^a	45.0 - 217.0	104.9 \pm 45.6 ^a	60.0 - 231.0
Nitrógeno Ureico	9.3 - 28.0	4.7 - 23.4	11.6 \pm 2.3 ^a	7.5 - 15.9	12.3 \pm 2.3 ^a	9.8 - 17.0

S.D. = desviación estándar. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los grupos ($p < 0.05$).

Fuente: elaboración propia.

En este sentido, se ha reportado que la concentración de hemoglobina presenta una relación directa con el nivel de acetilcolinesterasa (Palacios-Nava *et al.*, 2009; Sosan *et al.*, 2010; Gupta *et al.*, 2018; Kori *et al.*, 2019). En un estudio realizado por Gupta *et al.* (2018), la acetilcolinesterasa se correlacionó negativamente con la hemoglobina y positivamente con la RDW. Por otro lado, la disminución de la actividad de AChE ha mostrado una correlación positiva con la disminución del recuento de linfocitos, eritrocitos y plaquetas. Mientras que, negativamente, con un aumento del nitrógeno ureico en sangre (BUN) y una disminución del recuento absoluto de glóbulos rojos y linfocitos (Pardío *et al.*, 2007). Este comportamiento también ha sido observado en personas expuestas, tanto directamente como indirectamente, a plaguicidas, en las que se observó que los valores de la actividad de AChE tendían a aumentar con el número de plaquetas y de glóbulos rojos (dos Santos Barreto *et al.*, 2025). Asimismo, Kori *et al.* (2019) estudiaron la inhibición de la colinesterasa y su asociación con marcadores hematológicos, bioquímicos y de

estrés oxidativo en trabajadores agrícolas del distrito de Sagar, India, expuestos crónicamente a plaguicidas, y observaron que la actividad de AChE se asoció negativamente con la hemoglobina, el hematocrito, los glóbulos rojos totales, el ácido úrico y los triglicéridos.

Diversos estudios han reportado alteraciones de la función renal en trabajadores agrícolas expuestos ocupacionalmente a plaguicidas, observándose un incremento de la concentración de urea, creatinina y ácido úrico en sangre (Singh *et al.*, 2011; Mendoza *et al.*, 2015; Contreras-Trejo, 2019). Por el contrario, en el presente estudio no se observó diferencia significativa en estos parámetros entre los grupos evaluados, registrándose valores dentro de los rangos de referencia del método en todos los casos.

Por otro lado, se determinó la actividad enzimática en los trabajadores expuestos y no expuestos con base en el parámetro de actividad de la acetilcolinesterasa. El análisis estadístico de los resultados obtenidos con este parámetro mostró una diferencia significativa ($p = 0.00002$), siendo el grupo expuesto el que presentó valores inferiores a los de los no expuestos (Figura 4). Asimismo, se realizaron análisis estadísticos para evaluar la posible relación entre la actividad enzimática y la frecuencia general de uso de PPE entre los trabajadores expuestos. El análisis de correlación de Pearson indicó que no existe asociación entre ambas variables, con un coeficiente de correlación (r) de 0.02. Por otro lado, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar la actividad enzimática según la frecuencia de uso de un PPE en particular (siempre, frecuente, ocasional, poco frecuente y nunca). Los resultados mostraron que no se observaron diferencias significativas en ningún caso. Kapeleka *et al.* (2019) obtuvieron resultados similares, en los que la actividad enzimática no mostró diferencias significativas entre trabajadores expuestos con uso frecuente de PPE y los que no suelen estar protegidos con PPE.

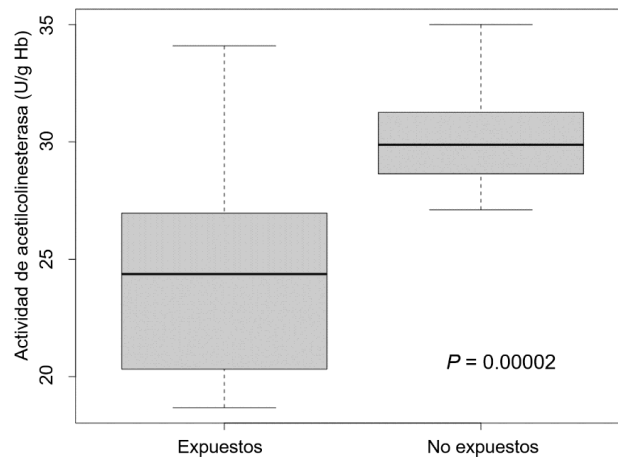


Figura 4. Comparación de la actividad de acetilcolinesterasa total entre trabajadores expuestos y no expuestos ocupacionalmente a plaguicidas organofosforados en Guasave, Sinaloa, México.

Fuente: elaboración propia.

Los compuestos organofosforados pueden inhibir las enzimas colinérgicas (acetilcolinesterasa y butirilcolinesterasa), cruciales para la neurotransmisión, por lo que las colinesterasas se han utilizado como biomarcadores de exposición a plaguicidas para medir el riesgo para la salud de la población expuesta (Dhananjayan *et al.*, 2019; Finhler *et al.*, 2023). De acuerdo con Caro-Gamboa *et al.* (2020) la actividad de la acetilcolinesterasa en sangre puede verse afectada no solamente por la exposición a plaguicidas organofosforados sino por varios factores, entre ellos: la composición química del plaguicida y de los solventes que se utilicen en su preparación, la variabilidad interindividual (rasgos étnicos y genéticos) y, aspectos de variabilidad intraindividual como la edad, el sexo, el estado reproductivo, el estado de salud en cuanto al uso de medicamentos y la presencia de algunas enfermedades. En este sentido, los niveles de acetilcolinesterasa se compararon por sexo y se correlacionaron con la edad. Los resultados que contemplaron el total de participantes indicaron que la actividad de colinesterasa en individuos expuestos era menor que en los no expuestos; sin embargo, al clasificar a los trabajadores en expuestos y no expuestos por sexo, no se observó diferencia significativa en la actividad enzimática. Finalmente, el análisis de correlación mostró que no existe relación entre la actividad enzimática y la edad de los trabajadores (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis estadístico de la relación entre la actividad de acetilcolinesterasa total y las variables de exposición, sexo y edad de los trabajadores agrícolas de Guasave, Sinaloa, México.

Colinesterasa VS	Grupo	Prueba estadística	Resultados	Descripción
Exposición	Total	t-student	0.00002	Menor nivel total de colinesterasa en personas expuestas
	Total	t-student	0.072	No hay diferencias significativas
Género	Expuestos	t-student	0.109	No hay diferencias significativas
	No expuestos	t-student	0.499	No hay diferencias significativas
Edad	Total	Correlación	-0.12	El análisis de correlación mostró que no existe relación entre ambas variables

Fuente: elaboración propia.

La ausencia de diferencias significativas en la actividad de acetilcolinesterasa al clasificar a los participantes expuestos a plaguicidas organofosforados por sexo podría explicarse por la inhibición uniforme que estos compuestos ejercen sobre la enzima, independientemente del sexo. Cuaspu & Vargas (2010) evaluaron los niveles de acetilcolinesterasa en un grupo de trabajadores expuestos a plaguicidas organofosforados y carbamatos en Ecuador y los compararon con un grupo control no expuesto. Los resultados mostraron una disminución significativa de la actividad

enzimática en el grupo expuesto; sin embargo, al analizar las diferencias por sexo dentro de este grupo, no se observaron diferencias significativas. De manera similar, estudios como el realizado en Colombia por Cortés-Iza *et al.* (2017) han demostrado que la exposición a plaguicidas organofosforados tiende a inhibir la actividad enzimática, tanto en hombres como en mujeres.

Existen diversos estudios que han buscado determinar una asociación entre la exposición a plaguicidas y los niveles de acetilcolinesterasas en jornaleros agrícolas del estado de Sinaloa (Palacios-Nava *et al.*, 2009; Palacios-Nava, 2012; Galindo-Reyes & Alegría, 2018). Palacios-Nava *et al.* (2009) determinaron los niveles basales de acetilcolinesterasa en trabajadores agrícolas de Sinaloa; los autores encontraron que la actividad de acetilcolinesterasa y la hemoglobina fueron más altas en hombres que en mujeres, con una alta prevalencia de anemia. En lo que respecta al presente trabajo, no se detectó anemia en ninguno de los trabajadores participantes. En el estudio realizado por Palacios-Nava (2012), en el que participaron 172 jornaleros de Sinaloa, se reportaron niveles de actividad de la acetilcolinesterasa dentro de los rangos considerados normales. Cabe destacar que en ambos estudios no se compara el nivel de actividad de la acetilcolinesterasa entre el grupo de jornaleros expuestos y un grupo no expuesto. Se han reportado estudios en poblaciones ocupacionalmente expuestas a diversos plaguicidas organofosforados en distintas partes del mundo, en los que se ha observado una menor actividad de las acetilcolinesterasas respecto a grupos no expuestos, lo cual coincide con lo reportado en la presente investigación (Díaz *et al.*, 2017; Caro-Gamboa *et al.*, 2020; Rodríguez-Gil *et al.*, 2023).

Actualmente, son pocos los estudios reportados sobre el análisis de parámetros bioquímicos en poblaciones ocupacionalmente expuestas a plaguicidas que buscan relacionar dichas mediciones con actividades enzimáticas. En este sentido, Molina-Pintor (2017) evaluó la actividad enzimática de la acetilcolinesterasa y su asociación con parámetros bioquímicos en fumigadores urbanos de Nayarit, México, y encontró que dicha actividad mostró correlaciones con dichos parámetros según el índice de masa corporal (BMI) de los participantes. En el presente estudio no se clasificó a los participantes según su BMI y solo se trabajó con dos grupos: expuestos y no expuestos, sin distinción respecto del grado de exposición entre los primeros. Además, en lo que respecta a la correlación entre la actividad de acetilcolinesterasa y los parámetros clínicos evaluados, esta fue muy variable según se relacionaba con el grupo expuesto, el no expuesto o de manera general con todos los participantes. No se observaron correlaciones positivas entre la actividad de la acetilcolinesterasa y ninguna variable de biometría hemática ni de química sanguínea, pero sí se detectó una correlación negativa con los eritrocitos (-0.54) considerando el total de participantes. Entre los trabajadores expuestos se observaron correlaciones negativas con eritrocitos (-0.62), hemoglobina (-0.51), hematocrito (-0.52) y ácido úrico (-0.56). Mientras que entre los trabajadores no expuestos se observó una correlación positiva con VCM (0.59). En lo que respecta al resto de los parámetros, se observaron correlaciones marginales positivas y negativas, con valores inferiores a 0.5, tanto en ambos grupos como de manera general (Tabla 4 y Figura 5). Estas correlaciones no han sido previamente reportadas y podrían deberse a otros factores de riesgo, como el consumo de alcohol y tabaco, el estado nutricional y la edad, entre otros (Herrera-Moreno *et al.*, 2018).

Tabla 4. Correlaciones entre la actividad de acetilcolinesterasa total y los parámetros bioquímicos evaluados mediante biometría hemática y química sanguínea.

Grupo	Hemograma Completo							
	Eritrocitos	Hemoglobina	Hematocrito	MCV	MCH	MCHC	RDW	Plaquetas
Total	-0.54	-0.42	-0.35	0.27	0.02	-0.41	0.03	0.07
Expuestos	-0.62	-0.51	-0.52	0.07	-0.05	-0.27	0.15	-0.21
No expuestos	-0.03	0.29	0.47	0.59	0.39	-0.29	-0.20	0.27

Grupo	Química Sanguínea			
	Glucosa	Urea	Creatinina	Ácido úrico
Total	0.04	0.05	-0.06	-0.28
Expuestos	-0.06	0.09	-0.09	-0.56
No expuestos	-0.21	-0.20	-0.33	-0.01

Grupo	Hemograma Completo					
	Vol. plaquetario	Leucocitos	Neutrófilos	Linfocitos	Monocitos	Eosinófilos
Total	0.21	-0.02	-0.12	0.14	0.07	0.23
Expuestos	0.17	-0.18	-0.24	0.02	0.04	0.12
No expuestos	0.48	0.05	-0.09	0.43	0.02	-0.07

Grupo	Química Sanguínea		
	Colesterol Total	Nitrógeno ureico	Triglicéridos
Total	0.47	0.05	-0.04
Expuestos	0.12	0.09	-0.06
No expuestos	0.45	-0.20	0.17

Fuente: elaboración propia.

Limitaciones del estudio y perspectivas futuras

Nuestro estudio presenta varias limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. En primer lugar, el tamaño de la muestra es limitado, lo que puede afectar la

generalización de los hallazgos. Además, la clasificación de la sintomatología se basó en la literatura existente sobre exposición a plaguicidas organofosforados sin hacer distinción entre los síntomas que estos ocasionan (colinérgicos, muscarínicos y/o nicotínicos), pero no se utilizaron biomarcadores específicos que confirmen la exposición al 100 % (medición de metabolitos en sangre y orina y estudio de mecanismos de toxicidad, a nivel celular, en células sanguíneas). La falta de información sobre la aplicación de plaguicidas en la zona de estudio también limita la interpretación de los resultados. Para abordar estas limitaciones, se sugiere: 1) Recopilar información sobre la aplicación de plaguicidas en la zona de estudio a través de la difusión de los resultados y el acercamiento con personas clave del sector agrícola; 2) Medir los parámetros clínicos antes y después de la exposición a plaguicidas, idealmente con un valor basal previo a la exposición; 3) Utilizar biomarcadores específicos para confirmar la exposición a plaguicidas organofosforados y descartar variables confusoras; 4) Considerar la exposición ambiental a plaguicidas en futuros estudios; 5) Medir la actividad de la acetilcolinesterasa (AChE) antes y después de la exposición a plaguicidas en el grupo expuesto. Al abordar estas limitaciones y considerar perspectivas futuras, se podría mejorar la comprensión de los efectos de la exposición a plaguicidas organofosforados en la salud humana de las personas ocupacionalmente expuestas, así como desarrollar estrategias más efectivas para prevenir y mitigar dichos efectos.

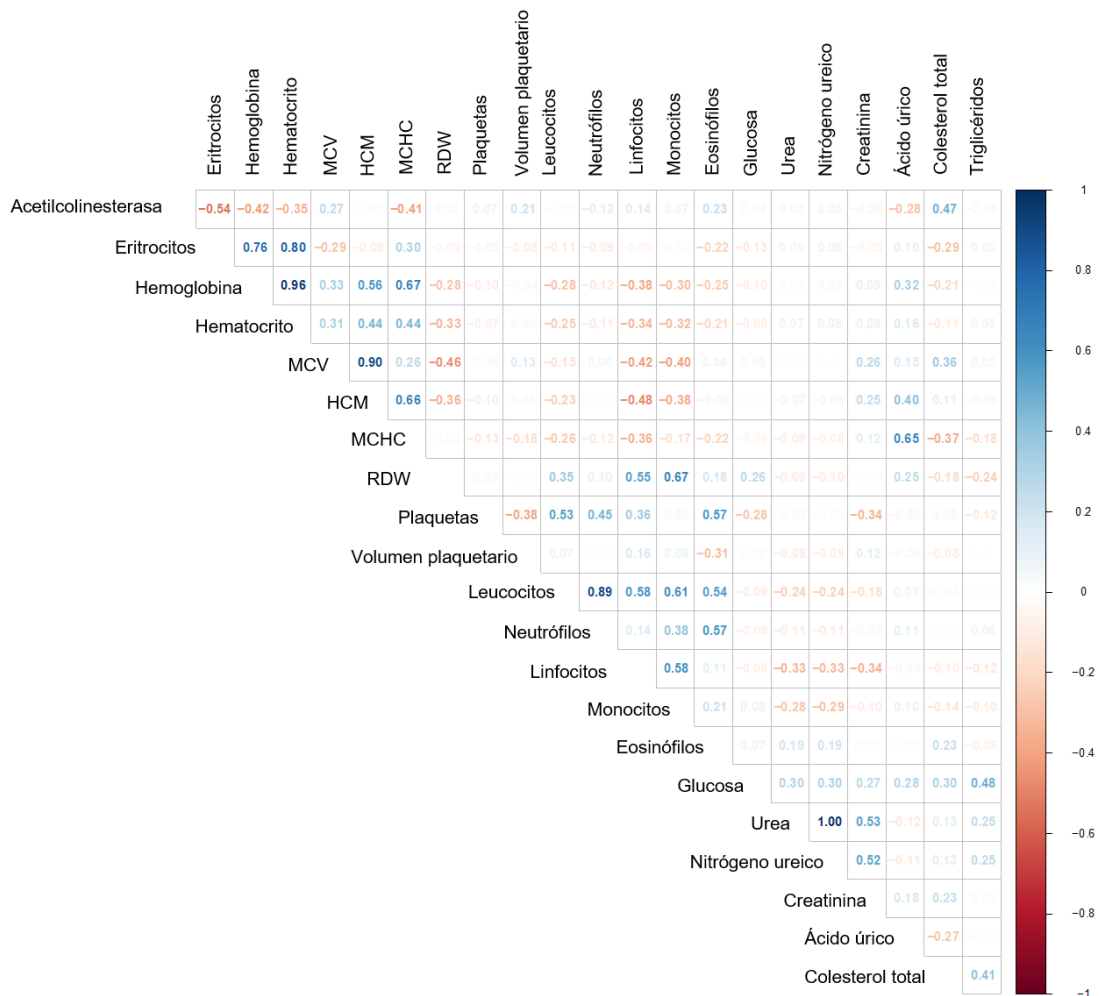


Figura 5. Análisis de correlación entre la acetilcolinesterasa y las variables hemáticas y de química sanguínea con el total de participantes expuestos y no expuestos ocupacionalmente a plaguicidas organofosforados en Guasave, Sinaloa, México.

La escala de colores muestra el coeficiente de correlación (r) entre las variables.

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Este es el primer estudio realizado en la zona agrícola de Guasave, Sinaloa, México, que intenta asociar las afectaciones de parámetros clínicos con la actividad de la acetilcolinesterasa en población ocupacionalmente expuesta a plaguicidas organofosforados. La investigación servirá como línea base para establecer los posibles efectos derivados de la exposición ocupacional a plaguicidas en el municipio de Guasave, debido a las condiciones encontradas respecto de los años trabajados, así como al equipo de protección personal empleado durante la aplicación de plaguicidas, el cual resulta insuficiente. Con base en los resultados observados, es posible sugerir que los trabajadores tienen poco conocimiento sobre el riesgo para la salud relacionado con su actividad laboral.

Los parámetros bioquímicos evaluados mediante la biometría hemática y la química sanguínea estuvieron, en general, tanto en expuestos como en no expuestos, dentro de los rangos de referencia establecidos en los métodos empleados para su determinación; mientras que la actividad enzimática de acetilcolinesterasa se observó menor en el grupo expuesto. Aunque se observaron correlaciones, tanto positivas como negativas, entre la actividad de colinesterasa y los parámetros bioquímicos evaluados, estas fueron muy débiles, por lo que se requiere un mayor número de estudios que permitan establecer si realmente existe una asociación.

Los resultados obtenidos respaldan firmemente el uso de dos o más parámetros clínicos, de los aquí evaluados, en el biomonitorio humano de la exposición a plaguicidas y la aplicación de un cuestionario sólido y validado, que permitan el establecimiento de programas de intervención centrados en disminuir la exposición y el riesgo de efectos adversos para la salud por la exposición a plaguicidas.

Contribución de los autores

Conceptualización, JBLM, XPPD, BARA; Desarrollo metodológico, JBLM, EMC, XPPD, JSA, IGMA; manejo de software, BARA, JBLM, EMC; validación experimental, JBLM, BARA, XPPD, EMC; análisis de resultados, JBLM, BARA, XPPD, JSA, IGMA, EMC; manejo de datos, JBLM, BARA, XPPD, EMC; escritura y preparación del manuscrito, JBLM, BARA, XPPD; redacción, revisión y edición, EMC, JSA, IGMA, BARA, XPPD, JBLM; administradores del proyecto, JBLM, XPPD; adquisición de fondos, JBLM, JSA, IGMA, XPPD.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada por el Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) en su convocatoria de Fortalecimiento de Cuerpos Académicos 2021.

Declaraciones éticas

Este estudio fue aprobado por el Comité de Bioética de la Universidad Autónoma de Occidente (UAdeO) (CM-UAdeO 29.08/2021).

Declaración de consentimiento informado

Se obtuvo el consentimiento informado de todos los sujetos participantes en el estudio.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las estudiantes del Programa Educativo de Ciencias Biomédicas de la UAdeO Unidad Regional Guasave, Carolina Bojórquez López, Evelyn Luque Espinoza, Laura Cecilia Hernández Quiroz, Litzy Videl Bon Verdugo, Lluvia Iris Saucedo Navarro, Mónica Citlally Romero Rodríguez y Wendy Yamileth Meléndez Soto, por su valioso apoyo técnico en el desarrollo del proyecto. Asimismo, se agradece al Q.F.B. Jesús Ignacio Sánchez Mejía por su apoyo en la realización de los análisis clínicos.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Arciniega-Galaviz, M. A. (2021). Riesgos a la salud por exposición a plaguicidas químicos en trabajadores agrícolas del Valle del Carrizo, Ahome, Sinaloa. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(3), 4395–4407. <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n3-124>
- Arciniega-Galaviz, M. A., Lara-Ponce, E., & Rodríguez-Apodaca, J. R. (2021). Conductas de seguridad e higiene en jornaleros agrícolas indígenas de San Miguel Zapotitlán, Ahome, Sinaloa. In: Velázquez-Fernández, J. A., & Ortiz-Marín, C. Los Pueblos Indígenas en Sinaloa. Migración, Interculturalidad y saberes tradicionales (pp. 75–98). Ed. Astra Ediciones-UAIM, Los Mochis, Sinaloa, México.
- Arciniega-Galaviz, M. A., & Buelvas-Fontalvo, J. C. (2024). Conductas de riesgo asociadas al manejo de plaguicidas químicos por parte de agricultores del norte de Sinaloa, México. *Perspectivas Rurales: Nueva Época*, 22(43), 1–22. <http://doi.org/10.15359/prne.22-43.6>
- Arellano, E., Camarena, L., Von Glascoe, C., & Daesslé, W. (2009). Percepción del riesgo en salud por exposición a mezclas de contaminantes: el caso de los valles agrícolas de Mexicali y San Quintín, Baja California, México. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 27(3), 291–301. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12016344006>

- Bernal-González, K. G., Covantes-Rosales, C. E., Camacho-Pérez, M. R., Mercado-Salgado, U., Barajas-Carrillo, V. W., Girón-Pérez, D. A., Montoya-Hidalgo, A. C., Díaz-Resendiz, K. J. G., Barcelos-García, R. G., Toledo-Ibarra, G. A., & Girón-Pérez, M. I. (2023). Organophosphate-pesticide-mediated immune response modulation in invertebrates and vertebrates. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(6), 5360. <https://doi.org/10.3390/ijms24065360>
- Bernal-Hernández, Y. Y., Aguilera-Márquez, D., Grajeda-Cota, P., Toledo-Ibarra, G. A., Moreno-Godínez, M. E., Perera-Ríos, J. H., Urióstegui-Acosta, M. O., Rojas-García, A. E., Medina-Díaz, I. M. Barrón-Vivanco, B. S., & González-Arias, C. A. (2018). Actividad de la acetilcolinesterasa (AChE) y de la butirilcolinesterasa (BUChE) en poblaciones mexicanas: estudio piloto. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34, 25–32. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.esp02.02>.
- Cancino, J., Soto, K., Tapia, J., Muñoz-Quezada, M. T., Lucero, B., Contreras, C., & Moreno J. (2023). Occupational exposure to pesticides and symptoms of depression in agricultural workers. A systematic review. *Environmental Research*, 231, 116190. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116190>
- Caro-Gamboa, L. J., Forero-Castro, M., & Dallo-Báez, A. E. (2020). Inhibición de la colinesterasa como biomarcador para la vigilancia de población ocupacionalmente expuesta a plaguicidas organofosforados. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1–23. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1562
- Cestonaro, L. V., Macedo, S. M. D., Piton, Y. V., Garcia, S. C., & Arbo, M. D. (2022). Toxic effects of pesticides on cellular and humoral immunity: an overview. *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, 44(6), 816–831. <https://doi.org/10.1080/08923973.2022.2096466>
- Chen, T., Liu, X., Zhang, J., Wang, L., Su, J., Jing, T., & Xiao, P. (2024). Associations of chronic exposure to a mixture of pesticides and type 2 diabetes mellitus in a Chinese elderly population. *Chemosphere*, 351, 141194. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141194>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, año agrícola 2017-2018. Comisión Nacional del Agua, Ciudad de México, México, 442 pp. https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EADR_2017-18.pdf
- Contreras-Trejo, V. (2019). Evaluación de la salud de pobladores de tres comunidades del municipio de Hopelchén expuestas a plaguicidas. [Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Campeche]. San Francisco de Campeche, Campeche, México, 47 pp. <https://repositorio-alimentacion.conacyt.mx/jspui/bitstream/1000/159/1/122%20Anexo%2096.pdf>
- Cortés-Iza, S. C., Rodríguez, A. I., & Prieto Suárez, E. (2017). Assessment of hematological parameters in workers exposed to organophosphorus pesticides, carbamates and pyrethroids in Cundinamarca 2016-2017. *Revista Salud Pública*, 19(4): 468–474. <https://doi.org/10.15446/rsap.v19n4.68092>
- Cuaspué, J., & Vargas, B. (2010). Determinación de colinesterasa eritrocitaria en trabajadores agrícolas expuestos a plaguicidas organofosforados y carbamatos. *Química central*, 1(01), 71–82. <https://doi.org/10.29166/quimica.v1i1.1194>
- Del Puerto-Rodríguez, A. M., Suárez-Tamayo, S., & Palacio-Estrada, 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&tlng=es
- Dhananjayan, V., Ravichandran, B., Panjakumar, K., Kalaiselvi, K., Rajasekar, K., Mala, A., Avinash, G., Shridhar, K., Manju, A., & Wilson R. (2019). Assessment of genotoxicity and cholinesterase activity among women workers occupationally exposed to pesticides in tea garden. *Mutation Research/ Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 841, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2019.03.002>
- Díaz, S. M., Sánchez, F., Varona, M., Eljach, V., & Muñoz, M. N. (2017). Niveles de colinesterasa en cultivadores de papa expuestos ocupacionalmente a plaguicidas, Totoró, Cauca. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 49(1), 85–92. <https://doi.org/10.18273/revsal.v49n1-2017008>
- Dos Santos Barreto, M., Machado dos Santos, L. M., Santana Santos, R., Dias Silva, E. E., Rego Rodrigues Silva, D. M., Macedo Moura, P. H., Chaves de Jesus, P., Bispo de Souza, J., Sobreira da Silva, M. J., Gandhi Gopalsamy, R., Hariharan, G., da Mota Santana, L. A., Gibara Guimarães, A., & Pinto Borges, L. (2025). Acetylcholinesterase activity and hematological parameters in individuals exposed to pesticides in a Brazilian state: a cross-sectional study. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 44(5), 1235–1246. <https://doi.org/10.1093/etojnl/vgaf041>
- Estremadoyro, D. F. E. (2022). Impacto de la toxicidad de los residuos sólidos generados por plaguicidas. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, 9, 124–139. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202201.006>
- Finhler, S., Marchesan, G. P., Corona, C. F., Nunes, A. T., De Oliveira, K. C. S., de Moraes, A. T., Soares, L. C., Lima, F. O., Dalmolin, C., & Benvegnú, D. M. (2023). Influence of pesticide exposure on farmers' cognition: A systematic review. *Journal of Neurosciences in Rural Practice*, 14(4), 574–581. https://doi.org/10.25259/JNRP_58_2023
- Galindo-Reyes, J. G., & Alegría, H. (2018). Toxic effects of exposure to pesticides in farm workers in Navolato, Sinaloa (México). *Revista internacional de Contaminación Ambiental*, 34(3), 505–516. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.03.12>
- García-Gutiérrez, C., & Rodríguez-Meza, G. D. (2012). Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. *Ra Ximhai*, 8(3), 1-10. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46125177005>
- García-Hernández, J., Leyva Morales, J. B., Martínez-Rodríguez, I. E., Hernández-Ochoa, M. I., Aldana-Madrid, M. L., Rojas-García, A. E., Betancourt-Lozano, M., Pérez-Herrera, N. E., & Perera-Ríos, J. H. (2018). Estado actual de la investigación sobre plaguicidas en México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34, 29–60. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.esp01.03>
- González-Alonso, J., & Pazmiño-Santacruz, M. (2015). Cálculo e interpretación de Alfa de Cronbach para el caso de validación de la consistencia interna de un cuestionario, con dos posibles escalas tipo Likert. *Revista Publicando*, 2(1), 62–77. <https://revistapublicando.org/revista/index.php/crv/article/view/22>
- González-Farias, F. A., Cisneros-Estrada, X., Escobedo-Urías, D., & López-Hernández, M. (2014). Impacto socioeconómico del uso de agroquímicos en distritos de riego (DR 063 Guasave, Sinaloa, y DR de temporal tecnificado 009 El Bejuco, Nayarit). In: Botello, A. V., Páez-Osuna, F., Méndez-Rodríguez, L., Betancourt-Lozano M., Álvarez-Borrego, S., &

- Lara-Lara, R. Contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y tendencias (pp. 73–100). Ed. Pacífico Mexicano. Ciudad de México, México: UAC, UNAM-ICMYL, CIAD-Mazatlán, CIBNOR, CICESE. <http://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1001/589>
- Gupta, S., Belle, V. S., Kumbarakeri Rajashekhar, R., Jogi, S., & Prabhu, R. K. (2018). Correlation of red blood cell acetylcholinesterase enzyme activity with various RBC indices. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 33(4), 445–449. <https://doi.org/10.1007/s12291-017-0691-0>
- Haro-García, L., Chaín-Castro, T. J., Barrón-Aragón, R., & Bohórquez-López, A. (2002). Efectos de plaguicidas agroquímicos: Perfil epidemiológico-ocupacional de trabajadores expuestos. *Revista Médica del IMSS*, 40, 19–24.
- Hernández-Antonio, A., & Hansen, A. M. (2011). Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 7, 115–127. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37019853003>
- Hernández-Valdés, R. E., Gómez Albores, M. Á., Romero Contreras, A. T., Santana Juárez, M. V., Mastachi Loza, C. A., Hernández Téllez, M., & Martínez Valdés, H. (2017). Análisis temporal del riesgo por malformaciones congénitas atribuibles al uso de plaguicidas en el corredor florícola del Estado de México. *Ciencia Ergo Sum*, 24 (3), 244–252. <https://www.redalyc.org/journal/104/10452159008/html/>
- Herrera-Moreno, J. F., Benítez-Trinidad, A. B., Xotlanihua-Gervacio, M. C., Bernal-Hernández, Y. Y., Medina-Díaz, M. I., Barrón-Vivanco, B. S., González-Arias, C. A., Pérez-Herrera, N. E., & Rojas-García, A. E. (2018). Factores de riesgo de exposición durante el manejo y uso de plaguicidas en fumigadores urbanos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(2), 33–44. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.esp02.03>
- Herrera-Moreno, J. F., Medina-Díaz, I. M., Bernal-Hernández, Y. Y., Barrón-Vivanco, B. S., González-Arias, C. A., Moreno-Godínez, M. E., Verdín-Betancourt, F. A., Sierra-Santoyo, A., & Rojas-García, A. E. (2021). Organophosphorus pesticide exposure biomarkers in a Mexican population. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(36), 50825–50834. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14270-1>
- Ibarra-Ceceña, M. G., & López de Haro, P. A. (2021). Percepción acerca del uso de agroquímicos y sus efectos en la salud de los habitantes de Jahuara II, El Fuerte, Sinaloa México. *Revista Conjeturas Sociológicas*, 26(9), 77–95. <https://revistas.ues.edu.sv/index.php/conjsociologicas/article/view/2079>
- Kapeleka, J.A., Sauli, E., Sadik, O., & Ndakidemi, P.A. (2019). Biomonitoring of Acetylcholinesterase (AChE) Activity among Smallholder Horticultural Farmers Occupationally Exposed to Mixtures of Pesticides in Tanzania. *Journal of Environmental and Public Health*. <https://doi.org/10.1155/2019/3084501>
- Kaur, S., Chowdhary, S., Kumar, D., Bhattacharyya, R., & Banerjee, D. (2023). Organophosphorus and carbamate pesticides: Molecular toxicology and laboratory testing. *Clinica Chimica Acta*, 117584. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2023.117584>
- Khoutova, Z., Prchalova, E., Knittelova, K., Musilek, K., & Malinak, D. (2024). Reactivators of butyrylcholinesterase inhibited by organophosphorus compounds. *Bioorganic Chemistry*, 107526. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2024.107526>
- Kori, R. K., Hasan, W., Jain, A. K., & Yadav, R. S. (2019). Cholinesterase inhibition and its association with hematological, biochemical and oxidative stress markers in chronic pesticide exposed agriculture workers. *Journal of biochemical and molecular toxicology*,

- 33(9), e22367. <https://doi.org/10.1002/jbt.22367>
- López-Gaxiola, L. A., Leyva-Morales, J. B., Izaguirre-Díaz de León, F., Perea-Domínguez, X. P., Soto-Alcalá, J., & Martínez-Valenzuela, M. C. (2021). Uso del agua en las actividades agrícolas en el distrito de riego 063, Guasave, Sinaloa. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(5), 9496–9521. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i5.998
- Martínez-Valenzuela, C., Romano-Casas, G., Cuadras-Berrelleza, A. A., & Ortega-Martínez, L. D. (2019). Plaguicidas, impacto en salud y medio ambiente en Sinaloa (México): implicaciones y retos en gobernanza ambiental. *Trayectorias Humanas Trascontinentales*, 4, 103–122. <https://doi.org/10.25965/trahs.1615>
- Mendoza, E. C., González-Ramírez, C., Martínez-Saldaña, M. C., Avelar-González, F. J., Valdivia-Flores, A. G., Aldana-Madrid, M. L., Rodríguez-Olibarría, G., & Jaramillo-Juárez, F. (2015). Estudio de exposición a malatión y cipermetrina y su relación con el riesgo de daño renal en habitantes del municipio de Calvillo Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 46(3), 62–72. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57945705007>
- Mitra, A., Sarkar, M., & Chatterjee, C. (2019). Modulation of immune response by organophosphate pesticides: Mammals as potential model. *Proceedings of the Zoological Society*, 72, 13–24. <https://doi.org/10.1007/s12595-017-0256-5>
- Molina-Pintor, I. B. (2017). Actividad enzimática de colinesterasas y su asociación con parámetros bioquímicos y polimorfismos en genes de enzimas que biotransforman plaguicidas en fumigadores urbanos de Nayarit. [Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológico-Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit]. Tepic, Nayarit, México, 94 pp. <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/2289>
- Muñoz-Quezada, M. T., Lucero, B., Bradman, A., Baumert, B., Iglesias, V., Muñoz, M. P., & Concha, C. (2019). Reliability and factorial validity of a questionnaire to assess organophosphate pesticide exposure to agricultural workers in Maule, Chile. *International Journal of Environmental Health Research*, 29(1), 45–59. <https://doi.org/10.1080/09603123.2018.1508647>
- Muñoz-Quezada, M. T., Lucero, B., Castillo, B., Bradman, A., Zúñiga, L., Baumert, B. O., Iglesias, V., Muñoz, M. P., Buralli, R. J., & Antini, C. (2021). Psychometric validation of a questionnaire to assess perception and knowledge about exposure to pesticides in rural schoolchildren of Maule, Chile. *Frontiers in Psychology*, 12, 4069. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.715477>
- Palacio-Nava, M. E. (2003). Aplicación de un instrumento para evaluar exposición a plaguicidas organofosforados, efectos agudos y subagudos en la salud de trabajadores agrícolas. *Revista de la Facultad de Medicina, UNAM*, 46(1), 22–27. <https://revistas.unam.mx/index.php/rfm/article/view/12700>
- Palacios-Nava, M. E., & Moreno-Tetlacuilo, L. A. (2004). Diferencias en la salud de jornaleras y jornaleros agrícolas migrantes en Sinaloa, México. *Salud Pública de México*, 46(4), 286–293. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342004000400003&lng=es&tlng=es
- Palacios-Nava, M. E., García-de la Torre, G. S., & Paz-Román, M. P. (2009). Determinación de niveles basales de colinesterasa en jornaleros agrícolas. *Revista de la Facultad de Medicina, UNAM*, 52(2), 63–68. <https://revistas.unam.mx/index.php/rfm/article/view/14768>
- Palacios-Nava, M. E., & Paz, M. P. (2011). Sintomatología persistente en trabajadores agrícolas expuestos a plaguicidas organofosforados. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*,

- 29(2), 153–162. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12021450005>
- Palacios-Nava, M. E. (2012). Condiciones de trabajo y síntomas persistentes en jornaleros agrícolas. *Revista Mexicana de Salud y Trabajo*, 4(11), 18–21.
- Pardío, V. T., Ibarra, N. D. J., Waliszewski, K. N., & López, K. M. (2007). Effect of coumaphos on cholinesterase activity, hematology, and biochemical blood parameters of bovines in tropical regions of Mexico. *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 42(4), 359-366. <https://doi.org/10.1080/03601230701310500>
- Prahl, M., Odorizzi, P., Gingrich, D., Muhindo, M., McIntyre, T., Budker, R., Jagannathan, P., Farrington, L., Nalubega, M., Nankya, F., Sikyomu, E., Musinguzi, K., Naluwu, K., Auma, A., Kakuru, A., Kanya, M. R., Dorsey, G., Aweeka, F., & Feeney, M. E. (2021). Exposure to pesticides in utero impacts the fetal immune system and response to vaccination in infancy. *Nature Communications*, 12(1), 132. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20475-8>
- Rodríguez-Gil, A. F., Urbano-Cáceres, E. X., Ramírez-López, L. X., & Meza-Fandiño, D. F. (2023). Niveles de colinesterasa sérica en agricultores de San Pablo de Borbur, Boyacá, expuestos a organofosforados. *Revista Salud Uis*, 55(1), 17. <https://doi.org/10.18273/saluduis.55.e:23012>
- Rodríguez-Rodríguez, J., & Reguant-Álvarez, M. (2020). Calcular la fiabilidad de un cuestionario o escala mediante el SPSS: el coeficiente alfa de Cronbach. *REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 13(2), 1–13. <https://doi.org/10.1344/reire2020.13.230048>
- Rangel-Ortiz, E., Landa-Cansigno, O., Páramo-Vargas, J., & Camarena-Pozos, D. A. (2023). Prácticas de manejo de plaguicidas y percepciones de impactos a la salud y al medio ambiente entre usuarios de la cuenca del Río Turbio, Guanajuato, México. *Acta universitaria*, 33, e3749. <http://doi.org/10.15174.au.2023.3749>
- Saborío Cervantes, I. E., Mora Valverde, M., & Durán Monge, M. P. (2019). Intoxicación por organofosforados. *Medicina Legal de Costa Rica*, 36(1), 110–117. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/mlcr/v36n1/2215-5287-mlcr-36-01-110.pdf>
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. STPS. [Secretaría del Trabajo y Previsión Social] (1999). NOM-003-STPS-1999, Actividades agrícolas-Uso de insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes-condiciones de seguridad e higiene. México, D.F. Diario Oficial de la Federación. https://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Acuerdo-modifica-NOM_003.pdf
- Singh, S., Kumar, V., Thakur, S., Banerjee, B. D., Chandna, S., Rautela, R. S., Grover, S. S., Rawat, D. S., Pasha, S. T., Jain, S. K., Ichhpujani, R. L., & Rai, A. (2011). DNA damage and cholinesterase activity in occupational workers exposed to pesticides. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 31(2), 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2010.11.005>
- Sosan, M. B., Akingbohunge, A. E., Durosinmi, M. A., & Ojo, I. A. (2010). Erythrocyte cholinesterase enzyme activity and hemoglobin values in cacao farmers of southwestern Nigeria as related to insecticide exposure. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 65(1), 27-33. <https://doi.org/10.1080/19338240903390289>
- Toledo-Morales, P., & Sánchez-García, J. M. (2015). Diseño y validación de cuestionarios para percibir el uso de la pizarra digital interactiva (PDI) por docentes y estudiantes. *Revista de Medios y Educación*, 47, 179–194. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36841180012>
- Tor, E. R., Holstege, D. M., & Galey, F. D. (1994). Determination of cholinesterase activity in brain and blood samples using a plate reader. *Journal of AOAC International*, 77(5), 1308–1313.

<https://doi.org/10.1093/jaoac/77.5.1308>

- Torres-Sánchez, E. D., Flores-Gutiérrez, C. A., Torres-Jasso, J. H., Reyes-Uribe, E., & Salazar-Flores, J. (2024). Occupational exposure to pesticides and health in farmers Cienega, Jalisco, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 11, e1612. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1612>
- Tuapanta-Dacto, J. V., Duque-Vaca, M. A., & Mena-Reinoso, A. P. (2017). Alfa de Cronbach para validar un cuestionario de uso de Tic en docentes universitarios. *Revista mktDescubre*, 10, 37–48. <https://core.ac.uk/reader/234578641>
- Vaezafshar, S., Siegel, J. A., Jantunen, L., & Diamond, M. L. (2024). Widespread occurrence of pesticides in low-income housing. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41370-024-00665-y>