

Impacto ambiental y económico por el uso de plaguicidas en el cultivo de frijol en una región de Nayarit, México

Environmental and economic impact of pesticide use in bean cultivation in a region of Nayarit, Mexico

Miguel Alfonso Ruiz-Arias^{1,2} , Aurora Elizabeth Rojas-García² , Irma Martha Medina-Díaz² ,
Yael Yvette Bernal-Hernández² , Cyndia Azucena González-Arias² ,
Brisca Socorro Barrón-Vivanco² , Carlos Alberto Romero-Bañuelos² ,
Francisco Alberto Verdín-Betancourt^{3*} 

¹ Universidad Autónoma de Nayarit, Programa de Doctorado en Ciencias Biológico Agropecuarias en el Área de Ciencias Ambientales.

² Universidad Autónoma de Nayarit, Secretaría de Investigación y Posgrado, Laboratorio de Contaminación y Toxicología Ambiental, Ciudad de la Cultura s/n, Centro, 63000, Tepic, Nayarit, México

³ Unidad Especializada de Ciencias Ambientales, CENITT, avenida Emilio M. González s/n, Ciudad del Conocimiento, 63173, Tepic, Nayarit, México.

* Autor para correspondencia: francisco.verdin@uan.edu.mx

Fecha de recepción:

31 de marzo de 2026

Fecha de aceptación:

5 de junio de 2026

Disponible en línea:

8 de septiembre de 2026

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.



Reconocimiento-
NoComercial-
CompartirIgual 4.0
Internacional
(CC BY-NC-SA 4.0)

Cómo citar:

Ruiz-Arias, M. A., Rojas-García, A. E., Medina-Díaz, I. M., Bernal-Hernández, Y. Y., González-Arias, C. A., Barrón-Vivanco, B. S., Romero-Bañuelos, C. A., & Verdín-Betancourt, F. A. (2026). Impacto ambiental y económico por el uso de plaguicidas en el cultivo de frijol en una región de Nayarit, México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 12, e0121035. <https://doi.org/10.30973/aap/2026.12.0121035>

RESUMEN

El uso intensivo de plaguicidas en el cultivo de frijol en México, caracterizado por un bajo asesoramiento técnico, genera impactos ambientales y económicos negativos de relevancia. El objetivo de este trabajo fue estimar el impacto ambiental y económico generado por los plaguicidas empleados en el cultivo de frijol mediante censos de envases vacíos de plaguicidas. Se contabilizaron 1,481 envases vacíos. Se estimaron el coeficiente de impacto ambiental (CIA), en campo (CIAC), el impacto ambiental total y el impacto económico de las externalidades negativas. El clorpirifos presentó el mayor CIA, mientras que la trifluralina y el clorpirifos mostraron los mayores valores de CIAC y externalidades negativas. Además, el CIAC se correlacionó positivamente con la dosis y el porcentaje de ingrediente activo. Los resultados sugieren que la elección del plaguicida es un factor crítico para reducir los impactos ambientales y económicos asociados al control químico de plagas en el cultivo de frijol.

PALABRAS CLAVE

CIAC, clorpirifos, IAT, manejo de plagas.

ABSTRACT

The intensive use of pesticides in bean farming in Mexico, characterized by limited technical support, causes significant environmental and economic effects. This study aimed to estimate the environmental and economic impacts of pesticides used in bean farming by counting empty pesticide containers. A total of 1,481 empty containers were recorded. The Environmental Impact Quotient (EIQ), the Field EIQ (EIQF), the total environmental impact (TEI), and the economic impact of negative externalities were calculated. Chlorpyrifos showed the highest EIQ, while trifluralin and chlorpyrifos had the highest EIQF values and negative externalities. Additionally, the EIQF was positively correlated with the dose and percentage of active ingredient. The findings suggest that selecting the right pesticide is crucial for reducing the environmental and economic impacts caused by chemical pest control in bean farming.

KEYWORDS

EIQF, chlorpyrifos, TEI, pest management.

INTRODUCCIÓN

El uso excesivo de plaguicidas es una de las principales causas de la degradación ambiental en los agrosistemas (Carrillo Quiroga, 2024). Su uso constituye un problema ambiental, sanitario y económico debido a que se generan residuos que contaminan suelos, cuerpos de agua, aire, biota y alimentos, y que, además, generan efectos adversos en la salud humana y en los ecosistemas (Jáquez-Matas et al., 2022; Pretty & Waibel, 2005).

En México, el frijol forma parte de los cultivos estratégicos, junto con el maíz, arroz y trigo, debido a su importancia en la dieta de la población y en los sistemas de producción agrícola (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2022). Históricamente, el frijol ha sido un componente importante de la dieta mexicana (9.9 kg/año per cápita) y su cultivo es crucial para sostener a productores de pequeña y mediana escala (SADER, 2020; Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2017). El área de siembra del frijol en México rebasa las 14,000,000 ha en promedio. Los principales estados productores de este grano son Zacatecas (con 442,035 ton), Sinaloa (con 140,828 ton) y Nayarit (con 100,820 ton), lo que representa más del 62.9 % de la producción total del país (Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [DGSIAF], 2025).

En el estado de Nayarit, entre 2018 y 2024, se sembraron en promedio 65,951.45 ha de frijol, con un rendimiento medio de 1,700 kg/ha. Del total de hectáreas sembradas, una gran proporción se cultiva en la planicie costera de los municipios de Tecuala (23,557.71 ton producidas en 2024) y Santiago Ixcuintla (14,772.42 ton producidas en 2024) durante el ciclo otoño-invierno, convirtiéndose en los municipios con mayor producción de frijol en el estado, donde el uso de plaguicidas para el control de plagas es constante (DGSIAF, 2025; González-Arias et al., 2010; Rojas-García et al., 2011; SAGARPA, 2015).

La *Agenda técnica agrícola Nayarit* (ATAN) recomienda paquetes tecnológicos para el cultivo de amaranto, arroz, frijol, girasol y maíz de riego y de temporal en el estado de Nayarit (SAGARPA, 2015). De acuerdo con esta agenda, para el control de insectos del frijol como chicharritas (*Empoasca kraemeri* Ross y Moore), mosquita blanca [*Bemisia tabaci* (Gennadius)], trips (*Frankliniella* sp.), minador de la hoja (*Liriomyza*

spp.), araña roja (*Tetranychus* spp.), gusano peludo [*Estigmene acrea* (Drury)], entre otros, se recomiendan ingredientes activos (ia) como clorpirifos (Lorsban® 3 % y Lorsban® 480), dimetoato (Dimetoate® 40 CE) y cipermetrina (Cymbush®), pertenecientes a las familias químicas de organofosforados (OF) y piretroides (PYR), respectivamente. Asimismo, para las arvenses como quelite (*Amaranthus* sp.), mancamula (*Solanum rostratum* Dunal), hierba ceniza (*Croton* sp.), alderete (*Xanthium pensilvanicum* Wallr.), chicalote (*Argemone mexicana* L.), jalapa [*Sorghum halepense* (L.) Pers.] y zacate grama [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.], sugiere el uso de herbicidas como trifluralina (Trifluralin®) y fomesafeno (Flex®) (Cambero Campos et al., 2023; SAGARPA, 2015).

Estudios en México estiman el impacto generado por los plaguicidas en cultivos de melón, chile, manzana, maíz, alfalfa y nogal, empleando indicadores de riesgo ambiental como el coeficiente de impacto ambiental (CIA) o *environmental impact quotient* (EIQ) por sus siglas en inglés (Guigón-López & González-González, 2007; Jáquez-Matas et al., 2022; Ramírez Legarreta & Jacobo Cuéllar, 2002; Vargas-González et al., 2019). Los resultados de estas investigaciones sugieren una clara necesidad de evaluaciones cuidadosas y exhaustivas de los plaguicidas utilizados en el control químico de las plagas para cada cultivo (Ramírez Legarreta & Jacobo Cuéllar, 2002; Vargas-González et al., 2019). Aunado a esto, se emplea la variante del CIA en campo (CIAc), la cual se obtiene ajustando el CIA base según la dosis empleada y la frecuencia de aplicación, lo que refleja el impacto ambiental real del ia del plaguicida en una práctica agrícola específica (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2008). Asimismo, se han realizado comparaciones entre diferentes estrategias en el manejo fitosanitario mediante la suma de los valores de CIAc para obtener el impacto ambiental total (IAT). Por ejemplo, en tres municipios de la Comarca Lagunera se observó que el IAT varía según la zona, la fecha de siembra y el nivel de tecnificación (Vargas-González et al., 2019). De igual manera, se comparó el IAT entre cultivos de maíz, alfalfa y nogal, donde se encontró que los insecticidas generan mayor impacto que los herbicidas o fungicidas, siendo el cultivo de maíz el que presentó el mayor valor (Jáquez-Matas et al., 2022). Los tres

parámetros (CIA, CIAC e IAT) son de gran utilidad para estimar el impacto generado por las prácticas en el control químico de plagas en diferentes cultivos con potencial aplicación para el cultivo de frijol.

Además de las implicaciones éticas y ecológicas asociadas al uso de plaguicidas, es importante considerar los costos económicos y sociales implicados. Los costos del uso de plaguicidas no se distribuyen equitativamente: mientras que los beneficios suelen concentrarse en productores o empresas agrícolas, los costos ambientales y sanitarios recaen sobre la sociedad en general (Pimentel, 2005). Estos incluyen la contaminación del agua, la pérdida de biodiversidad, la afectación a la salud humana y los gastos asociados a la mitigación de daños ecológicos. Estas consecuencias no deseadas o externalidades negativas se refieren a los costos indirectos o no asumidos por quienes utilizan los plaguicidas, pero que afectan a otros sectores o a la sociedad (Pretty & Waibel, 2005). El costo de las externalidades negativas no siempre es asumido por el mercado convencional por la complejidad de su estimación, pero siempre es absorbido por la sociedad (Jáquez-Matas et al., 2022).

El modelo de Leach y Mumford (2008) integra los valores de externalidades negativas del uso de plaguicidas en el Reino Unido, Estados Unidos y Alemania, ofreciendo una base útil para estimar sus impactos económicos en países con información limitada, como México. Este enfoque fue aplicado recientemente en Durango para evaluar los cultivos de maíz, alfalfa y nogal, donde se estimaron externalidades anuales de aproximadamente 24 millones de pesos (Jáquez-Matas et al., 2022).

En Nayarit se ha documentado la venta y uso de plaguicidas desde hace más de dos décadas (Bernal-Hernández et al., 2014; Díaz Romo & Salinas Álvarez, 2002; González-Arias et al., 2010; Paredes-Céspedes et al., 2022; Rojas-García et al., 2011; Ruiz-Arias et al., 2025; Zepeda-Arce et al., 2017). Recientemente, Ruiz-Arias et al. (2023) evidenciaron la contaminación del suelo, agua y organismos acuáticos de consumo humano por clorpirifos en la zona de estudio. Sin embargo, con evidencia documentada de los costos de las negativas generadas por los plaguicidas en un cultivo específico en el estado de Nayarit. En este sentido, el objetivo de este estudio fue realizar una estimación del impacto ambiental y económico por el uso de pla-

guicidas recomendados por la ATAN para el cultivo de frijol en una zona del municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit, con el fin de generar información que contribuya al diseño de estrategias sostenibles en el manejo químico de plagas agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El estudio se realizó en el municipio de Santiago Ixcuintla, que se localiza en la zona subtropical de la llanura costera, al noroeste del estado de Nayarit, México (105° 12'21.760" O, 21° 48'30.009" N) (Figura 1), una de las zonas agrícolas más importantes de la entidad. Santiago Ixcuintla es el segundo municipio productor de frijol en el estado, lo que conlleva una gran demanda del uso de plaguicidas. El municipio se localiza dentro de la cuenca del río Santiago, condición que favorece la disponibilidad hídrica necesaria para las actividades agrícolas de riego. Sin embargo, esta misma característica incrementa la vulnerabilidad del área a procesos de contaminación por plaguicidas. La combinación de una elevada productividad agrícola y el uso intensivo de agroquímicos convierte a Santiago Ixcuintla en una zona particularmente expuesta a impactos ambientales, sociales y económicos asociados con las prácticas agrícolas predominantes.

Patrón de uso de plaguicidas

Para conocer el patrón de uso de plaguicidas en el cultivo de frijol en Santiago Ixcuintla, se identificaron tres centros de acopio primario (CAP), en un polígono de 30,000 ha, que abarca los ejidos de Aztlán de las Garzas, Campo de los Limones, Cerritos, El Limón, Gavilán Chico, Gavilán Grande, Pozo de Ibarra, Pozo de Villa, Pueblo Nuevo, Sentispac, Valle Morelos y Villa Juárez (Figura 1). Los CAP se ubicaron en zonas estratégicas con alta producción de frijol (CAP A y B) y mediana producción de frijol (CAP C). En el CAP A, localizado en una zona con alta producción de frijol, se realizó el censo de envases vacíos durante el periodo de muestreo (2021-2023). Los CAP B y C no se describen en este trabajo debido a que permanecieron inactivos por más de un año (CAP B) o fueron incinerados a campo abierto (CAP C).

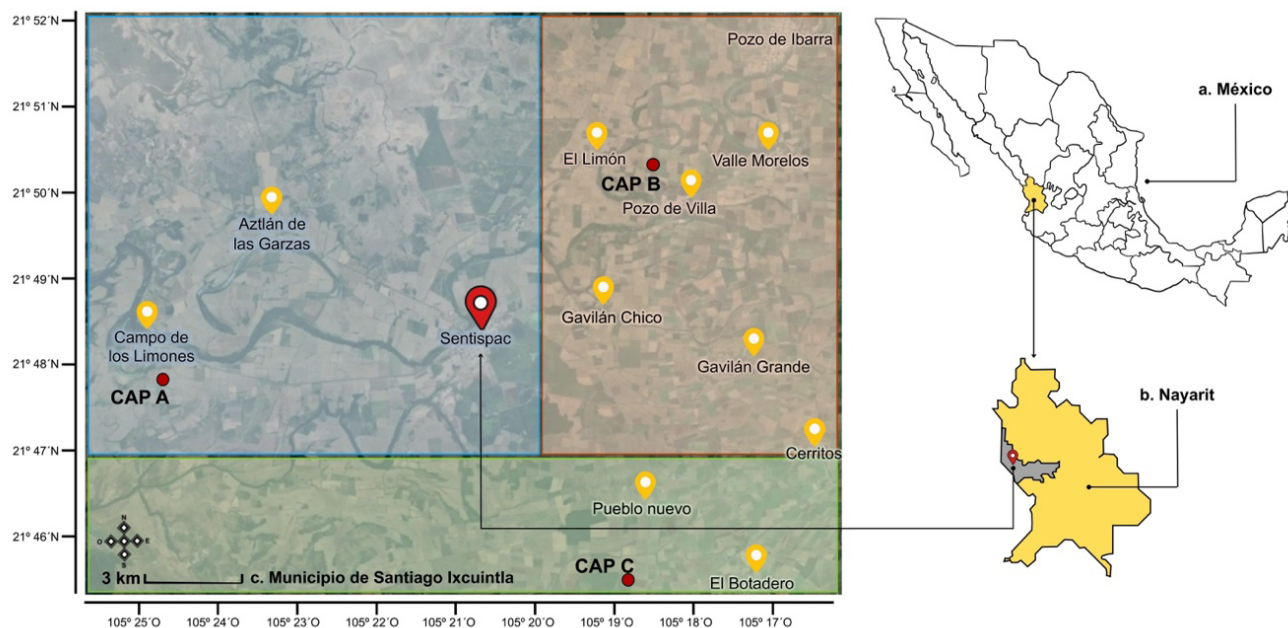


Figura 1. Ubicación del área de estudio. a) República Mexicana, b) estado de Nayarit, c) área de estudio ubicada en el municipio de Santiago Ixcuintla. Los puntos rojos identifican a los Centros de Acopio Primario (CAP). El CAP A está localizado en una zona de alta producción de frijol (área azul); el CAP B, en una zona de alta producción de frijol (área naranja), y el CAP C, en una zona de mediana producción de frijol (área verde).

El censo del CAP A se realizó mediante un procedimiento sistemático que permitió cuantificar, clasificar y registrar los envases vacíos de plaguicidas generados en la zona de estudio. Se realizaron visitas al CAP durante tres periodos consecutivos (2021, 2022 y 2023), entre los días 20 y 22 del mes de febrero de cada año. En el CAP, los envases vacíos de plaguicidas se clasificaron por nombre comercial, se contabilizaron, se marcaron con tinta indeleble para evitar el doble conteo en visitas posteriores y se fotografiaron. Durante la manipulación de los envases, se utilizó equipo de protección adecuado para prevenir el contacto con los residuos tóxicos, de acuerdo con la NOM-017-STPS-2024 (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2024).

Modelo de coeficiente de impacto ambiental

Este modelo matemático reportado por Kovach et al. (1992) incluye tres componentes: toxicidad para el trabajador agrícola, toxicidad para el consumidor y toxicidad ecológica, que permiten estimar el impacto de los plaguicidas utilizados en la agricultura (Niazmoradi et al., 2024). El CIA se calculó para los cinco IA recomendados en la ATAN, para el cultivo de frijol: cipermetrina, dimetoato, clorpirifos, fomesafeno y trifluralina, utilizando la siguiente ecuación:

$$CIA = \frac{\{C * [(DT * S) + (DT * P)]\} + \left\{ \left[C * \left(\frac{S+P}{2} \right) * SY \right] + L \right\} + \left\{ [F * R] + \left[D * \left(\frac{S+P}{2} \right) * 3 \right] + [Z * P * 3] + [B * P * 5] \right\}}{3}$$

Este modelo toma en cuenta once características, seis de toxicidad: C (toxicidad crónica), DT (toxicidad dérmica), D (toxicidad para aves), Z (toxicidad para abejas), B (toxicidad para artrópodos) y F (toxicidad para los peces), y cinco fisicoquímicas: P (vida media en la superficie de la planta), S (vida media en el suelo), SY (sistematicidad), R (potencial de pérdida superficial) y L (potencial de lixiviación).

Los valores de los tres componentes: trabajadores de campo (C, DT y P); consumidores (C, S, P, SY y L), y ecológicos (F, R, D, S, P, Z y B) se suman para obtener el valor de CIA. El CIA se clasificó de acuerdo con lo sugerido por Vargas-González et al. (2019), que agrupa tres niveles de peligrosidad: bajo ($0 \leq CIA \leq 20$); medio ($21 \leq CIA \leq 40$) y alto ($CIA \geq 41$). Recientemente nuestro grupo de trabajo reportó el CIA de algunos IA localizados en la zona de estudio durante 2021 (Ruiz-Arias et al., 2025).

Coefficiente de impacto ambiental en campo e impacto ambiental total

El CIAc de clorpirifos, dimetoato, cipermetrina, trifluralina y fomesafeno (sugeridos por la ATAN) se calculó mediante la herramienta "EQ Calculator" propor-

cionada en el sitio web de la Universidad de Cornell, Nueva York (Cornell College of Agriculture and Life Sciences, 2026). El uso de esta calculadora en línea requiere ingresar el ia, seguido del porcentaje del ia referenciado en la etiqueta, así como la dosis recomendada por el fabricante. El CIAC es específico para cada producto comercial. Lo anterior implica que, para el caso de la cipermetrina (con cinco productos comerciales identificados), se tenga un valor de CIA y cinco valores distintos de CIAC. Para estimar el IAT, los valores de CIAC correspondientes a los productos comerciales utilizados durante la temporada de producción se ajustaron según la cantidad de envases vacíos encontrados en la zona de estudio (CIAC por número de envases vacíos). El cálculo del IAT sugiere el peligro potencial en la zona por los ia utilizados para el cultivo del frijol.

Estimación de las externalidades negativas del uso de plaguicidas

Los plaguicidas, al ser liberados al ambiente, pueden generar múltiples efectos colaterales que van más allá del control de plagas, como contaminación del suelo, agua y aire, afectación de organismos no objetivo, pérdida de biodiversidad y riesgo a la salud de las poblaciones expuestas. De esta forma, estimar las externalidades negativas es esencial en el abordaje de impactos económicos. Para calcular las externalidades negativas de los plaguicidas utilizados en el cultivo de frijol, se utilizó la metodología propuesta por Leach y Mumford (2008) y Jáquez-Matas et al. (2022), con algunas modificaciones.

La estimación de los valores de las externalidades negativas se basa en estudios detallados de costos realizados en Alemania, Reino Unido y Estados Unidos (Pretty et al., 2000; 2001), que se dividen en seis categorías de impactos ambientales: 1) plaguicidas en fuentes de agua, 2) incidentes de contaminación, muertes de peces y costo de monitoreo, 3) pérdida de biodiversidad/vida silvestre, 4) pérdida de cultura, paisaje, turismo, entre otras, 5) pérdida de colonias de abejas y 6) efectos agudos a la salud. La suma de cada una de estas categorías fue propuesta como el valor de la externalidad por kg de ia. En 2008 este valor era de 8.7 euros (EUR) por kg de ia (Leach & Mumford, 2008); sin embargo, con la intención de actualizar los costos de estas categorías a 2024 se realizó un análisis de inflación

acumulada de 2009 a 2024 para Alemania (51.92 %), Reino Unido (38.29 %) y Estados Unidos (35.40 %), lo que generó un valor promedio ajustado de los tres países de 12.77 EUR por kg de ia. Para la conversión a pesos mexicanos (MXN), los datos se multiplicaron por 21.90 MXN de acuerdo con el portal del Banco de México (Banco de México, 2024), obteniendo un valor de 278 MXN por kg ia. Las diferencias por moneda se homogeneizaron de acuerdo con lo propuesto por Jáquez-Matas et al. (2022) dividiendo por la paridad de poder adquisitivo (PPA) sugerida por la Organization for Economic Co-operation and Development (s. f.), 0.64 MXN. El valor obtenido por externalidad fue de 434.37 MXN por kg ia.

El costo de la externalidad por kg de ia se ajustó a los kg totales del censo de envases vacíos de plaguicidas. Para esto se tomaron los kg referidos en el porcentaje de ia en la etiqueta y se multiplicó por el número de envases encontrados. Posteriormente, se calculó el costo por ha de cada producto comercial (costo por kilogramo de ia multiplicado por la dosis referida en la etiqueta del envase [kg/ha]), lo que permitió conocer el plaguicida que presenta el mayor costo de externalidad. Asimismo, se promedió el costo de la externalidad por ia para los diferentes productos comerciales, por ejemplo, para trifluralina se encontraron dos productos comerciales durante los tres años de censo: Escarlata 480® CE con un valor de 373.17 MXN/ha y Treflan® HFP con 298.54 MXN/ha. Ambos valores se promediaron para dar un valor de 335.85 MXN/ha para trifluralina. De esta forma se obtuvo también el valor para los otros ia. La suma de todos los valores de ia generó el valor del paquete tecnológico encontrado en la zona de estudio, el cual se multiplicó por el total de ha sembradas de frijol en el municipio de Santiago Ixcuintla para obtener un estimado del impacto económico a nivel del municipio. De igual manera, con los datos anteriores, se proyectó el posible impacto económico para 2024.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados según la naturaleza de las variables, considerándose significativo $p < 0.05$. Se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis seguida de la prueba post hoc de Dunn y se utilizó una correlación de Spearman para analizar la relación entre el CIAC

(variable de respuesta) y la dosis recomendada de aplicación (L/ha) o el porcentaje de ia (%) de los plaguicidas. Se utilizó el *software* estadístico STATA versión 14.0 (Stata Corporation, College Station, Estados Unidos) y GraphPad Prism versión 10 (GraphPad Software, San Diego, Estados Unidos).

RESULTADOS

Centro de acopio primario (CAP)

Durante el censo de plaguicidas se monitoreó el CAP A en una de las zonas con alta producción de frijol en el municipio de Santiago Ixcuintla, lo que permitió identificar y registrar los productos utilizados, sus ia y las prácticas de manejo aplicadas en el área (Figura 2a). El CAP es de tipo jaula de aproximadamente 3.4 m³ y, de acuerdo con los estándares del reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), el CAP A, a pesar de estar localizado en un lugar visible, no cumple con la normativa al carecer de señalización o identificación del tipo de residuos que recibe. Además, carece de infraestructura, pues está directamente en contacto con el suelo y sin protección a la intemperie (Amocali, s. f.).

Durante los periodos de muestreo, el CAP se encontró rebasado por la cantidad de envases que se depositaban ahí durante los ciclos agrícolas. Ningún envase censado durante el muestreo tenía indicios de la práctica de triple lavado. Se identificaron envases vacíos que permanecieron por periodos prolongados en la jaula (más de 1 año). Aparentemente no existía un responsable o registro ante alguna asociación u organismo oficial que se encargase de la recolección de los envases vacíos en la zona de estudio; para 2026, aún no existe ningún responsable.

A pesar de que el CAP debería ser una herramienta fundamental para el manejo adecuado de los envases vacíos de plaguicidas, los resultados reflejan pocos avances en la gestión integral de residuos peligrosos generados por las actividades agrícolas en la zona de estudio. Se identificaron deficiencias en la infraestructura del CAP, como espacios de almacenamiento reducidos, carencia de señalización adecuada y falta de personal técnico capacitado para la recepción y clasificación de los envases.

Patrón de uso de plaguicidas

Se contabilizó un total de 1,481 envases vacíos de plaguicidas, fertilizantes y bioinsumos durante los tres años de muestreo, de los cuales 1,064 correspondieron específicamente a plaguicidas de síntesis química. Durante 2021 (444 envases vacíos), el 96.2 % de los envases vacíos fueron de plaguicidas (427 envases), seguido de fertilizantes (2.7 %) y bioinsumos (1.1 %). Para el 2022 (530 envases vacíos), la cantidad de envases vacíos de plaguicidas disminuyó a 64.9 % (344 envases), mientras que el uso de fertilizantes y bioinsumos aumentó (23.9 % y 11.1 %, respectivamente). En 2023 (507 envases vacíos), el 57.7 % de los envases vacíos correspondió a plaguicidas (293 envases), el 24.8 % de fertilizantes y el 17.3 % de bioinsumos (datos no mostrados). De acuerdo con la plaga que controlan, los insecticidas y herbicidas fueron los plaguicidas más utilizados (Figura 2b). Asimismo, se encontraron productos comerciales que incluían ia como metamidofós, glifosato, imidacloprid, bentazón, carbendazim, metomilo, acefato, λ -cihalotrina, entre otros (datos no mostrados). Considerando los ia sugeridos por la ATAN (clorpirifos, cipermetrina, dimetoato, trifluralina y fomesafeno), se registraron 109 envases vacíos en 2021, 236 en 2022 y 203 en 2023 asociados a estos compuestos. La cipermetrina y el fomesafeno destacaron como los ia de mayor uso (Figura 2c). Los datos obtenidos del patrón de uso de plaguicidas evidencian una alta dependencia de agroquímicos y una insuficiente adopción de prácticas agroecológicas como el control biológico en la zona de estudio.

CIA de los ia recomendados por la ATAN para el cultivo de frijol y CIAc de los productos comerciales censados

De acuerdo con los resultados, todos los plaguicidas (clorpirifos, cipermetrina, fomesafeno, trifluralina y dimetoato) presentan un CIA alto (Cuadro 1). Intrínsecamente, el clorpirifos es el que presenta el mayor CIA y, por lo tanto, un mayor impacto ambiental. Asimismo, clorpirifos, cipermetrina y trifluralina tienen un impacto sobre el componente ecológico considerablemente alto. En cambio, fomesafeno y dimetoato lo tienen sobre el componente del trabajador. En total, los ia que integran este paquete tecnológico tienen un CIA de 320, valor que sugiere que el manejo de plagas en la zona tiene un impacto global alto.

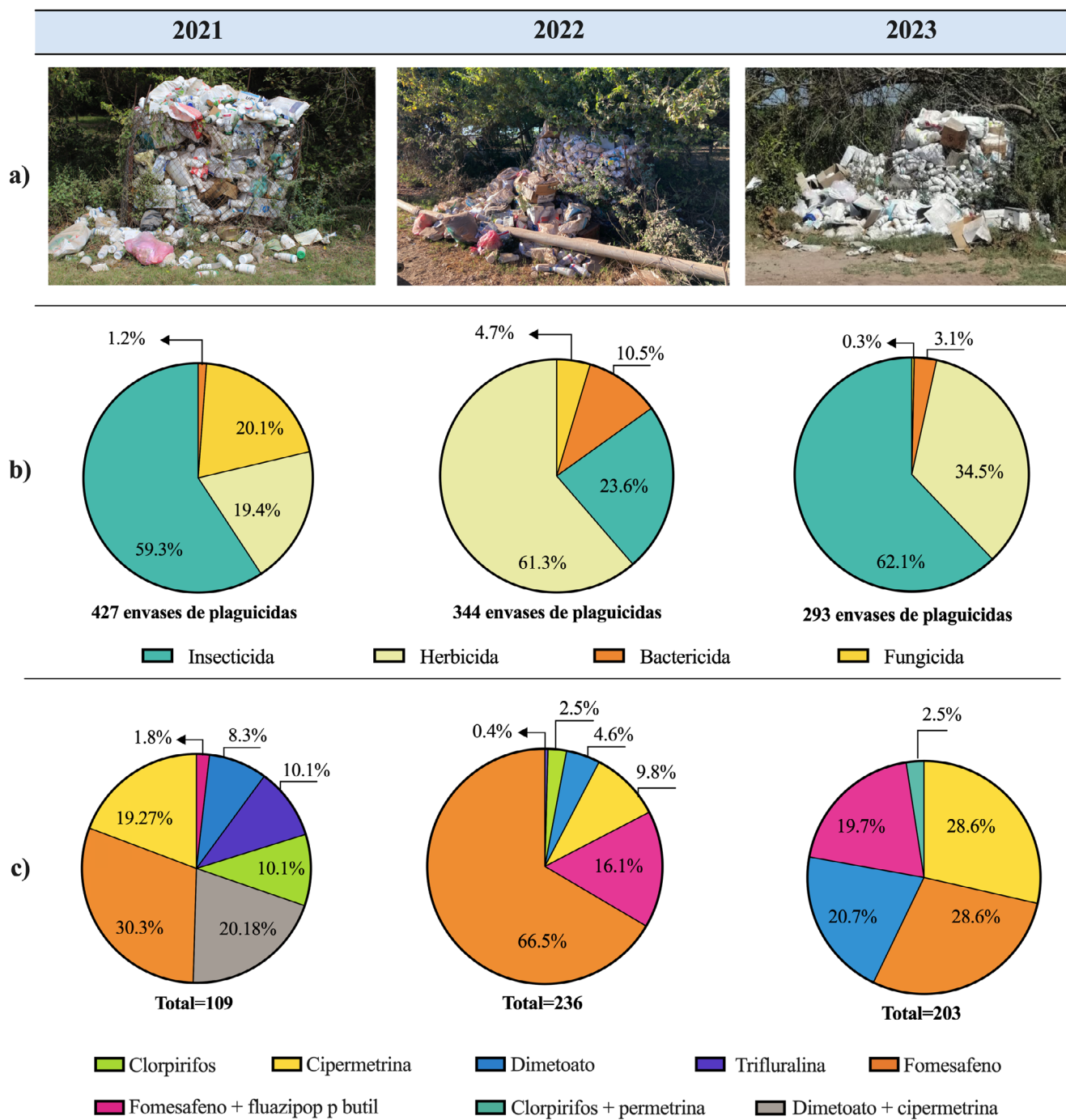


Figura 2. Censo de envases vacíos en el centro de acopio primario (CAP A) durante los tres años de muestreo. a) Centro de acopio primario antes del conteo de envases vacíos. b) Porcentaje de envases vacíos de acuerdo con la plaga agrícola controlada. c) Porcentaje de envases vacíos de acuerdo con el ia sugerido por la *Agenda técnica agrícola Nayarit* en Santiago Ixcuintla, Nayarit, México.

Cuadro 1. Coeficiente de impacto ambiental de ingredientes activos recomendados por la Agenda técnica agrícola Nayarit (SAGARPA, 2015) para el cultivo de frijol.

Plaguicida	Tipo de plaguicida	Componente			CIA
		Ecológico	Trabajador	Consumidor	
Clorpirifos	Insecticida	137	105	20	87
Cipermetrina	Insecticida	96	80	14	63
Fomesafeno	Herbicida	76	96	18	63
Trifluralina	Herbicida	76	70	16	54
Dimetoato	Insecticida	61	70	27	53
Total	Total	446	421	95	320

CIA: coeficiente de impacto ambiental. CIA: > 40: impacto ambiental alto; CIA: > 21 impacto ambiental medio, y CIA: < 21 impacto ambiental bajo. Los valores de CIA se obtuvieron de la versión actualizada a febrero de 2026.

Los diferentes productos comerciales presentaron porcentajes de ia que iban de 21 % a 44.5 %, con una dosis de aplicación referida en la etiqueta de 0.2 a 3 L/ha. Al emplear los valores anteriores para calcular el CIAC, de acuerdo con los productos censados durante el periodo de muestreo, se observó que el herbicida Escarlata 480® CE presenta el mayor CIAC (64.3), mientras que el insecticida cipermetrina 200® tuvo un CIAC de 4.0. No obstante, cinco de ellos presentaron un alto impacto ambiental sobre el componente ecológico (Escarlata 480® CE, JMR rudo®, Agresor®, Gusvan 480® CE y Treflan® HFP), en un rango de CIAC de 72.4 a 90.5) (Figura 3).

Con base en el análisis de los valores del CIAC se observó una correlación positiva ($p < 0.001$) entre la dosis recomendada en el envase (L/ha) y el CIAC (Figura 4a); esta correlación también se observó entre el porcentaje de ia y los valores de CIAC (Figura 4b).

Costo de las externalidades de plaguicidas

De acuerdo con el porcentaje de ia recabado del censo de envases vacíos, durante el periodo de muestreo se utilizó un total de 141.05 kg de ia para el control de plagas en el cultivo de frijol. Tomando en cuenta que cada kilogramo de ia tiene un costo general estimado de externalidad de 434.37 MXN, el costo total de las externalidades generadas entre 2021 y 2023 fue de 61,267.88 MXN. Al agrupar los resultados por ia, el fomesafeno representó la mayor proporción de los costos de la externalidad (32,130.65 MXN), seguido de dimetoato (13,196.16 MXN), cipermetrina (9,971.64 MXN), clorpirifos (4,094.04 MXN) y trifluralina (2,333.43 MXN). En concordancia con lo anterior, y como se muestra en el Cuadro 3, Flex® fue el producto con mayor costo de externalidad (8,947.03 MXN), seguido de Fusiflex® Gold

(7,352.68 MXN) y Rogonay 400® (6,392.92 MXN).

Por otro lado, se estimó el costo de la externalidad del paquete tecnológico completo (insecticidas + herbicidas), considerando los diferentes productos comerciales identificados en la zona durante los tres años de estudio para cada ia. El valor promedio de los productos comerciales con cipermetrina fue de 51.61 ± 5.6 MXN, para dimetoato 202.04 ± 33.1 MXN y, para clorpirifos, fue de 312.69 ± 11.4 MXN; por su parte, para los herbicidas, fomesafeno tuvo un valor de 125.62 ± 11.2 MXN y la trifluralina 525.02 ± 58.3 MXN (Figura 5a). La suma de todo el paquete asciende a 1,217.00 MXN. Al multiplicar el costo del paquete tecnológico por el total de hectáreas sembradas de frijol en Santiago Ixcuintla en el 2021 (19,738 ha) se obtuvo un valor de 24,021,270.22 MXN/ha, para el 2022 (18,584 ha) de 22,616,844.96 MXN/ha y para el 2023 (14,406 ha) de 17,532,192.66 MXN/ha. Además, se proyectó el posible impacto económico para el 2024 (16,412 ha sembradas de frijol) con un valor de 19,973,507.29 MXN/ha (Figura 5b). Los resultados de esta aproximación evidencian que, si la práctica agrícola continúa como hasta ahora, el impacto económico podría aumentar en relación con el número de hectáreas sembradas.

Nombre comercial	Ingrediente activo	%	L/ha	Ecológico	Trabajador	Consumidor	CIAC
Escarlata 480 [®] CE	Trifluralina	44.5	3.0	90.5	83.4	19.1	64.3
JMR rudo [®]	Clorpirifos etil	44.5	1.7	92.5	70.9	13.5	58.7
Agresor [®]	Clorpirifos + permetrina	36.1	2.0	88.5	67.8	12.9	56.2
Gusvan 480 [®] CE	Clorpirifos etil	44.4	1.5	81.6	62.5	11.9	51.8
Treflan [®] HFP	Trifluralina	44.5	2.4	72.4	66.7	15.2	51.5
Anagor 400 [®]	Dimetoato	40.0	1.5	32.7	37.5	14.5	28.4
Rogonay 400 [®]	Dimetoato	38.5	1.5	31.4	36.1	13.9	27.3
Fusiflex [®]	Fomesafeno + Fluazifop-P-butil	39.4	1.0	26.8	33.8	6.3	22.2
Hunk [®] 250 SL	Fomesafeno	22.1	1.5	22.6	28.5	5.3	18.7
FlexStar [®]	Fomesafeno	21.7	1.5	22.1	27.9	5.2	18.3
Nugor [®] 400	Dimetoato	38.5	1.0	21.0	24.0	9.3	18.2
*Flex [®]	Fomesafeno	22.5	1.3	21.4	27.0	5.1	17.7
Cipertoato 300 [®] CE	Dimetoato + cipermetrina	28.7	1.0	15.6	17.9	6.9	13.6
Flex [®] Biw	Fomesafeno	22.5	1.0	15.3	19.3	3.6	12.6
Foma [®] 1.88	Sal sódica de Fomesafeno	22.1	1.0	15.0	18.9	3.5	12.4
Fusiflex [®] Gold	Fomesafeno + Fluazifop-P-butil	22.1	1.0	15.0	18.9	3.5	12.4
*Cymbush [®]	Cipermetrina	21.4	0.7	12.8	10.7	1.9	8.4
Cypervel 200 [®]	Cipermetrina	20.3	0.7	12.2	10.2	1.8	8.0
Kaizer [®]	Cipermetrina	21.5	0.6	11.1	9.2	1.6	7.3
Siroco [®] 20 Diablo	Cipermetrina	21.5	0.6	11.1	9.2	1.6	7.3
Cipertrade [®]	Cipermetrina	21.1	0.6	10.8	9.0	1.6	7.1
Gallo 200 CE [®]	Cipermetrina	21.0	0.5	9.0	7.5	1.3	5.9
Cipermetrina 200 [®]	Cipermetrina	24.0	0.2	6.2	5.1	0.9	4.0

Figura 3. Coeficiente de impacto ambiental en campo (CIAC) de los productos comerciales de plaguicidas identificados durante el periodo de muestreo. * Indica el nombre comercial que es recomendado en la *Agenda técnica agrícola Nayarit* (SAGARPA, 2015). %: porcentaje del ingrediente activo en el producto comercializado. L/ha: dosis sugerida en la etiqueta. CIAC: coeficiente de impacto ambiental en campo.

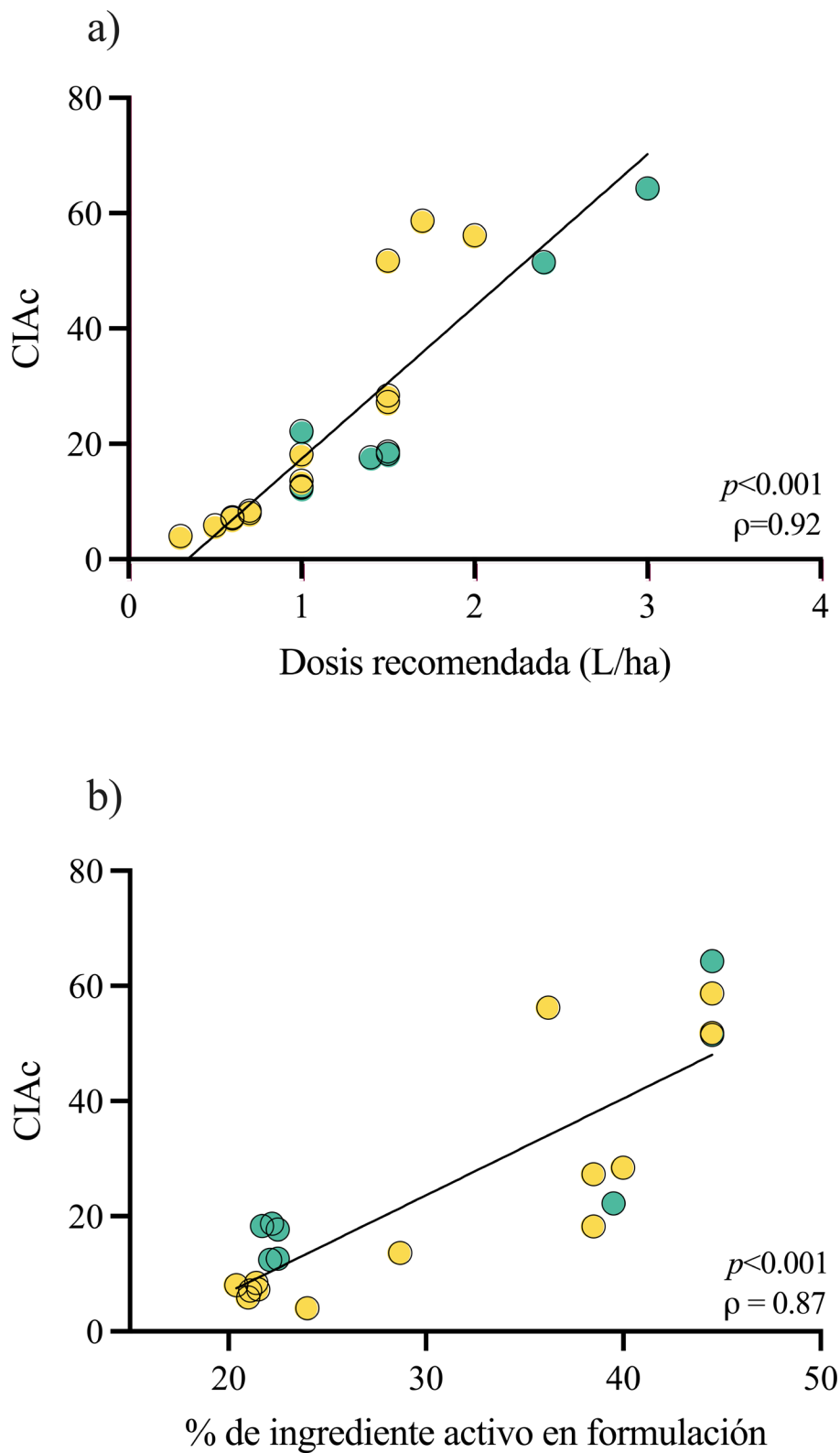


Figura 4. Relación de la dosis recomendada (L/ha) (a) y porcentaje de ingrediente activo (b) con el coeficiente de impacto ambiental en campo de insecticidas (amarillo) y herbicidas (verde). La correlación se realizó con la prueba de Spearman.

Cuadro 2. Número de envases vacíos e impacto ambiental total por producto comercializado en Santiago Ixcuintla, Nayarit, México.

Nombre comercial	Ingrediente activo	2021	2022	2023	Total	CIAC	IAT
Cymbush®	Cipermetrina	11	7	20	38	8.4	319.2
Cypervel 200® impetor®		3		--	3	8	24
Kaizer®		--	6	--	6	7.3	43.8
Siroco® 20 Diablo		--	1	6	7	7.3	51.1
Cipertrade®		4	1	2	7	7.1	49.7
Gallo 200 CE®		1	--	--	1	5.9	5.9
Cipermetrina 200®		2	8	30	40	4	160
Gusvan 480® CE	Clorpirifos	11	--	--	11	51.8	569.8
JMR rudo®		--	6	--	6	58.7	352.2
Agresor®		--	--	5	5	56.2	281
Rogonay 400®	Dimetoato	9	8	21	38	27.3	1,037.4
Cipertoato 300® CE		22	--	--	22	18.2	418.6
Anagor 400®		--	1	--	1	13.6	299.2
Nugor® 400		--	2	21	23	28.4	28.4
Escarlata 480® CE	Trifluralina	11	--	--	11	64.3	707.3
Treflan® HFP		--	1	--	1	51.5	51.5
Flex®	Fomesafeno	11	80	-	91	17.7	1,610.7
Hunk® 250 SL		19	35	8	62	18.7	1,159.4
Fusiflex® Gold		--	36	40	76	18.3	1,043.1
Flex® Biw		3	--	33	36	12.4	942.4
FlexStar®		--	40	17	57	12.6	453.6
Fusiflex®		2	2	--	4	22.2	88.8
Foma® 1.88		--	2	--	2	12.4	24.8
Total de envases vacíos		109	236	203	548	532.3	9,721.9

CIAC: coeficiente de impacto ambiental en campo; IAT: impacto ambiental total.

Cuadro 3. Costo estimado de externalidad por ingrediente activo y número de envases en el centro de acopio primario.

Nombre comercial	Dosis (kg/L)	Costo estimado en el CAP	
		Total de envases*	MXN/kg
Flex®	0.23	91	8,947.03
Fusiflex® Gold	0.22	76	7,352.69
Rogonay 400®	0.39	38	6,392.92
Hunk® 250 SL	0.22	62	6,003.67
FlexStar®	0.22	57	5,404.92
Cipermetrina 200®	0.24	40	4,194.95
Nugor® 400	0.39	23	3,869.40
Cymbush®	0.21	38	3,553.47
Flex® Biw	0.23	36	3,539.48
Cipertoato 300® CE	0.29	22	2,759.05
Escarlata 480® CE	0.45	11	2,138.98
Gusvan 480® CE	0.44	11	2,137.06
JMR rudo®	0.45	6	1,166.72
Agresor®	0.36	5	790.27
Fusiflex®	0.39	4	689.72
Siroco® 20 Diablo	0.22	7	657.65
Cipertrade®	0.21	7	646.02
Kaizer®	0.22	6	563.70
Cypervel 200® impetor®	0.20	3	266.90
Treflan® HFP	0.45	1	194.45
Foma® 1.88	0.22	2	193.14
Anagor 400®	0.40	1	174.79
Gallo 200 CE®	0.20	1	88.97

CAP: centro de acopio primario; EUR: euros; MXN: pesos mexicanos.

* Cada envase equivale a 1 L.

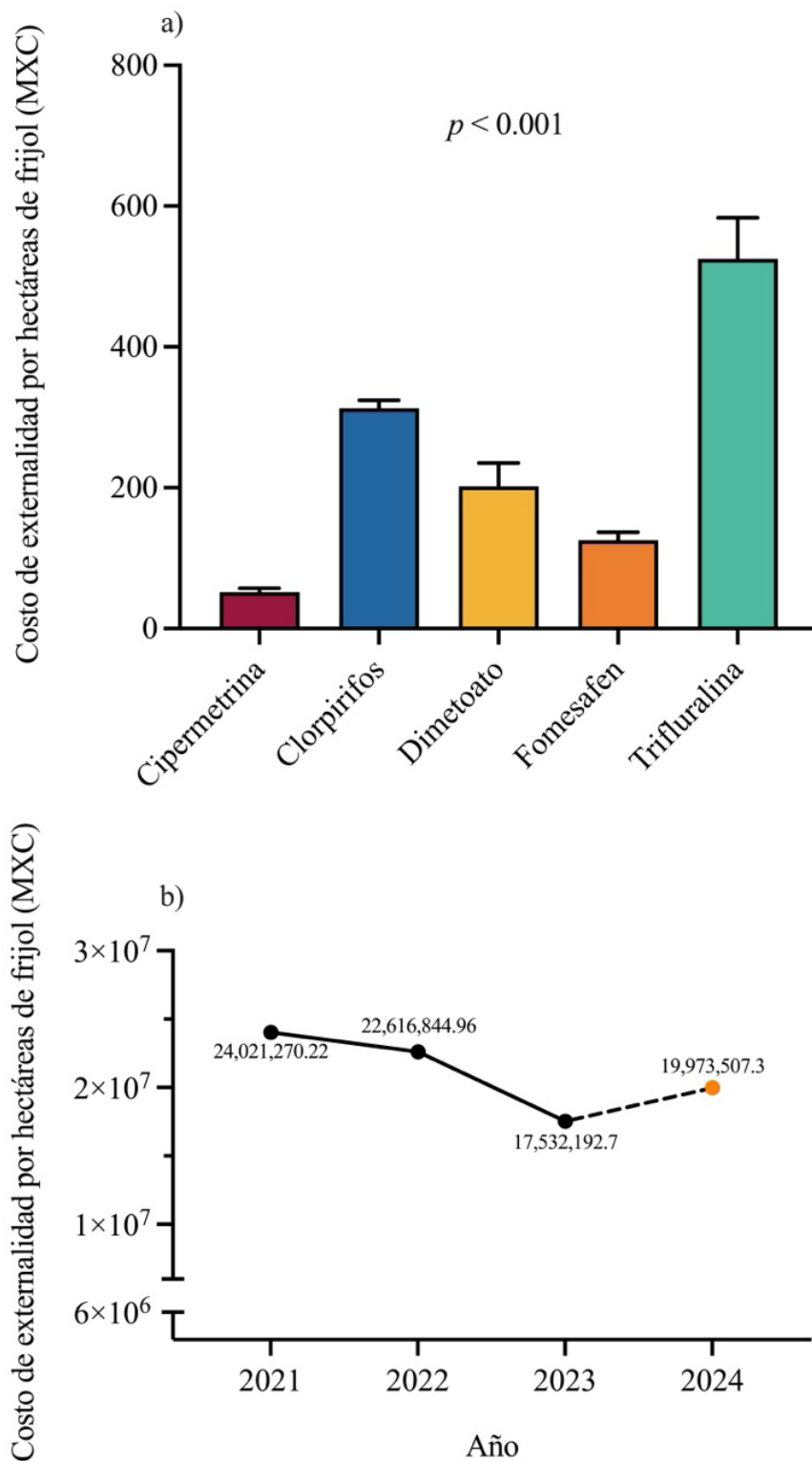


Figura 5. Costo anual de externalidades por hectárea sembrada en el municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. a) Las barras representan la media $\pm$ error estándar de las externalidades de los ingredientes activos sugeridos en la *Agenda técnica agrícola Nayarit* (SAGARPA, 2015) y registrados en el centro de acopio primario estimadas a partir del número de hectáreas sembradas en el municipio de Santiago Ixcuintla, durante el periodo 2021-2023. b) Los puntos indican el costo de la externalidad por el número de hectáreas sembradas durante 2021-2023, así como la proyección para 2024 (punto de color naranja). El análisis se realizó con la prueba de Kruskal-Wallis. Un valor de $p < 0.05$ se consideró estadísticamente significativo.

DISCUSIÓN

Uno de los principales granos básicos de la alimentación en México es el frijol. Este representa una fuente fundamental de proteína vegetal, además de tener una alta relevancia socioeconómica y cultural (Lara Flores, 2015; Pérez Herrera et al., 2002). En el estado de Nayarit, el frijol ocupa el primer lugar en superficie sembrada. El total de hectáreas de frijol sembradas para 2021 en el municipio de Santiago Ixcuintla fue de 19,738 ha, durante el 2022 fue de 18,584 ha, para el 2023 fue de 14,406 ha y para el 2024 fue de 16,412 ha. La disminución de la superficie sembrada de frijol observada durante 2021-2024 podría estar relacionada con diversos factores, entre ellos las condiciones climáticas, particularmente los eventos de sequía, así como las variaciones en los rendimientos de producción y en los precios de compra al productor, factores que influyen en la rentabilidad y permanencia de este cultivo en México (Baez-González et al., 2020; DGSIAF, 2025; Jiménez Galindo y Acosta Gallegos, 2012).

Dentro de las variedades de frijol que se producen se encuentran azufrado higuera, azufrado peruano, negro Jamapa, bayo berrendo, flor de junio, entre otros (DGSIAF, 2025). Este cultivo puede verse afectado por plagas, como insectos, por ejemplo, la mosquita blanca (*B. tabaci*), así como por algunas arvenses, como quelite (*Amaranthus* sp.) y mancamula (*S. rostratum*) (SAGARPA, 2015). Para mantener rendimientos de productividad relativamente estables, el uso de plaguicidas constituye la principal estrategia en el control de plagas. No obstante, su aplicación genera consecuencias ambientales y económicas que deben ser analizadas desde una perspectiva integral. Para generar esquemas de manejo adecuado de estos compuestos, las estadísticas de uso son indispensables. Diversos grupos de investigación en México han señalado la ausencia de estadísticas nacionales sobre el uso de plaguicidas y su impacto ambiental, lo que ha motivado el desarrollo de estrategias de monitoreo mediante el análisis de patrones de venta y uso, censo de envases vacíos y monitoreo de bitácoras de empresas agrícolas y del programa "Campo Limpio" (González-Arias et al., 2010; Guigón-López & González-González, 2007; Ordóñez Beltrán et al., 2016; Ramírez Legarreta & Jacobo Cuéllar, 2002; Ruiz-Arias et al., 2025; Vargas-González et al., 2019). Por otro lado, también existe poco asesoramiento res-

pecto de cómo usarlos, desde la selección del producto más adecuado, hasta el manejo durante la aplicación por mencionar algunos. Entre las pocas estrategias técnicas disponibles para este cultivo se encuentra la ATAN, que recomienda paquetes tecnológicos para el cultivo de amaranto, arroz, frijol, girasol y maíz de riego y de temporal en el estado de Nayarit (SAGARPA, 2015).

La ATAN propuso una estrategia de control químico basada en cinco ia: clorpirifos, dimetoato, cipermetrina, trifluralina y fomesafeno (SAGARPA, 2015). Posteriormente, la actualización de la ATAN incluyó el uso de clorpirifos bajo el nombre comercial de Lorsban al 3 %, en dosis de 20 kg/ha (INIFAP, 2017). Sin embargo, los resultados del presente estudio sugieren que el paquete tecnológico recomendado en la ATAN de 2015 continúa en uso, lo que evidencia la persistencia de prácticas previas a la actualización oficial. Pero, además, los resultados también confirman una elevada variedad de productos comerciales con 1,000 envases vacíos identificados de ia no incluidos en la ATAN de 2015. El uso de numerosos productos de plaguicidas con distintos ia conlleva riesgos ambientales significativos debido a la combinación de su toxicidad, persistencia y efectos sobre los organismos no objetivo (Kalyabina et al., 2021). De igual manera, el tipo de plaguicida influye de manera determinante en su comportamiento ambiental, persistencia y riesgo para los aplicadores (Jáquez-Matas et al., 2022). En este estudio, la dosis de uso (L/ha) y la concentración del ia fueron los factores que más influyeron en el CIAC (Figura 3). Esto sugiere que el riesgo ambiental no depende únicamente de la toxicidad intrínseca del compuesto, sino también del volumen total aplicado y de las prácticas de manejo (Jáquez-Matas et al., 2022). Un estudio previo reportó que dos plaguicidas, carbendazim y carbofurán, ambos de impacto alto, tuvieron valores de CIAC diferentes; carbendazim (42.6) fue mayor que el de carbofurán (22.6), la diferencia se debió a un mayor porcentaje de ia en el producto comercial (50 y 35, respectivamente) y a un mayor número de aplicaciones (1.5 aplicaciones y 1.0, respectivamente) (Vargas-González et al., 2019). Nuestros resultados coinciden con estas observaciones, al mostrar que los valores de CIAC dependen en mayor medida de la concentración y frecuencia de aplicación que del número de plaguicidas empleados. Esto refuerza la evidencia previa sobre el impacto ambiental derivado del uso

intensivo de plaguicidas en la zona (Ruiz-Arias et al., 2025). Por ejemplo, factores socioeconómicos como los bajos ingresos hacen que los productores tiendan a emplear plaguicidas de menor costo o a mezclarlos para ampliar su espectro de acción, lo que incrementa de efectos ambientales y de salud (Ortiz et al., 2004). Por el contrario, se ha demostrado que la capacitación técnica y la educación ambiental son factores determinantes para un manejo racional de plaguicidas, pues mejoran la percepción del riesgo, promueven su manejo racional y contribuyen a reducir los impactos negativos (Deihimfard et al., 2014). Lo anterior expone la necesidad de promover en los productores de frijol la selección de plaguicidas de bajo impacto ambiental. Para lograrlo, el asesoramiento y acompañamiento, así como del establecimiento de mecanismos de monitoreo y control que garanticen la protección de los recursos naturales y la salud de las comunidades rurales, podrían ser clave. En este contexto, el caso del clorpirifos es particularmente relevante; los valores elevados de CIA, CIAC e IAT sugieren un alto potencial de impacto ambiental, el cual se ve respaldado por su detección en matrices como agua, suelo y organismos acuáticos previamente reportada en la zona de estudio (Ruiz-Arias et al., 2023). La presencia de plaguicidas en matrices ambientales puede explicarse, en parte, mediante procesos de contaminación difusa. A diferencia de las fuentes puntuales, los contaminantes difusos provienen de múltiples fuentes dispersas y son transportados por procesos como la escorrentía superficial, la infiltración y el arrastre de sedimentos. Esta situación adquiere especial relevancia cuando los CAP se localizan en las proximidades de cuerpos de agua (Ruiz-Arias et al., 2025), ya que la movilización de residuos mediante escorrentía, infiltración o arrastre de sedimentos puede favorecer la contaminación de estos sistemas.

Aunque estos indicadores constituyen aproximaciones indirectas del riesgo, su concordancia con la evidencia ambiental sugiere que la presión de uso y las propiedades del compuesto favorecen su dispersión y persistencia, traducándose en escenarios de exposición real. Esta coherencia refuerza la utilidad de estos índices como herramientas para la evaluación del riesgo en sistemas agrícolas y subraya la necesidad de transitar hacia prácticas de manejo más sostenibles.

En cuanto a las externalidades, se identificaron costos económicos considerables asociados al uso de plaguicidas, los cuales no son internalizados por el mercado. Estudios previos han estimado que el clorpirifos presenta los mayores costos de externalidad anuales con valores de 4.8 millones de MXN/ha sembrada (Jáquez-Matas et al., 2022). En el presente trabajo, los productos comerciales con los mayores costos de externalidad fueron aquellos que contenían como ia trifluralina y clorpirifos, con una estimación promedio anual de 9.2 y 5.4 millones de MXN/ha sembradas de frijol, respectivamente. Los mercados mal regulados son los más propensos a generar externalidades ambientales negativas, si, además, los países no cuentan con legislaciones o normas oficiales que regulen el uso indiscriminado y descontrolado de plaguicidas sin importar el tipo de ia o producto comercial que se aplique, las externalidades aumentan (FAO, 2022; Secretaría del Medio Ambiente, 2022). Esto refuerza la relación que existe entre la dosis de ia aplicada y el porcentaje de ia en el producto, así como el número de aplicaciones. Lo anterior se observa con claridad en la comparación de los herbicidas fomesafeno y trifluralina; mientras que el primero generó la mayor externalidad por kg de ia (debido a su amplio uso observado con el gran número de envases), el segundo fue por número de ha (debido al porcentaje elevado de ia en el producto). Es importante puntualizar que el mal manejo de los envases vacíos también podría contribuir a los impactos económicos. Es decir, los impactos económicos asociados a estos productos no se limitan a su aplicación en campo, sino que se extienden a las etapas posteriores de manejo y disposición final, las cuales son fundamentales para prevenir la contaminación y proteger el equilibrio ecológico. De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y la LGPGIR, los envases vacíos de plaguicidas que contienen remanentes de estas sustancias deben ser manejados bajo esquemas específicos de gestión y disposición final, debido al riesgo potencial que representan para el ambiente y la salud humana (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, 2026; Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 2026).

México ha implementado mecanismos fiscales como el Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS) para mitigar las externalidades nega-

tivas, con tasas diferenciadas según la categoría de toxicidad (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, 2024; Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios [LIEPS], 2025; Servicio de Administración Tributaria, 2014). De acuerdo con la LIEPS, los plaguicidas son gravados con tasas diferenciadas según su categoría toxicológica aguda, establecidas con base en la clasificación de la NOM-232-SSA1-2009. Las tasas aplicables son de 9 % para las categorías toxicológicas 1 y 2, 7 % para la categoría 3 y 6 % para la categoría 4. No obstante, este impuesto está asociado a su categoría de toxicidad aguda en humanos y está lejos de considerar todos los efectos negativos ocasionados al ambiente (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2024). Aun así, los costos externos generados por el uso de plaguicidas siguen siendo poco cuantificados y, por lo tanto, la regulación de la venta y el uso es laxa (Deihimfard et al., 2014; Snelder et al., 2008).

En conjunto, los resultados de este estudio refuerzan la necesidad de fortalecer la educación agrícola y la atención en los núcleos agrarios sobre las buenas prácticas en el uso y manejo de plaguicidas, así como promover alternativas sostenibles que minimicen los riesgos para el ambiente y la salud humana. El cuidado de estos aspectos contribuiría considerablemente a mejorar las condiciones de los sistemas ecológicos de la planicie costera del estado de Nayarit. Asimismo, los resultados obtenidos sugieren la necesidad de fortalecer estrategias de manejo integrado de plagas en el cultivo de frijol como una alternativa para reducir la dependencia de plaguicidas sintéticos. Entre las opciones disponibles destacan el monitoreo de poblaciones de plagas, el uso de variedades con mayor tolerancia o resistencia, la rotación de cultivos, el manejo adecuado de arvenses y la implementación de programas de control biológico mediante organismos benéficos. Estas prácticas podrían contribuir a disminuir los impactos ambientales y económicos asociados al control químico de plagas identificados en este estudio. Si bien este trabajo proporciona información relevante sobre los impactos ambientales y económicos del uso de plaguicidas en el cultivo de frijol en Nayarit, es importante mencionar las siguientes limitaciones: el modelo de cálculo del CIA no incorpora variables locales específicas, como la vida media del plaguicida en el suelo o su potencial de lixiviación. Además, la falta de control sobre los CAP y la ausencia de regis-

tros oficiales introducen incertidumbre en los datos. A pesar de ello, el CIA representa una herramienta útil para comparar el impacto relativo de diferentes plaguicidas y orientar la toma de decisiones hacia sistemas agrícolas más sustentables. Finalmente, hasta donde es de nuestro conocimiento, este trabajo constituye uno de los primeros estudios realizados en México, que evalúan de manera conjunta los impactos ambientales y las externalidades económicas asociadas al uso de plaguicidas en el cultivo de frijol. Esta aproximación integral representa una de las principales fortalezas del estudio y proporciona una visión más amplia de las implicaciones asociadas al uso de estos insumos agrícolas.

CONCLUSIÓN

El análisis del censo del CAP evidencia una gran heterogeneidad en los *ia* de productos comerciales utilizados para el control de plagas en el cultivo de frijol en la zona evaluada, caracterizada por una alta dependencia de insecticidas y herbicidas, con predominio de *ia* como clorpirifos, cipermetrina, dimetoato y fomesafeno. Los valores del CIA indican que estos compuestos presentan impactos ambientales elevados, con mayor incidencia en el componente ecológico.

El CIAc y el IAT estuvieron determinados principalmente por la dosis de aplicación, el porcentaje de *ia* y el número de envases, lo que explica los mayores valores asociados a productos con clorpirifos, trifluralina y fomesafeno. De manera consistente, las externalidades económicas mostraron una relación directa con estos factores, destacando la trifluralina y el clorpirifos por sus mayores costos.

La ausencia de prácticas adecuadas en el manejo de envases vacíos evidencia riesgos adicionales que incrementan los impactos identificados. En conjunto, los resultados señalan la necesidad de optimizar la selección de plaguicidas y dosis, así como de promover estrategias de manejo integrado de plagas y fortalecer la capacitación técnica, con el fin de reducir los impactos ambientales y económicos del uso de plaguicidas en el cultivo de frijol.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a José Octavio Camelo Avedoy por su valiosa contribución a los aspectos económicos

considerados en este manuscrito. Asimismo, agradecen a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por la beca otorgada (núm. 813669) y al Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias, de la Universidad Autónoma de Nayarit por el apoyo brindado.

LITERATURA CITADA

- Amocali. (s. f.). *Centros de acopio primario (CAP)*. <https://campolimpo.org.mx/centros-de-acopio-primarios-cap/>
- Baez-González, A. D., Fajardo-Díaz, R., García-Romero, G., Osuna-Ceja, E., Kiniry, J. R., & Meki, M. N. (2020). High sowing densities in rainfed common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in Mexican semi-arid highlands under future climate change. *Agronomy*, 10(3), 442. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030442>
- Banco de México. (2024, 26 de octubre). *Cotización de las divisas que conforman la canasta del DEG 1/ y del DEG respecto al Peso mexicano 2/Pesos por divisa*. <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadroAnalitico&idCuadro=CA91&>
- Bernal-Hernández, Y. Y., Medina-Díaz, I. M., Barrón-Vivanco, B. S., Robledo-Marengo, M. de L., Girón-Pérez, M. I., Pérez-Herrera, N. E., Quintanilla-Vega, B., Cerda-Flores, R., & Rojas-García, A. E. (2014). Paraoxonase 1 and its relationship with pesticide biomarkers in indigenous Mexican farmworkers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 56(3), 281-290. <https://doi.org/10.1097/01.jom.0000438381.25597.88>
- Camero Campos, O. J., Camero Monroy, A., Rodríguez Arrieta, J. A., Robles Bermúdez, A., Lemus Soriano, B. A., Ríos Velasco, C., Zamora Landa, Á. I., & Estrada-Virgen, M. O. (2023). New report of the exotic species *Megalurothrips usitatus* (Thysanoptera: Thripidae) infesting three commercial legumes in Nayarit, Mexico. *The Florida Entomologist*, 105(4), 316-318. <https://doi.org/10.1653/024.105.0409>
- Carrillo Quiroga, P. (2024). La percepción de estudiantes de agronomía sobre la contaminación por agroquímicos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 40, 119-135. <https://doi.org/10.20937/RICA.54937>
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (2024). *Recaudación del IEPS no petrolero, enero-noviembre 2023*. CEF. <https://www.cef.gob.mx/publicaciones/nota/2024/notacefp0092024.pdf>
- Cornell College of Agriculture and Life Sciences. (2026). *Environmental Impact Quotient*. <https://eiq.cornell-ipm.org/>
- Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Moinoddini, S. S., Kambouzia, J., Zand, E., Mahdavi Damghani, A., Mosleh, L., & Saberpour, L. (2014). Evaluating risk from insecticide use at the field and regional scales in Iran. *Crop Protection*, 65, 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.06.028>
- Díaz Romo, P., & Salinas Álvarez, S. (2002). *Plaguicidas, tabaco y salud: el caso de los jornaleros huicholes, jornaleros mestizos y ejidatarios en Nayarit, México*. Proyecto Huicholes y Plaguicidas.
- Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2025, 15 de agosto). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. DGSIAP. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2008). *Guidance on the Use of Environmental Impact Quotient in IPM Impact Assessment* [Documento guía núm. 2]. FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/506791d2-d519-4726-8dbb-856b5ed38ca9/content>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *El estado de los mercados de productos básicos agrícolas 2022. La geografía del comercio alimentario y agrícola: enfoques de políticas para lograr el desarrollo sostenible*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0471es>
- González-Arias, C. A., Robledo-Marengo, M. de L., Medina-Díaz, I. M., Velázquez-Fernández, J. B., Girón-Pérez, M. I., Quintanilla-Vega, B., Ostrosky-Wegman, P., Pérez-Herrera, N. E., & Rojas-García, A. E. (2010). Patrón de uso y venta de plaguicidas en Nayarit, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 26(3), 221-228.
- Guigón-López, C., & González-González, P. A. (2007). Manejo de plagas en el cultivo de chile y su impacto ambiental en la zona agrícola de Jiménez-Villa López, Chihuahua, México. *Tecnociencia Chihuahua*, 1(2), 36-47. <https://doi.org/10.54167/tch.v1i2.50>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (2017). *Agenda técnica agrícola Nayarit*. INIFAP. https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_agendas/4135_4832_Agenda_T%c3%a9cnica_Nayarit_2017.pdf
- Jáquez-Matas, S. V., Pérez-Santiago, G., Márquez-Linares, M. A., & Pérez-Verdín, G. (2022). Impactos económicos

- y ambientales de los plaguicidas en cultivos de maíz, alfalfa y nogal en Durango, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 219-233. <https://doi.org/10.20937/rica.54169>
- Jiménez Galindo, J. C., & Acosta Gallegos, J. A. (2012). Caracterización de genotipos criollos de frijol Tepari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) y común (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(8), 1565-1577. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i8.1321>
- Kalyabina, V. P., Esimbekova, E. N., Kopylova, K. V., & Kratasyuk, V. A. (2021). Pesticides: formulants, distribution pathways and effects on human health-a review. *Toxicology Reports*, 8, 1179-1192. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.06.004>
- Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., & Tette, J. (1992). A method to measure the environmental impact of pesticides. *New York's Food and Life Sciences Bulletin*, 139, 1-8.
- Lara Flores, M. (2015). El cultivo del frijol en México. *Revista Digital Universitaria*, 16(2). <https://www.revista.unam.mx/vol.16/num2/art09/>
- Leach, A. W., & Mumford, J. D. (2008). Pesticide Environmental Accounting: A method for assessing the external costs of individual pesticide applications. *Environmental Pollution*, 151(1), 139-147. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.02.019>
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. (2026). Diario Oficial de la Federación, 19 de enero de 2026. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. (2026). Diario Oficial de la Federación, 19 de enero de 2026. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf>
- Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios. (2025). Diario Oficial de la Federación, 7 de noviembre de 2025. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIEPS.pdf>
- Niazmoradi, M., Kazemi, H., Gharekhloo, J., Soltani, A., & Kamkar, B. (2024). Environmental Impact Quotient (EIQ) evaluation of used pesticides in wheat (*Triticum aestivum* L.) fields of Bandar-e-Turkman County, Golestan Province. *Journal of Agroecology*, 15(4), 809-823. <https://doi.org/10.22067/AGRY.2022.76161.1106>
- Organization for Economic Co-operation and Development. (s. f.). *Price level indices*. OECD. <https://www.oecd.org/en/data/indicators/price-level-indices.html>
- Ordóñez Beltrán, M. F., Jacobo Cuéllar, J. L., Quintana López, E., Parra Quezada, R. Á., Guerrero Prieto, V. M., & Ríos Velasco, C. (2016). Pulgón lanígero e impacto ambiental por el uso de pesticidas en manzano en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 573-583. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i3.312>
- Ortiz, O., Garrett, K. A., Health, J. J., Orrego, R., & Nelson, R. J. (2004). Management of potato late blight in the Peruvian highlands: evaluating the benefits of farmer field schools and farmer participatory research. *Plant Disease*, 88(5), 565-571. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.5.565>
- Paredes-Céspedes, D. M., Bernal-Hernández, Y. Y., Herrera-Moreno, J. F., Rojas-García, A. E., Medina-Díaz, I. M., González-Arias, C. A., & Barrón-Vivanco, B. S. (2022). Methylation patterns of the *CDKN2B* and *CDKN2A* genes in an indigenous population exposed to pesticides. *Human & Experimental Toxicology*, 41. <https://doi.org/10.1177/09603271211063161>
- Pérez Herrera, P., Esquivel Esquivel, G., Rosales Serna, R., & Acosta Gallegos, J. A. (2002). Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano subhúmedo de México. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 52(2), 172-180.
- Pimentel, D. (2005). Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Environment, Development and Sustainability*, 7, 229-252. <https://doi.org/10.1007/s10668-005-7314-2>
- Pretty, J. N., Brett, C., Gee, D., Hine, R. E., Mason, C. F., Morison J. I. L., Raven, H., Rayment, M. D., & van der Bijl, G. (2000). An assessment of the total external costs of UK agriculture. *Agricultural Systems*, 65(2), 113-136. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(00\)00031-7](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(00)00031-7)
- Pretty, J., Brett, C., Gee, D., Hine, R., Mason, C., Morison, J., Rayment, M., van der Bijl, G., & Dobbs, T. (2001). Policy challenges and priorities for internalizing the externalities of modern agriculture. *Journal of Environmental Planning and Management*, 44(2), 263-283. <https://doi.org/10.1080/09640560123782>
- Pretty, J., & Waibel, H. (2005). Paying the price: The full cost of pesticides. En J. Pretty (Ed.), *The Pesticide Detox: Towards a More Sustainable Agriculture* (Capítulo 3). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781849773188>
- Ramírez Legarreta, M. R., & Jacobo Cuéllar, J. L. (2002). Impacto ambiental del uso de plaguicidas en huertos de

- manzano del noroeste de Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 20(2), 168-173.
- Rojas-García, A. E., Medina-Díaz, I. M., Robledo-Marengo, M. de L., Barrón-Vivanco, B. S., Girón-Pérez, M. I., Velázquez-Fernández, J. B., González-Arias, C. A., Albores-Medina, A., Quintanilla-Vega, B., Ostrosky-Wegman, P., Rojas-García, M. C., Pérez-Herrera, N. E., & López-Flores, J. F. (2011). Hematological, biochemical effects, and self-reported symptoms in pesticide retailers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 53(5), 517-521. <https://doi.org/10.1097/JOM.0b013e318215fbf2>
- Ruiz-Arias, M. A., Medina-Díaz, I. M., Bernal-Hernández, Y. Y., Barrón-Vivanco, B. S., González-Arias, C. A., Romero-Bañuelos, C. A., Verdín-Betancourt, F. A., Herrera-Moreno, J. F., Ponce-Vélez, G., Gaspar-Ramírez, O., Bastidas-Bastidas, P. de J., Bejarano González, F., & Rojas-García, A. E. (2023). The situation of chlorpyrifos in Mexico: a case study in environmental samples and aquatic organisms. *Environmental Geochemistry and Health*, 45, 6323-6351. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01618-4>
- Ruiz-Arias, M. A., Rojas-García, A. E., Medina-Díaz, I. M., Bernal-Hernández, Y. Y., González-Arias, C. A., Barrón-Vivanco, B. S., Ponce-Vélez, G., Romero-Bañuelos, C. A., & Verdín-Betancourt, F. A. (2025). Impacto ambiental de plaguicidas de mayor venta y uso en una región del noroeste de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 41, 563-580. <https://doi.org/10.20937/RICA.55259>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020, 20 de agosto). *Productores de pequeña escala son los que nos dan de comer*. SADER. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/productores-de-pequena-escala-son-los-que-nos-dan-de-comer>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022, 28 de julio). *Maíz, frijol, arroz y trigo, los granos básicos de México*. SADER. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-frijol-arroz-y-trigo-los-granos-basicos-de-mexico>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2015). *Agenda Técnica Agrícola de Nayarit*. SAGARPA. https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_agendas/3097_4802_Agenda_Tecnol%c3%b3gica_Nayarit_2015.pdf
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2017). *Planificación agrícola nacional 2017-2030, frijol mexicano*. SAGARPA. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256428/B_si-co-Frijol.pdf
- Servicio de Administración Tributaria. (2014, 29 de mayo). *Impuesto a los plaguicidas*. SAT. http://m.sat.gob.mx/fichas_tematicas/reforma_fiscal/Paginas/plaguicidas_2014.aspx
- Secretaría del Medio Ambiente. (2022, 6 de diciembre). *Suelos y plaguicidas, una relación tóxica*. SEDEMA. <http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx:8081/culturaambiental/index.php/component/k2/suelos-y-plaguicidas-una-relacion-toxica-202212061608>
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2025, 15 de agosto). *Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2024, Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los centros de trabajo*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/9496/stps/stps.html>
- Snelder, D. J., Masipiqueña, M. D., & De Snoo, G. R. (2008). Risk assessment of pesticide usage by smallholder farmers in the Cagayan Valley (Philippines). *Crop Protection*, 27(3-5), 747-762. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.10.011>
- Vargas-González, G., Alvarez-Reyna, V. de 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), 113-127. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i2.1141>
- Zepeda-Arce, R., Rojas-García, A. E., Benitez-Trinidad, A., Herrera-Moreno, J. F., Medina-Díaz, I. M., Barrón-Vivanco, B. S., Pier Villegas, G., Hernández-Ochoa, I., Sólis Heredia, M. de J., & Bernal-Hernández, Y. Y. (2017). Oxidative stress and genetic damage among workers exposed primarily to organophosphate and pyrethroid pesticides. *Environmental Toxicology*, 32(6), 1754-1764. <https://doi.org/10.1002/tox.22398>