

IMPACTO AMBIENTAL DE PLAGUICIDAS DE MAYOR VENTA Y USO EN UNA REGIÓN DEL NOROESTE DE MÉXICO

Environmental impact of the most commonly sold and used pesticides in a northwest region of 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, Guadalupe PONCE-VÉLEZ³,
Carlos Alberto ROMERO-BAÑUELOS² y Francisco Alberto VERDÍN-BETANCOURT^{4*}

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

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

³ Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 04510 Cd. de México, México.

⁴ Unidad Especializada de Ciencias Ambientales, Centro Nayarita de Innovación y Transferencia de Tecnología (CENITT), Av. Emilio M. González s/n, Ciudad del Conocimiento, Tepic, Nayarit C.P. 63173, México.

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

(Recibido: mayo 2024 ; aceptado: febrero 2025)

Palabras clave: cociente de impacto ambiental, censo de envases vacíos, insecticidas, fomesafeno.

RESUMEN

Los plaguicidas son compuestos químicos que se utilizan para el control de plagas principalmente en la agricultura. El objetivo de este estudio fue identificar los plaguicidas más vendidos y utilizados en una región del norte de Nayarit, México, para evaluar su potencial impacto sobre el ambiente. Se realizó un estudio descriptivo. Mediante cuestionarios estructurados, se recabó información de establecimientos de venta de plaguicidas y se contabilizaron envases vacíos de centros de acopio primario (CAP) localizados en la zona de estudio. De igual forma, se recolectaron envases vacíos abandonados en parcelas y caminos agrícolas de la zona. Se estimó el cociente de impacto ambiental (CIA) por ingrediente activo (IA) y en campo (CIAc). De acuerdo con los resultados, los plaguicidas de mayor venta fueron la cipermetrina, el fenvalerato y el metamidofos. Los envases vacíos en los CAP revelan que el fomesafeno, la cipermetrina y el metamidofos son los IA mayormente utilizados. Mientras que los envases abandonados en parcelas y caminos agrícolas incluyen cipermetrina, trifluralina y terbufós. Los valores del CIA para los plaguicidas de uso común oscilaron entre 18.8 (bajo) y 66.0 (alto). La aplicación del modelo CIAc sobre el principal cultivo en la zona, confirma que el manejo químico de plagas utilizado podría generar impactos considerables, principalmente sobre el componente ecológico. El uso combinado de estos indicadores (CIA y CIAc) proporciona una buena aproximación del impacto ambiental generado por el uso de plaguicidas en la zona.

Key words: Environmental impact quotient, census of empty containers, insecticides, fomesafen.

ABSTRACT

Pesticides are chemical compounds used to control pests. Their use is mainly focused on agriculture. This work aimed to identify the most sold and used pesticides in a region of northern Nayarit, Mexico and evaluate their possible environmental impact. A descriptive study was carried out. Through structured questionnaires, information was collected from pesticide sales establishments and empty containers from primary collection centers (PCC) located in the study area were counted. Likewise, empty containers abandoned in plots and agricultural roads in the area were collected. The Environmental Impact Quotient (EIQ) was estimated by active ingredient (AI) and in the field (EIQf). According to the results, the first places in sales are occupied by cypermethrin, fenvalerate, and methamidophos. The empty containers in the PCC unveil fomesafen, cypermethrin and methamidophos as the most commonly used AIs. Meanwhile, the containers abandoned in agricultural plots and roads include cypermethrin, trifluralin and terbufos. EIQ values for commonly used pesticides ranged from 18.8 (low) to 66.0 (high). The application of the EIQf model on the main crop in the area confirms that the chemical pest management used could generate considerable impacts, mainly on the ecological component. The combined use of these indicators (EIQ and EIQf) provides a good approximation of the environmental impact generated by the use of pesticides in the area.

INTRODUCCIÓN

El uso intensivo de plaguicidas ha incrementado la carga de estas sustancias en el planeta, provocando episodios críticos de contaminación en el ambiente (García-Gutiérrez y Rodríguez-Meza 2012). En México están autorizados 204 ingredientes activos (IA) de plaguicidas altamente peligrosos a pesar de que algunos se han reportado con alta toxicidad aguda para el ser humano. Entre ellos, el 23.5 % se ha relacionado con el desarrollo de diferentes tipos de cáncer. Además, algunos de los IA son bioacumulables, muy persistentes en agua, suelo o sedimento, tóxicos para organismos acuáticos y nocivos para las abejas (Bejarano 2017, Ruiz-Gamboa et al. 2018, Bejarano et al. 2024). Los impactos negativos de los plaguicidas pueden manifestarse de diferentes formas y niveles de intensidad debido a su amplia diversidad estructural, el grado de exposición (su dispersión y concentración en el ambiente) y la diversidad toxicológica y funcional (Kromann et al. 2011, Kniss y Coburn 2015).

En México, la agricultura es el principal sector económico en venta y uso de plaguicidas, sin embargo, los estándares regulatorios para el uso y manejo de éstos aún no son los adecuados (Ponce-Caballero et al. 2022). Por ejemplo, no existen estadísticas nacionales precisas de las cantidades usadas de plaguicidas en la mayoría de las zonas agrícolas del país. Los pocos informes cuantitativos son estimaciones basadas en ventas, inventario de envases vacíos a

partir de bitácoras de empresas agrícolas y obtenidos directamente en campo abierto (Leyva-Morales et al. 2014, García-Hernández et al. 2017, Ramírez-Bustos et al. 2018).

En algunas regiones del noroeste de México, como es el caso de la costa norte de Nayarit, la mayoría de los productores agrícolas no son capacitados para el uso y manejo de plaguicidas, lo que lleva a situaciones de riesgo y aumento en la contaminación. Los programas de capacitación son esporádicos y deficientes y es común el uso de plaguicidas no autorizados, lo que aumenta el riesgo de exposición, los efectos adversos a la salud y al ambiente (Esquivel-Valenzuela et al. 2019). Es crucial contar con herramientas para prevenir el uso inadecuado e irracional de estos compuestos (Cuevas-Reyes et al. 2012). En este sentido, el coeficiente de impacto ambiental (CIA) es un indicador ampliamente utilizado para evaluar el impacto de los plaguicidas en el ambiente (Ordóñez-Beltrán et al. 2016, Chen et al. 2017, Vargas-González et al. 2019). En México, el modelo CIA y la variante CIA en campo (CIAc) se han utilizado para cuantificar y comparar el impacto ambiental de plaguicidas y programas de control fitosanitario en huertos de chile, melón y manzano, con y sin programas de manejo integrado de plagas (MIP) de acuerdo con los reportes de Ramírez-Legarreta y Jacobo-Cuéllar (2002), Guigón-López y González-González (2007), Ordóñez-Beltrán et al. (2016) y Vargas-González et al. (2019).

El objetivo de este estudio fue identificar los plaguicidas más vendidos y utilizados en una región del norte de Nayarit, México, para evaluar su potencial impacto sobre el ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se ubica en la costa norte del estado de Nayarit, México, específicamente en el municipio de Santiago Ixcuintla ($105^{\circ}12'21.760''$ O y $21^{\circ}48'30.009''$ N; **Fig. 1a**). En esta zona se ubican los

ejidos más prósperos del Estado dedicados a la agricultura; la zona comprende más de 80 mil hectáreas dedicadas principalmente al cultivo de frijol, sorgo, mango, maíz, sandía, tomate, tabaco, arroz y caña de azúcar; por lo tanto, el uso de plaguicidas es innegable (SIAP 2024). La zona también, se caracteriza por su diversidad biológica ya que el 49.0 % del territorio municipal comprende diversos tipos de vegetación (manglar, bosque húmedo, vegetación halófila, pastizal, sabana, vegetación de dunas costeras y palmar). La zona se ubica en la región de humedales costeros conocida como Marismas Nacionales (INEGI 2010, Rea-Cibrián 2013).

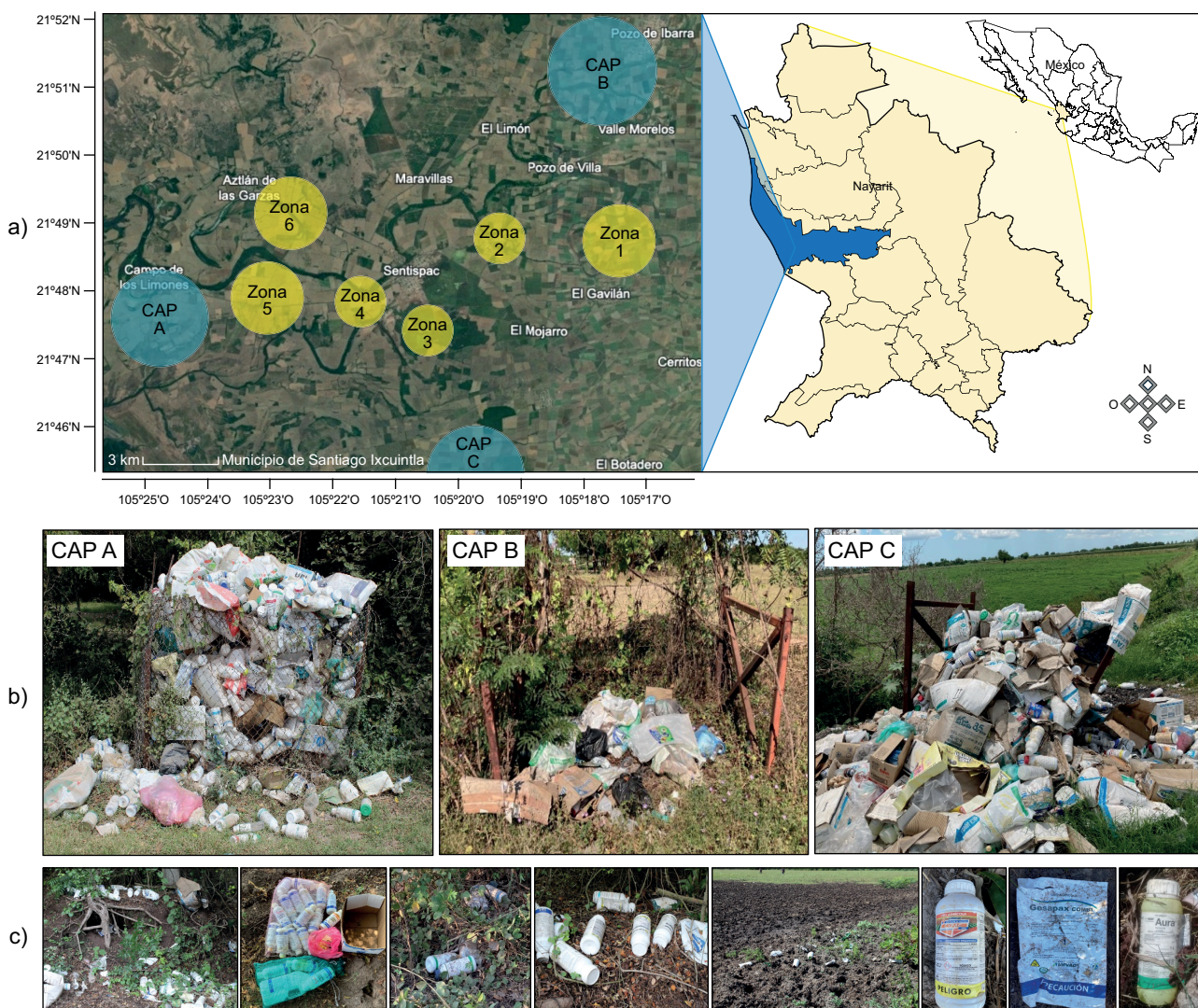


Fig. 1. Zona de estudio en el municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. a) los círculos azules indican los centros de acopio primario (CAP: A, B, C), mientras que los amarillos las zonas agrícolas censadas a campo abierto. b) Centros de acopio primario (CAP) localizados en la zona de estudio. c) Ejemplos de envases vacíos dispersados en campo abierto.

Patrón de venta y uso de plaguicidas

Para evaluar el impacto ambiental de los plaguicidas en esta región agrícola se utilizaron tres métodos de monitoreo. El primero consistió en una encuesta realizada en la cabecera municipal de Santiago Ixcuintla, donde se concentra el mayor número de los puntos de venta de estos productos, así como en los poblados de Otates, Pozo de Ibarra y Sentispac. Se explicaron los objetivos del estudio al personal de los expendios de insumos agrícolas que aceptaron participar y se les pidió que contestaran una encuesta. La encuesta incluyó preguntas sobre ventas de plaguicidas según el ciclo agrícola, los grupos químicos e IA que venden con mayor frecuencia. También se incluyeron preguntas sobre la venta y diversidad de bioinsumos que se están utilizando para el control de plagas. El segundo método consistió en realizar un censo de envases vacíos de plaguicidas depositados en centros de acopio primario (CAP). Los CAP son cubos o jaulas de malla hexagonal establecidos en puntos estratégicos cercanos a las parcelas agrícolas donde el productor deposita los envases vacíos de plaguicidas. Se realizaron visitas mensuales a tres CAP ubicados en diferentes localidades del municipio (**Fig. 1b**). En el tercer método se realizaron inspecciones en parcelas y caminos agrícolas de la zona durante el período de muestreo según la metodología de Ramírez-Bustos et al. (2018), con algunas modificaciones. Todos los envases vacíos de plaguicidas abandonados en campo abierto fueron recolectados, contados y luego transportados a los sitios de confinamiento más cercanos. Para evitar contar dos o más veces el mismo contenedor, en cada una de las visitas se marcaron los envases con tinta indeleble. Los datos del estudio presentados en este informe se recopilaron entre mayo y diciembre de 2021. Todos los contenedores de plaguicidas se manipularon con equipo de protección y se obtuvo evidencia fotográfica de cada una de las formulaciones.

Cociente de impacto ambiental (CIA)

Para estimar el impacto ambiental se consideraron los plaguicidas más vendidos mencionados en la encuesta a expendios, así como del censo de envases vacíos realizado en los CAP y en campo abierto (parcelas y caminos agrícolas). El impacto ambiental de los plaguicidas se calculó con el modelo CIA propuesto por Kovach et al. (1992). La ecuación consiste en determinar el valor del CIA de los plaguicidas individuales como el promedio de los componentes trabajador agrícola, consumidor y ecológico:

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

Donde: DT es la toxicidad dérmica; C, toxicidad crónica; SY, sistematicidad; F, toxicidad para los peces; L, potencial de lixiviación; R, potencial de pérdida superficial; D, toxicidad para aves; S, vida media en el suelo; Z, toxicidad para las abejas; B, toxicidad beneficiosa de artrópodos, y P, vida media en la superficie de la planta.

El valor del CIA se obtuvo a partir del sistema de puntuación y la clasificación categórica de 11 parámetros: seis de toxicidad (C, DT, D, Z, B y F) y cinco físicos y químicos (P, S, SY, R y L). Cada uno de estos parámetros recibe una puntuación que los califica con 1 (bajo), 3 (medio) o 5 (alto), para reflejar su daño potencial (categorías de peligro). Posteriormente, de acuerdo con la FAO (2008) los indicadores se suman para obtener el valor de los tres componentes de la ecuación del CIA: trabajadores de campo (C, DT y P), consumidores (C, S, P, SY y L) y ecológicos o ambientales (F, R, D, S, P, Z y B).

Los valores del CIA de 553 IA (valor mínimo, 7 y valor máximo, 101.83), están disponibles en listas publicadas en el sitio web de la Universidad de Cornell, Nueva York (Cornell CALS 2024a).

Para el análisis de los valores del CIA se utilizó la clasificación de Agboyi et al. (2015), que agrupa estos valores en tres niveles de peligrosidad: baja ($0 \leq CIA \leq 20$); media ($21 \leq CIA \leq 40$) y alta ($CIA \geq 41$).

Cociente de impacto ambiental en campo (CIAc)

Para evaluar el impacto ambiental de las formulaciones censadas se calculó el CIAc. Este parámetro permite comparar cuál de las estrategias de control de plagas con las diferentes formulaciones de IA genera mayor o menor impacto, a través de la herramienta en línea del CIAc. Esto implica ingresar el nombre del IA, el porcentaje de la formulación y la dosis a utilizar, referidos en la etiqueta de los envases vacíos (Cornell CALS 2024b). Para tener un análisis preciso, los envases de los IA más encontrados en nuestro estudio se relacionaron con el cultivo de frijol (cultivo más frecuente en la zona de estudio). Según la estrategia tradicional de manejo de plagas del cultivo de frijol en Nayarit, propuesta por la Agenda Técnica Agrícola Nayarit 2015 (ATAN 2015) (SAGARPA 2015a) se utilizan tres IA como insecticidas (clorpirifos, dimetoato y cipermetrina) y dos IA como herbicidas (trifluralina y fomesafeno) (SAGARPA 2015a). Las formulaciones recomendadas son:

Lorsban® 480 (clorpirifos), Dimetoate® (dimetoato), Cymbush® (cipermetrina), Trifluralin® (trifluralina) y Flex® (fomesafeno). Con la guía ATAN 2015 se censaron todas aquellas formulaciones que contenían estos IA y se compararon entre sí, para estimar el CIAC más alto. La dosis y el porcentaje de aplicación empleados en el cálculo fue la referenciada en cada una de las etiquetas de los envases vacíos localizados en la zona de estudio.

RESULTADOS

Expendios de plaguicidas

Se identificaron 23 establecimientos para la venta de agroquímicos en la zona de estudio. Se entrevistaron a trabajadores del 95.7 % de los establecimientos autorizados para la venta de agroquímicos. De acuerdo con los resultados, en promedio se vendieron 26 marcas de insumos agrícolas. El 63.6 % de los establecimientos reportaron vender plaguicidas sintéticos, mientras que el 34.4 % tanto plaguicidas sintéticos como bioinsumos, productos que comienzan a tener un mayor uso en Nayarit (datos no presentados). La información de las encuestas sugiere que la venta de insumos durante el año no es constante, en la temporada otoño-invierno se comercializan más del 63.6 % de estos productos (datos no presentados). Además, se observó que los herbicidas se comercializan mayoritariamente durante el ciclo primavera-verano; mientras que en el ciclo otoño-invierno son los fungicidas y los insecticidas. Los molusquicidas y los avicidas fueron los compuestos menos comercializados durante los dos ciclos agrícolas de la zona de estudio.

Venta anual de agroquímicos sintéticos

La cipermetrina fue el IA más vendido durante el año (volumen de ventas anual estimado: 22 250 L) seguido del fenvalerato (volumen de ventas anual estimado: 10 000 L) y el metamidofos (volumen de ventas anual estimado: 8 892 L) (**Fig.2**), entre otros como el glifosato (datos no presentados).

Frecuencia de uso de agroquímicos de acuerdo con el censo de envases vacíos en los CAP

Se identificaron tres CAP de envases vacíos (**Fig. 1b**). Como se observa en las imágenes, las condiciones y ubicación de estos CAP no son las adecuadas, además se encuentran muy cerca de cuerpos de agua. De acuerdo con la información recopilada en los CAP, se identificaron un total de 1993 envases vacíos de insumos agrícolas, de los cuales 1452 envases fueron de plaguicidas sintéticos (72.8 %), 332 de otros

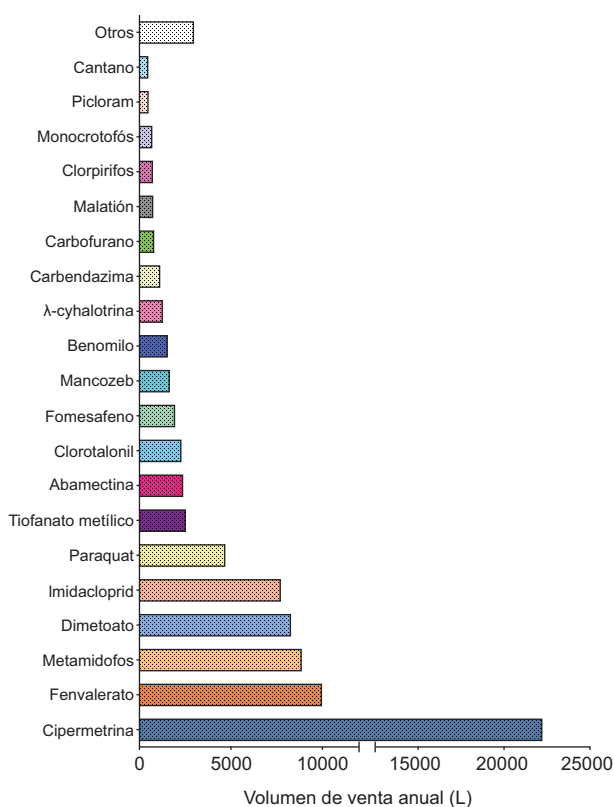


Fig. 2. Plaguicidas más vendidos en el municipio de Santiago Ixcuintla Nayarit, México.

agroinsumos (fertilizantes, tensoactivos y adherentes (16.6 %) y 209 de bioinsumos (10.5 %).

Los envases vacíos de plaguicidas sintéticos se clasificaron según el control de plagas. La mayoría correspondió a insecticidas (43.6 %) y herbicidas (34.4 %), seguido de fungicidas (14.4 %) y bactericidas (6.4 %), entre otros (1.0 %). De los 41 grupos químicos identificados, el 14.8 % de los envases vacíos corresponden a plaguicidas organofosforados (OF), seguido de piretroides (PYR, 14.2 %) y éteres de difenilo (13.7 %). Aunque en una proporción baja, los compuestos organoclorados (OC) como el dicofol, continúan empleándose en la zona de estudio (0.2 %). Se identificaron 74 IA distintos, la mayoría de los envases vacíos pertenecían a fomesafeno (13.7 %), cipermetrina (9.3 %), metamidofos (6.8 %) y trifluralina (5.8 %). Asimismo, se identificaron mezclas de IA como fomesafeno + fluazifop-p-butil (4.9 %), Cimoxanil + mancozeb (1.9 %), imidacloprid + λ-cyhalotrina (1.4 %) y tiametoxam + λ-cyhalotrina (1.4 %). La **figura 3** representa los 20 IA y mezclas de IA con mayor número de envases vacíos en la zona.

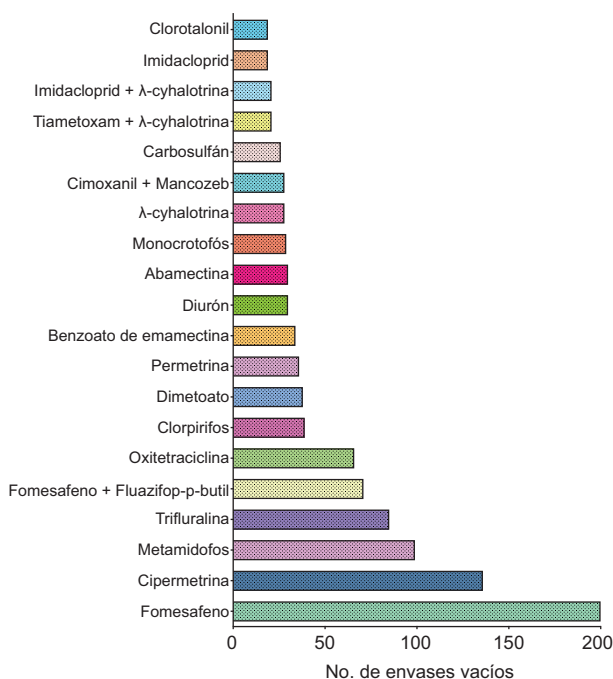


Fig. 3. Número de envases vacíos por ingrediente activo en los centros de acopio primario en la zona de estudio en el municipio de Santiago Ixcuintla Nayarit, México..

Frecuencia de uso de agroquímicos de acuerdo con el censo de envases vacíos en campo abierto

De acuerdo con los datos registrados en campo abierto, se localizaron 138 envases de plaguicidas abandonados en parcelas y caminos agrícolas (**Fig. 1c**) y 17 envases de bioinsumos (extractos vegetales y algas marinas). Los envases vacíos más utilizados, abandonados en campo abierto después de su aplicación (**Fig. 4**), fueron de cipermetrina, trifluralina, terbufós y paraquat. Asimismo, se observó que algunos envases de plaguicidas son quemados o arrojados a canales de riego o cuerpos de agua como una forma fácil de eliminarlos.

Cociente de Impacto Ambiental (CIA)

El impacto ambiental de los 25 IA más frecuentes acorde a los tres censos en esta región se muestra en el **cuadro I**. De acuerdo a la clasificación de Agboyi et al. (2015) y Vargas-González et al. (2019) seis plaguicidas fueron clasificados como de alto impacto ambiental, seguidos de dieciocho en impacto medio y uno en impacto bajo. El terbufós fue el IA de mayor impacto (CIA = 66.0), seguido de monocrotofós (CIA = 57.4) y carbofurano (CIA = 50.7). Asimismo, una gran proporción de IA son insecticidas, OC (dicofol), OF (clorpirifos y dimetoato), neonicotinoides (imidacloprid) y PYR (λ-cyhalotrina y cipermetrina). El

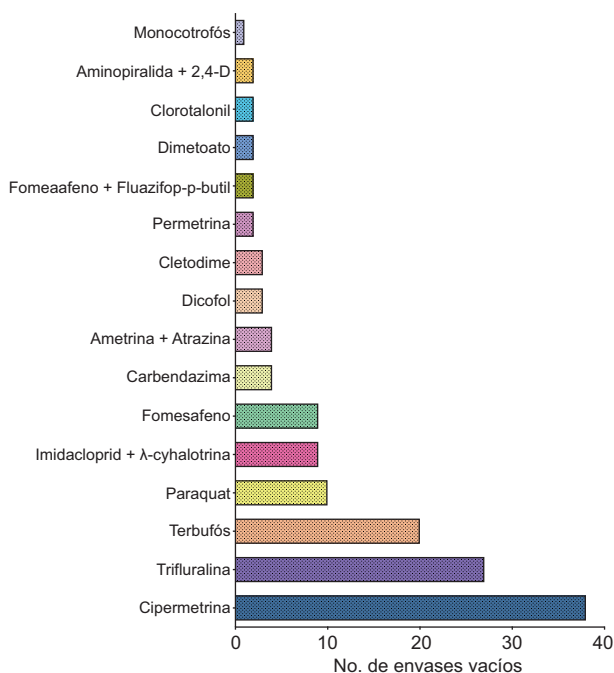


Fig. 4. Número de envases vacíos en campo abierto de la zona de estudio en el municipio de Santiago Ixcuintla Nayarit, México..

conjunto de IA evaluados mostró un valor alto de impacto en el componente ecológico. El terbufós tuvo el mayor impacto ecológico, seguido por el carbosulfán, fenvalerato y λ-cyhalotrina. En la **figura 5** se muestra un resumen de los censos y si el IA es de un plaguicida altamente peligroso (PAP), de acuerdo con los criterios propuestos por la Red Internacional de Acción en Plaguicidas (PAN 2024, por sus siglas en inglés) y la clasificación de toxicidad aguda según la Organización Mundial de la Salud (OMS 2020). Se observa que más del 90 % de los IA son PAP, el 20 % pertenece a la categoría “U” de acuerdo a la clasificación de la OMS y sólo un IA (trifluralina) tuvo una clasificación de impacto bajo de acuerdo al CIA.

Cociente de Impacto Ambiental en campo (CIAC)

Para estimar el impacto ambiental según las formulaciones identificadas, se calculó el CIAC de los diferentes tipos de formulaciones de plaguicidas (insecticidas, fungicidas y herbicidas). Cada grupo fue ordenado de mayor a menor impacto, la formulación de mayor CIAC pertenece al insecticida Counter 5G (CIAC = 58.9), seguido de Marshal® 250 CE (concentrado emulsionable, CIAC = 45.3) de Sifatec® y Kohinor® 350 SC (suspensión concentrada, CIAC = 44.2), mientras que la de menor impacto fue Coragen® (CIAC = 0.1). En el caso de los fungicidas,

CUADRO I. COCIENTE DE IMPACTO AMBIENTAL DE PLAGUICIDAS LOCALIZADOS EN LA ZONA DE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO IXCUINTLA, NAYARIT, MÉXICO.

Plaguicida	E	T	C	CIA
Impacto ambiental alto				
Terbufós	144.00	40.00	6.00	66.00
Monocrotofós	64	90	18	57.37
Carbofurano	75.00	60.00	17.00	50.67
Carbendazima	86.00	25.00	40.50	50.50
Carbosulfán	126.73	6.90	8.35	47.33
λ -cyhalotrina	108.35	20.70	3.45	44.17
Impacto ambiental medio				
Fenvalerato	108.35	6.90	3.45	39.57
Clorotalonil	81.25	20.00	11.00	37.42
Metamidofos	56.00	45.00	9.50	36.83
Imidacloprid	92.88	6.90	10.35	36.71
Cipermetrina	89.35	13.80	5.90	36.35
Cimoxanil	62.95	21.87	21.61	35.48
Abamectina	86.35	13.80	3.90	34.68
Dimetoato	78.60	10.35	11.53	33.49
Tiametoxam	77.52	10.35	12.03	33.30
Dicofol	74.72	10.35	4.68	29.92
Permetrina	71.00	12.00	5.00	29.33
Fluazifop-p-butil	72.15	10.65	3.33	28.71
Clorpirifos	72.55	6.00	2.00	26.85
Mancozeb	48.79	20.25	8.13	25.72
Paraquat	35.92	31.95	6.33	24.73
Fomesafeno	32.59	31.95	8.83	24.46
Tiofanato-metil	39.95	16.20	15.30	23.82
Oxitetraciclina	47.82	12.15	5.05	21.67
Impacto ambiental bajo				
Trifluralina	42.00	9.00	5.50	18.83

CIA: cociente de impacto ambiental. CIA: > 40 impacto ambiental alto, CIA: > 21 impacto ambiental medio y CIA: < 21 impacto ambiental bajo. E: ecológico, T: trabajador agrícola, C: consumidor. Los valores del CIA se obtuvieron de la versión actualizada a septiembre de 2023.

la formulación Kocifol M.C.W. (sulfato de cobre + mancozeb) fue la de mayor impacto (CIAc = 140.7), mientras que Veldep (CIAc = 1.5) fue el de menor impacto. En los herbicidas, la formulación de mayor impacto fue Gesapax® combi 80 PH (CIAc = 48.1), y la de menor impacto Cautivo 120 CE (CIAc = 1.6). Una lista completa de todas las fórmulas comerciales evaluadas en el censo de contenedores vacíos está presente en el material complementario (**Cuadros CI-CIV**).

De acuerdo con las formulaciones propuestas en la ATAN 2015 para el cultivo de frijol, las formulaciones comerciales de Cymbush® y Flex® se encontraron

λ -cyhalotrina	×	×	×	○	II	A
Trifluralina		×	×	○	U	B
Tiofanato-metil	×			○	U	M
Tiametoxam		×		○	II	M
Terbufós			×	○	Ia	A
Permetrina		×	×		II	M
Paraquat	×	×	×	○	II	M
Oxitetraciclina		×				M
Monocrotofós	×	×	×	○	Ib	A
Metamidofos	×	×		○	Ib	M
Mancozeb	×	×		○	U	M
Imidacloprid	×	×	×	○	II	M
Fomesafeno	×	×	×		II	M
Fluazifop-p-butil		×	×	○	III	M
Fenvalerato	×			○	II	M
Dimetoato	×	×	×	○	II	M
Dicofol			×	○	II	M
Clorpirifos	×	×		○	II	M
Clorotalonil	×		×	○	U	M
Cipermetrina	×	×	×	○	II	M
Cimonaxil		×		○	II	M
Carbosulfán		×		○	II	A
Carbofurano	×			○	Ib	A
Carbendazima	×	×	×	○	U	A
Abamectina	×	×		○	Ib	M

Fig. 5. Resumen del patrón de venta y uso de plaguicidas de acuerdo con el cociente de impacto ambiental (CIA) de cada ingrediente activo, así como su clasificación de peligrosidad y toxicología aguda. Las cruces indican la presencia del ingrediente activo en el patrón de venta, uso en centro de acopio primario (CAP) y en campo abierto. Los puntos verdes indican los plaguicidas altamente peligrosos (PAP) de acuerdo con los criterios propuestos por la Red Internacional de Acción en Plaguicidas 2024. Los recuadros en gris indican la clasificación por la Organización Mundial de la Salud (Clase OMS): Ia: Sumamente peligroso; Ib: Muy peligroso; II: Moderadamente peligroso; III: Poco peligroso y U: Poco probable que presente un peligro agudo. Cociente de Impacto Ambiental (CIA): B: bajo; M: medio; A: alto.

en todos los censos. En el caso de Lorsban 480® sólo se identificó en el patrón de venta, mientras que las formulaciones comerciales de Dimetoate 40CE® y Trifluralin® no se encontraron en ninguno de los censos. No obstante, para cada IA se identificaron

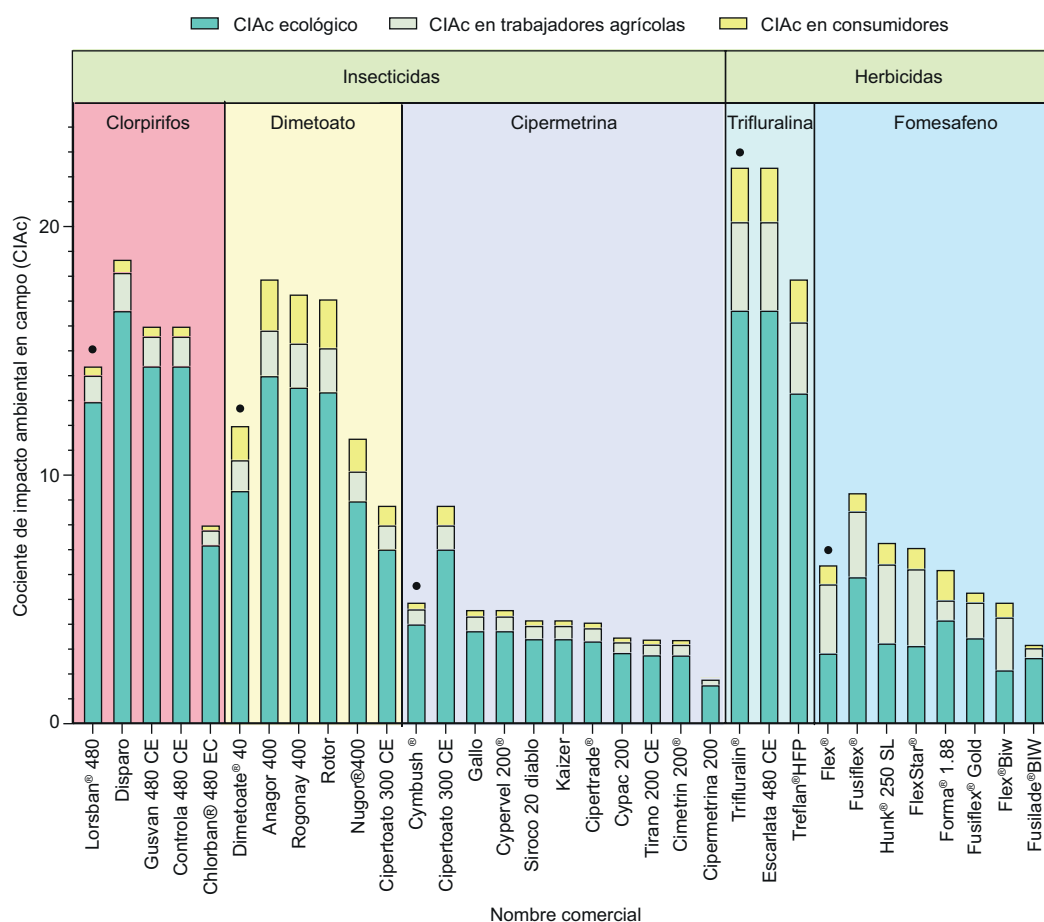


Fig. 6. Cociente de impacto ambiental en campo (CIAC) en el manejo de plagas del cultivo de frijol. Cada barra representa el valor del CIAC para cada formulación. Los puntos sobre las barras representan las formulaciones recomendadas por la Agenda Técnica Agrícola Nayarit 2015 (SAGARPA 2015a). CE/EC: concentrado emulsionable. SL: concentrado soluble. HFP: punto de inflamación elevado.

diversos nombres comerciales y se compararon con las formulaciones recomendadas por la ATAN 2015. La **figura 6** muestra los IA localizados en la zona de estudio comparados con la formulación recomendada por la ATAN 2015. Las formulaciones encontradas en la región tienen CIAC mayores que las recomendadas en la ATAN 2015.

DISCUSIÓN

En México se utilizaron alrededor de 20 000 toneladas de plaguicidas en 2022 (FAOSTAT 2024). En el presente estudio, el patrón de venta evaluado representa un acercamiento importante de las opciones que tienen los agricultores para combatir las plagas en la zona investigada y es consistente con los resultados de González-Arias et al. (2010) quienes

reportaron que durante el ciclo primavera-verano los agroinsumos más vendidos fueron herbicidas, mientras que, durante el otoño-invierno fueron insecticidas. Esta similitud se debe a los ciclos agrícolas definidos por las condiciones climáticas en la costa norte del estado de Nayarit. También se debe a la resistencia a un cambio de paradigma en el uso intensivo de agroinsumos como medida clave para la obtención de alimentos (Benítez-Trinidad et al. 2018).

Existe poca información sobre la cantidad de envases vacíos que se generan anualmente y su impacto ambiental. En la mayoría de los casos, los envases vacíos de plaguicidas son abandonados en campos abiertos o arrojados a ríos y canales de riego, en otros casos, son quemados o reutilizados generando focos de contaminación ambiental y problemas de intoxicación (SAGARPA 2012, Jones 2014, Leyva-

Morales et al. 2014). Si bien, desconocemos cómo fueron colocados los CAP en la zona de estudio, podemos decir que no cumplen con los estándares del reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), el CAP debe estar localizado en un lugar visible y de fácil acceso para los agricultores, debe contar con señalización o identificación del tipo de residuos que recibe, además, no debe estar directamente en contacto con el suelo y con protección a la intemperie (Amocali 2024). Existen asociaciones civiles como Amocali, A.C. “Campo Limpio” y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) a través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), mediante el programa “Conservemos un Campo Limpio”, que tienen como objetivo dar una correcta disposición a los envases vacíos de agroquímicos para evitar su reutilización, habilitando espacios adecuados para su disposición (SAGARPA 2015b, Amocali 2024). Hasta donde es de nuestro conocimiento, en Nayarit no existen CAP con registros para una buena disposición de envases vacíos, por lo que los envases vacíos de plaguicidas son dispuestos en CAP provisionales de manera incorrecta (sin el triple lavado) o abandonados en campo abierto, permaneciendo largos periodos de tiempo en el CAP provisional o siendo incinerados por los mismos agricultores. Un envase vacío podría conservar hasta 2 % de su contenido inicial, de tal forma, que los envases abandonados generan contaminación en los suelos y en las fuentes de agua superficiales y subterráneas, matrices que podrían ser fuentes de exposición para los seres humanos y otros organismos (SADER y SENASICA 2019). En México, tras el uso del plaguicida se recomienda aplicar un triple lavado al envase inmediatamente después de vaciarlo, para después ser dispuesto en los CAP en bolsas transparentes, perforados y sin tapa, esto reduciría las posibilidades de provocar intoxicaciones o envenenamientos y en los casos más extremos la muerte (SADER y SENASICA 2019, Amocali 2024). Los resultados de este estudio revelan que, de los más de 1900 envases vacíos de insumos agrícolas registrados, ninguno se encontró con indicios del triple lavado. El recuento de contenedores vacíos podría considerarse una estimación precisa de los tipos de IA utilizados en la zona de estudio y, por ende, un buen punto de partida para la estimación de impactos ambientales por el uso de plaguicidas (Leyva-Morales et al. 2014, Ramírez-Bustos et al. 2018).

Debido al alto impacto ambiental que supone el uso de plaguicidas, éste debe ser una prioridad

en la toma de decisiones sobre el manejo de plagas (Van der Werf 1996, García-Hernández et al. 2017, Deguine et al. 2021). Para esto, es crucial contar con herramientas de selección de plaguicidas, para disminuir el uso inadecuado e intensivo de estos compuestos (Cuevas-Reyes et al. 2012). Una de estas herramientas es el CIA, un indicador ampliamente utilizado para generar esquemas de manejo químico de plagas con el menor impacto sobre el ambiente (Ordóñez-Beltrán et al. 2016, Chen et al. 2017, Vargas-González et al. 2019). Varios estudios a nivel mundial han utilizado el CIA para este propósito (Macharia et al. 2009, Muhammetoglu et al. 2010, Deihimfard et al. 2014, Montico et al. 2015, Vargas-González et al. 2019).

Por ejemplo, Muhammetoglu y Uslu (2007) proponen que, con base en los valores del CIA, se pueden comparar los impactos ambientales de diferentes plaguicidas y así seleccionar aquellos de menor impacto. Los valores del CIA que se reportan están en el rango de 7.3 a 70.7, siendo el más bajo para *Bacillus subtilis* y el más alto para metidatión. En este sentido, los valores del CIA para los principales plaguicidas utilizados en nuestra zona de estudio se establecieron en un rango de 66 (terbufós) para el más alto y 18.83 (trifluralina) para el más bajo. Asimismo, en México, Ordóñez-Beltrán et al. (2016) y Ramírez-Legarreta y Jacobo-Cuéllar (2002), reportaron CIA en rangos de 13.42 a 45 y 63.12 a 104.2 en huertos de manzano, respectivamente. Mientras que, en el estado de Chihuahua para el cultivo de chile se estimaron valores del CIA que iban de 147 a 818 (Guigón-López y González-González 2007). Por otro lado, Vargas-González et al. (2019) reportaron que en los IA utilizados para el cultivo de melón en la Comarca Lagunera, el 14 % presentaban un CIA alto, el 65 % medio y el 18 % bajo (Vargas-González et al. 2019). En el presente estudio, el 24 % presentaron un CIA alto, el 76 % medio y sólo el 4 % bajo. Así pues, este modelo es ampliamente utilizado como herramienta para clasificar IA de menor impacto y toxicidad, con la intención de mejorar el manejo químico de plagas. Aunado a lo anterior, es importante aclarar que el CIA no reemplaza las evaluaciones de riesgo de plaguicidas basadas en datos de exposición real o modelos de exposición. De igual manera factores como la adsorción en el suelo, la lixiviación y la degradación varían de un agroambiente a otro, por lo que los valores reflejados en el CIA podrían no ser exactos entre regiones (Cross y Edwards-Jones 2006).

Adicionalmente, con el CIA se puede realizar un análisis sobre diferentes estrategias o programas de manejo de plagas aplicando la calificación del CIAc

(Kovach et al. 1992). Tal como es reportado en Vargas-González et al. (2019), la toxicidad inherente de un plaguicida, considerado como el nivel de peligro, difiere de su riesgo potencial de daño al ambiente y a la salud humana cuando se consideran factores de exposición o variables de uso en campo (porcentaje de IA en la formulación, la dosis y el número de aplicaciones). Los valores de CIAC permiten observar que algunas formulaciones con IA de bajo impacto ambiental, pueden volverse peligrosas por la suma de las aplicaciones durante el desarrollo del cultivo. Por ejemplo dos IA con CIA altos como carbofuran (CIA = 50.67) y carbendazim (CIA = 50.50), utilizados en campo al 35 % y al 50 % de IA en la formulación, respectivamente, cambiaron en los valores de CIAC con 42.6 para el carbendazim y 22.6 para el carbofuran, esto debido a una mayor cantidad de IA contenido en la formulación y a un mayor número de aplicaciones de carbendazim que de carbofuran (Vargas-González et al. 2019). En el mismo sentido, el CIAC ha permitido establecer que la elección de la formulación juega un papel clave en las prácticas agrícolas sostenibles (March 2014).

Por otro lado, se estima que en Nayarit en el período otoño-invierno se siembran más de 60 mil ha de frijol, de las cuales el 99 % se ubican en la superficie costera, donde se ubica la zona de estudio (Cambero-Campos et al. 2023, SIAP 2024). Según la estrategia tradicional de manejo de plagas, el cultivo de frijol usa cinco IA (clorpirifos, dimetoato, cipermetrina, fomesafeno y trifluralina). Del conteo total de envases vacíos los más frecuentes fueron aquellos que en su formulación contenían el herbicida fomesafeno, un éter de difenilo que tiene un papel importante en la eliminación de malezas de hoja ancha en el cultivo de frijol (Galon et al. 2017). Los envases de cipermetrina, que además fue el insecticida más vendido, son segundos en frecuencia. La cipermetrina pertenece a la familia de los PYR, las propiedades físicas y químicas de este IA lo postulan como persistente en el ambiente, y a su vez, es considerado tóxico para humanos, animales e incluso para las plantas (Kansal et al. 2023). Si bien, el resto no fueron tan abundantes, el dimetoato estuvo en los tres censos (venta, patrón de uso en CAP y campo abierto). En el caso del clorpirifos su presencia fue discreta en los censos, no obstante, es un plaguicida altamente tóxico, del cual se ha evidenciado una alta contaminación en aguas subterráneas en la zona de estudio (Ruiz-Arias et al. 2023).

Así pues, para el cultivo de frijol se siguen estrategias semejantes a las propuestas por la ATAN 2015, tomando en cuenta los IA, sin embargo, las

formulaciones son muy variadas y se podrían dar combinaciones con impactos considerables. Por ejemplo, la de Fusiflex[®], una mezcla de fomesafeno y fluazifop-p-butil, y la de Cipertoato 300 CE[®], una mezcla de dimetoato y cipermetrina, ambas formulaciones recomendadas para el cultivo en cuestión. Esto deja ver que además del porcentaje del IA o la frecuencia, las mezclas también condicionan el impacto ambiental. De tal forma, haciendo una comparación de los IA ejemplificado en la **figura 6**, el paquete tecnológico propuesto por la agenda agrícola genera un CIAC total de 60.1 /ha, mientras que las alternativas encontradas en este trabajo con los mayores CIAC generan un total de 77.1 /ha (**Cuadro CV y CVI**). Esto confirma que la elección de las formulaciones tiene una gran relevancia en el valor del impacto. Es decir, a pesar de que se utiliza el mismo IA, el porcentaje y la dosis recomendada (L/ha) condicionan en gran medida el impacto generado durante el combate a la plaga. Caso similar a lo observado en huertos de chile, melón y manzano, con y sin programas de MIP (Ramírez-Legarreta y Jacobo-Cuéllar 2002, Guigón-López y González-González 2007, Ordóñez-Beltrán et al. 2016, Vargas-González et al. 2019).

Los valores obtenidos del CIA y del CIAC proyectan impactos ambientales considerables, muy probablemente por escasez de estrategias coordinadas para el manejo químico de plagas. Promover escenarios de producción con mayores beneficios económicos y reducir los niveles de uso de plaguicidas con alto impacto evaluados por los modelos aquí propuestos podrían ser benéficos para la salud y el ambiente de la zona.

CONCLUSIÓN

Este es el primer estudio que estima el impacto ambiental por plaguicidas en el estado de Nayarit y evidencia las mezclas complejas de plaguicidas que se están utilizando en la costa norte del Estado. Los datos obtenidos del patrón de venta, censo de envases vacíos en CAP y en campo abierto, proporcionan datos relevantes del uso de plaguicidas en Nayarit. El uso del CIA como herramienta para clasificar plaguicidas de acuerdo con su riesgo ambiental, ofrece la ventaja de otorgar información de una forma simple y organizada sobre los impactos toxicológicos y riesgos ambientales de una gran cantidad de IA de plaguicidas, permitiendo una comparación simple entre ellos. De forma específica el CIAC muestra que la concentración de IA en la formulación, la dosis y la frecuencia de aplicación son críticas en el impacto generado. La aplicación de los modelos

de CIA y CIAC al cultivo de frijol (principal cultivo en la zona), confirma que los plaguicidas utilizados para el manejo químico de plagas podrían generar impactos considerables. El presente trabajo aborda un método útil para estimar los impactos ambientales. Con estimaciones adecuadas del CIA y asumiendo prácticas agrícolas sostenibles, los productores de la zona podrán mejorar sus programas fitosanitarios, seleccionando los plaguicidas que ejercen el menor impacto y riesgo ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Alfonso Ruiz, Rafael Peraza, Jacinto Arellano y Zacarías Orozco por su apoyo durante los muestreos, así como a los participantes de este estudio. El presente trabajo fue financiado parcialmente por CONACyT 314829 y 316393.

REFERENCIAS

- Agboyi L., Djade K., Ahadji-Dabla K., Ketoh G., Nuto Y. y Glitho I. (2015). Vegetable production in Togo and potential impact of pesticide use practices on the environment. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 9 (2), 723-736. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i2.13>
- Amocali (2024). Centros de acopio primarios (CAP). Campo limpio Amocali, A. C. [en línea]. <https://campopolimpio.org.mx/centros-de-acopio-primarios-cap/14/12/2024>
- Bejarano González F. (2017). Los plaguicidas altamente peligrosos: nuevo tema normativo internacional y su perfil nacional en México. En: Los plaguicidas altamente peligrosos en México. (F. Bejarano González, Ed.). Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, A. C. (RAPAM), Texcoco, Estado de México, México, pp. 13-138.
- Bejarano González F., Rojas-García A.E., Bernal-Hernández Y.Y., Gaspar-Ramírez O. y Arellano-Aguilar O. (2024). Plaguicidas altamente peligrosos: avances y pendientes. *Agenda socioambiental 2024: diagnósticos y propuestas* [en línea]. <https://agenda-socioambiental2024.mx/agenda-socioambiental-2024-diagnosticos-y-propuestas/02/12/2024>
- Benítez-Trinidad A.B., Herrera-Moreno J.F., Xotlanihua-Gervacio M.C., Bernál-Hernández Y.Y., Medina-Díaz I.M., Barrón-Vivanco B.S., González-Arias C.A. y Rojas-García A.E. (2018). Patrón de uso de plaguicidas y biomarcadores bioquímicos en una población de fumigadores urbanos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 34, 61-71. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.esp01.04>
- Cambero-Campos O.J., Cambero-Monroy A., Rodríguez-Arrieta J.A., Robles-Bermúdez A., Lemus-Soriano B.A., Rios-Velasco C., Zamora-Landa A.I. y Estrada-Virgen M.O. (2023). New report of the exotic species *Megalurothrips usitatus* (Thysanoptera: Thripidae) infesting three commercial legumes in Nayarit, Mexico. *Florida Entomologist* 105 (4), 316-318. <https://doi.org/10.1653/024.105.0409>
- Chen X.D., Gill T.A., Pelz-Stelinski K.S. y Stelinski L.L. (2017). Risk assessment of various insecticides used for management of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* in Florida citrus, against the honey bee, *Apis mellifera*. *Ecotoxicology* 26 (3), 351-359. <https://doi.org/10.1007/s10646-017-1768-5>
- Cornell CALS (2024a). EIQ pesticide values, list of pesticides. Cornell College of Agriculture and Life Sciences [en línea]. <https://cals.cornell.edu/new-york-state-integrated-pest-management/risk-assessment/eiq/eiq-pesticide-values05/02/2024>
- Cornell CALS (2024b). EIQ calculator (Environmental Impact Quotient). Cornell College of Agriculture and Life Sciences [en línea]. <https://cals.cornell.edu/new-york-state-integrated-pest-management/risk-assessment/eiq/eiq-calculator04/02/2024>
- Cuevas-Reyes V., Baca del Moral J., Cervantes Escoto F. y Aguilar Ávila J. (2012). Asistencia técnica en el sector agropecuario en México: análisis del VIII censo agropecuario y forestal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3 (5), 943-957.
- Cross P. y Edwards-Jones G. (2006). Variation in pesticide hazard from vegetable production in Great Britain from 1991 to 2003. *Pest Management Science: Formerly Pesticide Science* 62 (11), 1058-1064. <https://doi.org/10.1002/ps.1272>
- Deguine J.P., Aubertot J.N., Flor R.J., Lescourret F., Wyckhuys K.A. y Ratnadass A. (2021). Integrated pest management: good intentions, hard realities. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 41 (3), 38. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00689-w>
- Deihimfard R., Soufizadeh S., Moinoddini S., Kambouzia J., Zand E., Damghani M., Mosleh L. y 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>
- Esquivel-Valenzuela B., Cueto-Wong J.A., Valdez-Cepeda R.D., Pedroza-Sandoval A., Trejo-Calzada R. y Pérez-Veyna Ó. (2019). Prácticas de manejo y análisis de riesgo por el uso de plaguicidas en La Comarca Lagunera, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 35 (1), 25-33. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.01.02>

- FAO (2008). Review: Use of environmental impact quotient in IPM programmes in Asia. Food and Agriculture Organization. Roma, Italia, 54 pp.
- FAOSTAT (2024). Pesticides use. Food and Agriculture Organization Statistical Databases [en línea]. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/RP> 02/12/2024
- Galon L., Winter F.L., Forte C.T., Agazzi L.R., Basso F.J.M., Holz C.M. y Perin G.F. (2017). Herbicide association applied to control weeds in bean of black type. *Revista Brasileira de Herbicidas* 16 (4), 268-278. <https://doi.org/10.7824/rbh.v16i4.559>
- García-Gutiérrez C. y Rodríguez-Meza G.D. (2012). Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. *Ra Ximhai* 8 (3), 1-10.
- García-Hernández J., Leyva-García G. y Aguilera-Márquez D. (2017). Los plaguicidas altamente peligrosos en el Valle del Yaqui, Sonora. En: Los plaguicidas altamente peligrosos en México (F. Bejarano González, Ed.). Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, A. C. (RAPAM), Texcoco, Estado de México, México, pp. 209-220
- González-Arias C.A., Robledo-Marenco M.L., Medina-Díaz I.M., Velázquez-Fernández J.B., Girón-Pérez M.I., Quintanilla-Vega B., Ostrosky-Wegman P., Pérez-Herrera N.E. y 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. y 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>
- INEGI (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010, Santiago Ixcuintla, Nayarit. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Nayarit, México, 10 pp.
- Jones K.A. (2014). The recycling of empty pesticide containers: an industry example of responsible waste management. *Outlooks Pest Management* 24 (2), 183-186. https://doi.org/10.1564/v25_apr_08
- Kansal I., Kapoor A., Solanki S. y Singh R. (2023). Cypermethrin toxicity in the environment: analytical insight into detection methods and microbial degradation pathways. *Journal of Applied Microbiology* 134 (6), lxad105. <https://doi.org/10.1093/jambio/lxad105>
- Kniss A.R. y Coburn C.W. (2015). Quantitative evaluation of the environmental impact quotient (EIQ) for comparing herbicides. *PloS one* 10 (6), e0131200. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131200>
- Kovach J., Petzoldt C., Degni J. y Tette J.A. (1992). Method to measure the environmental impact of pesticides. *New York's Food and Life Sciences Bulletin* 139, 1-8.
- Kromann P., Pradel W., Cole D., Taipe A. y Forbes G.A. (2011). Use of the environmental impact quotient to estimate health and environmental impacts of pesticide usage in Peruvian and Ecuadorian potato production. *Journal of Environmental Protection* 2 (05), 581. <https://doi.org/10.4236/jep.2011.25067>
- Leyva-Morales J.B., García de La Parra L.M., Bastidas Bastidas P.J., Astorga Rodríguez J.E., Bejarano Trujillo J., Cruz Hernández A., Martínez Rodríguez I.E. y Betancourt Lozano M. (2014). Uso de plaguicidas en un valle agrícola tecnificado en el noroeste de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 30 (3), 247-261.
- Macharia I.N., Mithöfer D. y Waibel H. (2009). Potential environmental impacts of pesticides use in the vegetable sub-sector in Kenya. *African Journal of Horticultural Science* 2, 138-151.
- March G.J. (2014). Agricultura y plaguicidas: un análisis global (No. 632.95). Fundación Agropecuaria para el Desarrollo de Argentina [en línea]. <http://fundacionfada.org/informes/agricultura-y-plaguicidas-un-analisis-global/> 15/06/2024
- Montico S., Magrí L. y Denoia J. (2015). Impacto ambiental del uso de pesticidas en la cuenca del Arroyo Ludueña (Santa Fe, Argentina). *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias- Universidad Nacional de Rosario* 25, 007-018.
- Muhammetoglu A., Durmaz S. y Uslu B. (2010). Evaluation of the environmental impact of pesticides by application of three risk indicators. *Environmental Forensics* 11 (1-2), 179-186. <https://doi.org/10.1080/15275920903559180>
- Muhammetoglu A.Y.Ş.E. y Uslu B. (2007). Application of environmental impact quotient model to Kumluca region, Turkey to determine environmental impacts of pesticides. *Water Science and Technology* 56 (1), 139-145. <https://doi.org/10.2166/wst.2007.445>
- OMS (2020). Clasificación recomendada por la OMS de los plaguicidas por el peligro que presentan y directrices para la clasificación 2019. Organización Mundial de la Salud [en línea]. <https://iris.who.int/handle/10665/337246> 04/11/2023
- Ordóñez-Beltrán M.F., Jacobo-Cuéllar J.L., Quintana-López E., Parra-Quezada R.Á., Guerrero-Prieto V.M. y 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>
- PAN (2024). PAN international list of highly hazardous pesticides (PAN List of HHPs). Pesticide Action Network International. Hamburgo, Alemania 48 pp.
- Ponce-Caballero C., Cardeña-Echalaz F., Giacomán-Vallejos G., Vega de Lille M. y Góngora-Echeverría V.R.

- (2022). Pesticide management and farmers perception of environmental and health issues due to pesticide use in the state of Yucatán, Mexico: A study case. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 38, 289-300. <https://doi.org/10.20937/rica.54134>
- Ramírez-Legarreta M.R. y 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.
- Ramírez-Bustos I.I., López-Martínez V., Juárez-López P., Guillén-Sánchez D., Alia-Tejagal I., Rivera-León I., Saldarriaga-Noreña H.A. y Jiménez-García D. (2018). Identificación de envases vacíos de plaguicidas en plantaciones de nopal verdura, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae), en Morelos, México. *Acta Agrícola y Pecuaría* 4 (1), 18-25. <https://doi.org/10.30973/aap/2018.4.1/3>
- Rea-Cibrián R.N. (2013). Elementos para la construcción de la estrategia regional de educación ambiental en la cuenca baja del río San Pedro-Mezquitil. Caso: Santiago Ixcuintla, Nayarit. Tesis de Maestría, Universidad de Guadalajara. Tepic, Nayarit, México, 269 pp.
- 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.J., Bejarano González F. y 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 (8), 6323-6351. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01618-4>
- Ruiz-Gamboa K.D., Cámara-Vallejo R.M., Medina-Moreno M.R., Albertos-Alpuche N.E., Esperón-Hernández R.I., Zapata-Vázquez R.E., Rojas-García A.E., Medina-Díaz I.M., Montero-Lara G.A., Moo-Huchin J.C., Silva-Pérez A. y Pérez-Herrera N.E. (2018). Occupational exposure to pesticides and knowledge about related policies in urban pest control operators from southeast Mexico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 34, 45-55. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.esp02.04>
- SADER y SENASICA (2019). Manual para el buen uso y manejo de plaguicidas en campo. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural y Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Ciudad de México, México, 76 pp.
- SAGARPA (2012). Plan de manejo y recolección de envases vacíos de plaguicidas “Conservemos un campo limpio”. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Querétaro, México, 39 pp.
- SAGARPA (2015a). Agenda técnica agrícola de Nayarit 2015. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Ciudad de México, México, 103 pp.
- SAGARPA (2015b). Conservemos un campo limpio. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [en línea]. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/conservemos-un-campo-limpio> 02/12/2024
- SIAP (2024). Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [en línea] <https://nube.siap.gob.mx/cier-reagricola/> 15/01/2024
- Van der Werf H.M. (1996). Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 60 (2-3), 81-96. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(96\)01096-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(96)01096-1)
- Vargas-González G., Alvarez-Reyna V.D.P., Guigón-López C., Cano-Ríos P. y 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>

MATERIAL COMPLEMENTARIO

CUADRO CI. COCIENTE DE IMPACTO AMBIENTAL EN CAMPO (CIAc) DE INSECTICIDAS REGISTRADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO IXCUINTLA, NAYARIT, MÉXICO.

Nombre comercial	IA	%	Dosis de aplicación L/ha	E	F	C	CIAc
Counter® 5G	Terbufos	5	20	128.5	35.7	5.4	58.9
Marshal® 250 CE	Carbosulfan	26.8	4	121.2	6.6	8	45.3
Kohinor® 350 SC	Imidacloprid	30.2	2.5	62.6	4.6	7	44.2
AK-20®	Dicofol	18.5	6	74	10.3	4.6	29.6
Diazinon	Diazinón	25	3	82.2	4.6	1.6	29.5
Methan 600	Metamidofos	51	1.5	38.2	30.7	6.5	25.1
NC 600	Metamidofos	51	1.5	38.2	30.7	6.5	25.1
Metagro®	Metamidofos	48.3	1.5	36.2	29.1	6.1	23.8
Impiremax	Imidacopril	30.5	2	50.6	3.8	5.6	20.0
Disparo*	Clorpirifos etil + pertrina	38.6	2	49.9	4.6	1.6	18.7
Anagor 400	Dimetoato	40	1.5	42.1	5.5	6.2	17.9
Rogonay 400	Dimetoato	38.5	1.5	40.5	5.3	5.9	17.3
Rotor	Dimetoato	38	1.5	40	5.3	5.9	17.1
Biofos 600	Metamidofos	50	1	25	20.1	4.2	16.4
Controla 480 CE	Clorpirifos	44.5	1.5	43.2	3.6	1.2	16.0
Gusvan 480 CE	Clorpirifos etil	44.46	1.5	43.2	3.6	1.2	16.0
Diazinon 232 CE	Diazinon	25	1.5	41.1	2.3	0.8	14.7
Warrant 350 SC	Imidacloprid	30.5	1.25	31.6	2.3	3.5	12.5
Comando 35 SC	Imidacloprid	30.2	1.25	31.3	2.3	3.5	12.4
Gladiador®	Imidacloprid	30.2	1.25	31.3	2.3	3.5	12.4
Kumari 350 SC	Imidacloprid	30.2	1.25	31.3	2.3	3.5	12.4
Nugor® 400	Dimetoato	38.5	1	27	3.6	4	11.5
Sunfire® 2 SC	Clorfenapir	21.4	1.5	29.4	1.7	1.1	10.7
Cipertoato 300 CE*	Dimetoato + cipermetrina	28.7	1	21.1	2.9	2.4	8.8
Chlorban® 480 EC	Clorpirifos etil	44.5	0.75	21.6	1.8	0.6	8.0
Larvin 90	Metomilo	90	0.4	15.7	1.9	3.5	7.1
Atlante® 34 CE	Permetrina	34	0.8	17.2	2.9	1.2	7.1
Benevia®	Ciantraniliprol	10.26	1	15.9	0.9	1.6	6.2
Cymbush®	Cipermetrina	21.4	0.7	11.9	1.8	0.8	4.9
Tornatrina 100 CE	Bifentrina	12.15	1	12.1	1.5	0.9	4.8
Cypervel 200® impetor®	Cipermetrina	20.36	0.7	11.4	1.8	0.8	4.6
Gallo	Cipermetrina	20.36	0.7	11.4	1.8	0.8	4.6
Engeo®*	Tiametoxam + λ-cyhalotrina	22.11	6	10.7	1.8	1	4.6
Kaizer	Cipermetrina	21.5	0.6	10.3	1.6	0.7	4.2
Siroco 20 Diabolo	Cipermetrina	21.5	0.6	10.3	1.6	0.7	4.2
Cipertrade®	Cipermetrina	21.12	0.6	10.1	1.6	0.7	4.1
Cypac 200	Cipermetrina	21.50	0.5	8.6	1.3	0.6	3.5
Cimetrin 200®	Cipermetrina	21.05	0.5	8.4	1.3	0.6	3.4
Tirano 200 C.E	Cipermetrina	21.20	0.5	8.5	1.3	0.6	3.4
Calypso®	Tiacloprid	40.4	0.3	6.8	1.7	1.6	3.4
Imiland*	Imidacloprid + λ-cyhalotrina	31.48	0.3	8.4	1	0.6	3.3
Mizar®	Miethoxyfenozide	23.26	0.5	8.1	1	0.8	3.3
Arraigo	Benzoato de emamectina	23	0.5	6.8	0.9	0.4	2.7
Fidato™*	Spinetoram + Sulfoxaflor	40	0.333	4.8	1.5	1.2	2.5
Cipermetrina 200	Cipermetrina	24	0.25	4.8	0.7	0.3	1.9
Morgan	λ-cyhalotrina	6.5	0.7	4.4	0.8	0.1	1.8
Karate®	λ-cyhalotrina	6.5	0.6	3.8	0.7	0.1	1.5
Exalt™	Spinetoram	5.87	1	3.9	0.4	0.1	1.5
Kratt	λ-cyhalotrina	5	0.7	3.4	0.6	0.1	1.4
Lambdazo	λ-cyhalotrina	6.53	0.5	3.2	0.6	0.1	1.3
Karate Zeon® 5CE	λ-cyhalotrina	6.5	0.5	3.1	0.6	0.1	1.3

CIAc: cociente de impacto ambiental de campo. E: ecológico, F: trabajador agrícola, C: consumidores. *Formulación con dos IA, se clasificó de acuerdo con el IA de mayor valor del CIAc.

CUADRO CI. COCIENTE DE IMPACTO AMBIENTAL EN CAMPO (CIAc) DE INSECTICIDAS REGISTRADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO IXCUINTLA, NAYARIT, MÉXICO. (CONTINUACIÓN)

Nombre comercial	IA	%	Dosis de aplicación L/ha	E	F	C	CIAc
Forte 34	Permetrina	34	0.1	2.2	0.4	0.2	0.9
AK-min [®]	Abamectina	1.8	1.5	2.1	0.3	0.1	0.8
Fallow star [®]	Abamectina	1.8	1.5	2.1	0.3	0.1	0.8
Belt [®] SC	Flubendiamida	39	0.1	1.6	0.4	0.1	0.7
Altacor [®]	Clorantniliprol	35	0.115	1.5	0.2	0.2	0.7
Sweeper*	Benzoato de emamectina + λ-cyhalotrina	4.5	0.5	1.7	0.3	0	0.7
Vertimectina 1.8% CE	Abamectina	1.8	1	1.4	0.2	0.1	0.6
Dumath [®] 5% GS	Benzoato de emamectina	5	0.4	1.2	0.2	0.1	0.5
Larvin	Novaluron	9.91	0.25	0.8	0.1	0.1	0.3
Rimon [®] 100 CE	Novaluron	9.34	0.25	0.7	0.1	0.1	0.3
Decis forte	Deltametrina	10.7	0.1	0.6	0.2	0	0.3
Drony [®] 19 CE	Benzoato de emamectina	2.12	0.4	0.5	0.1	0	0.2
Coragen [®]	Clorantniliprol	18.4	0.2	0.1	0	0	0.1
Anacrot-600	Monocrotofos	56	1.7	--	--	--	--
Monoupel ^{MR} 60% SL	Monocrotofos	56	1.75	--	--	--	--
Azodrin [®]	Monocrotofos	56	1.75	--	--	--	--
Lucadrin 60 LS [®]	Monocrotofos	56	1	--	--	--	--

CIAc: cociente de impacto ambiental de campo. E: ecológico, F: trabajador agrícola, C: consumidores. *Formulación con dos IA, se clasificó de acuerdo con el IA de mayor valor del CIAc.

CUADRO CII. COCIENTE DE IMPACTO AMBIENTAL EN CAMPO (CIAc) DE FUNGICIDAS REGISTRADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO IXCUINTLA, NAYARIT, MÉXICO.

Nombre comercial	IA	%	Dosis de aplicación L/ha	E	F	C	CIAc
Kocifol M.C.W.*	Mancozeb + sulfato de cobre	84.12	4	320.9	67.9	33.3	140.7
BalaQú 75% pH	Clorotalonil	85	4	246.5	60.7	33.4	113.5
Purozeb 80	Mancozeb	80	4	156.7	65	26.1	82.6
Cupravit®	Dihidróxido de cobre	77	4	209.5	22.3	13.9	81.9
Curazate® M-8*	Cymoxanil + Mancozeb	92	3	144.5	52.7	43.1	80.1
Manzate Pro Stick ^{MR}	Mancozeb	75	4.5	146.9	61	24.5	77.4
Capote®	Clorotalonil	52	4	150.8	37.1	20.4	69.5
Metanil CL 81*	Metalaxil + clorotalonil	81	2.5	135.4	33.3	19.5	62.7
Mextli	Clorotalonil	53.49	3.5	135.7	33.4	18.4	62.5
Quadris Opti®*	Azoxistrobina + clorotalonil	50.6	3.5	126.3	29.9	16.7	57.7
Manto® 80pH	Mancozeb	80	3	104.5	43.4	17.4	55.1
Cobrethane WP*	Mancozeb + oxiclورو de cobre	69	3	104.1	31.2	13.5	49.6
Lucaflow	Azufre elemental	52	3	94.4	30.4	11.5	45.5
Captán 50 WP	Cantano	50	5	67.6	26.8	11.2	35.2
Diprosperol	Dimetomorfo + propamocarb	53.4	2.5	53	13.4	13.7	26.7
Consento	Propamocarb + Fenamidona	40.18	3	49.7	12.1	12.3	24.7
Pireos 70	Tiofanato metílico	70	1	25	10.1	9.6	14.9
Cantus®	Boscalid	50	1	20.5	5.4	9.5	11.8
Derosal®	Carbendazima	42.8	0.6	19.7	5.7	9.3	11.6
Prozycar	Carbendazima	50	0.5	19.2	5.6	9	11.3
Orondis® opti*	Oxatiapiprolin + clorotalonil	33.72	1	24.3	5.9	3.3	11.2
Impact 250 SC	Flutriafol	22.29	2	17.5	4.8	8.4	10.2
Carbendasal 500F	Carbendazima	43	0.5	16.5	4.8	7.8	9.7
Fontelis®	Penthiopirad	20.4	2	20.3	4.6	4.5	9.7
Solve Star®	Tebuconazol	25.2	1	15.7	4.5	7	9.1
Amistar®	Azoxistrobina	17.96	2	21.4	2.6	1.9	8.6
Antrak 500 pH	Benomilo	50	0.6	16.9	3.7	3.6	8.1
Consist max*	Tebuconazol + trifloxistrobin	45.26	5	13.9	3.2	4.1	7.1
Solaris Bio® 250 EW	Tebuconazol	23	0.8	11.5	3.3	5.1	6.6
Zampro® DM	Ametoctradina + dimetomorfo	47.3	1	15.4	2.5	1.8	6.6
Juwel®*	Epoxiconazol + kresoxim-metil	23	1.5	11.1	4.2	2.9	6.1
Orondis® ultra	Oxatiapiprolin + Mandipropamid	25.85	1	9.2	4.6	4.2	6.1
Headline®	Piraclostrobina	23.6	1	14.5	1.7	0.9	5.7
Troxi	Azoxistrobina	22.9	1	13.6	1.7	1.2	5.5
Forum® SC	Dimetomorfo	43.1	1	11.2	2.3	2.7	5.4
Rumble®	Propiconazol	25.5	0.75	9.6	1.8	2.9	4.8
SanaZole®	Tebuconazol	24.8	0.45	7	2	3.1	4.0
Propitil 250 CE	Propiconazol	22.98	0.5	6.6	1.2	1.9	3.2
Aristides®	Azoxistrobina	23.21	0.5	6.9	0.8	0.6	2.8
Healer® 250 EC	Difenoconazol	26	0.6	4.8	0.8	1	2.2
Veldep	Boscalid + pyraclostrobin	38	0.2	2.8	0.7	1.1	1.5

CIAc: cociente de impacto ambiental de campo. E: ecológico, F: trabajador agrícola, C: consumidores. *Formulación con dos IA, se clasificó de acuerdo con el IA de mayor valor del CIAc.

CUADRO CIII. COCIENTE DE IMPACTO AMBIENTAL EN CAMPO (CIAc) DE HERBICIDAS REGISTRADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO IXCUINTLA, NAYARIT, MÉXICO.

Nombre comercial	IA	%	Dosis de aplicación L/ha	E	F	C	CIAc
Gesapax® combi 80 PH*	Ametrina + Atrazina	76.4	3	96.3	30	18.1	48.1
Bazuka	Diuron	80	2.5	90.8	35.7	15.2	47.2
Kill-Mina 4®	2,4-D	49.5	6	90.1	21.2	21.2	44.2
Eslamina 480	2,4-D	50.45	4	61.2	14.4	14.4	30.0
Uniamin ^{MR} 480	2,4-D	50.43	3	41.9	32.4	9.5	27.9
Velconate 36	Metano arsonato monosodio	35.54	4	52	10.1	6.3	22.8
Escarlata 480 CE	Trifluralina	44.5	3	50	10.7	6.6	22.4
Treflan® HFP	Trifluralina	44.5	2.4	40	8.6	5.2	17.9
Dequat	Paraquat	25	3	24	21.4	4.2	16.6
Paracuat 25®	Paracuat	25	3	24	21.4	4.2	16.5
Basagran® 480	Bentazón	43.2	2	33.2	6.2	5.4	14.9
Tordon TM 101*	2,4-D + Picloram	48.7	2	30.8	6.9	3.7	13.8
Command	Clomazone	31.1	2	23	5.9	3.8	10.9
Fusiflex®	Fomesafeno + Fluazifop-p-butil	39.46	1	17.7	7.9	2.2	9.3
Tordon XT TM *	Aminopirid + 2,4-D	28.82	2	18.2	4.1	3.9	8.8
Hunk® 250 250 SL	Fomesafeno	22.16	1.5	9.7	9.5	2.6	7.3
FlexStar®	Fomesafeno	21.7	1.5	9.5	9.3	2.6	7.1
Flex®	Fomesafeno	22.5	1.35	8.8	8.7	2.4	6.6
Foma® 1.88	Sal sódica de fomesafeno	22.1	1	12.6	2.4	3.7	6.2
Fusiflex® Gold*	Fomesafeno + fluazifop-p-butil	22.14	1	10.3	4.3	1.2	5.3
Flex® Biw	Fomesafeno	22.5	1	6.5	6.4	1.8	4.9
Clincher TM EC	Cihalofof n-butil éster	7.7	2	8.9	1.1	0.4	3.5
Fusilade® Biw	Fluazifop-p butil	12.5	1	8	1.2	0.4	3.2
Kasajo	Cletodime	13	0.8	2.9	1.1	0.7	1.6
Cautivo 120 CE	Cletodime	13	0.8	2.9	1.1	0.7	1.6

CIAc: cociente de impacto ambiental de campo. E: ecológico, F: trabajador agrícola, C: consumidores. *Formulación con dos IA, se clasificó de acuerdo con el IA de mayor valor del CIAc.

CUADRO CIV. COCIENTE DE IMPACTO AMBIENTAL EN CAMPO (CIAc) DE BACTERICIDAS REGISTRADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO IXCUINTLA, NAYARIT, MÉXICO

Nombre comercial	IA	%	Dosis de aplicación L/ha	E	F	C	CIAc
Intermicin 100®*	Estreptomicina + oxitetraciclina	20.4	0.6	4.8	6.7	2.6	4.7
FinalBacter*	Sulfato de gentamicina + clorohidrato de oxitetraciclina	8	1.6	4.1	1	0.4	1.8
Terra Qú 5%	oxitetraciclina	7.33	1	3.1	0.8	0.3	1.4
Agry-Gent plus ^{MR} 5000*	Gentamicina + oxitetraciclina	10	0.32	1.4	0.3	0.1	0.6
Intermicina agrícola®	Oxitetraciclina	5.39	0.6	1.4	0.4	0.1	0.6
Nova Bacter agrícola	Oxitetraciclina	5.39	0.4	0.9	0.2	0.1	0.4

CIAc: cociente de impacto ambiental de campo. E: ecológico, F: trabajador agrícola, C: consumidores. *Formulación con dos IA, se clasificó de acuerdo con el IA de mayor valor del CIAc.

CUADRO CV. ESTRATEGIA SUGERIDA EN LA AGENDA TÉCNICA AGRÍCOLA NAYARIT 2015 PARA EL CONTROL DE PLAGAS EN EL CULTIVO DE FRIJOL EN NAYARIT.

IA	E	F	C	CIAC
Control de insectos				
Lorsban® 480	38.8	3.2	1.1	14.4
Dimetoate® 40CE	28.1	3.7	4.1	12
Cymbush®	11.9	1.8	0.8	4.9
Control de hierbas				
Trifluralin®	50	10.7	6.6	22.4
Flex®	8.5	8.3	2.3	6.4
Impacto total por hectárea	137.3	27.7	14.9	60.1

CIAC: cociente de impacto ambiental de campo. E: ecológico, F: trabajador agrícola, C: consumidores.

CUADRO CVI. ESTRATEGIA LOCALIZADA DE MANEJO DE PLAGAS EN CULTIVO DE FRIJOL EN NAYARIT.

IA	E	F	C	CIAC
Control de insectos				
Disparo	49.9	4.6	1.6	18.7
Anagor 400	42.1	5.5	6.2	17.9
Cipertoato 300 CE	21.1	2.9	2.4	8.8
Control de hierbas				
Escarlata 480 CE	50	10.7	6.6	22.4
Fusiflex®	17.7	7.9	2.2	9.3
Impacto total por hectárea	180.8	31.6	19	77.1

CIAC: cociente de impacto ambiental de campo. E: ecológico, F: trabajador agrícola, C: consumidores.