

Uso de plaguicidas en el cultivo de maíz en zonas rurales del Estado de Oaxaca, México

Uso de pesticidas no cultivo de milho em áreas rurais do Estado de Oaxaca, no México

Use of Pesticides in Corn Cultivation in Rural Areas of the State of Oaxaca, Mexico

Héctor Ulises Bernardino Hernández¹, Honorio Torres Aguilar¹, Gabriel Sánchez Cruz¹, Leobardo Reyes Velasco¹, Arturo Zapién Martínez¹

¹Profesor de la Facultad de Ciencias Químicas (FCQ), Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca (UABJO), Oax. México.

Cita: Bernardino Hernández HU, Torres Aguilar H, Sánchez Cruz G, Reyes Velasco L, Zapién Martínez A. Uso de plaguicidas en el cultivo de maíz en zonas rurales del Estado de Oaxaca, México. Rev. salud ambient. 2019; 19(1):23-31.

Recibido: 1 de octubre de 2018. **Aceptado:** 21 de marzo de 2019. **Publicado:** 15 de junio de 2019.

Autor para correspondencia: Héctor Ulises Bernardino Hernández.

Correo e: hbernardino@yahoo.com

Facultad de Ciencias Químicas (FCQ). Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca (UABJO), México. Av. Universidad S/N. Cinco Señores, C.P. 68120, Oaxaca de Juárez, Oax. México.

Financiación: Programa para el Desarrollo Profesional Docente para el nivel Superior de la Secretaría de Educación Pública de México (proyecto "Exposición ocupacional a tóxicos y efectos en la salud de población rural en el Estado de Oaxaca, México", Carta de Liberación 511-6/17-7642).

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que hayan influido en la realización y la preparación de este trabajo.

Declaraciones de autoría: Todos los autores contribuyeron al diseño del estudio y la redacción del artículo. Asimismo, todos los autores aprobaron la versión final.

Resumen

La agricultura es la actividad económica más extendida en zonas rurales de Oaxaca. La modernización del campo agrícola mexicano se ha permeado y está provocado la transformación del sistema de producción tradicional de maíz a un sistema convencional dependiente del uso de insumos externos, particularmente a plaguicidas, exponiendo la salud de los campesinos. El objetivo del presente estudio fue caracterizar los plaguicidas utilizados en la producción de maíz en zonas rurales del Estado de Oaxaca, México. A través de un estudio transversal, se entrevistaron a 449 productores para conocer su edad y algunas variables del sistema de producción, específicamente en el uso de plaguicidas. Dichos productos, fueron caracterizados de acuerdo con su ingrediente activo (IA), clasificación química, categoría toxicológica (CT) y tipo de plaguicida por su acción. Se identificaron 48 IA de diferentes CT y clases químicas. Predomina el uso de herbicidas e insecticidas sobre los fungicidas. Se identificó la multiplicidad en la aplicación del mismo IA en diferentes presentaciones comerciales por el mismo productor, así como la aplicación de mezclas con distintos IA (14,5 %). Los jóvenes están expuestos a los mismos IA que los adultos mayores. La mayoría de los IA identificados, están considerados como altamente peligrosos por su toxicidad aguda alta y por sus efectos crónicos a la salud humana. Se sugiere profundizar en investigaciones que evalúen el daño a la salud de los usuarios e implementar estrategias agrícolas para disminuir la exposición a plaguicidas en ambientes rurales.

Palabras clave: maíz; plaguicidas; mezclas de plaguicidas; herbicidas; insecticidas; fungicidas.

Resumo

A agricultura é a atividade econômica com maior expressão nas áreas rurais de Oaxaca. A modernização do campo agrícola mexicano tem-se imposto e está a provocar a transformação do sistema de produção tradicional de milho para um sistema convencional dependente do uso de insumos externos, particularmente pesticidas, expondo a saúde das populações rurais. O objetivo do presente estudo foi caracterizar os pesticidas utilizados na produção de milho nas zonas rurais do Estado de

Oaxaca, México. A través de un estudio transversal, fueron entrevistados 449 productores para conocer a su edad e algunas variables del sistema de producción, específicamente en el uso de pesticidas. Estos productos fueron caracterizados cuanto a su principio activo (PA), clasificación química, categoría toxicológica (CT) e tipo de pesticida por su acción. Fueron identificados 48 PA de diferentes CT e clases químicas. El uso de herbicidas e insecticidas predomina sobre el uso de fungicidas. Fue identificada la multiplicidad en la aplicación del mismo PA en diferentes presentaciones comerciales por el mismo productor, así como la aplicación de mezclas con diferentes PA (14,5 %). Los jóvenes están expuestos a los mismos PA que los adultos más viejos. La mayoría de los PA identificados son considerados altamente peligrosos debido a su alta toxicidad aguda e a sus efectos crónicos en la salud humana. Sugiere-se profundizar en investigaciones que evalúen los daños en la salud de los usuarios e implementen estrategias agrícolas para reducir la exposición a pesticidas en ambientes rurales.

Palabras-clave: maíz; pesticidas; mezclas de pesticidas; herbicidas; insecticidas; fungicidas.

Abstract

Agriculture is the most widespread economic activity in the rural areas of the state of Oaxaca, Mexico. The modernization of the Mexican farmland has percolated and is causing the transformation of the traditional corn production system to a conventional system that is dependent on the use of external inputs—particularly pesticides, thereby affecting the health of peasants. The goal of this study was to characterize the pesticides that are used in growing corn in rural areas of Oaxaca. Through a cross-sectional study, 449 producers were interviewed to find out their age and some variables of the production system, specifically regarding the use of pesticides. These products were characterized according to their active ingredient (AI), chemical classification, toxicological category (TC) and pesticide type by their action. We identified 48 AIs with different TCs and chemical classes. The use of herbicides and insecticides predominates over fungicides. The multiplicity in the application of the same AI was identified in different commercial presentations by the same producer, as well as the application of mixtures with different AIs (14.5 %). Young people are exposed to the same AIs as older adults. Most of the identified AIs are considered highly dangerous due to their high acute toxicity and their chronic effects on human health. We recommend doing more research to assess the harm to the health of users and implementing agricultural strategies to reduce the exposure to pesticides in rural environments.

Keywords: corn; pesticides; mixtures of pesticides; herbicides; insecticides; fungicides.

INTRODUCCIÓN

Para Oaxaca, México, la actividad económica más extendida en zonas rurales es la agricultura¹, donde el cultivo de maíz se ubica en primer lugar a nivel estatal. Hasta 2017, se sembraron 518 321 ha con maíz, que representan aproximadamente una tercera parte de la superficie agrícola estatal². Hasta hace algunas décadas, el cultivo de maíz se había caracterizado por la utilización de prácticas agrícolas que cuidaban y respetaban la naturaleza. Con la modernización del campo agrícola mexicano impulsado por las políticas gubernamentales desde 1950³, el uso de paquetes tecnológicos basados principalmente en insumos externos del tipo fertilizantes y plaguicidas químicos, se van permeando gradualmente en las diversas regiones del Estado, principalmente en zonas rurales marginadas habitadas por población indígena, transformando los sistemas de producción agrícola tradicionales a sistemas convencionales dependientes de insumos químicos, principalmente de plaguicidas. Dichos insumos han mejorado la productividad, sin embargo, hay evidencias de que su uso daña seriamente al ambiente y la salud pública. Para el Estado, existe escasa información sobre el uso de plaguicidas, los pocos estudios solamente mencionan de manera general la utilización de insumos químicos sin precisar su tipo y características^{4,5}.

Por lo tanto, se desconoce la diversidad de plaguicidas a los que pudieran estar expuestos los campesinos. El objetivo del presente estudio, fue caracterizar los plaguicidas utilizados en la producción de maíz por los campesinos que habitan las zonas rurales del Estado de Oaxaca, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio transversal en el que se seleccionaron de manera aleatoria durante 2017, campesinos que cultivan maíz a través de recorridos de campo por 101 localidades de siete regiones de Oaxaca. El tamaño muestral se calculó con base en la población que habita en zonas rurales dedicadas a la agricultura como principal actividad económica (población total 3 967 889, de donde 23 % corresponde a población rural) (potencia 95 %, error 5 %). Se entrevistaron a 483 productores de donde 449 admitieron utilizar plaguicidas, los cuales formaron la muestra de estudio conformada por las proporciones siguientes por región: Costa 15,14 %, Istmo 15,37 %, Mixteca 7,35 %, Papaloapam 5,12 %, Sierra Norte 6,68 %, Sierra Sur 16,93 % y Valles Centrales 33,41 %. Se excluyeron aquellos individuos que no se dedicaban a la agricultura, no sembraban maíz y no quisieron participar en el estudio. Durante enero a octubre de 2017, a cada individuo seleccionado

se le aplicó una encuesta estructurada para conocer su edad (años) y el uso de plaguicidas. A partir de los nombres comerciales proporcionados por los usuarios y la observación de la etiqueta de los envases en campo, se caracterizaron dichos productos mediante la revisión de las fichas técnicas (hoja de seguridad)⁶ para determinar la clasificación química, ingrediente activo (IA), categoría toxicológica (CT) y tipo de plaguicida por su acción (herbicida, insecticida, fungicida). La categoría toxicológica se consideró a partir de la propuesta de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), basada en la DL_{50} expresada en mg/kg recomendada por la OMS, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-232-SSA1-2009⁷. Los resultados se analizaron con estadística descriptiva (medias y desviación estándar) para las variables cuantitativas y análisis de frecuencias para las variables cualitativas (porcentajes). El paquete estadístico utilizado fue el SPSS v.15.0.

RESULTADOS

La edad media de la población estudiada fue de $53,5 \pm 14,3$ años (amplitud=18-96 años), aproximadamente la tercera parte de la población es ≤ 44 años y el resto es ≥ 45 años (28,3 % y 71,7 %, respectivamente). Se identificaron 48 IA, predominando los de CT IV. Sin embargo, con respecto a su uso, sobresalen los herbicidas e insecticidas de CT II y III, los fungicidas utilizados pertenecen a la CT IV (tabla 1). De manera general, el promedio de IA por productor fue de $3,3 \pm 1,7$ (amplitud=1-10 IA). El 61,2 % utiliza hasta 3 IA durante el ciclo agrícola de maíz predominando la CT II, el 33,0 % utiliza hasta 6 IA y el resto hasta 10 IA (5,8 %).

Se identificaron 14 IA de herbicidas correspondientes a 40 marcas comerciales y 14 grupos químicos. Predomina el uso del paraquat (bipiridilo CT II), seguido del glifosato (fosfonato CT IV) y 2,4-D (clorofenoxi CT III).

Tabla 1. Clasificación general de los plaguicidas identificados

Categoría toxicológica (CT) ^a	Tipo de plaguicida ^b	Nº de IA ^c utilizados por tipo	% de usuarios		
			≤ 44 años (n=127)	≥ 45 años (n=322)	Total (n=449)
CT I	H	--	--	--	--
	I	1	25,2	17,1	19,4
	F	--	--	--	--
CT II	H	1	62,2	61,5	61,7
	I	6	66,9	65,8	66,1
	F	--	--	--	--
CT III	H	4	26,8	34,8	32,5
	I	5	18,1	19,9	19,4
	F	---	--	--	--
CT IV	H	7	44,9	41,6	42,5
	I	9	7,1	5,3	5,8
	F	8	35,4	35,1	35,2
CT V	H	2	9,5	9,0	9,1
	I	4	0,8	1,9	1,6
	F	1	--	0,3	0,2
Total	H	14	92,1	93,2	92,9
	I	25	85,0	84,5	84,6
	F	9	35,4	35,1	35,2
Promedio total de IA Amplitud			$3,3 \pm 1,8$	$3,3 \pm 1,7$	$3,3 \pm 1,7$
			1-9	1-10	1-10

^a CT= Categoría Toxicológica: I (extremadamente peligroso), II (altamente peligroso), III (moderadamente peligroso), IV (ligeramente peligroso), V (producto que normalmente no ofrece peligro).

^b H= Herbicida, I= Insecticida, F= Fungicida.

^c IA= Ingrediente Activo.

Los tres productos están siendo utilizados como el cuadro básico de herbicidas bajo diversas presentaciones comerciales, predominando el Gramoxone (paraquat), seguido de la Faena (glifosato), Herbipol y Hierbamina (2,4-D). Para el caso de los insecticidas, se identificaron 25 IA correspondientes a 40 marcas comerciales y 13 grupos químicos, predominando el uso de los organofosforados (8 IA), seguido de los piretroides (5 IA) y los carbamatos (2 IA).

El insecticida más usado es el paratión metílico (organofosforado CT II) bajo la presentación de Foley. Con menos frecuencia se encuentra el fósforo de aluminio (fosfamina CT I), el metamidofos bajo el nombre comercial de Tamarón (organofosforado CT II), metomilo como Lannate (carbamato CT II) y el piretroide cipermetrina como Arrivo (CT III). De los 9 IA de fungicidas identificados, correspondientes al mismo número de marcas comerciales y 8 grupos químicos, predomina el uso del mancozeb bajo la denominación de Manzate (ditiocarbamato CT IV) (tabla 2).

Tabla 2. Caracterización de los ingredientes activos identificados

Ingrediente activo	Clasificación química	Tipo ^a	CT ^b	Nº de productores que utilizan el producto comercial (n=449)	Lista PAP ^c	Nº de países prohibidos ^d	% usuarios (n=449)
Paraquat	Bipiridilo	H	II	Gramoxone (256), Paraquat (12), Gramocil (10), Cuproquat (9), Cerillo (7), Dextrone (3), Diabloquat (3), Dragocson (1)	1, 4	38	61,7
2-4, D	Clorfenoxi (Ácido fenoxiacético)	H	III	Herbipol (56), Hierbamina (51), Esteron 47 (23), Uniamina 480 (14), Durmina (4), Hierbester (1), Feramina (1), Fitoamina (1), Amina (1)		3	31,2
Bromoxinil	Benzonitrilo	H	III	Bromotil (1), Bucril (1)	1	2	0,4
Acetoclor	Cloroacetamida	H	III	Acetoclor (2)	2	28	0,4
Clopiralida ^e	Sal amina (auxina sintética)	H	III	Lontrel 72 (1)			0,2
2-4, D + Aminopyralid	Clorfenoxi /Ácido piridine carboxílico	H	III / V	Tronador (1)		3 / ---	0,2
Glifosato	Fosfometilglicina (Fosfonato)	H	IV	Faena (136), Glifosato (38), Coloso (25), Takle (13), Arraza (6), Glifos (1), Rondo (1)	2	1	39,9
Atrazina	Triazina	H	IV	Gesaprim (12)	2	37	2,7
Nicosulfuron	Sulfonil ureas	H	IV	Accent (3), Sansón (4)			1,6
Glufosinato de amonio	Sales de amonio	H	IV	Finale (6)	2		1,3
Fluazifop-P-butil	Fenoxi	H	IV	Fusilade (3)	2	1	0,7
Fenmedifam + desmedifam ^e	Fenilcarbamatos	H	IV	Betanal AM22 (2)			0,4
Tembotrione	Bencilciclohexanediona	H	IV	Laudis (1)			0,2
Picloram + 2-4 D	Piridina / clorfenoxi	H	V/III	Tordon (21), Defensa (15)	2 / --	4 / 3	7,6
Imazethapyr	Imidazolinona	H	V	Pivot 100 (6)		28	1,3
Picloram	Piridina	H	V	Picloram (1)	2	4	0,2
Fósforo de aluminio	Fosfamina (Fósforo inorgánico)	I	I	Fósforo de aluminio (87)	1, 3	1	19,4
Paratión metílico	Organofosforado	I	II	Foley (210), Paration metílico (18), Folidol (14), Fitoklor (2)	1, 4	59	52,3
Metamidofos	Organofosforado	I	II	Tamarón (63), Monitor 600 (12)	1, 3, 4	49	56,8
Metomilo	Carbamato	I	II	Lannate (54)	1, 3	13	12,0

Tabla 2. (Continuación). Caracterización de los ingredientes activos identificados

Ingrediente activo	Clasificación química	Tipo ^a	CT ^b	Nº de productores que utilizan el producto comercial (n=449)	Lista PAP ^c	Nº de países prohibidos ^d	% usuarios (n=449)
Carbofuran	Carbamato	I	II	Furadan (35)	1, 3, 4	49	7,8
Endosulfam	Organoclorado	I	II	Thiodan (6)	1, 4	75	1,3
Ometoato	Organofosforado	I	II	Folimat (1)	1, 2, 3	32	0,2
Cipermetrina	Piretroide	I	III	Sirocon (4), Arrivo (29), Kaizer (1), Carexplus (6), Tacsacin (4), Cipermin (1)	3		9,6
Lambda cyhalotrina	Piretroide	I	III	Karate (24), Kendo (2)	1, 2, 3		5,3
Clorpirifosetil	Organofosforado	I	III	Lorsban (14), Arriero (3)	3	2	3,8
Alfacipermetrina	Piretroide	I	III	Fastac 100 (12)			2,7
Azinfos metilo	Organofosforado	I	III	Gusathion (2)	1, 3, 4	39	0,4
Clorpirifosetil + permetrina	Organofosforado / piretroide	I	III / IV	Disparo (4)	3 / 2,3	2 / 29	0,9
Malation	Organofosforado	I	IV	Mation (6), Graneril 21 (2)	2, 3	2	1,8
Permetrina	Piretroide	I	IV	Ambush (6), Matagus (1), Zabra (1)	2, 3	29	1,8
Imidacloprid	Imida	I	IV	Muralla (2)	3		0,4
Bifentrina	Piretroide	I	IV	Talstar 100 (1)	2, 3	2	0,2
Thiacloprid	Cianamida	I	IV	Calypso (1)	2		0,2
Triflumuron ^e	Benzoilurea	I	IV	Alsystin SC (1)			0,2
Diazinon	Organofosforado	I	IV	Fitoterra (3)	2, 3	30	0,7
Foxim	Organofosforado	I	IV	Volatón (1)		29	0,2
Thiametoxan	Nitroguanidina	I	IV	Actara (1)	3		0,2
Clorantraniliprol	Diamida	I	V	Coragen (4)	3		0,9
Ciantraniliprol	Pirazol	I	V	Benevia (2)			0,4
Benzoato de emamectina	Avermectina	I	V	Denim (1)	3		0,2
Spinetoram	Spinosin	I	V	Palgus (1)	3		0,2
Mancozeb	Ditiocarbamato	F	IV	Manzate (117)	2	1	26,0
Captan	Carboxamida	F	IV	Captan (41)		6	9,1
Oxicloruro de cobre	Compuestos de cobre	F	IV	Cupravit (13)			2,9
Azoxistrobin	Estrobirulinas	F	IV	Amistar (2)			0,4
Carbendazim	Benzimidazol	F	IV	Derosal (2)	2	29	0,4
Clorotalonil	Aromático policlorado (cloronitrilos)	F	IV	Bravo 720 (1)	1, 2	3	0,2
Metalaxil + Clorotalonil	Anilina / cloronitrilo	F	IV/IV	Ridomil Bravo (1)	--/1,2	--/3	0,2
Myclobutanil	Triazol	F	IV	Rally (1)			0,2
Tiabendazol	Benzimidazol	F	V	Tiabendazol (1)		1	0,2

^a Tipo= H (Herbicida), I (Insecticida), F (Fungicida).

^b CT= Categoría Toxicológica: I (extremadamente peligroso), II (altamente peligroso), III (moderadamente peligroso), IV (ligeramente peligroso), V (producto que normalmente no ofrece peligro).

^c Criterios de inclusión en la lista de Plaguicidas Altamente Peligrosos de PAN Internacional: (1) Toxicidad Aguda alta; (2) Efectos crónicos en la salud humana; (3) Toxicidad ambiental y; (4) Restringidos o prohibidos por convenios ambientales⁷.

^d Lista de plaguicidas prohibidos en otros países de PAN⁸.

^e No aparece en el registro de COFEPRIS⁹, su CT se obtuvo del envase y su ficha técnica a nivel internacional.

Se identificó un grupo considerable de usuarios (14,5 %) que duplican, triplican o hasta cuadruplican el uso de uno o hasta 3 IA de herbicidas e insecticidas, así como la aplicación de diversas mezclas con distintos IA. El uso de dos productos comerciales del mismo IA es el más frecuente, siendo el herbicida glifosato el más utilizado, seguido del 2,4-D y paraquat. El paration, metamidofos y cipermetrina son los insecticidas que

se utilizan por duplicado con diferentes nombres comerciales, pero con el mismo IA. La utilización de mezclas con dos o tres IA, en donde por lo menos uno de ellos se duplica, son los herbicidas paraquat y glifosato, principalmente. Incluso, se identificaron productores que incluyen en dichas combinaciones, la duplicidad de los insecticidas paratió, metamidofos y lambdacyhalotrina (tabla 3).

Tabla 3. Combinación de plaguicidas

Nº de IA ^a	Combinación de productos comerciales con el mismo IA por CT ^b y tipo ^c (Nº de usuarios, n=449)			% de usuarios (n=449)
	CT II	CT III	CT IV	
1	Paraquat (H) Gramoxone + Cuproquat (2) Gramoxone + Dragocson (1) Gramoxone + Paraquat (1) Paratió (I) Foley + Paratió (5) Foley + Folidol (1) Metamidofos (I) Tamaron + Monitor (3)	Cipermetrina (I) Arrivo + Tacsacin (2) 2-4 D (H) Hervipol + Hierbamina (5) Hierbamina + Esteron (4) Hierbester + Esteron (1) Hierbamina + Defensa (1) Hervipol + Fitoamina (1)	Glifosato (H) Faena + Glifosilato Faena + Takle (2) Faena + Coloso (5) Coloso + Arraza (5) Faena + Glifosato + Coloso (1)	11,1
2	Paraquat (H) Gramoxone + Curproquat Gramoxone + Cerillo Gramoxone + Cerillo + Curproquat Gramoxone+Gramocil+Paraquat+Diabloquat Gramoxone + Paraquat + Diabloquat Paratió (I) Foley + Paratió	+ + + + + + + Lamdacyhalotrina (I) + Karate + Kendo +	Glifosato (H) Faena + Takle (2) Faena + Takle (1) Faena + Takle (1) Glifosato + Coloso (1) Faena + Glifosato + Coloso + Takle (1) Glifosato (H) Faena + Rondo (1) Glifosato (H) Arraza + Coloso (1)	1,8
3	Paraquat (H) Gramoxone + Cerillo + Curproquat Gramoxone + Cerillo + Curproquat Gramoxone + Curproquat Paraquat (H) + Metamidofos (I) Gramoxone+Diabloquat+Tamaron+Monitor Paraquat (H) + Paratió (I) Gramocil+Paraquat+Foley+Paration+Uniamina+Hierbamina(1) Paratió (I) Foley + Paration	+ 2-4 D (H) + + Esteron + Defensa + + Defensa + Tordon + + Esteron + Defensa + Tordon + + + + 2-4 D (H) + Lamdacyhalotrina (I) + + Karate + Kendo +	Glifosato (H) Faena + Takle (2) Faena + Takle (1) Faena + Takle (1) Glifosato (H) Faena + Coloso (1)	1,6

^aIA= Ingrediente Activo

^bCT= Categoría Toxicológica

^cTipo: (H)= Herbicida, (I)= Insecticida

DISCUSIÓN

Los campesinos están expuestos a una diversidad de plaguicidas de diferentes CT y clases químicas, destacando los productos de categoría II y IV (alta y ligeramente peligrosos) del tipo organofosforados, carbamatos, ditiocarbamatos, bipiridilos, fosfonatos y clorfenoxi. 32 de los 48 IA identificados, se encuentran en la lista de plaguicidas altamente peligrosos de la Red Internacional de Acción en Plaguicidas⁸, debido a su

toxicidad aguda alta o ambiental; o bien, por sus posibles efectos crónicos a la salud humana. Además, 28 IA de los usados en el cultivo de maíz, se encuentran prohibidos en diversos países del mundo⁹. Los principales insecticidas (paration metílico, fosforo de aluminio, metamidofos y metomilo) y herbicidas (paraquat, glifosato y 2,4-D) identificados, se encuentran en este listado. La mayoría de ellos, se utilizan en sistemas de producción similares en Los Altos de Chiapas¹⁰, península de Yucatán¹¹ y zonas agrícolas del norte de México¹². El uso de fungicidas se

ha intensificado, el mancozeb fue el más reportado y también forma parte de la lista. Su utilización sugiere la presencia de enfermedades de origen fúngico a pesar de que los campesinos no lo reportaron; sin embargo, cabe la posibilidad de que dicho producto sea utilizado de manera errónea como un insecticida. En cualquiera de los casos, su presencia aumenta el riesgo de daño a la salud por su potencial carcinogénico¹³.

Los usuarios se encuentran altamente expuestos a una variedad de plaguicidas con distintos modos de acción y como consecuencia, a una compleja red de posibles efectos tóxicos agudos y crónicos a su salud. Su uso se prevé se siga manteniendo en el transcurso de los siguientes años, incluso podría incrementarse, ya que el marco regulatorio y la agenda política para México, no ha contemplado la atención adecuada a dicha problemática¹⁴. Por lo que pueden presentarse posibles efectos agudos y crónicos a mediano y largo plazo en dicha población. Los efectos crónicos representan serias preocupaciones debido a que una porción considerable de los campesinos estudiados, se encuentran en edad reproductiva. Es necesario profundizar en los conocimientos y conductas de manejo y exposición a dichos productos, así como la implementación de un programa de vigilancia para determinar los posibles efectos negativos hacia la salud de la población usuaria.

Sin embargo, hay estudios que revelan los posibles riesgos que pueden alertar sobre las consecuencias nocivas a la exposición crónica de los principales plaguicidas identificados. Al respecto, el paratión metílico se ha asociado con enfermedad renal crónica¹⁵, el mismo fenómeno se ha reportado derivado de la exposición a cipermetrina¹⁶. El fosforo de aluminio no ha sido estudiado en relación a sus efectos crónicos, la información disponible lo asocia a intoxicaciones agudas altas que comprometen el aparato cardiovascular, respiratorio, neurológico, gastrointestinal, urinario y hepático^{17,18}. De igual manera, para el metamidofos es escasa la información, los efectos crónicos están relacionados con los organofosforados de manera general, asociados a daños genéticos (malformaciones y deficiencias mentales)¹⁹, trastornos mentales (psicosis, ansiedad, depresión, alucinaciones) y de la conducta (agresividad)²⁰. Para el metomilol hay poca información sobre sus efectos crónicos, lo relacionan con daño al sistema nervioso y muscular²¹. El mancozeb predispone a tumores, trastornos psiquiátricos, enfermedad de Parkinson, ataxia, disfunción tiroidea²², toxicidad reproductiva, neurotoxicidad y potencial carcinogénico¹³. El paraquat se ha relacionado con el desarrollo de la enfermedad de Parkinson²³. El 2,4 D puede causar lesiones crónicas al hígado, linfoma no Hodking, sarcoma de tejidos blandos y linfoma maligno, además posee efectos genotóxicos en diversos tipos de organismos²⁴. El glifosato, recientemente ha sido relacionado con posibles efectos citotóxicos y genotóxicos²⁵, por lo que ha sido

incluido en el catálogo como probable carcinógeno para los seres humanos⁸, además de atribuírsele efectos como un disruptor endocrino y generador de afecciones en distintos sistemas humanos (respiratorio, gastrointestinal, dermatológico y neurológico)²⁶.

El riesgo a la salud de los campesinos se incrementa, debido a que están expuestos a mezclas arbitrarias de varios IA, lo que pudiera generar sinergias y aumentar los niveles de toxicidad de uno o varios de los plaguicidas empleados, lo que complica la asignación de los posibles daños a la salud de algún IA en particular o sus mezclas²⁷. Los efectos tóxicos derivados de la exposición a mezclas de plaguicidas en diferentes organismos están en estudio. El glifosato aumenta su toxicidad al combinarse con clorpirifos y metil metsulfuron²⁸. La mezcla de lindano, malation y permetrina, tienen mayor toxicidad que los IA por separado²⁹. Bajas concentraciones de la combinación de endosulfan, carbofuran y monocrotofos provocan daño al ADN de células sanas³⁰. El uso individual de cualquiera de los plaguicidas identificados, así como de las mezclas reportadas, es posible que pudiera estar causando daños a diferentes órganos y sistemas de los usuarios que no se midieron en el presente estudio, pero que estarían aumentando la susceptibilidad a sufrir efectos tóxicos por los otros plaguicidas utilizados; incluso, detonar el desarrollo de ciertas enfermedades derivado de la exposición a la multiplicidad del mismo IA o a la diversidad de mezclas que los campesinos emplean. Los plaguicidas identificados pertenecen a CT que van desde los extremadamente peligrosos a los catalogados como demoderada o baja peligrosidad, así como moderadamente o no persistentes³¹; sin embargo, independientemente de su nivel de toxicidad y persistencia ambiental, se ha reportado su potencial tóxico para la mayoría de los IA identificados. Es muy probable que dichos productos sean aplicados por el mismo productor en otros cultivos, incluso, incrementar su número, lo que elevaría los niveles de exposición y riesgo a su salud.

Respecto a las limitaciones del estudio, no se midieron biomarcadores que hubieran aportado evidencias del daño genotóxico derivado de la exposición a plaguicidas, aún si se hubieran realizado, la atribución del daño a un IA de manera particular, hubiera resultado complicado, dada la diversidad de plaguicidas que emplean los campesinos. Sin embargo, la identificación precisa de cada uno de los plaguicidas, así como de las mezclas empleadas, son un hallazgo de enorme importancia. A pesar de que resulta complejo persuadir a los productores a disminuir o dejar de utilizar los diversos plaguicidas identificados a corto y mediano plazo, ya que representan un factor importante en las estrategias agrícolas para la generación de ingresos familiares, además de que los plaguicidas son de fácil acceso y se encuentran disponibles en las principales comunidades rurales del estado; es importante considerar que la información obtenida

puede ser utilizada para que los actores involucrados en la problemática, implementen estrategias y acciones tendientes a disminuir el ambiente de riesgo en la que se encuentran los campesinos en el sistema de producción de maíz; mediante la sensibilización de la población usuaria a través de capacitaciones en el manejo seguro de plaguicidas (diagnóstico de plagas, identificación del tipo y peligrosidad, dosis de aplicación, uso de mezclas), la educación sobre prevención de riesgos a la salud (lectura e interpretación de etiquetas, mantenimiento de equipo de fumigación, almacenamiento de plaguicidas, medidas de seguridad en las labores de fumigación y manejo de envases vacíos) y la reconversión a sistemas agroecológicos de producción agrícola, entre otros. Por otro lado, es conveniente la pronta implementación de un programa de vigilancia de la salud para identificar el riesgo relacionado con las intoxicaciones agudas, mediante pruebas clínicas sencillas y relativamente económicas, como la determinación de acetilcolinesterasa para los organofosforados, que fue uno de los principales grupos hallados.

Finalmente, este es el primer estudio realizado en Oaxaca que caracteriza la diversidad de plaguicidas que son utilizados en el sistema de producción de maíz. Se identificó la multiplicidad en la aplicación de hasta tres IA del mismo tipo de plaguicida por el mismo productor, así como el empleo de mezclas de varios productos de diferentes CT y clases químicas, que promueve un ambiente de mayor riesgo a la salud de los usuarios y sus familias. Es necesario continuar con investigaciones más exhaustivas para evaluar el daño real a la salud de la población expuesta. Además de lo anterior, es necesario impulsar programas de capacitación y prevención de riesgos y estrategias agrícolas para disminuir el uso de dichos productos tóxicos en ambientes rurales; así como, garantizar su manejo seguro y adecuado.

BIBLIOGRAFÍA

- Nahmad SS, Langlé CR, González RA. Diagnóstico del sector rural del Estado de Oaxaca. México: Centro de Investigación y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS) Pacífico Sur, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Gobierno del Estado de Oaxaca y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). 2010. [citado 28/01/2018] Disponible en: http://www.fao-evaluacion.org.mx/pagina/documentos/sistemas/eval2014/resultados2014/PDF2/OAX/Diagnostico_FINAL_30112010.pdf.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Avance de Siembras y Cosechas. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. [citado 26/06/2018] Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do.
- Pichardo-González B. La Revolución Verde en México. Agraria 2006; 4:40-68.
- Hernández GS, Lelis ZM, Alonso GM, et ál. Movilidad y Desarrollo Regional en Oaxaca. Vol. 1: Regionalización y encuesta de origen y destino. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte. 2006. Publicación técnica nº 305. [citado 2/01/2018] Disponible en: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt305.pdf>.
- Rendón-Aguilar B, Aguilar-Rojas V, Aragón-Martínez MC, et ál. Diversidad de maíz en la Sierra Sur de Oaxaca, México: conocimiento y manejo tradicional. Polibotánica 2015; 39:151-74.
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). Consulta de registros sanitarios de plaguicidas, nutrientes vegetales y LMR. México: COFEPRIS, Secretaría de Salud. [citado 13/09/2018] Disponible en: <http://189.240.24.250/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp>.
- Norma Oficial Mexicana NOM-232-SSA1-2009. Plaguicidas: que establece los requisitos del envase, embalaje y etiquetado de productos grado técnico y para uso agrícola, forestal, pecuario, jardinería, urbano, industrial y doméstico. Diario Oficial de la Federación, publicado el 13 de abril de 2010.
- PAN INTERNATIONAL. List of Highly Hazardous Pesticides. March 2018. Pesticide Action Network International c/o PAN International, Hamburg, Germany. [citado 26/07/2018] Disponible en: http://www.pan-germany.org/download/PAN_HHP_List.pdf.
- Bejarano GF. Los plaguicidas altamente peligrosos en México. 1ª Ed. Texcoco, Estado de México: Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México A.C. (RAPAM), Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), IPEN - International POPs Elimination Network, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Red Temática de Toxicología de Plaguicidas Universidad Autónoma de Nayarit, Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (RAP-AL), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) y Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad (UCCS); 2017. [citado 04/06/2019] Disponible en: https://www.uccs.mx/downloads/visit.php?id=file_59b5aa59d4322.
- Bernardino HHU, Mariaca MR, Nazar BA, et ál. Factores socioeconómicos y tecnológicos en el uso de agroquímicos en tres sistemas agrícolas en Los Altos de Chiapas, México. Interciencia 2016; 41(6):382-92.
- Gómez-González I. El uso de plaguicidas altamente peligrosos en la Península de Yucatán. En: Bejarano GF, coordinador y editor. Los Plaguicidas Altamente peligrosos en México. 1ª edición. México: RAPAM, RAP-AL, CIAD, UCCS, INIFAP, IPEN-International POPs Elimination Network, PNUD, Red Temática de Toxicología, UAEM; 2017.
- Hernández-Antonio A, Hansen AM. Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. Rev. Int. Contam. Amb. 2011; 27:115-27.
- Roede JR. Mancozeb. In: Wexler P, editor. Encyclopedia of Toxicology. 3rd edition. USA: Elsevier Inc. Academic Press; 2014.
- Ortiz I, Ávila-Chávez MA, Torres LG. Plaguicidas en México: usos, riesgos y marco regulatorio. Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal 2013; 4(1):26-46.
- Orantes NCM, Herrera VR, Almaguer LM, et ál. Epidemiología de la enfermedad renal crónica en los adultos de las comunidades agrícolas salvadoreñas. MEDICC Rev. 2014; 16(2):23-30.

16. Mendoza EC, González-Ramírez C, Martínez-Saldaña MC, et ál. Estudio de exposición a malatión y cipermetrina y su relación con el riesgo de daño renal en habitantes del municipio de Calvillo Aguascalientes, México. *Rev. Mex. Cienc. Farm.* 2015; 46(3):62-72.
17. Reyna-Medina M, Vázquez-De Anda GF; García-Monroy J, et ál. Tentativa suicida por intoxicación con fosforo de aluminio. *Rev. Med. Inst. Mex. Seguro Soc.* 2013; 5(2):212-21.
18. Arredondo TF, Hurtado PMP, Castañeda BY. Intoxicación por fosfina en el personal sanitario. *Gaceta Médica de México* 2011; 147:350-4.
19. Fuentes-Matus C, Vega y León S, Díaz-González G, et ál. Determinación de residuos de malatión y malaoxón en mango de las variedades Ataulfo y Tommy Atkins producidos en Chahuities, Oaxaca. *Agrociencia* 2010; 44(2):215-23.
20. Salvi RM, Lara DR, Ghisolfi ES, et ál. Neuropsychiatric evaluation in subjects chronically exposed to organophosphate pesticides. *Toxicological Sciences* 2003; 72(2):267-71.
21. Suárez Solá ML, González-Delgado F, Rubio C, Hardisson A. Estudio de seis suicidios consumados por ingestión de carbamatos en el partido judicial de La Laguna (Tenerife) durante el período 1998-2002. *Rev. Toxicol.* 2004; 21(2-3):108-12.
22. Pinilla-Monsalve GD, Manrique-Hernández EF, Caballero-Carvajal AJ, et ál. Neurotoxicología de Plaguicidas Prevalentes en la Región Andina Colombiana. *Méd. UIS.* 2014; 27(3):57-67.
23. Elena-Real CA, Pasión-Galván R, Pérez-Artés MR, et ál. Posible contribución del paraquat al desarrollo de la enfermedad de Parkinson. *Rev. Toxicol.* 2012; 29(2):117-22.
24. Qurratu A, Reehan A. A Review of 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) derivatives: 2,4-D dimethylaminesalt and 2,4-D butylester. *International Journal of Applied Engineering Research* 2016; 11(19):9946-55.
25. Villaamil E, Bovi G, Nassetta M. Situación actual de la contaminación por plaguicidas en Argentina. *Rev. Int. Contam. Amb.* 2013; 29:25-43.
26. Salazar-López N, Aldana M. Herbicida glifosato: usos, toxicidad y regulación. *Biotecnia* 2011; XIII(2):23-8.
27. Gómez-Arroyo S, Martínez-Valenzuela C, Carbajal-López Y, et ál. Riesgo genotóxico por la exposición ocupacional a plaguicidas en América Latina. *Rev. Int. Contam. Amb.* 2013; 29:159-180.
28. Kudsk P, Mathiassen SK. Joint action of amino acid biosynthesis-inhibiting herbicides. *Weed Research* 2004; 44(4):313-22.
29. Olgun S, Gogal RM JR, Adeshina F, et ál. Pesticide mixtures potentiate the toxicity in murine thymocytes. *Toxicology* 2004; 196(3):181-95.
30. Das P, Shaik A, Jamil K. Genotoxicity induced by pesticide mixtures: in-vitro studies on human peripheral blood lymphocytes. *Toxicol Ind. Health* 2007; 23(8):449-58.
31. Ramírez JA, Lacasaña M. Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. *Arch. Prev. Riesgos Labor.* 2001; 4(2):67-75.