



02

02

Recibido: mayo, 2018 Aprobado: junio, 2018 Publicado: agosto, 2018

Los pesticidas; clasificación, necesidad de un manejo integrado y alternativas para reducir su consumo indebido: una revisión

Pesticides; classification, need of an integrated management and alternatives to reduce its undue consumption: a review

Omar Díaz¹
Dra. C. Carmen Rosa Betancourt Aguilar¹
E-Mail: crbetancourt@ucf.edu.cu
¹ Universidad de Cienfuegos. Cuba.

Cita sugerida (APA, sexta edición)

Díaz, O., & Betancourt Aguilar, C. R. (2018). Los pesticidas; clasificación, necesidad de un manejo integrado y alternativas para reducir su consumo indebido: una revisión. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(2), 14-30. Recuperado de <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>

RESUMEN

Esta revisión está dirigida a aportar elementos teóricos para esclarecer la necesidad de un manejo integrado de pesticidas y aportar alternativas para reducir su consumo indebido. Los neonicotinoides que actualmente son los plaguicidas más empleados debido a que fueron promocionados como sustancias de bajo riesgo, están causando daños a las abejas, lo cual tiene una incidencia en el rendimiento de las cosechas. Incrementan o disminuyen la toxicidad y persistencia de estas sustancias en el ambiente diferentes factores ambientales que hay que considerar en el manejo. Las afectaciones a la salud humana han sido argumentadas y se pudo constatar que afecta a casi la totalidad de los sistemas. Dificultades tecnológicas y de violaciones de las regulaciones establecidas contribuyen a potenciar estos daños. El Manejo Integrado de Plagas surge como la alternativa idónea para mejorar la salud humana y de los ecosistemas.

Palabras clave:

Salud humana, ecosistemas, agroecológica, bio-pesticidas, abejas.

ABSTRACT

This review is aimed at providing theoretical elements to clarify the need for an integrated management of pesticides and provide alternatives to reduce their undue consumption. The neonicotinoids that are currently the most used pesticides because they were promoted as low risk substances are causing damage to bees, which have an impact on the yield of the crops. Increase or decrease in the toxicity and persistence of these substances in the environment different environmental factors that must be considered in the management. The effects on human health have been argued and it was found that it affects almost all systems. Technological difficulties and violations of the established regulations contribute to enhance these damages. Integrated Pest Management emerges as the ideal alternative to improve human health and ecosystems.

Keywords:

Human health, ecosystems, agro-ecological, bio-pesticides, bees.

INTRODUCCIÓN

La Revolución Verde ha provocado un decrecimiento del número de personas con hambre en el mundo (Godfray, et al., 2010). Sin embargo, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2010) aún existen 925 millones de personas malnutrida y el 98% de ellas viven en países en vía de desarrollo. En estos países el rendimiento de las cosechas ha disminuido y se han registrado bajos valores per cápita (Yongbo, et al., 2015), lo cual hace necesario buscar alternativas que incrementen las producciones agrícolas. La tentativa para incrementar sus producciones agrícolas y satisfacer sus demandas ha generado un incremento del uso pesticidas en estos países (Brechelt, 2004). Este incremento se potencializa por las afectaciones de las variables meteorológicas debido al cambio climático.

Los plaguicidas son productos químicos usados para controlar plagas que afectan a los cultivos. En la agricultura convencional juegan un papel clave para alcanzar y mantener niveles altos de productividad y rentabilidad (Villacrés, 2014). De la misma forma que su uso trae beneficios para la agricultura por el incremento en el rendimiento de las cosechas, pueden ser altamente tóxicos para otras formas de vida. Esta toxicidad se potencializa por su alta persistencia en los ambientes donde se aplican (Verma & Bhardwaj, 2015). Un incremento en el uso de estos químicos genera mayores impactos negativos sobre la salud humana y de los ecosistemas, así como la pérdida de los enemigos naturales de las plagas con una mayor resistencia a los pesticidas de mayor uso (Ha, 2014).

Anualmente mueren y se enferman en el mundo debido al envenenamiento causado por residuos de pesticidas, alrededor de un millón de personas (Lorenz, 2006). Existe una preocupación de la comunidad científica sobre el impacto que tienen los pesticidas sobre la disminución de las poblaciones de abejas que a su vez repercute en la polinización de los cultivos (Frazier, et al., 2015), lo cual puede generar una disminución en el rendimiento de los cultivos, afectando la seguridad alimentaria. Esta también se ve afectada por la contaminación de los alimentos en general y de las aguas superficiales y subterráneas (Zhan & Zhang, 2014), incluso se han encontrado concentraciones trazas en áreas lejanas a los sitios de aplicación de pesticidas (Dash, 2015).

El riesgo se incrementa por el escaso desarrollo tecnológico que limita el monitoreo en alimentos, aire, agua, suelo y demás componentes del ecosistema, lo cual desfavorece el reconocimiento de la

urgencia de mejorar el uso y manejo de los pesticidas. Estudios realizados por la Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (Brechelt, 2004), han revelado que el 50% de las intoxicaciones y el 75% de los casos de muerte por pesticidas suceden en países de la región tropical, a pesar de que se aplican solamente el 15% de los pesticidas usados a nivel mundial. Esto indica la necesidad de un manejo integrado de pesticidas para mejorar aspectos relacionados con la salud de los ecosistemas, incluyendo la salud humana. Esta revisión está dirigida a aportar elementos teóricos para esclarecer la necesidad de un manejo integrado de pesticidas y alternativas para reducir su consumo indebido.

DESARROLLO

Las diferentes clasificaciones de los plaguicidas permiten identificar con mayor facilidad los riesgos potenciales que generan. En dependencia de su composición química se clasifican en organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides, glifosato, neonicotinoides, entre otros (Figura 1).



Figura 1. Clasificación de los plaguicidas de acuerdo a su composición química.

Fuente: Gauicha & Bolívar (2015).

Los plaguicidas organoclorados son insecticidas cuya estructura química corresponde, generalmente, a la de hidrocarburos clorados aromáticos (Figura 2), aunque algunos de ellos contienen otros elementos, como oxígeno y azufre. Son químicos estables lo que garantiza su efecto residual y estabilidad en el ambiente, son liposolubles, con una alta neurotoxicidad (Zubero, et al., 2010). Se acumulan en los lípidos de los organismos vivos y poseen una alta residualidad en el suelo; esto hace que lleguen fácilmente a la cadena alimentaria y se biomagnifiquen. Actualmente la mayor parte de estos compuestos están prohibidos debido a su lenta biodegradación y la formación a partir de estos de disolventes clorados y de derivados organoclorados (Ribas, Sunyer, Sala & Grimalt, 2003). Debido a su persistencia y toxicidad se está limitando su producción y consumo.

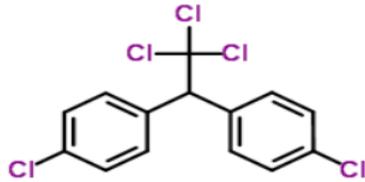


Figura 2. Estructura química de los organoclorados (molécula de DDT).

Fuente: Rocha & García (2008).

Los plaguicidas organofosforados (Figura 3) fueron promocionados como una opción más ecológica que los organoclorados, sin embargo, son más tóxicos para los vertebrados pero menos persistentes en el ambiente que los organoclorados. Se usan principalmente para combatir insectos adultos y parásitos de plantas y animales (Badii & Varela, 2015). Actualmente el glifosato es el producto más utilizado de esta categoría, aunque también pertenecen a este grupo el malatión y el paratión (Nicolopoulou, Maipas, Kotampasi, Stamatis & Hens, 2016). La exposición a este grupo ha sido asociada con efectos en la función de la enzima colinesterasa, decrementos en la producción de la insulina (por ello su relación con enfermedades metabólicas como la diabetes tipo dos y también con efectos genotóxicos. Ocasionando además daños al sistema nervioso y al sistema endocrino (Nicolopoulou, Maipas, Kotampasi, Stamatis & Hens., 2016).

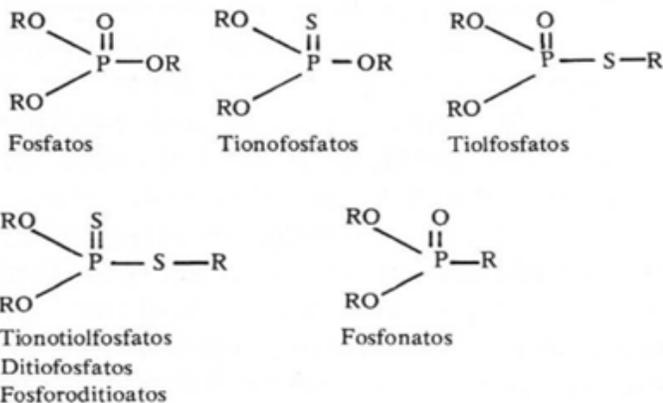


Figura 3. Estructura de compuestos organofosforados.

Fuente: Guerrero & Restrepo (2000).

El Glifosato (Figura 4) se considera un pesticida organofosforado y es un aminofosfonato, ligeramente tóxico y ligeramente persistente (de 14 a 22 días en el medio). Afecta la calidad del agua y a los organismos asociados, modificando con esto la estructura y funcionalidad de los ecosistemas acuáticos, a la vez que se han encontrado efectos adversos en los organismos terrestres (Salazar & Madrid, 2011). El glifosato afecta en particular a las plantas vasculares, específicamente al metabolismo de las auxinas interfiriendo en la síntesis del ácido 3-indolacético,

importante como promotor de crecimiento en las plantas. Por consiguiente, el glifosato afecta a los organismos que posean esta vía metabólica, ya sean blancos o no del herbicida. El glifosato, tiende a acumularse en el suelo, debido a su afinidad con las partículas de tierra, aunque, también muestra pérdidas por lixiviación las cuales posteriormente llegan a los medios acuíferos. Este pesticida tiene la capacidad de localizarse en el tejido vegetal de la raíz, en el suelo y puede movilizarse por competencia con el fósforo, lo cual podría representar una ruta de transferencia adicional del herbicida hacia otras plantas no blanco (Donadío, et al., 2009).

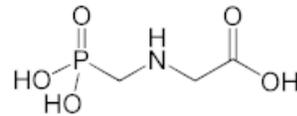


Figura 4. Estructura del Glifosato.

Los plaguicidas carbamatos (Figura 5) son ampliamente utilizados en la agricultura actual y ocasionan una alta contaminación de las aguas subterráneas y superficiales (Hao, Liu, Wang, Wang, Wu & Wang, 2015), al suelo, a las plantas, los alimentos y poseen una alta residualidad en el medio. Además son sustancias orgánicas utilizadas mayormente como fungicidas, que contaminan y tienen efecto principalmente Neurotóxico sobre el hombre (Blanco, Marquina & Castro, 2013). Su descomposición puede tardar entre 4 semanas a varios meses (Soloneski, Kujawski, Scuto & Larramendy, 2015). Estos también son reconocidos por su gran poder biocida e inhiben la actividad de la enzima acetilcolinesterasa (Dhouib, et al., 2016). Actualmente se usan como herbicidas, plaguicidas, bactericidas, y agentes antivirales (Kim & Lee, 2016). Por su alta toxicidad aguda tienen una alta afectación al agricultor.

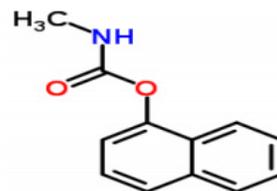


Figura 5. Estructura química de los carbamatos (Carbaril).

Fuente: Rocha & García (2008).

A partir de los años 80, el grupo de los piretroides (Figura 6) ha recibido atención debido a su baja toxicidad para mamíferos, escasa acumulación en el ambiente y útil como alternativa en el combate de plagas agrícolas. Desafortunadamente, a pesar de que sólo se ha autorizado un número reducido de piretroides, ya se han registrado casos de resistencia en campo y laboratorio (Brechelt, 2004). Son compuestos sintetizados a partir de las piretrinas naturales, obtenidas de las flores secas del

crisantemo (*Chrysanthemum cinerariaefolium* y *Chrysanthemum roseum*), estas flores poseen aspecto blanco similar al de un margarita blanca (Nadon, 2015).

Estos son compuestos sintéticos basados estructuralmente de la molécula de piretrina y químicamente se diferencian porque están compuestos por el grupo α -ciano en su molécula (Figura 6). Su acción metabólica consiste en alterar la apertura y cierre de los canales de sodio dentro de la célula nerviosa, dejando al final este canal constantemente abierto, lo que altera la transmisión de señales eléctricas de las células neuronales. Estos compuestos sintéticos se usan comúnmente para el control de insectos vectores de enfermedades debido a su baja toxicidad en los mamíferos (Rinkevich, et al., 2015).

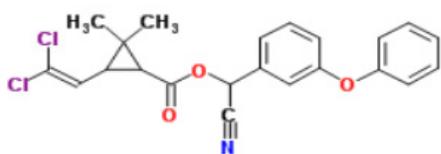


Figura 6. Estructura química de los piretroides (Cipermetrina). Fuente: Rocha & García (2008).

Los Neonicotinoides representan un grupo relativamente nuevo y actualmente son los plaguicidas más empleados debido a que fueron promocionados como sustancias de bajo riesgo, sin embargo,

existe plena evidencia de su relación con el deterioro de las abejas y con posibles efectos al sistema endocrino y reproductor en animales. Son los pesticidas más estudiados con respecto a sus efectos en las abejas y residualidad, especialmente imidacloprid, tiametoxam, y clothianidina, cumafós y Fluvalinato (Benuszak, Laurent & Chauzat, 2017). Estos plaguicidas afectan los comportamientos implicados en búsqueda de alimento de las abejas. Se ha comprobado que el uso de neonicotinoides dificulta el regreso a la colmena en las abejas forrajeras (Fischer, Müller, Spatz, Greggers, Gruenewald & Menzel, 2014). Recientes estudios han demostrado que estos químicos son capaces de incrementar los riesgos de cáncer de mama (Nicolopoulou, Maipas, Kotampasi, Stamatis & Hens, 2016).

Según el organismo a controlar

De acuerdo al organismo a controlar se pueden clasificar en fungicidas (para el control de hongos y mohos), herbicidas (para el control de malezas), insecticidas (para el control de insectos), molusquicidas (para el control de moluscos), rodenticidas (para el control de roedores) y otros que se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de los plaguicidas según el organismo a controlar.

Clasificación	Organismo a Controlar	Tipo	Acción
Bactericida	Bacterias	De contacto	Mata al contacto con la plaga
Defoliante	Follaje	Erradicante	Eficaz después de infección por patógenos
Desecante	Follaje	Fumigante	Entra en las plagas como un gas
Fungicida	Hongos	No selectivos	Tóxico para ambos, cultivos y malezas
Herbicida	Malezas	De post-emergencia	Eficaz cuando se aplica después de la cosecha
Insecticida	Insectos	De Pre-emergencia	Eficaz cuando es aplicado después de la siembra y antes de la cosecha
Acaricida (miticida)	Ácaros y garrapatas	De Pre-siembra	Eficaz cuando es aplicado antes de la siembra
Molusquicida	Babosas y caracoles	Protectores	Eficaz cuando es aplicado antes de que el patógeno infecte a la planta
Nematicida	Nematodos	Selectivos	Tóxico solo para la maleza
Regulador del crecimiento vegetal	Crecimiento de cultivos	Esterilizantes del suelo	Tóxico para toda la vegetación
Rodenticida	Roedores	Veneno estomacal	Mata plagas después de su Ingestión
Conservador de la madera	Organismos destructores de la madera	Sistémicos	Transportado a través de los cultivos o plagas después de su adsorción

Fuente: México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2014).

Según el grado de toxicidad. Normativa Cubana

Todo plaguicida formulado químicamente posee un componente tóxico, este elemento o grupo de elementos es lo que comúnmente se conoce como principio activo y su toxicidad debe ser calculada para poder clasificar al producto. Esta medición es conocida como Dosis Letal 50 (DL50), que es la dosis necesaria para eliminar al 50 % de una población (Aldás, 2012). La Organización Mundial de la Salud (OMS) divide en cinco grupos a los plaguicidas, indicando valores de la DL50 vía oral (probado con ratas) y el color de la etiqueta (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación toxicológica de los plaguicidas.

Según los riesgos	Peligro	DL50 (mg/kg)		Color de la Etiqueta
		Oral	Dermal	
Ia: sumamente peligroso	Muy tóxico	< 5	<50	Roja
Ib: muy peligrosos	Tóxico	5 a 50	50 a 200	Roja
II: moderadamente peligrosos	Nocivo	>50 a 2000	>200 a 2000	Amarilla
III: poco peligrosos	Cuidado	>2000 a 5000	>2000 a 5000	Azul
IV: no ofrecen peligro	Precaución	> a 5000	> a 5000	Verde

Fuente: Argentina. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (2012).

Según el Registro Central de Plaguicidas (2010) en Cuba se utiliza una clasificación parecida a la de la OMS, que establece cuatro categorías según la DL 50 dérmica de los plaguicidas: "A", "B", "C" y "D". Plaguicidas clase "A": son aquellos extremadamente tóxicos, por lo que se evitará todo contacto con la piel, boca o vías respiratorias. Su carga y descarga debe ser preferiblemente mecanizada, sus manipuladores deben usar aditamentos específicos y ropa adecuada para su manipulación y mantener una adecuada higiene personal (el baño y cambio de ropa) al terminar el trabajo (Ej.: ácido cianhídrico, el bromuro de metilo, dibromuro de etilo, acrilonitrilo y monofluoracetato de sodio o 1080, entre otros). Se incluirán en este grupo todos aquellos plaguicidas con una DL 50 dérmica inferior a 100 mg/kg.

Plaguicidas Clase "B": son aquellos cuya incorrecta manipulación, preparación o aplicación puede también producir frecuentes intoxicaciones, por lo que deben utilizarse las mismas precauciones que para los de la clase "A" (Ej.: gusatión, asuntol, heptacloro, baygón, nitrobencono y fluoruro de sodio). Además

se incluirán aquellos otros plaguicidas cuya DL50 dérmica oscile entre 101 y 300 mg/kg.

Plaguicidas Clase "C": son productos de menos toxicidad que los anteriores. Debe tenerse cuidado de no ingerirlos y evitar su contacto con la piel y vías respiratorias. Para su manipulación es necesario el uso de botas, guantes y delantales impermeables, siendo importante también el aseo personal (Ej.: Bi-58 (rogor), toxafeno, nabam, clordano, lindano, BHC, diazinón, pentaclorofenol, oxalato de sodio, entre otros). También se incluyen aquellos plaguicidas cuya DL50 dérmica fluctúa entre 301 y 1 000 mg/kg de peso corporal.

Plaguicidas Clase "D": son aquellos de más baja toxicidad, aunque para su manipulación se recomienda el uso de guantes y buenas normas de higiene personal (Ej.: DDT, aphidán, captán, baftol, ferbán, ziram, maneb, entre otros). También se incluyen los demás plaguicidas cuya DL 50 dérmica sea superior a 1 000 mg/kg de peso.

Según su formulación

Los plaguicidas en forma de vapores, polvo o finas gotas de aspersión pueden fácilmente desplazarse en el lugar de aplicación por aire. Al utilizar bombas a alta presión y boquillas que producen gotas muy finas y dispersas, por lo que se incrementa notablemente la probabilidad de contaminación aérea y por lo tanto el arrastre indeseado del plaguicida fuera del área de aplicación (Jadán, Quirola & Vivanco, 2011).

Cuando se fumiga con estos productos químicos se emanan olores característicos que persisten durante un tiempo y luego se disipan, durante este periodo las partículas líquidas del aceite agrícola y gasificadas de los plaguicidas persistirán poco tiempo en el aire y luego caerán (Párraga & Espinel, 2010).

Las afectaciones que un pesticidas pueda ocasionar al medio ambiente y a la salud humana depende de muchos factores, en primer lugar se incluyen sus características físicoquímicas, las cuales determinan su potencial grado de lixiviación, adsorción, absorción, volatilización, fotodegradación, degradación química y biológica, entre otros. Por esta razón los plaguicidas pueden clasificarse además según la formulación; líquida, sólida o gaseosa, con diversas variantes (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de los pesticidas de acuerdo a su formulación.

Formulación	Variantes	Conceptos
Sólida	Gránulos dispersables	Gránulos que deben ser dispersados en agua y luego aplicados como suspensión
	Gránulos encapsulados	Gránulos que poseen una cobertura de protección para la liberación controlada de la o las sustancias activas
	Polvos Mojables	Polvo que debe ser dispersado en agua, para luego aplicar como suspensión
	Suspensiones encapsuladas	Suspensión estable de cápsulas en un fluido, para ser aplicada en las semillas en forma directa o diluida
Líquida	Emulsiones de aceite en agua	Fluido heterogéneo, que consiste en una solución de plaguicida en un líquido orgánico, disperso en forma de finos glóbulos en una fase continua de agua
	Emulsiones de agua en aceite	Fluido heterogéneo, que consiste en una solución de plaguicida en agua, dispersa en forma de finos glóbulos en una fase continua de líquido orgánico
	Concentrado emulsionable	Líquido homogéneo, que se aplica como emulsión después de ser diluido en agua
Gaseosa	Fumigantes	Gases comprimidos, pastillas o gránulos que al reaccionar con la humedad del ambiente, liberan gases por medio de una reacción química

Tomado de (CASAFE, 2015).

Según su movilidad en las plantas

De acuerdo a su movilidad en las plantas se clasifican en de contacto o sistémico:

De contacto son aquellos que si bien penetran en las células del vegetal, no son transportados por el sistema vascular de la planta, como por ejemplo los herbicidas paraquat y diquat (Mansilla, 2017). Los sistémicos son los que penetran en mayor o menor extensión en los tejidos de la planta y pueden ser transportados por el sistema vascular para ejercer su acción, tales como el 2, 4 D y el glifosato (Zacharia, 2011).

Según su persistencia en el ambiente

Por su persistencia en el ambiente, los plaguicidas se clasifican en permanentes, persistentes, moderadamente persistentes y no persistentes (Tabla 4).

Persistencia	Vida Media	Ejemplos de plaguicidas
No persistentes	0-12 semanas	Malatión, diazinón, carbarilo, diametrin
Moderadamente persistentes	1-18 meses	Paratión, Lannate
Persistentes	Menos de 20 años	DDT, Aldrín, Dieldrín
Permanentes	Más de 20 años	Productos que contienen Mercurio, Plomo, Arsénico.

Tomado de Ramírez & Lacasaña (2001).

Mecanismos que rigen el comportamiento de los plaguicidas en las diversas matrices, según el criterio de la FAO, (2014).

Proceso de hidrólisis química: que tiene lugar por procesos de oxidación, reducción, hidroxilación, desalquilación, rotura de anillos, hidrólisis e hidratación.

Proceso de fotólisis: que se produce por efecto del espectro de luz ultravioleta de la luz solar. Las fuentes de luz y su intensidad regulan el grado de descomposición de un compuesto.

Proceso de biodegradación: la acción de los microorganismos del suelo sobre los plaguicidas es probablemente el mecanismo de descomposición más importante. Dependiendo de la matriz, los microorganismos actuarán de diferente forma.

Proceso de sorción: es la capacidad que tiene una matriz de inmovilizar un plaguicida u otra molécula orgánica y de prevenir el movimiento de dicha molécula hacia el exterior de esta.

Proceso de volatilización: es la pérdida del compuesto en forma de vapor. Todas las sustancias orgánicas son volátiles en algún grado dependiendo de su presión de vapor, del estado físico en que se encuentre y de la temperatura ambiente.

Proceso de dilución: el transporte de un plaguicida en la matriz; por disolución o arrastre mecánico, se hace bajo la influencia del agua.

Necesidad de un manejo integral de pesticidas

Generalidades

Los plaguicidas son considerados como agentes contaminantes del ambiente debido a su toxicidad,

estabilidad, persistencia y su capacidad de bioacumulación en la cadena trófica. Estas propiedades dan lugar a que se genere contaminación en el agua, suelo y aire, así como efectos secundarios en diversos sistemas biológicos (plantas, animales y humanos). Los residuos de estos compuestos pueden llegar a zonas alejadas del área de aplicación arrastrados por el viento, por cursos de aguas continentales o de corrientes marinas y a través de la cadena trófica (Pérez, 2009).

Existe una estrecha relación de la epidemiología de las enfermedades de las plantas con las condiciones meteorológicas presentes, fundamentalmente, la temperatura, la humedad relativa y las precipitaciones. Todas estas variables meteorológicas se ven afectadas por el cambio climático (Castellanos, 2013). Tanto el incremento de las producciones como el cambio climático, potencializan el consumo de pesticidas y con ello el riesgo de las enfermedades humanas. Las Naciones Unidas reportaron que entre el 2005 y 2020 por concepto de enfermedades y daños por pesticidas, en África subsahariana el gasto incurrido puede alcanzar 90 billones de USD (Kathleen, Lewis, Tzilivakis, Warner & Green, 2016), lo cual revela la necesidad de aplicar alternativas de manejo. Se reconoce que en estos países el descontrol que existe implica una mayor número de personas expuestas a un mayor riesgo (Zhang, Jiang & Ou, 2011).

En muchos países en vías de desarrollo la responsabilidad para el control frecuentemente la realiza el Ministerio de la Agricultura, porque generalmente el conocimiento sobre el tema es insuficiente en otros Ministerios. Sin embargo, esta responsabilidad debía ser asumida por los Ministerios de Salud y Medio Ambiente. Además estos países debían tener registros adecuados a sus propias necesidades, por ejemplo un etiquetado informativo y de fácil interpretación. Esta información no es suficiente y hace necesario agregar otras porque en ocasiones ni los mismos profesionales de la actividad lo entienden. Por ejemplo, se han reportado daños a la salud humana y al ambiente, fundamentalmente en países en vía de desarrollo, debido al sobre uso de pesticida por la escasa información de los que lo manipulan (Ha, 2014). Tanto el incremento de las producciones y el consumo pesticidas, así como los aspectos relacionado con su manejo ha generado que el marco legal que rige el manejo de pesticidas tenga un cambio significativo en los últimos 25 años (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Who, 2015).

La propia legislación debe establecer jerarquía de control y monitoreo en todo el proceso de manejo, así como en el uso de protección para los propios trabajadores y así poder minimizar los riesgos. Con frecuencia las personas que comercializan los pesticidas no tienen una asesoría técnica al respecto para el control y evaluación de las aplicaciones y en ocasiones se realizan con limitantes técnicos que impactan en el ecosistema y en la salud de quienes laboran en el campo, así como los consumidores de alimentos contaminados. Los problemas se agravan en países donde no existe una vigilancia estricta de las leyes y la falta de información general entre autoridades y usuarios. Resulta usual que las personas que aplican los pesticidas no dispongan de equipo de protección y tampoco del conocimiento que le permita reconocer el riesgo de exposición (Badii & Varela, 2015). La capacitación a autoridades, técnicos, obreros y productores y el grado de implementación de las buenas prácticas aprendidas, así como la percepción del riesgo de lo que representa la exposición a pesticidas tienen un marcado impacto sobre la mitigación de los efectos negativos.

También hay que considerar las condiciones ambientales del lugar de aplicación que incluye características del suelo (contenido de materia orgánica, pH, humedad, actividad microbiana, entre otros), temperatura del aire, dirección y velocidad del viento. Otros factores a considerar son las prácticas usadas (uso de procedimientos para la aplicación y de equipos que mitiguen los efectos negativos, medios de protección, entre otros) (Kathleen, et al., 2016).

El destino de un plaguicida en el ambiente edáfico está gobernado por los procesos de retención, transporte, degradación y la interacción entre ellos. Estos procesos son en parte, responsables de la disminución de la cantidad original aplicada de plaguicida. La predominancia de un proceso sobre otro va a depender de las propiedades físico-químicas de los plaguicidas y de las características del suelo. Una vez que ingresa al ambiente edáfico, el plaguicida se reparte entre las fases líquidas (que puede ser transportado por el agua hacia horizontes más profundos, hasta llegar al agua subterránea. A su vez queda disponible para ser transformado química, física o microbiológicamente a otros compuestos). También pueden lixiviarse y migrar transportados por el agua, en un proceso conocido como erosión hídrica, o transportados por el aire, proceso conocido como erosión eólica) y gaseosa (es incorporado a la atmósfera al volatilizarse desde el suelo o desde el agua). (Aparicio, De Gerónimo, Hernández, Pérez, Portocarrero & Vidal, 2015).

Aunque el suelo agrícola es el receptor inicial de los plaguicidas aplicados en el ambiente, los cuerpos de agua adyacentes a las áreas agrícolas suelen ser el receptor final (Damalas & Eleftherohorinos, 2011). Estos pueden llegar al agua superficial mediante diferentes rutas de emisión, como deriva (por el viento) y escorrentía (arrastre por lluvia) hacia los cuerpos de agua superficial cercana, igualmente por descargas de aguas residuales contaminadas provenientes de plantas formuladoras, de plantas empacadoras, de sitios en el campo donde se preparan las mezclas de aplicación o donde se lavan los equipos (Ruepert, Ramírez, Van Wendel, Bravo & de la Cruz, 2012). Estas impurezas pueden llegar al hombre no solo a través del agua potable, también de forma indirecta a través de la cadena biológica de los alimentos.

Estas sustancias químicas pueden ser resistentes a la degradación, y en consecuencia, persistir por largos períodos de tiempo en las aguas subterráneas y superficiales. En las aguas se encuentran seres vivos (ostiones, almejas, etc.), que se alimentan por filtrado del agua, de la que retienen las partículas orgánicas aprovechables. Si hay residuos de un plaguicida orgánico, esta capacidad de filtración hace que vayan acumulando el tóxico, llegando a concentraciones miles de veces mayores que las del agua; por lo que aparecerán residuos en estos seres vivos aunque no sean detectables en el medio circundante. Cuando las ostras u otros organismos similares son presa de otros más voraces, se acumula en estos últimos más cantidad del plaguicida, y la escalada prosigue a través de seres inferiores, moluscos, peces, aves, etc., hasta alcanzar niveles peligrosos para ciertas especies (Del Puerto, Suárez & Palacio, 2014). En los anfibios, comprobaron que los agroquímicos podían generar su muerte, debido a la intoxicación por contacto directo a estos y efectos sub-letales como la reducción del crecimiento y el aumento de la susceptibilidad de contraer enfermedades, que pueden perturbar su supervivencia, porque reducen la capacidad de defenderse de sus depredadores (Baker, Bancroft & García, 2013).

Muchos de los plaguicidas que llegan al suelo no pueden ser biodegradados y persisten en el mismo por muchos años. Estos al ponerse en contacto con el suelo son perjudiciales para insectos benéficos y organismos del suelo, se pueden vaporizar hacia la atmósfera, ser lavados hacia las aguas superficiales y subterráneas, pueden ser adsorbidos por el humus o por las partículas de arcilla o pueden ser absorbidos por las plantas. Pero todo esto depende de la persistencia en el ambiente, el grado

de toxicidad, la composición química del plaguicida y la capacidad de carga del suelo (Crosara, 2012).

Los plaguicidas disminuyen la actividad de enzimas del suelo e influyen en la mayoría de las reacciones bioquímicas, entre ellas: la mineralización de la materia orgánica, la nitrificación, la denitrificación, la amonificación, las reacciones redox, y la metanogénesis. Dependiendo del ingrediente activo del agroquímico empleado para el control de plagas, puede afectar significativamente a los microorganismos del suelo porque no tienen la capacidad de metabolizar estas sustancias, contribuyendo a su degradación debido a que el suelo, es un sistema dinámico que está compuesto de una gran variedad de microorganismos, que tienen la función de mantener en equilibrio este ecosistema (Rojas & Bedoya, 2013).

Efectos de los pesticidas sobre la salud humana

El riesgo a la salud humana por pesticidas se genera fundamentalmente de dos formas; por la exposición ocupacional durante la producción y aplicación de pesticidas y por la interacción humana con los ecosistemas afectados. Grandes cantidades de pesticidas se dispersan lejos del punto de aplicación y llegan al suelo, aire, agua, alimento y otros sistemas. La ingestión y contacto de agua, aire y alimentos contaminados, así como la concentración biológica a través de la cadena alimentaria pueden promover afectaciones a varias formas de vida (Nigg, et al., 1990). A pesar de que los plaguicidas están sometidos a un proceso regulatorio estricto, con el fin de minimizar el impacto en la salud humana y el ambiente, se ha incrementado la preocupación respecto a los riesgos asociados a la salud. En especial los relacionados con la exposición ocupacional, en la que son afectados los trabajadores agrícolas, los de la industria química y toda persona que mezcla, carga, transporta y aplica plaguicidas formulados (Damalas & Eleftherohorinos, 2011).

Anualmente ocurren alrededor de todo el mundo 200 000 muertes por envenenamiento con pesticidas organofosforados (Sogorb, Vilanova & Carrera, 2004). Cada vez es más evidente que personas sometidas a la exposición de plaguicidas son vinculados con enfermedades como el cáncer, Parkinson, Alzheimer, esclerosis múltiple, diabetes tipo dos, envejecimiento prematuro, enfermedades crónicas cardiovasculares, enfermedades renales (Mostafalou & Abdollahi, 2013). Otros se asocian con afecciones a los sistemas endocrino, inmunológico, reproductivo, nervioso, gastrointestinal (Verma & Bhardwaj, 2015), entre otros. El sistema nervioso es vulnerable a muchos pesticidas, de diferentes estructuras químicas. Estudios recientes han encontrado asociación

entre la exposición a bajas dosis de organofosforados y afectaciones del sistema sicomotor (Ross, Mc Manus & Harrison, 2013). También efectos sobre el neurodesarrollo de niños expuestos durante la etapa prenatal y la infancia a organofosforados (Muñoz, Lucero & Barr, 2013).

Se incluyen entre los efectos nocivos las depresiones fuertes que derivan en suicidios (Freire & Koifman, 2013), enfermedades respiratorias (Hoppin, Umbach & Long, 2014), pérdida de la audición (Kos, Hoshino & Asmus, 2013), infertilidad en hombres y mujeres, malformaciones en niños y una elevada incidencia de muerte fetal en territorios con uso intensivo de plaguicidas (Clementi, et al., 2008). Estas enfermedades son de progresión lenta y el desarrollo depende de factores como la forma y tiempo de exposición a los plaguicidas y condiciones específicas de los sujetos como la edad, el sexo, la susceptibilidad individual, cantidad, duración de la exposición y el contacto con otros productos cancerígenos (Mostafalou & Abdollahi, 2013). Otros estudios (Ortega, Yezioro, Benavides & Báez, 2017) han encontrado una asociación entre la exposición a pesticidas durante el período periconcepcional, y mayor riesgo de malformaciones congénitas como labio y/o paladar hendido, defectos cardíacos y de los sistemas gastrointestinal, genitourinario y nervioso central en los hijos de los padres expuestos.

Al comparar la vulnerabilidad de los hombres y mujeres a la exposición de plaguicidas, las últimas tienen mayor desventaja, ya que sus cuerpos actúan como un bioacumulador de plaguicidas sobre todo en los tejidos adiposos, que alteran su funcionamiento normal. Estos pueden ocasionarles enfermedades como cáncer de mama, abortos y partos prematuros. Además a través de la leche materna es posible afectar a los infantes (Montiel & Neira, 2014).

Transporte, almacenamiento y uso de pesticidas

El transporte, almacenamiento y uso de pesticidas son aspectos a considerar para disminuir su impacto ambiental y sobre la salud humana. La guía sobre la legislación de plaguicidas desarrollada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2017), establece los requisitos a considerar en relación al transporte, almacenamiento y uso de plaguicidas:

Transporte

El transporte de plaguicidas y sus desechos podría estar regulado por la legislación sobre plaguicidas o en otras legislaciones nacionales que abordan el transporte de sustancias peligrosas. La legislación debe establecer requisitos para vehículos y

contenedores utilizados para el transporte de plaguicidas. También debe estipular que los plaguicidas no se transporten en los mismos vehículos junto a pasajeros, animales, alimentos u otros artículos destinados al consumo humano. Establece que cuando el transporte conjunto sea inevitable, los plaguicidas deberán estar adecuadamente separados físicamente sin riesgo de contaminación de los otros productos.

Los vehículos que transportan grandes cantidades deben tener los rótulos de peligro necesarios y deben llevar hojas de datos de seguridad del material u hojas de datos de seguridad para el producto en cuestión. La legislación también debe abordar los procedimientos aplicables cuando hay un accidente o derrame de pesticida durante el transporte.

Almacenamiento

El almacenamiento de plaguicidas está regulado tanto por la legislación sobre plaguicidas como por otros instrumentos legales que abordan el almacenamiento de sustancias peligrosas o actividades nocivas o conforme a la legislación sobre productos químicos.

Los almacenes deben incluir una separación completa de los plaguicidas almacenados o exhibidos de los productos alimenticios u otros bienes fungibles; ventilación adecuada; pisos impermeables; protección adecuada contra el acceso no autorizado; disponibilidad en el lugar de los materiales y equipos necesarios para hacer frente a fugas y otras emergencias. Se pueden establecer requisitos adicionales para el almacenamiento de plaguicidas por encima de ciertas cantidades o para una categoría específica de tiendas o productos. Tal disposición puede requerir medidas de seguridad adicionales y plantear restricciones en la ubicación de las tiendas con el fin de minimizar el riesgo.

Uso

Si bien el sistema de registro identifica qué plaguicidas están permitidos en el país, las disposiciones de uso dictan cómo se pueden usar los plaguicidas registrados. Estos son esenciales porque incluso los plaguicidas aprobados, cuando se usan de forma inadecuada, pueden representar serias amenazas para la salud humana y el medio ambiente.

Para reducir los riesgos para el medio ambiente y la salud humana, la ley sobre plaguicidas rige que:

- Se requieren el uso de equipo de protección prescrito.
- Se impide el uso de un pesticida para un propósito, o de una manera, que no sea la prescrita en la etiqueta

o contraria a cualquier condición asociada al registro del producto.

- Se exige que el equipo de aplicación se limpie de manera adecuada que no represente riesgos para la salud o el medio ambiente.
- Se exige que las vasijas vacías y el producto sobrante se eliminen o, cuando corresponda, se reciclen, de la forma prescrita por la legislación.
- Prohibir a los empleadores reclutar niños, mujeres embarazadas u otras personas vulnerables para aplicar plaguicidas que puedan representar un riesgo inaceptable para su salud.
- Prohibir a los empleadores exigir a los empleados que utilicen un pesticida para cualquier fin, o de cualquier manera, que no esté aprobado por la legislación.
- Exigir a los empleadores que proporcionen la capacitación necesaria y el equipo de protección personal adecuado a los empleados que manejan plaguicidas.
- Requieren que los empleadores proporcionen evaluaciones de salud periódicas de los empleados involucrados en el manejo y uso de plaguicidas con el fin de identificar, evaluar y tratar cualquier enfermedad o lesión relacionada con plaguicidas.

La legislación sobre plaguicidas proporciona restricciones de uso relacionadas con la reducción del riesgo ambiental, como el uso de zonas de amortiguamiento, restricciones a la aplicación aérea, instrucciones de uso específico o restricciones para ciertos grupos de plaguicidas.

La legislación sobre plaguicidas establece que los plaguicidas deberían utilizarse en la medida de lo posible dentro del contexto del Manejo Integrado de Plagas (MIP) y designar a la autoridad encargada de proporcionar asesoramiento y educación a los agricultores para mejorar la adopción del MIP. Otra preocupación es la prevención del desarrollo de la resistencia a los plaguicidas.

El Código de Conducta estipula que los gobiernos también deben regular los tipos de equipos de aplicación de plaguicidas y equipos de protección personal vendidos en el mercado para garantizar que se ajusten a las normas establecidas. La guía sobre la regulación del equipo de aplicación se proporciona mediante un conjunto específico de directrices de la FAO relacionadas con pruebas, certificación y requisitos mínimos para equipos de aplicación de plaguicidas agrícolas.

En general, los gobiernos deberían monitorear de cerca la protección de los trabajadores expuestos a productos plaguicidas. Debería establecer una jerarquía de controles para monitorear y reducir los riesgos para los trabajadores, particularmente en los países en desarrollo donde sea apropiado el

personal de protección el equipo puede no estar suficientemente disponible para proteger a los trabajadores de la exposición a peligros para la salud. Tal jerarquía de control puede especificar las responsabilidades de los empleadores, el gobierno local y el gobierno nacional en la protección de los trabajadores. Los trabajadores involucrados en la aplicación diaria de plaguicidas deben estar obligados a someterse a evaluaciones de riesgos- vigilancia de la salud.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2012) los implementos a utilizar para la protección del hombre durante la aplicación de plaguicidas son:

- El Overol manga larga (traje impermeable) evita que la ropa se moje con el plaguicida y luego sea absorbido por la piel.
- Las botas evitan que las piernas y pies se mojen con el plaguicida y luego sea absorbido por la piel; el overol manga larga debe ser introducido en las botas para una mayor protección de la piel.
- Los guantes evitan que el plaguicida entre al cuerpo al ser absorbido por la piel, protegiéndola de los efectos producido por el químico. Los guantes de mejor protección son los de nitrilo ya que estos no se dañan con químicos corrosivos, además de que son más duraderos y resistentes que los guantes comunes.
- La mascarilla evita la inhalación de los plaguicidas mientras se los está preparando y aplicando.
- Las gafas evitan que los ojos entren en contacto con los vapores de los plaguicidas.
- El equipo de protección personal debe estar limpio y en buenas condiciones, para ello el overol, botas y guantes debe lavarse con agua y jabón, utilizando guantes impermeables que al igual deben ser lavados al final. Las caretas con respirador o mascarillas y gafas deben ser limpiadas y luego desinfectadas con alcohol.

Alternativas para reducir el uso de los plaguicidas

El uso de nuevas prácticas para el control y eliminación de plagas, malezas, entre otros. Se ha ido incrementando, aunque en algunos casos el uso de estos no sea 100% efectivo, para reducir el uso de plaguicidas tenemos la utilización del manejo integrado de plagas, el manejo ecológico de plagas, los bioplaguicidas, los plaguicidas botánicos y el control biológico (Del Puerto, Suárez & Palacio, 2014).

Manejo integrado de plagas

El término Manejo Integrado de Plagas (MIP) fue oficialmente aceptado por la comunidad científica en 1972 (Kogan, 1998). Tiene su origen en la propia resistencia de las plagas debido al uso intensivo

de pesticidas sintéticos y requiere estudios multidisciplinarios que contribuyan al desarrollo de su propia filosofía (Ha, 2014). Este autor refiere que como resultado de los efectos provocados por el uso de pesticidas desde los años cuarenta el mundo ha experimentado una marcada contaminación ambiental, con una pérdida de la biodiversidad y afectaciones a la salud humana. Todos estos factores han sido los que han impulsado a la comunidad científica a promotores de la filosofía del MIP.

Según esta filosofía la intervención en los niveles nacional e internacional está dirigida a reducir el uso de químicos sintéticos y promover nuevas estrategias para la protección de plantas. Constituye una metodología que emplea todos los procedimientos aceptables desde el punto económico, ecológico y toxicológico para mantener las poblaciones de organismos nocivos por debajo del umbral económico, aprovechando, en la mayor medida posible, los factores naturales que limitan la propagación de dichos organismos. De acuerdo a esta definición, el objetivo del MIP es minimizar el uso de productos químicos y dar prioridad a técnicas de cultivo, medidas biológicas, biotécnicas, de fitomejoramiento (Brechelt, 2004), divulgación de los daños por pesticidas, promoción de la legislación, reducción de los incentivos por los químicos, cooperación internacional en acciones de protección ambiental (Han, 2014), entre otros.

El MIP incorpora diferentes estrategias y prácticas de control para limitar el daño de los insectos de la forma más económica posible, al mismo tiempo que preserva la inocuidad y minimiza el impacto ambiental donde los productos naturales juegan un rol importante en la persecución de este objetivo (Abadía & Bartosik, 2014). Otros, consideran al MIP como una aproximación holística que visualiza al agroecosistema como un todo interrelacionado e incluye aspectos físicos, biológicos, genéticos, entre otros y mantienen las plagas por debajo del umbral de afectación mediante técnicas agroecológicas (Bon, Huat, Parrot, Sinzogan & Martin, 2014). Estos autores destacan la hipótesis de que el incremento de la biodiversidad en el agroecosistema, favorece los mecanismos de regulación ecológica y reduce la necesidad del uso de químicos, garantiza los rendimientos, reduce los costos, contribuye a una agricultura sostenible y es una práctica amigable con el medio ambiente.

El Manejo Ecológico de Plagas (MEP) representa, la alternativa más esperanzadora ante el peligroso uso de sustancias químicas tóxicas con el fin de controlar las densidades poblacionales de fitófagos y fitopatógenos en la agricultura. En este sentido, es

innegable el vertiginoso avance que ha experimentado el MEP tanto en su aplicación práctica, como en la consolidación de sus bases teóricas (Griffon & Hernández, 2017).

El uso de bioplaguicidas

Los bioplaguicidas son derivados de materiales naturales como animales, plantas, microorganismos y minerales. Son altamente específicos contra las plagas y generalmente representan poco o ningún riesgo para las personas o el medio ambiente (Nava, García, Camacho & Vázquez, 2012). Estos son eficaces en el control de plagas agrícolas, sin daños graves al ambiente o empeorar su contaminación. La aplicación y práctica en el campo se enfocan a mitigar la contaminación ambiental causada por residuos de plaguicidas químicos, aunque por su naturaleza biológica también promueven el desarrollo sustentable de la agricultura. El desarrollo de nuevos bioplaguicidas estimula la modernización de la agricultura y pueden reemplazar gradualmente a una cantidad de los plaguicidas químicos. En la producción agrícola, en ambientes libres de contaminación, los bioplaguicidas son sustitutos ideales para sus homólogos químicos tradicionales (Leng, Zhang, Pan & Zhao, 2011).

Los plaguicidas botánicos derivan de ciertas partes o compuestos activos de las plantas (Nava, García, Camacho & Vázquez, 2012), siendo una opción para el control de agentes fúngicos o regular el desarrollo de fitopatógenos (Moo, Cristóbal, Reyes, Tun, Sandoval & Ramírez, 2014). Diversos extractos se pueden obtener de especies vegetales contienen diferentes compuestos como taninos, fenoles, flavonoides, lignanos, terpenos, que podrían ser la base bioactiva de sus propiedades (García, Ramos, Sanchis & Marín, 2012). El uso de plaguicidas botánicos en la agricultura es un método alternativo para el control de enfermedades fúngicas, reduciendo el uso de fungicidas sintéticos (De Rodríguez et al., 2015). Estos compuestos presentan ciertas ventajas como ser degradables, causar mínimo impacto al ser humano y el medio ambiente (Villa, Pérez, Morales, Basurto, Soto & Martínez, 2015).

Consideraciones finales

El manejo de pesticida se ha convertido en un tema polémico; por una parte el crecimiento de la población y la demanda cada vez mayor de alimentos, por otro lado la degradación ambiental que limita la producción de alimentos. En este sentido se incluye la pérdida de la calidad del suelo, del agua y del aire, la ocurrencia de períodos de intensa sequía que disminuye los rendimientos de las cosechas. De

la misma forma las lluvias intensas que erosionan el suelo y llevan a los cursos de agua cantidades de tierra fértil que allí se convierten en afectaciones a la calidad del agua.

Unido a la degradación ambiental están las afectaciones del cambio climático que llevan consigo el aumento de la aparición de plagas y con ello la necesidad de su control. Como salida a todo esto está el incremento del uso de pesticidas para resolver el acuciante problema de la alimentación humana. Esto a su vez genera el incremento de la degradación ambiental (deterioro de la calidad del suelo, agua y aire), sin dejar de mencionar el deterioro de la salud humana y así ocurre un ciclo que compromete cada vez más la sobrevivencia del hombre.

Por todo lo antes expuesto no queda otra alternativa que la implementación de un manejo integrado de pesticidas, sustentado en prácticas agroecológicas que incluya el uso de bioplaguicidas para tratar de minimizar los impactos ambientales.

CONCLUSIONES

El manejo integrado de pesticida constituye una necesidad para mejorar la salud humana y de los ecosistemas. Estas sustancias químicas tienen una elevada toxicidad y persistencia en el ambiente, como por ejemplo los organoclorados. Los organofosforados a pesar que fueron promocionados como una opción más ecológica son más tóxicos para los vertebrados. Los Neonicotinoides que actualmente son los plaguicidas más empleados debido a que fueron promocionados como sustancias de bajo riesgo están causando daños a las abejas, lo cual tiene una incidencia en el rendimiento de las cosechas. Incrementan o disminuyen la toxicidad y persistencia de estas sustancias en el ambiente diferentes factores ambientales que hay que considerar en el manejo.

Las afectaciones a la salud humana han sido argumentadas y se pudo constatar que afecta a casi la totalidad de los sistemas biológicos. Dificultades tecnológicas y de violaciones de las regulaciones establecidas contribuyen a potenciar estos daños. El Manejo Integrado de Plagas surge como la alternativa idónea para mejorar la salud humana y de los ecosistemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abadía, B., & Bartosik, R. (2014). Manual de buenas prácticas en poscosecha de granos. Hacia el agregado de valor en origen de la producción primaria (pp. 95-142). Argentina: Proyecto de Eficiencia Poscosecha. La Habana: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Aldás, M. (2012). Uso de insecticidas en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), por los socios de la corporación de asociaciones agropecuarias del Cantón Quero «COAGRO-Q». Tungurahua: Universidad Técnica de Ambato.

Aparicio, V., De Gerónimo, E., Hernández, K., Pérez, D., Portocarrero, R., & Vidal, C. (2015). Los plaguicidas agregados al suelo y su destino en el ambiente. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Argentina. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. (2012). Clasificación toxicológica según riesgos y valores de DL50 aguda de productos formulados. Buenos Aires: SENASA.

Badii, M. H., & Varela, S. (2015). Insecticidas organofosforados: efectos sobre la salud y el ambiente, 5(28). CULCyT. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2881125.pdf>

Baker, N. J., Bancroft, B. A., & García, T. S. (2013). A meta-analysis of the effects of pesticides and fertilizers on survival and growth of amphibians. *Science of the total environment*, 449, 150-156. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23422494>

Benuszak, J., Laurent, M., & Chauzat, M. P. (2017). The exposure of honey bees (*Apis mellifera*; Hymenoptera: Apidae) to pesticides: Room for improvement in research. *Science of The Total Environment*, 1 (587-588), 423-438. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28256316>

Blanco, L., Marquina, M. E., & Castro, Y. (2013). Respuestas a la aplicación de carbamatos en dos aislados Rizobianos provenientes de Mucuchíes, estado Mérida, Venezuela. *Bioagro*, 25(2), 117-128. Recuperado de <http://www.scielo.org.ve/pdf/ba/v25n2/art05.pdf>

Bon, H., Huat, J., Parrot, L., Sinzogan, A., & Martin, T. (2014). Pesticide risks from fruit and vegetable pest management by small farmers in sub-Saharan Africa. *Agronomy for Sustainable Development*, 34 (4), 723-736. Recuperado de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01234836/document>

Brechelt, A. (2004). Manejo Ecológico de Plagas y Enfermedades. Santiago de Chile: Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina.

CASAFE. (2015). Guía de Productos Fitosanitarios. Productos de la A-Z. Buenos Aires: CASAFE.

Clementi, M., Tiboni, G. M., Causin, R., La Rocca, C., Maranghi, F., Raffagnato, F., & Tenconi, R. (2008). Pesticides and fertility: An epidemiological study in Northeast Italy and review of the literature. *Reproductive toxicology*, 26(1), 13-18. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18599266>

- Crosara, A. (2012). El suelo y los problemas ambientales. Recuperado de <http://edafologia.fcien.edu.uy>
- Damalas, C. A., & Eleftherohorinos, I. G. (2011). Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *International journal of environmental research and public health*, 8(5), 1402-1419. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21655127>
- Dash, S. (2015). Environmental pollution and its disastrous effect: a review. *International Journal of Recent Scientific Researc*, 6(2), 2554-2560.
- De Rodríguez, D. J., Trejo, F. A., Rodríguez, R., Díaz, M. L., Sáenz, A., Hernández, F. D., & Peña, F. M. (2015). Antifungal activity in vitro of *Rhus muelleri* against *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*. *Industrial Crops and Products*, 75, 150-158. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/323491809_Antifungal_effects_of_Rhus_coriaria_L_fruit_extract_against_tomato_anthrachnose_caused_by_Colletotrichum_acutatum
- Del Puerto, A. M., Suárez, S., & Palacio, D. E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372-387. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1561-30032014000300010&script=sci_abstract
- Dhouib, I. B., Annabi, A., Jallouli, M., Marzouki, S., Gharbi, N., Elfazaa, S., & Lasram, M. M. (2016). Carbamates pesticides induced immunotoxicity and carcinogenicity in human: A review. *Journal of Applied Biomedicine*, 14(2), 9448-9458. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26988364>
- Donadío, M. C., García, S. I., Ghera, C. M., Haas, A. I., Larripa, I., Marra, C. A., & Ricca, A. (2016). Evaluación de la Información Científica vinculada al glifosato en su incidencia sobre la salud humana y el ambiente. Buenos Aires: CONICET.
- Fischer, J., Müller, T., Spatz, A. K., Greggers, U., Grunewald, B., & Menzel, R. (2014). Neonicotinoids interfere with specific components of navigation in honeybees. *PLoS One*, 9(3). Recuperado de <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0091364>
- Frazier, M. T., et al. (2015). Assessing Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Foraging Populations and the Potential Impact of Pesticides on Eight US Crops. *J Econ Entomol*, 108(5), 2141-2152. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26453703>
- Freire, C., & Koifman, S. (2013). Pesticides, depression and suicide: a systematic review of the epidemiological evidence. *International journal of hygiene and environmental health*, 216(4), 445-460. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23422404>
- García, D., Ramos, A. J., Sanchis, V., & Marín, S. (2012). Effect of *Equisetum arvense* and *Stevia rebaudiana* extracts on growth and mycotoxin production by *Aspergillus flavus* and *Fusarium verticillioides* in maize seeds as affected by water activity. *International Journal of Food Microbiology*, 153(1-2), 21-27. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22104120>
- Gauicha, J., & Bolívar, E. (2015). *Contaminación ambiental por agroquímicos, formas de exposición e impactos en la salud de la población de la parroquia Sabanilla del cantón Celica*. Tesis de Maestría. Loja: Universidad Técnica de Loja.
- Godfray, H. C., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327, 812-818. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20110467>
- Griffon, D., & Hernández, M. J. (2017). Los ecosistemas no bailan sobre la punta de un alfiler: consecuencias del espacio en el manejo ecológico de plagas. *Agroecología*, 9, 67-78. Recuperado de <http://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300631>
- Guerrer, E., & Restrepo, M. (2000). Los plaguicidas organofosforados revision de sus aspectos médicos. *Acta Médica Colombiana*. Recuperado de <http://www.acta-medicacolombiana.com/anexo/articulos/01-1979-04.htm>
- Ha, T. M. (2014). A review on the Development of Integrated Pest Management and Its Integration in Modern Agriculture. *Asian Journal of Agriculture and Food Science*, 2(4), 336-340. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/281052725_Developing_an_Integrated_Pest_Management_Program_for_Tomatoes_in_The_Red_River_Delta_of_Vietnam_A_mini_review
- Hao, L., Liu, X., Wang, J., Wang, C., Wu, Q., & Wang, Z. (2015). Use of ZIF-8-derived nanoporous carbon as the adsorbent for the solid phase extraction of carbamate pesticides prior to high-performance liquid chromatographic analysis. *Talanta*, 142:104-109. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26003698>
- Hoppin, J., Umbach, D. M., & Long, S. (2014). Respiratory disease in United States farmers. *Occup Environ Med*, 71(), 484-91. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24913223>
- Jadán, R., Quirola, A., & Vivanco, M. (2011). *Impacto producido en la salud humana por el manejo de plaguicidas en el sector agrícola «La Primavera» del Cantón Machala – Provincia El Oro – Año 2010-2011*. Machala: Universidad Técnica de Machala.

- Kathleen, A., Lewis, J., Tzilivakis, D., Warner, J., & Green, A. (2016). An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22(4), 1050-1064. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10807039.2015.1133242>
- Kim, H. K., & Lee, A. (2016). *One-pot synthesis of carbamates and thiocarbamates from Boc-protected amines. Tetrahedron letters*, 57(44). Recuperado de <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jo500492x>
- Kogan, M. (1998). Integrated pest management: Historical perspectives and contemporary developments. *Annual Review of Entomology*, 43, 243-270. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9444752>
- Kos, M. I., Hoshino, A. C., & Asmus, C. I. (2013). Peripheral and central auditory effects of pesticide exposure: a systematic review. *Cadenos Saude Publica*, 29(8), 1491-506. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/256449522_Peripheral_and_central_auditory_effects_of_pesticide_exposure_A_systematic_review
- Leng, P., Zhang, Z., Pan, G., & Zhao, M. (2011). Applications and development trends in biopesticides. *African Journal of Biotechnology*, 10(86), 19864-19873. Recuperado de <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/99172>
- Lorenz, E. S. (2006). *Pesticide safety fact sheet*. Pennsylvania: Pennsylvania State University.
- Mansilla, C. (2017). *Impacto ambiental de la aplicación de plaguicidas en siete modelos socio-productivos hortícolas del Cinturón Verde de Mendoza* (Tesis de grado). Mendoza: Universidad Nacional de Cuyo.
- México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2014). Plaguicidas. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Recuperado de <http://www.inecc.gob.mx/sqre-temas/768-sqre-plaguicidas>
- Montiel, M., & Neira, D. (2014). *Alimentación, agroecología y feminismo: Superando los tres sesgos de la mirada occidental* (1ra ed.). Barcelona: Icaria.
- Moo, F. A., Cristóbal, J., Reyes, A., Tun, J. M., Sandoval, R., & Ramírez, J. A. (2014). Actividad in vitro del extracto acuoso del *Bonellia flammaea* contra hongos fitopatógenos. *Agrociencia*, 48(8). Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952014000800006
- Mostafalou, S., & Abdollahi, M. (2013). Pesticides and human chronic diseases: evidences, mechanisms, and perspectives. *Toxicology and applied pharmacology*, 268(2), 157-177. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23402800>
- Muñoz, M. T., Lucero, B. A., & Barr, D. B. (2013). The effect of neurodevelopmental effects in children associated with exposure to organophosphate pesticides: a systematic review. *Neurotoxicology*, 39,158-68. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24121005>
- Nadon, N. (2015). *Neurotoxicidad de insecticidas piretroides. Evaluación del riesgo*. Madrid, España: Real Academia de Doctores de España.
- Nava, E., García, C., Camacho, J. R., & Vázquez, E. L. (2012). *Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas*. Ra Ximhai.
- Nicolopoulou, P., Maipas, S., Kotampasi, C., Stamatis, P., & Hens, L. (2016). Chemical pesticides and human health: the urgent need for a new concept in agriculture. *Frontiers in public health*, 4(148). Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4947579/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2012). Manual de Buenas Prácticas Agrícolas para el productor hortofrutícola (Segunda Edición.). Santiago de Chile: FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). Evaluación de la contaminación del suelo: manual de referencia. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/005/x2570s/X2570S00.htm#TOC>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). *International Code of Conduct on Pesticide Management: Guidelines on Pesticide Legislation*. Recuperado de <https://books.google.com/cu/books?id=fZo5MQAACAAJ&dq=International+%22Code+of+Conduct+on+Pesticide+Management%22+%22Guidelines+on+Pesticide+Legislation%22&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwipvKPU-8fXXAhXBUt8KHfopB7MQ6AEIjAA>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2010). *The state of food insecurity in the world: addressing food insecurity in protracted crises*. Rome: FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. & World Health Organization. (2015). *International Code of Conduct on Pesticide Management Guidelines on Pesticide Legislation* (Electronic Publishing Policy and Support Branch Communication Division.). Roma: FAO.
- Ortega, J. G., Yezioro, S., Benavides, B. C., & Báez, L. C. (2017). Efectos teratogénicos de insecticidas organofosforados en la etiología de labio y paladar hendido: revisión de literatura. *Rev Nac Odontol*, 13(24) ,101-110. Recuperado de <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/od/article/download/1658/2020>

- Párraga, C., & Espinel, R. (2010). *Análisis de la actividad agrícola como contaminante del agua, alternativas tecnológicas para la desinfección del agua para consumo humano en comunidades rurales y recursos legislativos para la prevención y su conservación* (Tesis previa la obtención del título de ingeniero agropecuario. Facultad de ingeniería mecánica y ciencias de la producción). Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Pérez, L. M. (2009). *Metodologías analíticas alternativas para la determinación de plaguicidas en aguas y productos agroalimentarios*. La Laguna: Universidad de La Laguna.
- Ramírez, J. A., & Lacasaña, M. (2001). Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. *Arch Prev Riesgos Labor*, 4(2), 67-75. Recuperado de <https://www.invima.gov.co/images/pdf/intranet/.../re-view%20plaguicidas.pdf>
- Ribas, N., Sunyer, J., Sala, M., & Grimalt, J. O. (2003). *Cambios en las concentraciones de compuestos organoclorados en las mujeres de Flix, Tarragona*: Flix.
- Rinkevich, F. D., Du, Y., Tolinski, J., Ueda, A., Wu, C. F., Zhorov, B. S., & Dong, K. (2015). Distinct roles of the DmNav and DSC1 channels in the action of DDT and pyrethroids. *Neurotoxicology*, 47, 99-106. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25687544>
- Rocha, E., & García, F. (2008). Insecticidas clásicos y biopesticidas modernos: Avances en el entendimiento de su mecanismo de acción. *Biotecnología*, 12(1), 50-62. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/270273582_Insecticidas_clasicos_y_biopesticidas_modernos_avances_en_el_entendimiento_de_su_mecanismo_de_accion
- Rojas, L. Y., & Bedoya, G. (2013). Efecto de la aplicación de agroquímicos en un cultivo de arroz sobre los microorganismos del suelo. *Acta Agronómica*, 62(1), 66-72. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v62n1/v62n1a10.pdf>
- Ross, S. M., Mc Manus, J. C., & Harrison, V. (2013). Neurobehavioral problems following low-level exposure to organophosphate pesticides: a systematic and meta-analysis review. *Crit Rev Toxicol*, 43(1), 21-44. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23163581>
- Ruepert, C, Ramírez, F., Van Wendel, B., Bravo, V., & de la Cruz, E. (2012). *Plaguicidas y otros contaminantes. Decimotercer Informe: Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. Costa Rica: Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible.
- Salazar, N. J., & Madrid, M. L. (2011). Herbicida Glifosato: Usos, toxicidad y regulación. *Biotecnía*, 13(2), 23-28.
- Sogorb, M. A., Vilanova, E., & Carrera, V. (2004). Future applications of phosphotriesterases in the prophylaxis and treatment of organophosphorus insecticide and nerve agent poisonings. *Toxicology Letters*, 151, 219-233. Recuperado de <http://europepmc.org/abstract/MED/15177657>
- Soloneski, S., Kujawski, M., Scuto, A., & Larramendy, M. L. (2016). *Carbamates: a study on genotoxic, cytotoxic, and apoptotic effects induced in Chinese hamster ovary (CHO-K1) cells*. *Toxicology in Vitro*, 29(5), 834-844. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25820133>
- Verma, N., & Bhardwaj, A. (2015). Biosensor Technology for Pesticides. *Appl Biochem Biotechnol*, 175(6), 3093-3119. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25595494>
- Villa, A., Pérez, R., Morales, H. A., Basurto, M., Soto, J. M., & Martínez, E. (2015). Situación actual en el control de Fusarium spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agronómica*, 64(2), 194-205. Recuperado de https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/43358
- Villacres, N. (2014). *El uso de plaguicidas químicos en el cultivo de papa (solanumtuberosum) su relación con el medio ambiente y la salud*. Tungurahua: Universidad Técnica de Ambato.
- Zacharia, J. T. (2011). Identity, physical and chemical properties of pesticides. *Pesticides in the modern world-trends in pesticides analysis*. IntechOpen. Recuperado de <https://www.intechopen.com/books/pesticides-in-the-modern-world-trends-in-pesticides-analysis/identity-physical-and-chemical-properties-of-pesticides>
- Zhan, Y., & Zhang, M. (2014). Spatial and temporal patterns of pesticide use on California almonds and associated risks to the surrounding environment. *Sci Total Environ*, 472, 517-529. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24316216>
- Zhang, W. J., Jiang, F. B., & Ou, J. F. (2011). Global pesticide consumption and pollution: with China as a focus. *Proc Int Acad Ecol Environ Sci.*, 1(2), 125-144. Recuperado de [http://www.iaees.org/publications/journals/piaees/articles/2011-1\(2\)/Global-pesticide-consumption-pollution.pdf](http://www.iaees.org/publications/journals/piaees/articles/2011-1(2)/Global-pesticide-consumption-pollution.pdf)

Zubero, M. B., Aurrekoetxea, J. J., Ibarluzea, J. M., Goñi, F., López, R., Etxeandia, A., & Sáenz, J. R. (2010). *Plaguicidas organoclorados en población general adulta de Bizkaia*. JR Gaceta Sanitaria, 24(4), 274-281. Recuperado de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-91112010000400003 se usan comúnmente para el control de insectos vectores de enfermedades debido a su baja toxicidad en los mamíferos (Rinkevich, et al., 2015).