

Plaguicidas en la agricultura mexicana y potenciales alternativas sustentables para su sustitución

Pesticides in Mexican Agriculture and promissory alternatives for their replacement

Gálvez Gamboa, G.T.^{1.}, Sánchez Servín M. R.^{1.}, Parra Cota F.^{2.}, García Pereyra J^{3.}, Aviña Martínez, G.N.^{3.}, Santos Villalobos S.⁴✉

¹Instituto Tecnológico de Sonora 5 de Febrero 818 Sur, Col. Centro C. P. 85000, Cd. Obregón, Sonora, México.

²Campo Experimental Norman E. Borlaug, C.P. 85000, Cd. Obregón, Sonora, México.

³Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana, Carretera Durango - México km. 22.5, Ejido Villa Montemorelos, Durango. C.P. 34371.

⁴CONACYT-Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de Febrero 818 Sur, Col. Centro C. P. 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México.

✉ Autor para Correspondencia: sergio.delossantos@itson.edu.mx

Recibido: 24/02/2018

Aceptado: 21/05/2018

RESUMEN

La demanda de alimentos a nivel mundial se duplicará para el año 2050, para lo cual se deberá incrementar la productividad agrícola. Esta acción sugiere el uso excesivo de insumos agrícolas sintéticos, tales como los plaguicidas, con el objetivo de garantizar la producción y calidad de los alimentos. Los plaguicidas son sustancias o mezcla de sustancias que son utilizados de manera intensiva para plagas y enfermedades agrícolas; sin embargo, diversos aspectos se deben considerar para su uso extensivo. El presente trabajo muestra una revisión crítica y propositiva sobre los diferentes tipos de plaguicidas empleados en la agricultura nacional para la producción de granos y hortalizas. Además, se analiza de forma detallada la contribución de estos fungicidas a la contaminación del suelo, y las repercusiones a la salud humana. Por otra parte, se discute la legislación mexicana y la posición actual de nuestro país ante esta problemática, integrando recomendaciones y alternativas sostenibles para contribuir de forma positiva al control de plagas, mitigando los efectos al ambiente y a la salud generados por el uso de los plaguicidas empleados actualmente.

Palabras clave: plaguicidas, suelo, remediación, salud, microorganismos.

ABSTRACT

The global food demand will double by 2050; thus, the agricultural productivity should be increased. This action suggests the excessive use of synthetic agricultural inputs, such as pesticides, in order to guarantee the production and quality of food. Pesticides are substances or a mixture of substances that are used intensively to control agricultural pests and diseases; however, various aspects should be considered for their extensive use. The present work shows a critical and propositive review on the different types of pesticides used in the national agriculture for the production of grains and vegetables. In addition, the contribution of these fungicides to soil contamination and the repercussions on human health is analyzed in detail. On the other hand, Mexican legislation and our country's current position on

this problem are discussed, integrating recommendations and sustainable alternatives to contribute positively to pest control, mitigating the effects on the environment and health generated by the use of traditional pesticides.

Key words: pesticides, soil, remediation, health, microorganisms

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la producción de alimentos es suficiente para satisfacer la demanda mundial; sin embargo, se proyecta que el aumento de la población en el mundo alcanzará 9000 millones de habitantes para el año 2050 (ONU, 2017). Por ello, es determinante incrementar la productividad agrícola con el objetivo de satisfacer la demanda global de alimentos, contribuyendo a la seguridad alimentaria y a la soberanía nacional. En México, el sector agrícola repercute positivamente en la generación de alimentos y en el PIB con un 4.5% (INEGI, 2014), proporcionando empleo al 13% de la población. La actividad agrícola en nuestro país se divide en *agricultura de subsistencia* y *agricultura comercial* (Taylor *et al.*, 2004). La primera depende de la lluvia y la mano de obra no asalariada para su producción, generalmente utilizada para el auto-consumo.

Por otro lado, la agricultura comercial se basa en los mecanismos de irrigación y tecnificación, con mano de obra asalariada, destinando dichas cosechas al comercio nacional y/o internacional, ya sea como materias primas o productos terminados (Minutti, 2007). Sin embargo, diversos retos deben ser abordados con el objetivo de producir alimentos de forma intensiva y con el menor impacto a los agro-sistemas: i) disponibilidad y degradación de recursos naturales, ii) cambio climático, iii) fertilidad de los suelos, entre otros. Así, con base en las actividades agrícolas que son susceptibles de ser modificadas e implementados por el

hombre, la producción de alimentos está ligada fuertemente al suelo y aplicación de insumos agrícolas. El suelo es el soporte para la agricultura, cuya conservación es una de las tareas más importantes para la productividad de los cultivos agrícolas de calidad (SEMARNAT, 2008). El recurso edáfico, formado por material mineral (45%), agua (20-30%), gases (20-30%), y materia orgánica (1-5%) (McCauley *et al.*, 2005), provee diversos servicios ecosistémicos: i) la sostenibilidad social y ecológica, ii) adaptación y mitigación del cambio climático, iii) recurso biotecnológico para la humanidad, iv) ciclaje de agua y nutrientes, v) seguridad alimentaria (Nelson *et al.*, 2013). No obstante su importancia, la degradación del suelo afecta a 1,900 millones de hectáreas en todo el mundo, incrementándose rápidamente a una tasa de 5 a 7 millones de hectáreas por año, lo cual impacta aproximadamente el 70% de los suelos agrícolas en niveles de moderado a severo, lo que genera un costo estimado de \$400 mil millones de dólares anuales a nivel mundial, afectando a más de mil millones de personas (Olafur, 2009).

Una de las principales causas de la degradación de los suelos son las prácticas agrícolas intensivas, desde labranza mecánica hasta el uso excesivo y constante de fertilizantes y plaguicidas sintéticos (Friedrich, 2014). Lo cual conduce a la disminución de las propiedades físicas, químicas, y biológicas de los suelos, generando la pérdida de fertilidad, lixiviación de nutrientes, disminución de la productividad, incremento de emisiones de gases de efecto invernadero y disminución del secuestro de

carbono y actividad microbiana (Friedrich, 2014).

DESARROLLO

El uso de Plaguicidas en la Agricultura Mexicana y el Noroeste del país

Los plaguicidas son sustancias o mezcla de sustancias que se usan de manera intensiva para controlar plagas y enfermedades agrícolas, que afectan la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos y productos agrícolas (FAO, 2003). Estos compuestos, al ser sustancias químicamente complejas, una vez aplicadas al agro-sistema generan cambios en éste, ya sea a nivel físico, químico y/o biológico (adsorción y absorción sobre suelos y plantas, volatilización, fotólisis y degradación química o microbiana). Dichas transformaciones pueden conducir a la generación de fracciones o a la degradación total de los compuestos que en sus diversas formas pueden afectar a los diferentes niveles de un ecosistema (Garrido *et al.*, 1998).

Desde el punto de vista del modelo de agricultura industrial impulsado en el país, el uso de plaguicidas (insecticidas, fungicidas y herbicidas) ha incrementado significativamente.

El primer plaguicida sintético utilizado fue el diclorodifeniltricloroetano (DDT), el cual se empezó a utilizar en 1948 como insecticida para el control de la malaria, fiebre amarilla, tifus y muchas otras infecciones causadas por insectos vectores. Sin embargo, fue hasta en el año 1972 que se anunció su prohibición, debido a la publicación del bestseller “Primavera peligrosa”

en 1962, donde Rachael Caron expuso todos los peligros ecológicos derivados del DDT. Posteriormente, otros plaguicidas organoclorados, diversos organofosforados, carbamatos y una variedad de herbicidas y fungicidas fueron incorporados a las prácticas agrícolas como un camino rápido y “seguro” para modernizar la agricultura mexicana (Albert, 2005). En la actualidad, se encuentran disponibles en el mercado alrededor de 70,000 productos químicos diferentes y cada año se introducen 1,500. Este hecho plantea un reto significativo para muchos gobiernos para controlar y manejar estas sustancias potencialmente peligrosas, ya que numerosos plaguicidas que han sido prohibidos o severamente restringidos en los países desarrollados siguen comercializándose en los países en desarrollo (FAO, 2003).

En los últimos años, entre 2008 y 2011, México ha disminuido el uso de plaguicidas (Figura 1), de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, en nuestro país se utilizaron un promedio de 455 toneladas de plaguicidas (fungicidas, herbicidas e insecticidas) por cada 1000 hectáreas entre el año 2009 y 2010 sin embargo, este uso se incrementó en 2013, empleándose 37,455 toneladas de insecticidas; 31,195 toneladas de herbicidas y 42,223 toneladas de fungicidas en la superficie Mexicana, donde los estados con mayor uso de plaguicidas fueron: Campeche, Chiapas, Chihuahua, Michoacán, Nayarit, Puebla, Sinaloa, Tamaulipas y Veracruz.

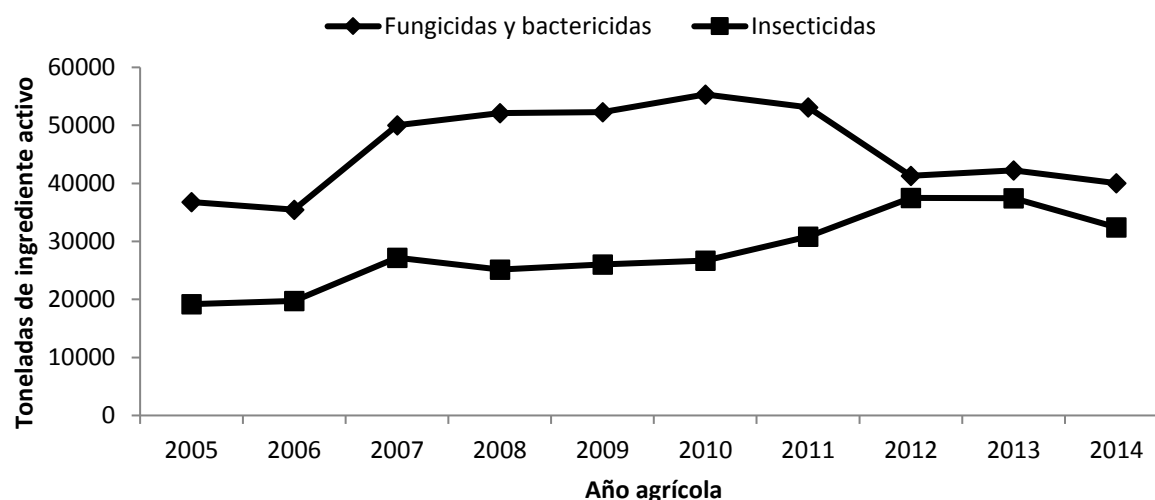


Figura 1. Uso de fungicidas, bactericidas e insecticidas en México (FAO, consulta: Abril del 2017).

La agricultura en el noroeste del país se caracteriza por ser una de las más desarrolladas en México, sustentada por una amplia superficie de cultivo y un sistema moderno de riego, destinados a la producción de diversos cultivos: trigo, forrajes, algodón, maíz, hortalizas, entre otros (SAGARPA, 2011). Así, la producción de trigo en el estado de Sonora representa el 38% de la superficie cultivada en México y 44.4% de la producción nacional (INEGI, 2014). Por otro lado, el estado de Sinaloa es un estado que se destaca por su alta producción de granos y hortalizas, generando productos para consumo nacional y para exportación (Karam-Quñones, 2002).

En esta zona agrícola se siembran cultivos diferentes, siendo los de mayor importancia el maíz, frijol, tomate, chile y pepino y los cultivos hortícolas como el tomate, chile y pepino (CODESIN, 2016). En Sinaloa se produce el 39.1% de hortalizas del país, concentrándose esta producción en el valle de Culiacán, ocupando en el 2012 un 6.6% (78,401 ha) de la superficie destinada a esta actividad (1,180,591 ha) posicionándose como principal productor de

hortalizas en México (CODESIN, 2016).

No obstante el creciente avance tecnológico en estas zonas agrícolas, el uso de plaguicidas ha sido recurrente y determinante para alcanzar los rendimientos agrícolas demandados. el estado de Sinaloa utiliza el 30 por ciento de agroquímicos consumidos en México, donde en el año 2011 se reportó el uso de 700 toneladas anuales de 17 tipos de plaguicidas, clasificados desde moderadamente tóxicos a fuertemente tóxicos (Hernández, 2011), lo cual ha impactado la fertilidad y conservación del suelo, la contaminación del medio ambiente y efectos adversos en la salud de los seres vivos.

Los plaguicidas, al ser compuestos químicos utilizados para combatir las plagas y enfermedades en los cultivos agrícolas, según su naturaleza y composición química pueden clasificarse en inorgánicos y orgánicos. Sin embargo, no existe información suficiente sobre su toxicidad y evolución en el suelo para aquellos de tipo inorgánico. Por otro lado, los de tipo orgánico, se han generado con base en los problemas de evolución en el sistema del suelo.

De esta manera, al poseer estructuras químicas estables, los plaguicidas tardan años en descomponerse en formas menos tóxicas por lo tanto, el uso excesivo de estas sustancias resulta en su acumulación en los agro-sistemas.

Recientemente, el catálogo de plaguicidas publicado por COFEPRIS fue actualizado después de una década, pero aún sin registrar en sus totalidad los productos e ingredientes activos (Arellano-Aguilar y Von Osten, 2016), esto se convierte en un inconveniente desde una

perspectiva ambiental, debido a que el monitoreo de los compuestos es determinante para reducir o evitar problemáticas ambientales como bioacumulación de sustancias en el suelo, filtraciones a mantos acuíferos entre otros. De esta manera, los ingredientes activos que tuvieron mayor demanda en el estado de Sonora y Sinaloa durante los últimos ciclos agrícolas, su comportamiento en el ambiente, clasificación y otras características, son presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Compuestos antimicrobianos utilizados en la agricultura en Sonora y Sinaloa

SONORA			
<u>Plaguicida</u>	<u>Compuesto activo</u>	<u>Toxicidad (COFREPRIS, 2016)</u>	<u>Clasificación</u>
Bactericida	Quinoleínas	V	COP
Fungicida	Epoxiconazol	IV	COP
	Oxitetraciclina	IV	COV
	Tebuconazol	III	COP
Nematicida	Fluopyram	IV	COP
Insecticida	Deltametrina	V	COV
	Ciclohexanona	III	COV
SINALOA			
Bactericida	Quinoleínas	V	COP
	Kasugamicina	V	COP
Fungicida	Clorotalonil	IV	COP
	Metalaxil	IV	COP
	Tebuconazol	III	COP
Nematicida	Oxamil	II	COV
Insecticida	Imidacloprid	IV	COP

Para clasificar los plaguicidas se pueden dividir en orgánicos e inorgánicos, dentro de los de tipo orgánico existen dos categorías: Compuestos orgánicos volátiles (COV), los cuales son derivados de los hidrocarburos que se pueden presentar como gas o ser altamente volátiles a temperatura ambiente. Dentro de su estructura química, generalmente presenta cadenas menores a 12 carbonos, para que estos compuestos sea considerados volátiles, suelen presentar otros elementos en su estructura, como flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno (MAPAMA, 2017). También se encuentran los compuestos orgánicos persistentes (COP) también llamados internacionalmente como POP's (Persistent Organic Pollutants), el ministerio de agricultura y pesca alimentación y medio ambiente. Se define a estos compuestos como sustancias que por sus características tienden a representar una amenaza tanto para el medio ambiente como para la salud, esto se debe a la estructura química generalmente integrada por dos anillos bencénicos, acompañados de átomos de otros elementos, generalmente de cloro o Flúor (MAPAMA, 2017), esto le atribuye una estructura estable difícil de degradar, tiene una estructura más estable, haciendo difícil su degradación biológica, fotolítica o química (Domínguez *et al.*, 2010). La presencia de estos compuestos representa una alteración en la relación entre los cultivos y la microflora del suelo, la cual ayuda a las plantas en la captación de nutrientes y agua. Además, la capacidad de estos compuestos de moverse por el ambiente con facilidad, pueden ser solubles en agua y en lípidos, contaminando los mantos freáticos y aguas superficiales; bio acumulándose en tejidos grasos de animales (Albert, 2005). Los compuestos persistentes (COP) también pueden ser semi-volátiles, por lo que suelen encontrarse fuera de la zona de

aplicación, el transporte de estos contaminantes varía dependiendo de la temperatura, tienden a volatilizarse en lugares calientes y viajan hasta depositarse en sitios de bajas temperaturas, por ello, estos compuestos se alejan hacia los polos y áreas montañosas donde la fauna tiende a desarrollar una capa natural de grasa natural más gruesa que aquellos que se encuentran en zonas de mayor temperatura; como los COP's se acumulan en tejidos grasos, es común encontrar en muestras de tejido graso de animales, un grado de concentración de estos contaminantes orgánicos (Albert, 2005).

El tratado de Estocolmo regula el uso de los COP's, de los cuales destacan 12 prioritarios: Aldrina, bifenilos policlorados, clordano, DDT, dieldrina, endrina, hempacloro, hexaclorobenceno, mirex, toxafeno, dioxinas y furanos (PNUD, 2012). Pero aún existen compuestos no incluidos en esta lista que se emplean desmedidamente y que perjudican el entorno, cuya toxicidad los ha clasificado con base a los daños o repercusiones del agente químico en la salud del ser humano; esta escala va desde **I**, de menos toxicidad, hasta **V**, siendo el nivel de mayor toxicidad, los compuestos en dicha clasificación pueden llegar a causar la muerte (Tabla 1).

Quinolinas

Las quinolinas son empleadas en la agricultura en Sonora y Sinaloa por su efecto bactericida. De acuerdo a su ficha internacional de seguridad (2010) la quinolina es susceptible a provocar defectos genéticos en microorganismos, generando mutaciones en los plásmidos de la bacteria. Las quinolinas o quinolonas pueden generar mutaciones en los plásmidos bacterianos o en los genes DNA girasa y topoisomerasa IV (Álvarez *et al.*, 2015) evitando la replicación del DNA

bacteriano mediante la fragmentación cromosómica, para dicho proceso es necesaria la interacción de las enzimas DNA girasa y topoisomerasa IV, enzimas necesarias para el súper enrollamiento del DNA (Lapongov *et al.*, 2009).

La ficha internacional de seguridad química especifica que estos compuestos son altamente tóxicos para la fauna marina y que estos deberían aislarse y evitar que entren en contacto con el medio ambiente.

Kasugamicina

Este compuesto es de tipo persistente y ligeramente volátil, tiene un tiempo de volatilización de 0.54 días, lo que convierte a las Kasugamicina un compuesto peligroso por su fácil distribución en el ambiente. La base de datos de plaguicidas publicada por la Unión Europea (EU) clasifica este compuesto como fungicida y bactericida, siendo utilizado en México como control bacteriano. El compuesto no se encuentra autorizado para su uso dentro de la Unión Europea por los riesgos que representa. La resistencia a Kasugamicina radica en la esencia de la enzima metilasa, la que en condiciones normales introduce cuatro metilos en dos adeninas de 3' del gen 16S RNA ribosomal. Esto se ve reflejado en el proceso de síntesis de proteínas, tanto en la subunidad 30S metilada como la mutante son sensibles a la inhibición de fMET-ARNt generada por la mutación en el gen.

La diferencia se aprecia en la subunidad 50S, fMET-ARNt no se adhiere a los ribosomas metilados y la síntesis de proteínas se detiene, mientras que en los mutantes (no metilados) se mantiene por lo que la síntesis continúa sin verse alterada (Lewis, 1996).

Epoxiconazol

Su mecanismo de acción inhibe la esporulación, evitando que los cultivos se ven infestados por el

hongo a tratar (Chavez *et al.*, 2014). La Organización de agricultura y alimento (FAO) identifica alepoxiconazol como uno de los 10 fungicidas más problemáticos, esto se debe a su estabilidad y su difícil biodegradabilidad. Este compuesto tiene una alta toxicidad sobre peces, crustáceos y algas. Las vías de degradación de este compuesto persistente pueden variar entre meses hasta años en suelos anaerobios, dependiendo de la concentración en la que se encuentre y el tipo de suelo.

Gepp y Mondino (2000) mencionan que al formar parte de la familia de los triazoles, epoxiconazol tiene un alto riesgo mutagénico y se recomienda de no ser necesario en un mismo ciclo de cultivo. La agencia Europea de químicos (ECHA) indica que el compuesto *epoxiconazol* puede ser carcinógeno, colocándolo en categoría 2. Además de tener implicaciones en la salud reproductiva, ubicándose de igual manera dentro de la categoría 2; la base de datos indica que es un compuesto con alta toxicidad a la vida acuática, con largos tiempos de permanencia en estos.

Oxytetraciclina

Este compuesto se clasifica como volátil, con un tiempo de volatilización casi instantánea. Por tener tiempos de volatilización cortos, tiene persistencia mínima en el suelo, afectando en mayor magnitud las masas de aire que el mismo suelo agrícola. Este fungicida de amplio espectro, se adhiere a los ribosomas microbianos en donde altera la síntesis de proteínas y por ende inhibe el desarrollo y crecimiento. La resistencia a las tetraciclinas se desarrolla después de adquirir el gen *tet* (Tetraciclina) y/ o *oxT* (oxitetraciclina), el cual se obtiene mediante la transferencia de ADN entre hongos y bacterias (Chopra y Robert, 2001).

Tebuconazol

Se reconoce este compuesto como persistente, perteneciendo al grupo de los triazoles; puede funcionar de manera de pre-emergencia y post-emergencia. El mecanismo de acción es de contacto y poco selectivo. El Tebuconazol interfiere en la biosíntesis de la membrana celular limitando su crecimiento y esporulación (NUFARM, 2012). Este compuesto tiene una persistencia aproximada de 47.1 días, este valor varía dependiendo de las condiciones climatológicas y acciones biológicas; pudiendo ser degradado lentamente por los organismos edáficos. En 2006, la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (USEPA) evaluó al compuesto Tebuconazol, resultando en un posible compuesto carcinógeno en humanos, colocándose en la clasificación 2 dentro de sus estándares.

Clorotalonil

Tiene una persistencia en nivel alto de toxicidad dentro de mantos acuíferos. Tiene poca movilidad en el suelo, por lo que se mantiene en la superficie de este hasta que se volatiliza en tiempos mayores a 50 días. (ISK-Biotech, 1990) Pertenece a la familia de los cloro nitrilos

(phtalonitrilos) que se caracterizan por adherirse firmemente al follaje. Actúa sobre el proceso de la glucólisis, inhibiendo la reducción de la gliceroaldehido-3-fosfatodeshidrogenasa y otras enzimas similares (ISK-Biotech, 1990).

Metalaxil

Este compuesto clasificado como persistente, comercialmente se ha empleado acompañado del compuesto clorotalonil. A diferencia de los compuestos anteriores, se reporta que Metalaxil no tiene un alto nivel de toxicidad en ambientes marinos, solo que tiende a acumularse pero es desechado rápidamente. Integrante de la familia de las fenilaminas, no se ha determinado oficialmente como muta génico. Esta familia de compuestos se ha estado estudiando al presentar cepas resistentes en cuba siendo poca la información disponible sobre mutaciones por estos compuestos (Tabla 2). La agencia Europea Química indica que el compuesto Metalaxil es altamente toxico sobre la vida marina con efectos prolongados, desde 2006, USEPA no identifica este compuesto como cancerígeno sobre humanos

Tabla 2. Detección de resistencia en Cuba (Muñio *et al.*, 2007)

Fecha de detección	Fungicida	No. de años de introducción	Cultivo-Patógeno
1982	Benomyl	7	Banano- <i>M musicola</i>
1983	Metalaxyl	3	Tabaco- <i>P. tabacina</i>
1984	Benomyl	8	Citricos- <i>M. citri</i>
1994	Metalaxyl	14	Papa- <i>P. infestans</i>

Fluopyram

Este compuesto persistente forma parte de un nuevo grupo registrándose en 2012 (EPA) empleado en el control de hongos patógenos. Tiene una permanencia en condiciones aerobias de 648-1470 días en suelo; en condiciones anaerobias, el compuesto permanece entre 1410-1580 días en el suelo de aplicación. El compuesto tiende a acumularse en organismos. Clasificándose en III en su perfil de toxicidad, provocando intoxicación respiratoria; la Agencia Europea de productos químicos (ECHA) especifica que el compuesto tiene implicaciones sobre la vida acuática con efectos prolongados sobre esta. ***Deltametrina***

Es un componente común en los insecticidas en todo el mundo. Se encuentra clasificado como moderadamente tóxico por la organización mundial de la salud. Tiene tiempos de volatilización cortos y una alta solubilidad en agua, por lo que es fácil que sea arrastrado hacia los mantos acuáticos. ECHA lo clasifica como tóxico para la vida marina, teniendo una gran permanencia en los ambientes acuáticos. El instituto nacional para la seguridad y salud ocupacional (NIOSH) registra en 2013 casos de mutación por este compuesto en animales como peces y roedores empleando el análisis cito genético.

Como integrante de la familia de las piretrinas, la resistencia a estos radica en la presencia del gen *Kdr*, que produce insensibilidad al compuesto en la zona de anclaje. (Callaghan *et al.*, 1989)

Implicaciones Ambientales y de Salud Humana del uso de plaguicidas

La permanencia de los agro tóxicos en el suelo depende de las características físicas y químicas de los compuestos, así como las características fisicoquímicas y biológicas del suelo. Estos pueden ser arrastrados por el agua, llegando a aguas superficiales y subterráneas a través de los

escurrimientos y la filtración; pueden quedar absorbidos en los cultivos, demostrando con el tiempo altas tasas de concentración en los alimentos, y afectar a las cadenas tróficas. Se ha determinado que en el cabello de los trabajadores agrícolas existía un total de 33 sustancias diferentes, incluyendo herbicidas y fungicidas. Comprobando que existe una exposición más duradera de los plaguicidas organoclorados, por su alta en persistencia en el medio ambiente (Laso, 2015).

La información que existe a cerca de las implicaciones ambientales y salud humana se ha concentrado en el uso de los COP's, los cuales a pesar de la preocupación a nivel mundial, aun se siguen utilizando en el país (Laso S, 2015). La Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México (RAPAM) ha señalado que 186 plaguicidas altamente peligrosos cuentan con el registro y autorización de Cofepris para su comercialización, inclusive el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) recomienda su aplicación en el campo (Laso, 2015). Ante la ausencia de acciones y legislaciones, el problema se agrava porque no se cuenta con una vigilancia sobre el uso de estas sustancias y son escasos los estudios de riesgo ambiental y de salud.

Actualmente se ha evidenciado, que la exposición a ciertos plaguicidas, es un factor de riesgo adicional e importante en muchas enfermedades crónicas como son: el aumento de diferentes tipos de cáncer de próstata, pulmón, colon, entre otros y enfermedades neurodegenerativas como: Parkinson y Alzheimer, también existen pruebas que indican que algunos plaguicidas pueden generar problemas en el sistema endocrino e inmunológico (Laso, 2015). Así, la Comisión de Cooperación ambiental de América del

Norte (CCA) y la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) han compilado estudios en donde pueden identificarse los sitios contaminados por Compuestos Orgánicos Persistentes (COP) en México, teniendo foco de atención a Sinaloa y Yucatán por las altas concentraciones de plaguicidas que se han reportado en sus suelos, los cuales están arriba de los límites máximos permitidos para la protección de la vida acuática.

Leyes Ambientales en el Uso de Plaguicidas en México

En México fue hasta a mediados de los años ochenta cuando se establecieron las primeras legislaciones sobre el control de plaguicidas y de sustancias tóxicas. Sin embargo, dichas leyes sólo se han impuesto con base en aspectos sanitarios, dejando por un lado los aspectos ambientales. Las autorizaciones para el uso de sustancias químicas no poseen vigencia alguna, además la regulación no es clara en el aspecto de otorgamiento de permisos. Solamente en el ámbito internacional, el país es participante de varios acuerdos y tratados, como el establecido Plan Nacional de Implementación (PNI) para el caso del Convenio de Estocolmo, firmado en 2001, en el cual inicialmente se regularon 12 productos químicos, entre ellos pesticidas, PCBs (Bifenilos Policlorados); dioxinas y furanos. Así, con la finalidad proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los contaminantes orgánicos persistentes, fijando medidas que permitan eliminar y cuando no sea posible, reducir las emisiones y las descargas de los contaminantes.

Sin embargo, actualmente son pocas las regulaciones implementadas en México sobre el uso de plaguicidas, siendo en su mayoría normas sanitarias que solamente tienen relación con el transporte y desecho de los mencionados. De igual manera no existe el Límite Máximo Permitido (LMP) de plaguicidas en sitios y

acuíferos contaminados; siendo el catálogo de plaguicidas en México recientemente actualizado el año pasado (2016), después de una década.

De acuerdo a la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos Artículo 4: “Es derecho de la población la protección de la salud y a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar”. En el caso de las sustancias químicas, México ha generado leyes, reglamentos y normas que regulan solamente el ciclo de vida de las sustancias y sus residuos, considerando los aspectos particulares de cada estado.

Una de ellas siendo la más enfocada en el cuidado del ambiente es la ley general del equilibrio ecológico y protección al ambiente, donde solo se menciona algunas disposiciones en protección a este, señalando que la utilización de plaguicidas debe de ser compatible con el equilibrio de los ecosistemas (Montelongo, 1998). Sin embargo, hasta la fecha no ha sido expedida ninguna norma en la que se detalle los límites de uso de plaguicidas, ni alguna ley que proteja los ecosistemas dañados por dichos agroquímicos.

Alternativas sustentables para la recuperación de suelo agrícola y el control de plagas.

La degradación de los compuestos contaminantes (COP) se dificulta debido a su estructura estable, sus enlaces moleculares fuertes, un tamaño molecular grande y su clasificación xenobiótica. La biorremediación representa una solución eficaz, económica y sustentable a la problemática actual en el noroeste de México por el abuso de plaguicidas. Torres (2003) define a la biorremediación como una tecnología que utiliza el potencial metabólico de los microorganismos para transformar contaminantes en compuestos más

simples y facilitar su degradación. Actualmente, se ha considerado como alternativa para la recuperación de suelos contaminado, debido a la capacidad metabólica de algunos microorganismos para degradar los plaguicidas y contribuir a la disminución de sus niveles en el ambiente y/o una disminución en la toxicidad de los mismos (Carrillo *et al.*, 2004). De esta manera, se han empleado diversas técnicas como la estimulación de poblaciones bacterianas nativas de suelos contaminados, mediante la adición de fuentes nutrimentales como el carbono, demostrando con ello una capacidad de adaptación microbiana y el potencial para ser empleados en estrategias de biorremediación. Durante los últimos años, se han estudiado microorganismos como alternativa sostenible para la recuperación de suelos contaminados por este tipo de compuestos. Entre algunos microorganismos estudiados destacan: hongos ligninolíticos, los cuales cuentan con un sistema enzimático único, y no específico constituido principalmente por oxidasas (Dominguez *et al.*, 2011), los basidiomicetos ligninolíticos se destacan por un amplio espectro de degradación de COP's, entre estos hongos resalta el hongo *Phanaerochaete cryosporiom* en cultivos con alto contenido de nitrógeno para inducir las condiciones ligninolíticas (Barr y Aust, 1994). A estos hongos se les atribuye la propiedad de degradación de diferentes compuestos, desde colorantes industriales hasta plaguicidas e hidrocarburos poli cíclicos aromáticos (Davila y Vazquez, 2006). (Golovleva *et. al.*, 1990) reporta cepas del género *Pseudomonas* con gran potencial para la degradación de compuestos estables como los COP's. Similar a los trabajos reportados por Vásquez y Reyes (2002), en el cual se reportan cepas de *Pseudomonas* con la capacidad de degradar herbicidas, las cuales mostraron porcentajes máximos de degradación del 99.8.

Galli (2002) realizó un experimento de aislamiento de varias especies de hongos en suelos contaminados con pesticidas de Argelia. Entre las especies aisladas se encontraban *Aspergillus fumigatus*, *A. niger*, *A terreus*, y *Rhizopus microsporum*. En el experimento se encontró que 53 especies aisladas contaban con la habilidad de degradación de pesticidas, específicamente herbicidas, además, el crecimiento de los géneros *Absidia* y *Fusarium* era promovido por el pesticida evaluado y presentaron un porcentaje aproximado al 80%. De igual manera, se han buscado alternativas a los pesticidas químicos, entre ellos están los de origen botánico y los de origen microbiológico. Entre los de origen microbiológico, se han estudiado tanto bacterias como hongos, entre ellos están las rizobacterias fluorescentes estudiadas por Díaz *et al* (2014) que tienen la capacidad de controlar hongos patógenos como *Rhizoctonia solani* y *Sclerotium rolfsii*, patógenos de ciertos cultivos de hortalizas. Uno de los hongos ampliamente estudiado ha sido *Trichoderma*, ha cumplido su función de manera eficiente en los cultivos de tomate y otros cultivos, Michel *et al* (2009) probó su eficacia sobre microorganismos patógenos del mango; y recientemente, García *et al* (2017) estudiaron el potencial de biocontrol de ciertas cepas de *Trichoderma* sobre el desarrollo de cultivos de papa (*Solanum tuberosum*). Otra alternativa a los plaguicidas químicos son el uso de cepas del género *Pseudomonas* las cuales han sido de gran utilidad como biocontrol por 30 años como asegura Weller (2007) dentro de los cuales se ha experimentado con cepas de *P. fluorescens* y *P. putida*.

Este tipo de tecnologías que consiste en emplear el recurso microbiano representa una solución sustentable y eficaz para reducir la concentración de estos contaminantes orgánicos

y el biocontrol para evitar una elevación de la contaminación además de ser una alternativa económicamente viable a largo plazo.

CONCLUSION

El hecho de no existir alguna pauta legal que esté dedicada a evaluar los riesgos del uso de plaguicidas y el daño del suelo agrícola, se ve pone en riesgo el bienestar humano y ambiental. Por esta razón, se recomienda actualizar los regímenes para el control del uso de éstos, tales como permisos para su formulación y aplicación, usos y cantidades en que deberían aplicarse de manera correcta, además de análisis que limiten las cantidades de residuo que pueda llegar a contener los alimentos, y los límites permisibles de residuos en el ambiente. De esta manera, la participación en planes de acción empresas, gobiernos y consumidores a favor del uso de distintas técnicas de cultivo y control de plagas, será favorable para la sociedad; ya que se promoverá una agricultura sustentable tanto para el consumidor como para el ambiente, garantizando cultivos y alimentos saludables a largo plazo, protegiendo al suelo, agua y la biodiversidad microbiana.

LITERATURA CITADA

Albert L. A. 2005. Panorama de los plaguicidas en México. Séptimo Congreso de Actualización en Toxicología Clínica. Tepic, Nayarit 1 y 2 de septiembre, 2005. 17 p.

Alvarez-Hernandez D.A., Garza-Mayén G., Vazquez-Lopez R. 2015. Quinolonas: Perspectivas actuales y mecanismos de resistencia. Revista chilena de infectología. 32 (5), 499-504
<https://doi.org/10.4067/S0716-1018201500>

Arellano-Aguilar von Osten R. 2016. La huella de los plaguicidas en México. Green Peace. pp. 12-14.

Gálvez *et al.*, 2018

Barr D., Aust S. 1994 Mechanisms White rot fungi use to degrade pollutants. Environ Science and Technol. 28(2):78-87
<https://doi.org/10.1021/es00051a724>

Callaghan A., Malcom C.A., Hemingway J. 1991. Biochemical studies of A and B carboxylester asesfron organo phosphates resistant strains of an Italian *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae) Pest. Bio. Phys. 41: pp.198-206
[https://doi.org/10.1016/0048-3575\(91\)9007](https://doi.org/10.1016/0048-3575(91)9007)

Carrillo-Pérez E., Ruiz Manríquez A., Yeomans-Reina H. 2004. Aislamiento, identificación y evaluación de un cultivo mixto de microorganismos con capacidad para degradar DDT. Revista Internacional de Contaminación ambiental. 20(2):69-75.

Chavez T., Chong P., Ruiz O., Peralta L. 2014. Análisis genético de la resistencia a Triazones en aislados de *Mycosphaerella figensis* para poblaciones de Ecuador. Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador, Ecuador. 8 p.

CODESIN. 2016. Reporte sobre la agricultura en Sinaloa al año 2015. Sinaloa, México. 140 p.

Dávila G., Vázquez-Duhalt R. 2006 Enzimas ligninolíticas fúngicas para fines ambientales. Instituto de Biotecnología. Universidad Nacional Autónoma de México. Mensaje Bioquímico. 30. pp. 29-55.

Dias A., Pacheco S R., Dos Santos S, Xavier R. G., Rumjanek G.N., Ribeiro Duarte R. 2014. Screening of fluorescent rhizobacteria for the biocontrol of soilborne plant pathogenic fungi. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. Revista Caatinga 27(2) pp.1-9.

Domínguez-Guilarte O.L., Ramos-Leal M., Sánchez-Reyes A., Manzano-León A.M, Argüelles-Álvarez J., Sánchez-López M. I., Guerra-Rivera G. 2011. Degradación biológica de contaminantes orgánicos

- persistentes por hongos de la podredumbre blanca. Revista CENIC, Ciencias Biológicas. 42(2) pp. 51-59.
- European Chemicals Agency. 2014. Committee for risk assessment, opinion proposing harmonised classification and labelling at EU level of Fluopyram. 21 p.
- FAO 2003. Código Internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. 40 p.
- Friedrich, T. 2014. La seguridad alimentaria: retos actuales. Cuba. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 48(4): pp.319-322.
- Galli C. 2002. Degradación por medios bacterianos de compuestos químicos tóxicos. Comisión Técnica Asesora en: Ambiente y desarrollo sostenible, Buenos Aires, Argentina. 20 p.
- García-Núñez H.G., Martínez-Campos A. R., Hermosa-Prieto M. R., Monte-Vazquez E., Aguilar-Ortigoza C. J., Gonzales-Esquivel C. E. 2017. Morphological and molecular characterization of native isolates of *Trichoderma* and its potential biocontrol against *Phytophthora infestans*. Revista Mexicana de Fitopatología. 35(1) pp. 58-79. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1605-4>
- Garrido T.C., Costa J., Fraile E., Orejudo J., Niñerota A., Ginebreda L., Olivilla M. F. 1998. Análisis de la presencia de plaguicidas en diversos acuíferos de Cataluña. Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente. Valencia, España. 7 p.
- Gepp V., Mondino P. 2000. Apuntes sobre Fungicidas. Universidad de la Republica: Facultad de Agronomía Unidad de Fitopatología. 7 p.
- Golovleva L., Aharonson R., Greenhalg N., Sethunathan N., Vonk W. 1990. The role and limitations of microorganism in the conversión of xenobiotics. Puer and apl.Chem vol. 62, pp.351-364. <https://doi.org/10.1351/pac199062020351>
- Hernández-Antonio M. H. 2011. Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México Y evaluación de la contaminación de agua Y sedimentos. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Vol.27 (2) pp.115-127.
- INEGI 2014. Encuesta Nacional Agropecuaria 2014. México. 40 p.
- ISK – Biotech. 1990. Bravo, Daconil 12787. Broad spectrum fungicide. ISK – Biotech Corporation. Ohio, USA. 9 p.
- Karam-Quñones C. 2002. Los agroquímicos: una perspectiva jurídica-ambiental. Análisis del caso Sinaloa. Colegio de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México. 404 p.
- Lapongov I., Sohi M. K., Weselkov D. A., Pan X. S., Saehney R., Thompson A. W. 2009. Structural Insight into the quinolone-DNA cleavage complex of type IIA topoisomerases. NAT Struct Mol Biol. 16(6) pp 667-9. <https://doi.org/10.1038/nsmb.1604>
- Laso S. 2015. Agro tóxicos: La mancha en tu comida. Green Peace. México. Pp.5-7.
- Leal Soto S. D., Valenzuela Quintanar A. I., Gutiérrez Coronado M., Bermúdez Almada M., García Hernández J, Aldana Madrid M. L., Grajeda Cota P., Silveira Gramont M. I., Meza Montenegro M. M., Palma Durán S. A., Leyva García G. N., Camarena Gómez B. O., Valenzuela Navarro C. P. 2014. Residuos de plaguicidas organoclorados en suelos agrícolas. Revista Terra Latinoamericana, 32(1), pp. 1-11.
- Lewin B. 1996. Genes. Volumen 1. Editorial Reverté. España. 620 p.
- MAPAMA, 2017. Clasificación de los compuestos orgánicos persistentes. Ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente. España. 2p.

- McCauley A., Jones C., Jacobsen J. 2005. Basic soil properties. Reino Unido Soil and Water management module, 1(1), 1-12.
- Michel-Aceves A. C., Otero-Sanchez M. A., Solano-Pascaci L. Y., Ariza-Flores R., Barrios-Ayala A., Rebolledo-Martínez A. 2009. Biocontrol *in vitro* con *Trichoderma* spp. de *Fusarium subglutinans* (Wollenweb. Y Reinking) Nelson, Toussoun y Marasas y *F. oxysporum* Schlecht., Agentes causales de la “Escoba de Bruja” del Mango (*Mangifera indica* L.). Revista Mexicana de Fitopatología. 27(1) pp. 18-26.
- Minutti Lavazzi M. 2007. Análisis de los sectores agrícolas de México y Estados Unidos desde la perspectiva de la sincronización económica: una evaluación general de los efectos para México. Universidad de las Américas Puebla. Puebla, México. 187 p.
- Montelongo I. 1995. La regulación jurídica de los plaguicidas en México. Revista Alegatos. Num.31. 7p.
- Muiño G., Berta L., Pérez V., Pollanco A., Ponciano I., Lorenzo M. E., Martín Triane, E. L., González Valdés M., Arévalo R., Rodríguez Núñez J., Trujillo Albelo, M., Santana Y. 2007. El monitoreo y manejo de la resistencia a los fungicidas en cuba. Fitosanidad. 11 (3) pp. 91-100.
- Nelson E.J., Kareiva P., Ruckelshaus M., Arkema K., Geller G., Girvetz E., Goodrich D., Matzek V., Pinsky M., Reid W., Saunders M., Semmens D., Tallis H. 2013. Climate change's impact on key ecosystem services and the human well-being they support in the US. Estados Unidos de América. *Frontiers in Ecology and the Environment*. Vol.11, pp.483–893. <https://doi.org/10.1890/120312>
- NUFARM 2012. Hoja técnica: Tebuconazol. 5 P.
- Olafur A. 2009. Soils and the Living Earth. In Soils, society & global change: proceedings of the international forum: celebrating the centenary of conservation and restoration of soil vegetation in Iceland: 31 August-4 September 2007. Bigas, H.; Guðbrandsson, G. I.; Montanarella, L. y Arnalds, A. (eds). European Communities. Selfoss, Islandia. 40-45 pp.
- Pérez L., Iglesias M.M., Mauri, F. 1985. Aparición de una raza resistente al benomyl de *Mycosphaerella musicola*, agente causal de la Sigatoka en el plátano. *Agrotecnia de cuba* 17 (1): 79-88.
- Prasad K.S., Kumar N.S., Sharma S. 2010. Bioremediation: Developments, current practices and perspectives. *Genetic Engineering and Biotechnology Journal*. Vol 2010 pp.1-20.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD 2012. Informe de Evaluación del Proyecto: Mejoramiento del manejo y de la contención de las liberación de pesticidas COPs en Nicaragua. Nicaragua. 65 p.
- SAGARPA. 2011. Región Noroeste: Vocación y Desarrollo. México. 40 p.
- SEMARNAT. 2008. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. México. 20 p.
- Taylor, J. E., Yunez-Naude A. P., Barceinas F., Dyer G. A. 2004. Transition Policy and The Structure Of The Agriculture Of Mexico. North American Agrifood Integration: Situation and Perspectives, May 2004, Cancun, Mexico 16731, Farm Foundation.
- Torres R. D. 2003. El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos. *Revista científica y*

tecnic de ecología y medio ambiente. Vol. 2.
5p.

United Nations Organization, Department of
Economic and Social Affairs, Population
Division. 2017. World Population
Prospects: The 2017 Revision, Key
Findings and Advance Tables. Working
Paper No. ESA/P/WP/248.

Vásquez M., Reyes, W. 2002. Degradación de
Aroclor 1242 por *Pseudomas sp.* Biblioteca
Nacional del Perú, Perú. 12p.

Weller D. M. 2007. *Pseudomonas* biocontrol
agents of soilborne pathogens: Looking
back over 30 years. *Phytopathology* vol.97:
7 p.
<https://doi.org/10.1094/PHYTO-97-2-0250>

Copyright (c) 2018 G.T. Gálvez Gamboa, M. R. Sánchez Servín, F. Parra Cota, J García Pereyra,

G.N. Aviña Martínez y S. Santos Villalobos



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia - Texto completo de la licencia](#)