

# Efectos de los plaguicidas utilizados para el control de la Sigatoka negra en plantaciones bananeras en México, así como su efecto en el ambiente y la salud pública

Effect of pesticides used for control of black Sigatoka in banana plantations in Mexico, as well their effect on the environment and public health

XENIA MENA-ESPINO<sup>1,3</sup> Y YENI COUOH-UICAB<sup>2</sup>

Recibido: Julio 27, 2015

Aceptado: Septiembre 17, 2015

## Resumen

Las plantaciones bananeras en México son fuente de generación de empleos, sin embargo, son afectadas por diversos patógenos, entre ellos *Mycosphaerella fijiensis*, causante de la enfermedad conocida como Sigatoka negra. El principal método de control de este patógeno es a base de fungicidas sintéticos, de tipo preventivo o sistémico. El número de aplicaciones de éstos en las plantaciones bananeras varían en un rango de 10 a 45 por año. El principal riesgo del uso frecuente y excesivo de estos compuestos es la generación de resistencia como la que actualmente se observa en *M. fijiensis* ante la acción de los fungicidas. En esta revisión se presentan algunos estudios sobre la resistencia de *M. fijiensis* a los fungicidas y los efectos que éstos generan sobre el ambiente y salud humana en plantaciones bananeras de México.

**Palabras clave:** plaguicidas, plátano, ambiente, salud.

## Abstract

In Mexico, banana plantations are a source of employment, but they are affected by pathogens such as *Mycosphaerella fijiensis*, causal agent of the disease known as black sigatoka. The main control method for this pathogen is by synthetic fungicides of the preventive or systemic type. The number of fungicide applications in banana plantations vary from 10 to 45 per year. The main risk derived by the excessive and frequent use of these compounds is the generation of resistance, as it has currently been observed in *M. fijiensis* by the action of the fungicides. In this review, some studies on resistance *M. fijiensis* to fungicides are presented, and the effect of these fungicides on the environment and human health in banana plantations in Mexico.

**Keywords:** pesticides, banana, environment, health.

## Introducción

El plátano es uno de los cultivos más importantes en la agricultura mexicana, ocupa el segundo lugar de la producción en frutas tropicales; la importancia de este cultivo radica en su uso alimentario, su alto valor nutritivo rico en potasio, hierro y vitamina K, además de su precio bajo, sabor agradable y disponibilidad todo el año (COVECA-SAGARPA, 2010). En México, los principales estados productores de plátano son Chiapas, Tabasco, Veracruz, Colima y Jalisco. En el 2013 se obtuvo una producción de 2,127,772.29 toneladas de fruta, con un ingreso de \$ 5,411,964,860 (SIAP, 2013).

<sup>1</sup> Investigador de Cátedra CONACYT-División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa. San Rafael Atlixco 186, Vicentina, Iztapalapa C.P. 09340 Ciudad de México, D.F. (+52) 55 5804 4600 (ext. 1102).

<sup>2</sup> Laboratorio de Biología Molecular. Departamento de Ingeniería Bioquímica, Instituto Tecnológico de Celaya, Ave. Tecnológico y A, García Cubas s/n, col. FOVISSSTE. C.P. 38010. Celaya, Gto, Mexico.

<sup>3</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: xmenaes@conacyt.mx.

A nivel nacional los estados con mayor uso de plaguicidas son: Sinaloa, Chiapas, Veracruz, Jalisco, Michoacán, Tabasco, Estado de México, Puebla y Oaxaca. En estas regiones se aplica el 80% del total de plaguicidas usados en el país (Albert, 2005). Entre estos estados, Chiapas, Veracruz y Tabasco también son reconocidos por ser los principales productores de banano y de plátano.

### Plaguicidas utilizados en plantaciones bananeras para el control de la Sigatoka negra

El uso de plaguicidas para el control de plagas y enfermedades es una práctica frecuente en plantaciones bananeras. La aplicación de fungicidas en las grandes plantaciones bananeras se lleva a cabo por avionetas, y en las pequeñas plantaciones, con mochilas de aspersión. Se estima que durante el año 2010, los productores mexicanos de plátano gastaron más de 55 millones de dólares en la compra de fungicidas, con base a un costo aproximado de 1100 dólares por hectárea (Marín *et al.*, 2003).

Debido a que la Sigatoka negra se encuentra distribuida en la mayoría de todas las zonas bananeras del mundo (Gavilan, 2013), para su control se usan fungicidas sintéticos de tipo preventivos y sistémicos. Los fungicidas preventivos como Clorotalonil y Mancozeb, tienen como función básica la prevención de la enfermedad, impidiendo la germinación de las esporas de los hongos. Suelen ser de amplio espectro, excepto el azufre (antioídio). No eliminan al hongo si ha penetrado en los tejidos vegetales, por lo que hay que tratar antes de la infección (Guzmán *et al.*, 2004, Pérez *et al.*, 2013). Mientras que los fungicidas sistémicos Benomil, Propiconazol, Fusilazol, Fenbuconazol, Tebuconazol, Hexaconazol, Ciproconazol y Azoxystrobina, tienen capacidad de desplazamiento por el interior de la planta, a través de la savia, y controlar la infección en fases más tardías (Guzmán y Romero, 1997).

Existen también fungicidas sistémicos locales, los cuales son un grupo intermedio de fungicidas y entre éstos se encuentra el Tridemorf (Calixin) (Martínez-Bolaños *et al.*, 2012) (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Fungicidas utilizados para el control de la Sigatoka negra.

Grupo químico	Nombre común	Modo de acción	Dosis de P.F/ha*
DMI's	Propiconazol	Sistémico	0.4 l
	Tebuconazol	Sistémico	0.4 l
	Difenoconazo	Sistémico	0.4 l
	Fenbuconazol	Sistémico	0.3-0.5 l
	Flutriafol	Sistémico	0.4 l
	Epoconazol	Sistémico	0.8 l
Benzimidazoles	Benomyl	Sistémico	400 g
	Carbendazim	Sistémico	280 g
	Metiltiofanato	Sistémico	280 g
Aminas	Tridemorf	Sistémico	0.6 l
	Spiroxamina	Sistémico	0.4 l
Anilopirimidinas	Pyrimethanil	Sistémico	0.4-0.6 l
Estrobilurinas	Azoxistrobin	Sistémico	
	Trifloxistrobin	Sistémico	0.4-0.6 l
	Piraclostrobin	Sistémico	
Ditiocarbamatos	Mancozeb	Protectivo	2.0- 5 l
Derivados de isoftalonitrilo	Clorotalonil	Protectivo	1.5-2.5 l
Inorgánicos	Cobre	Protectivo	1.0 l

\*P.F. producto formulado por hectárea.

Fuente: Modificado de FRAC, 2010.

### Resistencia de *Mycosphaerella fijiensis* a fungicidas

Como ya se había mencionado anteriormente, uno de los grandes problemas generados por el uso excesivo de los plaguicidas en las plantaciones es la resistencia que ha adquirido el patógeno a estos compuestos. Entre los diferentes mecanismos de resistencia se encuentran: 1) alteraciones en el sitio blanco, lo cual ocasiona la reducción de la sensibilidad del organismo al producto químico, 2) modificaciones en la vía metabólica, lo que evita que el compuesto llegue a su sitio de acción, 3) desactivación metabólica del

fungicida, y 4) excreción del fungicida (Van den Bosch *et al.*, 2014). Cuando el mecanismo de resistencia es la modificación genética del sitio de acción del fungicida, esta modificación es generada por un cambio en la secuencia genética codificadora de la enzima o proteína que constituye el sitio de acción en el hongo. De acuerdo a este criterio, los fungicidas pueden tener un sitio de acción múltiple (ejemplo carbamatos) o sitio específicos (ejemplo triazoles) (Zhan *et al.*, 2014). En el año 2010 el Comité de Acción para Resistencia a Fungicidas (FRAC) actualizó sus recomendaciones para la aplicación de cada clase de fungicidas.

La resistencia de *M. fijiensis* a estrobilurinas, es un problema para países como Colombia, Costa Rica, Guatemala y Panamá. En los años 2007-2009, el patógeno mostró diferente sensibilidad a inhibidores de demetilación como el bitertanol, difenoconazol, epoxiconazol, fenbuconazol, miclobutanil, propiconazol, tebuconazol, tetraconazol y triadimenol. Mientras que con el grupo de las aminas espiroxamina, fenpropimorf y tridemorf, la sensibilidad de *M. fijiensis* a estos compuestos es alta y no ha cambiado en los últimos dos años. La resistencia de *M. fijiensis* a los fungicidas inhibidores del citocromo bc1 o Qols (por sus siglas en inglés *Quinone Outside Inhibitors*) como: pyraclostrobin, trifloxystrobin y azoxystrobin, se ha reportado en Ecuador, Belice, Colombia, Guatemala y Costa Rica. No obstante, en Filipinas las cepas de *M. fijiensis* muestran alta sensibilidad a los Qol. Por otra parte, en Costa Rica se ha reportado una reducción en sensibilidad a guanidinas y a inhibidores de la succinato deshidrogenasa, ya que las cepas se hacen resistentes a estos compuestos (FRAC, 2010; Churchill, 2011).

En el caso de México, los fungicidas más usados para el control de la Sigatoka negra son: Mancozeb, clorotalonil, benzimidazol, imazalil, triazoles, estrobilurinas, y anilino pirimidinas (Orozco-Santos *et al.*, 2001; Aguilar-Barragán *et al.*, 2014, Hanada *et al.*, 2015).

La aplicación de los plaguicidas es fuertemente afectada por las condiciones climáticas del lugar donde se encuentra la plantación; en el caso particular del estado de Tabasco, el manejo químico de la Sigatoka negra requiere de entre 48 a 52 aplicaciones de fungicidas por año, principalmente de mancozeb, propiconazol y tridemorf, por lo cual hay riesgo de desarrollo de resistencia del patógeno a estos plaguicidas (FRAC, 2010). En Veracruz, el número de aplicaciones es de 20 a 25. En el Pacífico Centro, el número de aplicaciones de fungicidas sistémicos-protectante, para el control de Sigatoka negra es variable, sin embargo, con los fungicidas protectantes Mancozeb o Clorotalonil se realizan entre 30 a 35 aplicaciones por año (Ramírez y Rodríguez, 1996).

Como consecuencia de las aplicaciones constantes, en un estudio realizado por Martínez-Bolaños *et al.* (2012), se determinó que cepas aisladas de *Mycosphaerella fijiensis* presentaron resistencia a propiconazol y susceptibilidad a tridemorf. También se han aislado cepas de *M. fijiensis* con resistencia a benomyl, propiconazol y azoxystrobin, mostrando estas cepas altos niveles de agresividad sobre las plantas de banano (Chin *et al.*, 2001). Mientras que existen efectos diferentes en otras cepas, tal como es la cepa C1233 de *M. fijiensis* que mostró resistencia a Mancozeb y susceptibilidad a Benomilo (Couoh-Uicab *et al.*, 2012).

En otro estudio, se aislaron 40 cepas de *M. fijiensis* de plantaciones con programas de manejo semi-intensivo y rústico y se evaluó su sensibilidad a seis fungicidas: fludioxonil, vinclozolina, azoxystrobin, carbendazim, propiconazole y mancozeb. Los resultados indicaron que las cepas provenientes de plantaciones con manejo semi-intensivos tuvieron una pérdida de sensibilidad a los fungicidas azoxystrobin, carbendazim y propiconazole, respecto a los aislados de manejo rústico. Sin embargo, se encontró que las cepas tienen tolerancia al Mancozeb,

mientras que el fludioxonil y vinclozolin no fueron funcionales para el control de la enfermedad con estas cepas (Aguilar-Barragán *et al.*, 2014). Las diferencias en las resistencias a los plaguicidas nos permiten observar que la resistencia a fungicidas es un factor crítico que limita la eficiencia de los programas de manejo integrado del hongo, al incrementar dosis o frecuencia de las aspersiones.

## Efectos de los fungicidas utilizados en plantaciones bananeras sobre el ambiente y la salud humana.

La toxicidad de los plaguicidas, así como los esquemas de aplicación y el mal uso que se hace de los mismos, genera riesgos para la sobrevivencia de la biodiversidad en los agroecosistemas. En México existen pocos estudios realizados sobre los efectos de los fungicidas empleados en las zonas bananeras sobre el ambiente y la salud, a pesar de que esto constituye uno de los problemas ambientales más urgentes en países tropicales (Bravo *et al.*, 2011).

Las numerosas aplicaciones de fungicidas en las plantaciones de zonas tropicales pueden ocasionar riesgo de acumulación de estos químicos en suelos, agua y organismos. Por su larga persistencia pueden depositarse en el suelo, bioacumulándose en las plantas, las cuales posteriormente pueden ser consumidos directamente por el ganado o el ser humano (Niti *et al.*, 2013).

Respecto a la descomposición de los fungicidas en el ambiente, es variable, por ejemplo, el mancozeb tiene una vida media en el suelo de 17 días, pero su descomposición en el ambiente vía fotólisis, hidrólisis o descomposición biológica, genera un producto de degradación que es la etilenotiourea (ETU), compuesto altamente tóxico que afecta el sistema digestivo, la glándula tiroidea y es cancerígeno (Shukla y Arora, 2001). Una característica importante de este metabolito es su alta solubilidad en suelo y agua (Paro *et al.*, 2012), además de que tiene un tiempo mayor de degradación que el mancozeb. Aunado a esto, al momento que se solubiliza va

acompañado de subproductos como son los metales Zinc y Manganeseo, que en dosis mayores de los requeridos por el suelo son una fuente de contaminación en las plantaciones.

En el 2010, Geissen y colaboradores, realizaron un estudio para evaluar el efecto del mancozeb 2.5 kg ha<sup>-1</sup>, semana<sup>-1</sup>, 10 años, en suelos de una zona bananera ubicada en el estado de Tabasco. Los resultados obtenidos mostraron que existe una severa acumulación de Mn, y ETU, en las zonas de aplicación y áreas circundantes, lo que representa un grave riesgo para el ambiente y la salud.

A pesar de la importancia económica y social de las plantaciones bananeras en nuestro país, la protección a la salud de los trabajadores ha sido pasada por alto, en términos de enfermedades evitables (Maroni *et al.*, 2006).

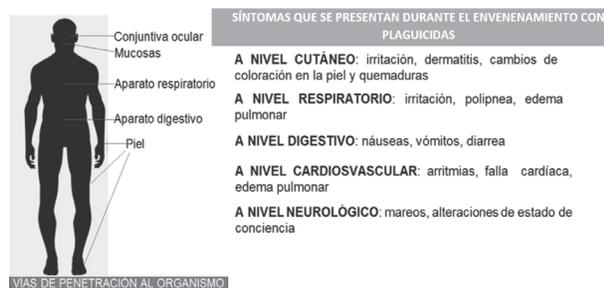
Estos compuestos químicos afectan la salud de los trabajadores, desde las personas que realizan las aplicaciones, a los que manipulan el producto para su venta, hasta las personas que viven en zonas aledañas. La solubilidad de algunos plaguicidas afectan los mantos acuíferos y otros son dispersados por el aire hasta las casas cercanas a las plantaciones (Trejo-Acevedo *et al.*, 2014).

En algunos países de América Latina y África, los racimos de plátanos y bananos son protegidos por bolsas con mallas que contienen clorpirifós, ya que este químico evita el ataque de ciertos insectos durante el crecimiento de los racimos (Aguirre-Buitrago *et al.*, 2014). Sin embargo, este plaguicida tiene un grave efecto nocivo, el cual está asociado con efectos neurológicos en niños. Las exposiciones de clorpirifós en mujeres embarazadas se han relacionado con bajo peso en recién nacidos (Perera *et al.*, 2003; Eskenazi *et al.*, 2004). Además, los niños expuestos al clorpirifós en el útero también son más propensos a tener retrasos en el desarrollo mental y motor (Rodríguez *et al.*, 2006; Rauh *et al.*, 2012). Su uso para el control de plagas en zonas urbanas ya fue prohibido hace una década en los Estados Unidos, sin embargo, en México sigue siendo empleado de forma común (USEPA, 2002; Domínguez *et al.*, 2009).

Otro fungicida empleado comúnmente en México en plantaciones bananeras es el clorotalonil, que aunque en nuestro país no se han estudiado sus efectos sobre la salud humana, en Panamá se ha comprobado su efecto sobre los trabajadores de plantaciones de plátano, quienes presentan dermatitis pigmentada de tipo crónico (Penagos, 2002). En el caso de los carbamatos, éstos tienen efectos dañinos sobre la salud humana y el ambiente. Entre los carbamatos más difundidos comercialmente se encuentra el carbofuran, el cual debido a su peligrosidad ya fue prohibido en Europa, mientras que en Estados Unidos está en análisis su prohibición, sin embargo, se sigue utilizando sin ninguna restricción en América Latina (Jamal *et al.*, 2002; Eddleston *et al.*, 2006).

Se sabe que la exposición humana a los plaguicidas durante plazos largos puede ocasionar cáncer, problemas de fertilidad, malformidades, bajo peso al nacer, inmunosupresión, daño al sistema respiratorio, alergias, hipersensibilidad, daño al sistema nervioso, desórdenes neurológicos de comportamiento y desarrollo, pérdida de la memoria a corto plazo y problemas dermatológicos (Rauh *et al.*, 2012; Woignier *et al.*, 2014) (Figura 1). Sin embargo, en México prácticamente no se han realizado estudios sobre el efecto en la salud de los plaguicidas empleados en plantaciones bananeras.

**Figura 1.** Síntomas de envenenamiento por la penetración de un plaguicida químico al ser humano (Modificado de Neme *et al.*, 2010).



## Prevención, detoxificación y biorremediación de los plaguicidas en suelos

Considerando el daño que los plaguicidas provocan, la mejor manera para evitar o disminuir sus efectos sería la prevención de su uso, para ello existen acciones que pueden ayudar y son: tener un control integrado de plagas, realizar un uso de dosis mínimas de plaguicidas, llevar a cabo la aplicación adecuada de plaguicidas, selección de plaguicidas con escaso efecto residual, alternancia de plaguicidas y la implementación de buenas prácticas agrícolas en las plantaciones bananeras, tales como la de plantar diferentes variedades de banano o plátano y cultivos rotativos para reducir la posibilidad de infestación de plagas, usar trampas con feromonas para atraer y combatir algunos insectos, cavando trincheras alrededor de las plantas de banano, eliminar plantas enfermas con la mano para reducir la propagación de plagas y enfermedades, y aumentar la materia orgánica y microorganismos benéficos para fortalecer las plantas y mejorar la salud del suelo (Badii y Abreu, 2006; Ibarra *et al.*, 2006).

Otra manera para evitar el daño de los plaguicidas es mediante la remoción de contaminantes, lo cual está limitado por la baja solubilidad de los compuestos orgánicos hidrofóbicos (HOC por sus siglas en inglés) presentes en el suelo. Una técnica para disminuir la concentración de plaguicidas en el ambiente es mediante la detoxificación de los suelos, esto puede ser por medio de la plantación de cultivos tolerantes a las plagas. También se ha propuesto la adición química de compuestos que faciliten la eliminación de plaguicidas y la irrigación con agua para acelerar el proceso de eliminación de plaguicidas, sin embargo, si el suelo es lo bastante permeable, se puede inducir la lixiviación del plaguicida, con el consiguiente riesgo de contaminación de los mantos acuíferos.

Existen también metodologías agronómicas que facilitan la inactivación y eliminación de los plaguicidas del suelo, y una propuesta que está tomando auge en los últimos años es la biorremediación del suelo mediante el uso de microorganismos (bacterias y hongos), con capacidad para degradar los plaguicidas y/o sus metabolitos (Odukkathil y Vasudevan, 2013; Fulekar, 2014).

## Biorremediación de áreas contaminadas con plaguicidas

Esta opción aprovecha la composición química de los plaguicidas, cuya estructura constituye una fuente de carbono y de electrones para diversos organismos presentes en el suelo (Chowdhury *et al.*, 2008), tales como: *Rhodococcus* sp., bacteria capaz de degradar las triazinas a nitrato. Durante un ensayo de biorremediación con dicha bacteria se generó 30% de nitrito, 3.2% óxido nitroso, 10% amonio y 27% formaldehído (Fournier *et al.*, 2002). Otros microorganismos que han sido reportados por su capacidad para biorremediar son: *Aspergillus fumigatus*, *A. niger*, *A. terreus* y *Absidia corymberifera*, aisladas de suelos contaminados con plaguicidas, dichos organismos mostraron capacidad degradadora del herbicida metribuzin (Torres-Rodríguez, 2003). En un estudio se observó que la bacteria *Pseudomonas putida* ha demostrado ser adecuada para degradar el plaguicida Mancozeb, por lo que se considera como promisorio para usos en biorremediación (Pirahauta *et al.*, 2006)

El impacto de los procesos de biorremediación en un suelo contaminado con plaguicidas depende de la comunidad microbiana que haya tolerado y desarrollado en él, ya que tienen un papel esencial en el ciclo biogeoquímico del suelo y en el ecosistema. Se puede tratar el suelo por organismos autóctonos (atenuación natural) o bien añadiendo microorganismos caracterizados por poder degradar el tipo de contaminante del suelo (bioaumentación) (Mercier *et al.*, 2013). Cabe

mencionar que para que esta técnica sea eficiente se depende de los siguientes factores: estructura del plaguicida, concentración del plaguicida, pH del suelo, salinidad del suelo, contenido de materia orgánica del suelo, contenido de humedad, temperatura, capacidad de disipación del plaguicida y componentes bióticos del suelo. Estos factores permitirán un buen desarrollo de los microorganismos que degradan los contaminantes (Torres-Rodríguez, 2003). Entre las investigaciones futuras de los microorganismos degradadores de los plaguicidas y otras herramientas de remediación que podrían ser utilizados para limpiar suelos contaminados, se debe tomar la accesibilidad del plaguicida en la microestructura del suelo, ya que éste interviene en la fijación, distribución del plaguicida en el suelo y el desarrollo de la comunidad microbiana que se desarrolla en él (Romeh y Hendaw, 2014).

Se requieren evaluaciones para considerar la persistencia del plaguicida en el suelo y así determinar la pérdida del contaminante. Para realizar la estimación cuantitativa se requieren modelos matemáticos mediante programas de cómputo que usen parámetros referentes al lugar, suelo, cultivo, tratamientos, información meteorológica, etc. En caso de no poder hacer una cuantificación de este tipo, una valoración cualitativa de contaminación potencial de los plaguicidas de aguas superficiales o subterráneas es posible usando los índices de adsorción y persistencia. Esto permitirá conocer la eficiencia de los métodos que se están empleando para descontaminar el suelo (Castillo *et al.*, 2003).

## Conclusión

El manejo de plaguicidas implica riesgos importantes y requiere, en cualquier país, políticas claras de reducción en su uso para eliminar o disminuir la exposición ambiental y de la población en general a estas sustancias. Se requieren iniciativas principalmente en los países en desarrollo como México, que cuentan con poca inversión en investigación, tienen

medidas de seguridad débiles para la protección del ambiente y la salud y sus programas de monitoreo ambiental son limitados. Nuestro país no cuenta con estadísticas exactas sobre el uso de plaguicidas (cantidad por cultivo y por región) y ni los efectos de la toxicidad y comportamiento ambiental de éstos que permitan evaluar la vulnerabilidad ambiental, así como de los riesgos sobre la salud humana asociados con el uso de dichos productos. Debido a ello, es importante tener estrategias que contrarresten el uso excesivo de plaguicidas, para evitar el desarrollo de resistencia en las cepas, descontaminar los sitios afectados y a la vez que las instancias correspondientes realicen evaluaciones, medidas de prevención para no afectar el ambiente y la salud.

## Literatura Citada

- Aguilar-Barragán, A., A. García-Torres, O. Odriozola-Casas, G. Macedo-Raygoza, T. Ogura, G. Manzo-Sánchez, A. James, I. Islas-Flores, and M. Beltrán-García. 2014. Chemical management in fungicide sensitivity of *Mycosphaerella fijiensis* collected from banana fields in México. *Braz. J. Microbiol.* 45(1):359-364.
- AGUIRRE-BUITRAGO, J., S. Narváez-González, M. Bernal-Vera y E. Castaño-Ramírez, 2014. Contaminación de operarios con clorpirifos, por práctica de «embolsado» de banano (*Musa sp.*) en Urabá, Antioquia. *Revista Luna Azul* 38:191-217.
- ALBERT, L. A. 2005. Panorama de los plaguicidas en México. *Revista de Toxicología*. (En línea). Disponible en: <http://www.sertox.com.ar/retel/n08/01.pdf>. 7° Congreso de Actualización en Toxicología Clínica. pp.1-17.
- BADII, M. H. and J. L. Abreu. 2006. Biological control a sustainable way of pest control. *DAENA* 1(1):82-89.
- BRAVO, V., T. Rodríguez, B. van Wendel, N. Canto, G. R. Calderón, M. Turcios, L. A. Menéndez, W. Mejía, A. Tatis, F. Z. Abrego, E. de la Cruz, and C. Wesseling. 2011. Monitoring pesticide use and associated health hazards in Central America. *Int. J. Occup. Environ. Health* 17(3):258-269.
- CASTILLO, A. E., J. Rojas., R. Monteros., I. Nardelli y G. Guasch. 2003. Métodos para determinar Carbofuran (2,3-dihidro-2,2-dimetilbenzofuran-7-il metilcarbamato). *Agrotecnia* 10:15-20.
- CHIN, K. M., M. Wirz, and D. Laird. 2001. Sensitivity of *Mycosphaerella fijiensis* from banana to trifloxystrobin. *Plant Dis.* 85:1264-1270.
- CHOWDHURY, A., S. Pradhan, S. Monidipta, and N. Sanyal. 2008. Impact of pesticides on soil microbiological parameters and possible bioremediation strategies. *Indian J. Microbiol.* 48:114-127.
- CHURCHILL, A. C. 2011. *Mycosphaerella fijiensis*, the black leaf streak pathogen of banana: progress towards understanding pathogen biology and detection, disease development, and the challenges of control. *Mol. Plant Pathol.* 12:307-328.
- COMISIÓN VERACRUZANA DE COMERCIALIZACIÓN AGROPECUARIA-SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN. (COVECA-SAGARPA). 2010. Monografía del Plátano. Veracruz Gobierno del Estado, México. 2,7-9,20 y 21.
- COUOH-UICAB, Y., Islas-Flores, I., Kantun-Moreno, N., Zwiars, L., Tzec-Simá, M., Peraza-Echeverría, S., Brito-Argaez, L., Peraza-Echeverría, L., Grijalva-Arango, R., James, A., Rodríguez-García, C. and B. Canto-Canché. 2012. Cloning, in silico structural characterization and expression analysis of MfAtr4, an ABC transporter from the banana pathogen *Mycosphaerella fijiensis*. *Afr. J. Biotechnol.* 11:54-79.
- DOMÍNGUEZ, M., Peñuela, G. y M. Flórez. 2009. Método analítico para la determinación de etilentiurea (ETU) subproducto del Mancozeb en un Andisol del Oriente Antioqueño. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia* 49:42-49.
- EDDLESTON, R., F. Mohamed, J. Davies, P. Eyer, F. Worek, M Rezvi and N. Buckley. 2006. Respiratory failure in acute organophosphorus pesticide self-poisoning. *QJM.* 99(8):513-522.
- ESKENAZI, B., Harley, K., Bradman, A., Weltzien, E., Jewell, N., Barr, D., and N. Holland. 2004. Association of in utero organophosphate pesticide exposure and fetal growth and length of gestation in an agricultural population. *Environ. Health Persp.* 112(10):1116-1124.
- FOURNIER, D., A. Halasz, J. Spain, P. Fiurasek, and J. Hawari. 2002. Determination of key metabolites during biodegradation of hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine with *Rhodococcus* sp. strain DN22. *Appl. Environ. Microbiol.* 68(1):166-72.
- FULEKAR, M. 2014. Rhizosphere bioremediation of pesticides by microbial consortium and potential microorganism. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 3(7): 235-248.
- FUNGICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE (FRAC). 2010. Fungicide use guidelines. 10th Meeting Working Group Bananas. Orlando, FLA, USA. The FRAC Code List. [Online]. Available: [www.frac.info](http://www.frac.info).
- GAVILAN, J. 2013. Principales plagas y enfermedades del banano. Sigatoka Negra. <http://www.galeon.com/bananasite/plagas.html>. Página visitada el 26 de diciembre de 2014.
- GEISSEN, V., F. Que-Ramos, P. Bastidas-Bastidas, G. Díaz-González, R. Bello-Mendoza, E. Huerta-Lwanga, and L. Ruiz-Suárez. 2010. Soil and water pollution in a banana production region in tropical México. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 85:407-413.
- GUZMÁN, M. y R. A. Romero. 1997. Comparación de los fungicidas azoxistrobina, propiconazole y difenoconazole en el control de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en banano (*Musa AAA*). *Corbana* 22:49-59.
- GUZMÁN, M., S. Knight, H. Sierotski, G. Franceshi and I. Alon. 2004. Sensitivity to fungicides in *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. A Global Overview. Memorias de la XVI Reunión Internacional de ACORBAT, Oaxaca, México, Sept. 29-Oct. 2004 (1):251-252.
- HANADA, R., L. Gasparotto and A. Moreira. 2015. Sensitivity of *Mycosphaerella fijiensis* from plantains to fungicides propiconazol and azoxystrobin. *Rev. Cienc. Agrar.* 58(1):21-26.
- IBARRA, J., M. Del Rincón, E. Galindo, M. Patiño, L. Serrano, R. García, J. Carrillo, B. Pereyra-Alfárez, A. Alcázar-Pizaña, H. Luna-Olvera, L. Galán-Wong, L. Pardo, C. Muñoz-Garay, I. Gómez, M. Soberón y A. Bravo. 2006. Los microorganismos en el control biológico de insectos y fitopatógenos. *Rev. Latinoam. Microbiol.* 48(2):113-120.
- JAMAL, G., S. Hansen, A. Pilkington, D. Buchanan, R. Gillham, M. Abdel-Azis, P. Julu, S. Al-Rawas, F. Hurley and J. Ballantyne. 2002. A clinical neurological, neurophysiological, and neuropsychological study of sheep farmers and dippers exposed to organophosphate pesticides *Occup. Environ. Med.* 59(7):434-441.

- MARÍN, D. H., R. A. Romero, M. Guzmán, and T. B. Sutton. 2003. Black Sigatoka: an increasing threat to banana cultivation. *Plant. Dis.* 87: 208-222.
- MARONI, M., A. Fanetti, and F. Metruccio. 2006. Risk assessment and management of occupational exposure to pesticides in agriculture. *Med. Lav.* 97(2):430-7.
- MARTÍNEZ-BOLAÑOS, L., D. Téliz-Ortiz, J. Rodríguez-Maciél, J. Mora-Aguilera, D. Nieto-Ángel, J. Cortés-Flores, D. Mejía-Sánchez, C. Nava-Díaz and G. Silva-Aguayo. 2012. Fungicides resistance on *Mycosphaerella fijiensis* populations of southeastern México. *Agrociencia* 46:707-717.
- MERCIER, A., M. Dictor, J. Harris-Hellal, B. Dominique, and M. Christophe. 2013. Distinct bacterial community structure of 3 tropical volcanic soils from banana plantations contaminated with chlordecone in Guadeloupe (French West Indies). *Chemosphere* 92:787-794.
- NEME, C., M. Ríos, N. Zaldúa, y S. Cupeiro. 2010. Aproximación a la normativa vigente sobre plaguicidas y sus impactos ambientales. Ed. *Vida Silvestre Uruguay*. pp.11:19.
- NITI, C., S. Sunita, K. Kamlesh, and K. Rakesh. 2013. Bioremediation: An emerging technology for remediation of pesticides. *Res. J. Chem. Environ.* 17(4):88-105.
- ODUKKATHIL, G. and N. Vasudevan. 2013. Toxicity and bioremediation of pesticides in agricultural soil. *Rev. Environ. Sci. Bio/technol.* 12(4):421-444.
- OROZCO-SANTOS, M., J. Fariás-Larios, G. Manzo-Sánchez, and S. Guzmán-González 2001. Black Sigatoka disease (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) in México. *Infomusa-10*:33-37.
- PARO, R., Tiboni, G., Buccione, R., Rossi, G., Cellini, V., Canipari, R. and S. Cecconi. 2012. The fungicide mancozeb induces toxic effects on mammalian granulosa cells. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 260(2):155-61.
- PENAGOS, H. G. 2002. Contact dermatitis caused by pesticides among banana plantation workers in Panama. *Int. J. Occup. Environ. Health* 8(1):14-8.
- PERERA, F. P., V. Rauh, W. Tsai, P. Kinney, D. Camann, and D. Barr. 2003. Effects of transplacental exposure to environmental pollutants on birth outcomes in a multiethnic population. *Environ. Health Persp.* 111:201-206.
- PÉREZ, M.A., H. Navarro y E. Miranda. 2013. Residuos de plaguicidas en hortalizas: problemática y riesgo en México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 29:45-64.
- PIRAHALTA, A., M. Mojica, M. y E. Baquero. 2006. Aislamiento, purificación y selección de bacterias como candidatos para ser utilizados en procesos de biorremediación de mancozeb (ethylenebisdithio carbamate) utilizando en cultivos de papa. *Rev. Científic.* 8(8):157-171.
- RAMÍREZ, S. G. y C. J. Rodríguez. 1996. Manual de producción de plátano para Tabasco y Norte de Chiapas. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Huimanguillo. Tabasco, México. FOLLETO TÉCNICO. No. 13. 80 pp.
- RAUH, V., F. Perera, M. Horton, R. Whyatt, R. Bansal, X. Hao, J. Liu, D. Boyd, T. Slotking, and B. Peterson. 2012. Brain anomalies in children exposed prenatally to a common organophosphate pesticide. *PNAS* 109(20):7871-7876.
- RODRÍGUEZ, T., L. Younglove, C. Lu, A. Funez, S. Weppner, D. B. Barr, and R.A. Fenske. 2006. Biological monitoring of pesticide exposures among applicators and their children in Nicaragua. *Int. J. Occup. Environ. Health* 12(4):312-20.
- ROMEY, A. and Y. Hendaw. 2014. Bioremediation of certain organophosphorus pesticides by two biofertilizers, *Paenibacillus* (*Bacillus*) *polymyxa* (Prazmowski) and *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck). *J. Agr. Sci. Tech.* 16: 265-276.
- SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA. (SIAP). 2013. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/> Agricultura Producción Anual. Cierre de la producción agrícola por cultivo. (Consulta Octubre-Noviembre, 2013).
- SHUKLA, Y. and A. Arora. 2001. Transplacental carcinogenic potential of the carbamate fungicide mancozeb. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.* 20(2):127-131.
- TORRES-RODRÍGUEZ, D. 2003. El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos. *Ecosistemas* 12(2):1-5.
- TREJO-ACEVEDO, A., N. Rivero y J. Ordóñez. 2014. Exposición a plaguicidas en niños de la zona platanera del soconusco, Chiapas. *Revista AIDIS* 7(2):179-188.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). 2002. Chlorpyrifos: Reregistration eligibility decision (RED), EPA, 738-R-01-007. U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- VAN DEN BOSCH, F., R. Oliver, F. van den Berg and N. Paveley. 2014. Governing principles can guide fungicide-resistance management tactics. *Annu. Rev. Phytopathol.* 52:175-95.
- WOIGNIER, T., F. Clostre., P. Cattán, J. Levillain, Y. M. Cabidoche and M. Lesueur-Jannoyer. 2014. Diagnosis and management of field pollution in the case of an organochlorine pesticide, the Chlordecone. In: Hernandez Soriano, Maria C., dir., Environmental Risk Assessment of Soil Contamination (Edit). Rijeka, HRV:InTech. Chapter 21:615-636.
- ZHAN, J., P. Thrall and J. Burdon. 2014. Achieving sustainable plant disease management through evolutionary principles. *Trends Plant. Sci.* 19(9): 570-576. 

Este artículo es citado así:

Mena-Espino, X., y Y. Couoh-Uicab. 2015. Efectos de los plaguicidas utilizados para el control de la Sigatoka negra en plantaciones bananeras en México, así como su efecto en el ambiente y la salud pública. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 9(2): 91-98.

## Resumen curricular del autor y coautores

**XENIA MENA ESPINO.** Cursó la carrera de licenciatura Químico Farmacéutico Biólogo en la Universidad Autónoma de Campeche, la Maestría en Microbiología en Universidad Autónoma de Campeche, Doctorado en Ciencias y Biotecnología de Plantas en el Centro de Investigación Científica de Yucatán A. C. Realizó el postdoctorado en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV)-Unidad Zacatenco. Investigador Cátedras CONACyT asignada División de Ciencias Básicas e Ingeniería en la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.

**YENY LIZZET COUOH UICAB.** Cursó la carrera de licenciatura en Biología en el Instituto Tecnológico de Conkal, el Doctorado en Ciencias y Biotecnología de Plantas en el Centro de Investigación Científica de Yucatán A. C. Realizó el postdoctorado en el Instituto Tecnológico de Celaya. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel C.