

ADAPTACIÓN DE UNA TÉCNICA ESPECTROFOTOMÉTRICA PARA LA DETECCIÓN DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN MUESTRAS DE SUELO Y AGUA

Valeria Maldonado Ortega, Yisa María Ochoa Fuentes y Ernesto Cerna Chávez

RESUMEN

La agricultura actual exige un esfuerzo dirigido a estudiar y desarrollar estrategias que aseguren e incrementen la producción agrícola. La introducción de productos químicos como los plaguicidas ha revolucionado la agricultura al punto de llegar a ser indispensables. Si bien su aplicación ha sido un mecanismo eficiente, su ingreso al ambiente puede resultar en riesgos, estando asociadas a intoxicaciones por su presencia residual en alimentos. Debido a ello ha sido necesario desarrollar métodos para la determinación de plaguicidas en muestras de diferente índole. El objetivo del presente trabajo fue determinar residuos de plaguicidas en muestras de suelo y agua utilizando la colorimetría descrita por Namera et al. (2000), como una tecnología alternativa de detección. Se tomaron muestras de

suelo y agua de tres regiones productoras de papa y dos productoras de manzana, y se evaluaron plaguicidas organofosforados. Hay mayor persistencia de éstos en suelo; en el cultivo de papa tuvo mayor persistencia Naled® (15,549 µg·g⁻¹) y en cultivo de manzano Acefato® (254,2 µg·g⁻¹). En las muestras de agua, en cultivo de papa se tuvo el mismo resultado en cuanto el plaguicida con mayor persistencia; sin embargo, se registró en una concentración mucho menor (5,182 µg·m⁻¹) y en cultivo de manzana fue el acefato (139,2 µg·m⁻¹). En todas las muestras se encontró al menos un plaguicida. Dado que no existen referencias sobre límites máximos permitidos para suelo o agua, este tipo de estudios son de interés y pudieran servir como referencia en un futuro.

Introducción

Desde las épocas tempranas del surgimiento y desarrollo del hombre se tuvo la necesidad de combatir las plagas que afectaban los cultivos y productos, con el uso de sustancias capaces de eliminarlos. Se tienen documentos que evidencian el uso de azufre como sustancia purificadora para eliminar hongos; el rey de Persia, Jerjes, utilizó las flores de piretro como insecticida y los chinos utilizaron los arseniatos para el control de roedores y otras plagas (Del Puerto et al., 2014). A partir de la Revolución Industrial, tuvo lugar un incremento de las zonas urbanas, con dependencia de las rurales para la obtención de los alimentos; a consecuencia, hubo un incremento sustancial de

producción de sustancias químicas a la par del incremento del desarrollo agrícola e industrial (González, 2011).

Si bien la aplicación de plaguicidas ha sido un mecanismo eficiente para el cuidado de los cultivos, su ingreso al ambiente puede resultar en riesgos para los sistemas biológicos (Del Puerto et al., 2014). Se pueden mencionar problemas tales como la bioacumulación en zooplancton, ictiofauna y aves, así como la contaminación del aire provocada principalmente por la incapacidad de la atmósfera de procesar ciertos productos químicos desprendidos por su uso o fabricación (Reeves et al., 2015); tratamientos extensivos en avioneta pueden incidir tanto en la salud humana como en la fitotoxicidad de los cultivos. El agua es otra vía importante a

través de la cual se extienden los plaguicidas por el ambiente, consecuencia de su movilización debido a la escorrentía de los distritos de riego o de la falta de cuidado en áreas de aplicación donde es frecuente que se laven los tanques y equipos en arroyos o canales (Rodríguez et al., 2019).

Los organofosforados son plaguicidas utilizados ampliamente para el control de plagas domésticas, granos almacenados y comúnmente en campo. Estos han sido sujeto de estudio relacionado con su persistencia en suelo, plantas, granos y vegetales (Venogupal et al., 2012). Su uso se hizo más frecuente debido a su moderada persistencia en comparación con otros compuestos como lo son los organoclorados (Pérez et al., 2009); sin embargo, no dejan de ser un

peligro potencial para la salud humana ya que se encuentran asociados a casos de intoxicación por su residualidad (Cárdenas et al., 2010) haciendo que la ingesta de alimentos sea la principal ruta de exposición de plaguicidas a consumidores que no trabajan directamente con ellos (Jurasko et al., 2009).

Con el fin de garantizar la seguridad en el consumo de alimentos y facilitar su comercialización, organismos internacionales han establecido límites máximos de residuos (LMR) de plaguicidas en alimentos, con el propósito de llevar un registro, monitoreo y control de estos en un amplio rango de alimentos (Popp et al., 2013). Así, los laboratorios han tenido la necesidad de desarrollar métodos con la finalidad de

PALABRAS CLAVE / Espectrofotetría / Organofosforados / Plaguicidas / Residuos /

Recibido: 08/08/2020. Modificado: 29/04/2021. Aceptado: 03/05/2021.

Valeria Maldonado Ortega. Alumna del Doctorado en Ciencias en Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), México.

Yisa María Ochoa Fuentes. Doctora en Ciencias en Parasitología Agrícola, UAAAN, México. Profesora Investigadora, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.

Ernesto Cerna Chávez. (Autor de correspondencia). Doctor en Ciencias en Parasitología Agrícola, UAAAN, México. Profesor Investigador, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

México. Dirección: Departamento de Parasitología Agrícola, UAAAN. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315, Saltillo, Coahuila, México. e-mail: jabalyl@yahoo.com.

ADAPTATION OF A SPECTROPHOTOMETRIC TECHNIQUE FOR THE DETECTION OF PESTICIDE RESIDUES IN SOIL AND WATER SAMPLES

Valeria Maldonado Ortega, Yisa María Ochoa Fuentes and Ernesto Cerna Chávez

SUMMARY

Nowadays agriculture requires an effort at studying and developing strategies that assure and increase agricultural production. The introduction of chemicals such as pesticides has revolutionized to such an extent that they have become indispensable. Although their application has been an efficient mechanism, their entry into the environment can result in risks since they are associated with poisoning due to their residual presence in food. Due to this, the development of methods for determining pesticides in different kind of samples is important. The objective of the present work was to determine pesticide residues in soil and water samples using the colorimetry described by Namera et al. (2000), as an alternative detection technology. Soil and water samples were taken from three po-

tato producing regions and two apple producing regions, and organophosphate pesticides were evaluated. There is a greater persistence of these products in soil; in the potato crop Naled® was found to have greater persistence ($15.549\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) and in apple tree cultivation it was Acefato® ($254.2\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). In the case of water samples in potato cultivation, the same result was obtained as the pesticide with greater persistence, however, it was registered in a much lower concentration ($5.182\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$); in apple cultivation it was acefato ($139.2\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$). At least one pesticide was found in all samples. Since there are no references on maximum limits allowed for the soil or water resource, these types of studies are of interest as they could serve as a reference in the future.

ADAPTAÇÃO DE UMA TÉCNICA ESPECTROFOTOMÉTRICA PARA A DETECÇÃO DE RESÍDUOS DE PESTICIDAS EM AMOSTRAS DE SOLO E ÁGUA

Valeria Maldonado Ortega, Yisa María Ochoa Fuentes e Ernesto Cerna Chávez

RESUMO

A agricultura de hoje exige um esforço destinado a estudar e desenvolver estratégias que garantam e aumentem a produção agrícola. A introdução de produtos químicos como pesticidas revolucionou a tal ponto que se tornaram indispensáveis. Embora a aplicação destes tenha sido um mecanismo eficiente, sua entrada no ambiente pode resultar em risco, uma vez que essas substâncias estão associadas a casos de intoxicação devido à sua presença residual nos alimentos. Devido a isso, houve necessidade de desenvolver métodos para determinar pesticidas em amostras de diferentes tipos. O objetivo do presente trabalho foi determinar resíduos de pesticidas em amostras de solo e água usando a colorimetria descrita por Namera et al. (2000), como uma tecnologia de detecção alternativa. Amostras de solo e água foram

colhidas em três regiões produtoras de batata e em duas regiões produtoras de maçã foram avaliados pesticidas organofosforados. Há uma maior persistência desses produtos no solo, na cultura da batata foi encontrada com maior persistência do Naled® ($15,549\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) e no cultivo de macieira foi Acefato® ($254,2\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). No caso de amostras de água no cultivo da batata, o mesmo resultado foi obtido com o pesticida com maior persistência, no entanto, foi registrado em uma concentração muito menor ($5,182\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$); no cultivo da maçã foi o acefato ($139,2\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$). Pelo menos um pesticida foi encontrado em todas as amostras, uma vez que não há referências sobre os limites máximos permitidos para o solo ou recursos hídricos, esses tipos de estudos são de interesse, pois podem servir como referência no futuro.

ejercer un control efectivo que permita la determinación de un gran número de compuestos en un solo análisis (Fernández et al., 2008). En los últimos años se han implementado para ese fin métodos basados en cromatografía líquida (Zamubio et al., 2017), cromatografía de gases y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (Portolés et al., 2014).

El empleo de este tipo de metodologías requiere de largos periodos de tiempo en su análisis y un alto número de datos que procesar, ya que se requiere de la construcción de ensayos de recuperación y múltiples

curvas de calibración de la matriz; por otra parte presentan la gran desventaja que por incompatibilidad de diversos compuestos hace difícil su determinación y se requiere la confirmación de los resultados mediante otra técnica (Arrieta, 2016). Namera et al. (2000) desarrollaron un método colorimétrico simple y sensible para la determinación de plaguicidas organofosforados en orina, con la finalidad de ahorrar tiempo en situaciones críticas médicas en donde se necesite un resultado rápido y certero; la metodología se basa en detectar los complejos de

color producto de la reacción química entre los plaguicidas organofosforados y la 4-(4-nitrobenzil) piridina (NBP).

El objetivo del presente trabajo fue determinar residuos de plaguicidas en muestras de suelo y agua de uso agrícola utilizando la colorimetría descrita por Namera et al. (2000), como una tecnología alternativa de detección.

Material y Método

Muestreo

El muestreo se llevó a cabo unidades de producción (udp)

de diferentes localidades de los estados mexicanos de Coahuila (Huizache, Huachichil, Tunal y Los Lirios) y Nuevo León (Navidad), dedicadas a la producción de papa y manzano. Se tomaron muestras de suelo y agua de cinco udp (A-E) por cada localidad. Para suelo se seleccionó una hectárea representativa, de la cual se tomaron diez puntos bajo el sistema de zigzag, siendo todas las muestras tomadas de la capa superficial (30cm). El muestreo de agua se llevó a cabo de acuerdo con la NOM-014-SSA1-1993, en donde se establece desde la preparación de los envases para

la toma de muestra, hasta su manejo y mantenimiento.

Preparación de muestras de suelo

El pretratamiento de las muestras de suelo fue bajo extracción Soxhlet. Se pesaron 10g de suelo, y se colocaron en papel filtro Whatman® doblado e introducido en el sifón del equipo. Por muestra se emplearon 130ml de solvente hexano-acetona en una proporción 5:1 en un matraz de fondo plano. Una vez iniciada la evaporación y condensación del solvente se completaron un total de 12 ciclos dentro de un rango de 4 a 5h. El producto final fue almacenado en frascos ámbar.

Preparación de muestras de agua

Se llevó a cabo por extracción líquido-líquido. Se vertieron 60ml de solvente hexano-acetona en proporción 5:1 en un embudo de decantación y a continuación se colocaron 60ml de la muestra, se agitó por 1min y se permitió reposar 15min hasta observar la separación de fases, recuperando la fase orgánica. Se realizó la operación por triplicado. El producto recuperado se guardó en frascos ámbar.

Estandarización para la determinación de plaguicidas organofosforados

Se agregaron 0,2ml de 4-(4-nitrobenzil) piridina (NBP, 45% acetona) a 2ml de muestra, mezclándolo en vortex por 30s. La mezcla se llevó a calentamiento hasta 100°C por 20min a baño maría, para después dejar enfriar a temperatura ambiente. Se agregó 0,2ml de TEP y 2ml de éter dietílico y posteriormente se extrajeron los complejos de color formados, vertiéndolos en celdas de cuarzo para su análisis mediante un espectrofotómetro UV-Vis a 540nm.

Preparación de estándares

Previo a la cuantificación de residuos de los plaguicidas se

realizó una curva de calibrado de cada uno de los plaguicidas a estudiar, utilizando seis estándares los cuales se obtuvieron a partir de cada producto. Su preparación se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita anteriormente y las soluciones se elaboraron en un rango de concentración de 0,001 a 0,1mg·ml⁻¹. Se obtuvo el límite de detección de cada plaguicida (Tabla I).

Resultados

Curvas de calibración

Con los valores de las diferentes concentraciones y utilizando un filtro de 540nm, se obtuvieron las diferentes absorbancias, con las cuales pudo ser posible calcular la ecuación de la recta, para utilizarla como referencia en las muestras de estudiar y así poder cuantificar los residuos presentes. Los coeficientes de correlación encontrados se muestran en la Tabla II.

Residuos en muestras de suelo y agua en el cultivo de papa

Como se describió en Materiales y Métodos, se muestrearon tres localidades de producción papera con cinco udp en cada una (udp A al E). En la Tabla III se puede observar que en los residuos de plaguicida en muestras de suelo, la región del Huizache presentó un número mayor de muestras con producto Naled (90%). Por otro lado, en la Tabla IV se

TABLA I
LÍMITES DE DETECCIÓN

Compuesto	Límite (µg/ml ⁻¹)
Naled	0,3
Ometoato	0,3
Profenofos	0,3
Acefato	0,3
Diazinon	0,3
Dimetoato	0,3
Metamidofos	0,01
Malatión	0,1
Clorpirifos	0,5

TABLA II
COEFICIENTES DE CORRELACIÓN

Plaguicida	R ²
Naled	0,962
Ometoato	0,945
Profenofos	0,997
Acefato	0,980
Diazinón	0,965
Dimetoato	0,955
Metamidofos	0,884
Malatión	0,899
Clorpirifos	0,866

muestran los resultados obtenidos en agua, donde su incidencia es menor; se encontró Naled en un 20% del total de las muestras, seguido por el resto de los insecticidas en un 10%.

Los límites máximos de residuos señalados por el Codex Alimentarius indican residuos presentes dentro o en la superficie de los alimentos; sin embargo, hasta el momento no existen datos acerca de límites de residuos en suelo de uso agrícola. En papa y en general en frutas, están establecidos los siguientes valores: 0,01mg·kg⁻¹ para ometoato; 0,05mg·kg⁻¹ para profenofos; y 0,5mg·kg⁻¹ para malatión y dimetoato (FAO, 2017).

En cuanto a los resultados en muestras de suelo (Tabla III) se encontraron en mayor concentración en la región de Navidad: profenofos, acefato y ometoato con 32,685; 20,03 y 15,160µg·g⁻¹ respectivamente. Estos datos coinciden con Gavidia *et al.* (2016), quienes encontraron en dos municipios dedicados al cultivo de papa en Venezuela los insecticidas profenofos y ometoato con 20,3 y 40µg·g⁻¹. En México los productores del cultivo de la papa realizan desde 5 hasta 30 aplicaciones de plaguicida para el control del vector *Bactericera cockerelli* durante el ciclo del cultivo, y Vega *et al.* (2008) reportan que en el estado de Coahuila es común que se realicen hasta 12 aplicaciones utilizando estos productos.

En muestras de agua se encontraron las mayores concentraciones de los insecticidas acefato en la región de Navidad (10,15µg·ml⁻¹), y de diazinón y dimetoato en la región del Huizache (6,71 y 5,65µg·ml⁻¹). Estos resultados difieren de otros autores que reportan cantidades menores de residuos. López *et al.* (2000) analizaron cuencas del Río San Juan en Nicaragua, encontrando mayor incidencia de diazinón y dimetoato en concentraciones que oscilan entre los 0,021 y 0,050µg·ml⁻¹; por otro lado, Vidal (2014) reportó en muestras de agua superficiales y subterráneas a diazinón, dimetoato y clorpirifos como no detectables.

Es muy notorio que hubo mayor retención de producto en muestras de suelo que en muestras de agua. Rampoldi *et al.* (2014) hacen mención de los diferentes procesos naturales llevados a cabo en suelo como la absorción (entrada del plaguicida a la matriz del suelo) y adsorción (unión del plaguicida a partículas del suelo). En estudios realizados por Hang *et al.* (2011) donde se probaron diferentes plaguicidas organofosforados en tipos de suelo variados, se menciona que se presentaba mayor afinidad a estos conforme la profundidad de suelo, y que el contenido de carbono orgánico y el pH juegan también un papel importante.

Residuos de plaguicidas en muestras de suelo y agua en el cultivo de manzana

Se muestrearon dos localidades dedicadas a la producción de manzana con cinco udp en cada una. En la Tabla V se pueden observar los residuos presentes en muestras de suelo, donde los nueve organofosforados estudiados fueron encontrados en ambas regiones, siendo ometoato, profenofos, acefato, diazinón y dimetoato, los de mayor incidencia en el Tunal, mientras que en los Lirios fueron metamidofos, malatión y clorpirifos. Los productos mencionados mostraron la misma incidencia en

TABLE III
CONCENTRACIONES (MG·G⁻¹) DE PLAGUICIDAS EN MUESTRAS DE SUELO EN EL CULTIVO DE PAPA

Localidad		Naled	Ometoato	Profenofos	Acefato	Diazinon	Dimetoato	Metamidofos	Malathion	Clorpirifos
Huachichil	A	5,18	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0,77	0,54	2,60
	B	11,22	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0,33	0,23	1,10
	C	10,94	1,72	1,80	6	1,30	1,13	1,12	0,79	3,80
	D	(-)	(-)	(-)	6	1,34	1,13	(-)	(-)	(-)
	E	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Huizache	A	15,55	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0,48	0,33	1,62
	B	10,51	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	C	11,23	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0,55	0,39	2,76
	D	12,00	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	E	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Navidad	A	(-)	15,16	15,89	15,16	15,45	2,24	(-)	(-)	(-)
	B	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	C	2,59	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0,28	0,19	2,02
	D	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	E	4,61	2,16	32,69	20,03	10,20	5,77	0,018	0,13	3

(-): Ausente, A-E: cinco diferentes unidades de producción (udp).

TABLE IV
CONCENTRACIONES (MG·ML⁻¹) DE PLAGUICIDAS EN MUESTRAS DE AGUA EN EL CULTIVO DE PAPA

Localidad		Naled	Ometoato	Profenofos	Acefato	Diazinon	Dimetoato	Metamidofos	Malathion	Clorpirifos
Huachichil	A	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	B	2,16	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	C	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	D	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	E	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Huizache	A	5,18	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0,56	0,12	0,56
	B	(-)	3,43	2,35	3,02	6,71	5,65	(-)	(-)	(-)
	C	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	D	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	E	2,16	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Navidad	A	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	B	1,00	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0,6	0,42	2,02
	C	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	D	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	E	(-)	2,35	1,56	10,15	1,58	1,02	(-)	(-)	(-)

(-): Ausente, A-E: cinco diferentes unidades de producción (udp).

muestras de agua (Tabla VI) para esta región.

Se obtuvieron concentraciones de acefato en suelo que van de 254,2 a 177,3 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, valores altos en comparación con los obtenidos en el cultivo de papa, y le prosiguieron diazinon con 56,41 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ y profenofos con 42,88 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Muñoz y Ávila (2007) detectaron residuos de acefato y diazinon en cultivos de tomate y cilantro, con concentraciones de 100 a

288 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Emamiyan *et al.* (2013) realizaron un estudio para identificar los niveles de residualidad de diazinon en suelo y en frutos seleccionados (manzana, uva, melon, sandia); el cultivo de manzano tuvo un mayor porcentaje de residuo, en muestras de suelo se encontraron residuos en un 50% de las 75 muestras estudiadas.

Acefato es un insecticida registrado desde 1973 por la Agencia de Protección

Ambiental de los Estados Unidos (Magee, 1973). Se ha observado que después de su descomposición generalmente se convierte en metamidofos un producto altamente tóxico (Yen *et al.*, 2000) que es su metabolito principal. Se ha observado que el acefato tiene una vida media más larga que metamidofos en suelo y este tiene una movilidad más lenta, lo que lleva a la conclusión de que el acefato

puede conducir a la contaminación del agua subterránea con mayor facilidad (Yen *et al.*, 2000).

Los valores de las concentraciones encontradas en las muestras de agua presentan similitud a las del suelo. El acefato sigue siendo el producto que muestra valores altos (77,6-139,2 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$) en las localidades manzaneras, mientras el resto de los insecticidas fluctúan entre 0,067 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$

TABLA V
CONCENTRACIONES (MG·G⁻¹) DE PLAGUICIDAS EN MUESTRAS DE SUELO EN EL CULTIVO DE MANZANA

Localidad	Naled	Ometoato	Profenofos	Acefato	Diazinon	Dimetoato	Metamidofos	Malathion	Clorpirifos
Tunal	A	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	B	(-)	31,18	32,69	177,3	39,3	32,96	(-)	(-)
	C	3,17	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0,34	0,23
	D	(-)	37,18	38,98	181,5	40,2	33,75	0,08	0,06
	E	(-)	31,75	33,29	254,2	56,41	47,25	(-)	(-)
Los Lirios	A	(-)	4,01	42,88	156,4	40	22,34	(-)	(-)
	B	8,92	2,86	2,99	100,2	55,63	33	0,12	0,49
	C	12,96	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0,7	0,5
	D	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	E	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0,23	0,16

(-): Ausente, A-E: cinco diferentes unidades de producción (udp).

TABLA VI
CONCENTRACIONES (MG·ML⁻¹) DE PLAGUICIDAS EN MUESTRAS DE SUELO EN EL CULTIVO DE MANZANA

Localidad	Naled	Ometoato	Profenofos	Acefato	Diazinon	Dimetoato	Metamidofos	Malathion	Clorpirifos
Tunal	A	0,86	0,86	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	B	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	C	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	D	(-)	(-)	25,74	139,20	30,89	25,87	(-)	(-)
	E	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Los Lirios	A	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	0,21	0,15	0,72
	B	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	C	(-)	(-)	3,43	77,6	6,79	(-)	0,10	0,07
	D	(-)	(-)	2,86	81,2	3,76	15	0,12	0,08
	E	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	1,46	1,01

(-): Ausente, A-E: cinco diferentes unidades de producción (udp).

(malati6n) y 30,89µg·ml⁻¹ (diazin6n). Eraso y Cuaran (2017) determinaron organofosforados y carbamatos en agua, los insecticidas diazin6n y malati6n no se detectaron en ninguna de sus muestras, mientras que metamidofos y acefato se consideraron como no detectables debido a que se se±alan valores <0,000089µg·ml⁻¹.

El comportamiento de los plaguicidas en el agua depende de sus propiedades fisisicas y quimicas. Los organofosforados implican un problema ya que, si bien tienen una menor persistencia (Narváez *et al.*, 2012), su degradaci6n parcial genera subproductos de mayor toxicidad que los compuestos parentales (Feola *et al.*, 2011). La solubilidad de un plaguicida es un elemento importante para la

eliminaci6n de los desechos y puede indicar la cantidad máxima de plaguicida disuelta en cualquier agua contaminada (FAO, 2017). Las sustancias con solubilidad acuosa >50ppm son muy m6viles en los suelos y su mayor concentraci6n se encuentra en los ecosistemas acuáticos. Por otro lado, las sustancias con una solubilidad acuosa >25ppm no son persistentes en los organismos vivos, en tanto aquellas con una solubilidad <25ppm tienden a inmovilizarse en el suelo y a concentrarse en organismos vivos (Badii y Landeros, 2007).

Conclusiones

Se estableci6 un método para la detecci6n cualitativa y cuantitativa de plaguicidas

organofosforados en muestras de suelo y agua, mostrando un caracteristico color rosa-magenta.

El plaguicida Naled fue el que se present6 en mayor frecuencia en el cultivo de papa, en un 60% en muestras de suelo y en un 20% en muestras de agua del total de los ranchos muestreados.

En las localidades dedicadas a la producci6n de manzana se presentaron los nueve plaguicidas a estudiar tanto en suelo como en agua.

El acefato se present6 en concentraciones altas en Tunal, en rangos de 253 a 100µg g⁻¹ en suelo y de 139 a 77 µg ml⁻¹ en agua, en ambas regiones manzaneras.

Los plaguicidas metamidofos, malati6n y clorpirifos se

presentaron en un 40% (suelo) y 24% (agua) de las 25 udp muestreados, mostrando cantidades bajas en un rango de 0,3 a 5µg.

Debido a que no existen referencias a nivel nacional e internacional sobre regulaciones o límites máximos permitidos para el recurso del suelo o agua, no se puede afirmar que existe una contaminaci6n como tal. Sin embargo, este tipo de estudios son de interés, ya que pudieran servir como referencia en un futuro para la elaboraci6n de dichos límites.

REFERENCIAS

Arrieta KM (2016) *Validaci6n de la Metodología de Cromatografía de Gases Acoplada a Espectrometría de Masas Empleando Extracci6n con*

- Acetonitrilo y Partición con Sulfato de Magnesio para la Determinación de Residuos de Plaguicidas en Frutas y Vegetales*. Tesis. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. Costa Rica. pp. 15-18.
- Badii M, Landeros J (2007) Plaguicidas que afectan a la salud humana y la sustentabilidad. *CULCyT/Toxicol. Plaguicid.* 19: 21-34.
- Cárdenas O, Silva E, Ortiz J (2010) Uso de plaguicidas inhibidores de acetilcolinesterasa en once entidades territoriales de salud en Colombia, 2002-2005. *Biomédica* 30: 95-106. DOI: 10.7705/biomedica.v30i1.157
- Del Puerto AM, Suárez S, Palacio DE (2014) Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Rev. Cub. Higiene Epidemiol.* 52: 372-387.
- Emamiyan R, Akhlaghi H, Motavalizadehkakhky R (2013) Determination of diazinon in fruits of northeast of Iran using the QuEChERS sample preparation method and GC/MS. *Asian J. Chem.* 25: 1727-1729.
- Eraso MA, Melo JM, Ortiz AY (2017) Estudio piloto de la toxicidad de los sedimentos del río Pasto en el tramo La Playita-Puente La Carolina, asociada al uso de pesticidas. *AVANCES: Invest. Ing.* 14: 194-210.
- FAO (2017) *Presentación y Evaluación de los Datos sobre Residuos de Plaguicidas para la Estimación de los Límites Máximos de Residuos de Plaguicidas en Alimentos y Piensos*. 3ª ed. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. pp. 77- 87.
- Feola G, Rahn E, Binder CR (2011) Suitability of pesticide risk indicators for less developed countries: a comparison. *Agric. Ecosyst. Environ.* 142: 238-245.
- Fernández AR, García JF (2008) Large-scale multi-residue methods for pesticides and their degradation products in food by advanced LC-MS. *Trends Anal. Chem.* 27: 973-990. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2008.09.009>
- González G (2011) *Intoxicación por Plaguicidas: Casuística del Hospital Universitario del Caribe y de la Clínica Universitaria San Juan de Dios de Cartagena*. Departamento de Toxicología, Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia. pp. 15-36.
- Hang S, Mercuri P, Díaz-Zorita M, Havrylenko S, Barriuso E (2011) Satellite images as a tool to identify accelerated atrazine mineralization in soils. *Crop Protect.* 30: 663-670.
- Juraske R, Mutel CL, Stoessel F, Hellweg S (2009) Lyfe cycle human toxicity assessment of pesticides: comparing fruits and vegetable diet in Switzerland and the United States. *Chemosphere* 77: 939-945. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2009.08.006
- Namera A, Utsumi Y, Yashiki M, Ohtani M, Imamura T, Kojima T (2000) Direct colorimetric method for determination of organophosphates in human urine. *Clin. Chim. Acta* 291: 9-18. DOI: 10.1016/s0009-8981(99)00189-8
- Narváez JF, Palacio JA, Molina FJ (2012) Persistencia de plaguicidas en el ambiente y su ecotoxicidad: Una revisión de los procesos de degradación natural. *Gestión Ambiente* 15(3): 27-38.
- Pérez M, Segura A, García R, Colinas T, Pérez M, Vázquez A, Navarro HH (2009) Residuos de plaguicidas organofosforados en cabezuela de brócoli (*Brassica oleracea*) determinados por cromatografía de gases. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25: 103-110.
- Popp J, Peto K, Nagy J (2013) Pesticide productivity and food security. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 33: 243-255.
- Portolés T, Mol JG, Sancho J, López V, Hernández FJ (2014) Validation of a qualitative screening method for pesticides in fruits and vegetables by gas chromatography quadrupole-time of flight mass spectrometry with atmospheric pressure chemical ionization. *Anal. Chim. Acta* 838: 76-85.
- Rampoldi EA, Hang S, Barriuso E (2014) 14C-Glyphosate behavior in relationship to pedoclimatic conditions and crop sequence. *J. Environ. Qual.* 43: 558-567.
- Reeves M, Schafer K, Hallward K, Katten A (2015) *Campos Envenenados: Los Trabajadores Agrícolas y los Pesticidas en California*. Pesticide Action Network North America www.panna.org. http://www.oocities.org/rap_al/California.htm
- Rodríguez BA, Martínez LM, Peregrina AA, Ortiz CI, Cárdenas OG (2019) Análisis de residuos de plaguicidas en el agua superficial de la cuenca del río Ayuquila-Armería México. *Terra Latinoam.* 37: 151-161. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.462>
- Vega MT, Rodríguez C, Díaz O, Bujanos R, Mota D, Martínez JL, Lagunes A (2008) Susceptibilidad a insecticidas en dos poblaciones mexicanas del Saltillo, *Bactericera cockerelli* (Sulc) (HEMIPTERA: TRIOZIDAE). *Agrociencia* 44: 463-471.
- Venugopal NVS, Sumalatha B, Syedabano (2012) Spectrophotometric determination of malathion in environmental samples. *E-J. Chem.* 9: 857-862.
- Yen JH, Wang YS, Hsiung-Lin K (2000) Potencial of the insecticides acephate and metamidophos to contaminate groundwater. *Ecotoxicol. Environ. Safety* 45: 79-86. DOI: 10.1006/eesa.1999.1846
- Zamubio A, Vanoy N, Díaz C, Ahumada D. (2017). Desarrollo y validación de un método multiresiduo para el análisis de plaguicidas en miel por UFLC-MS. *Rev. Colomb. Quím.* 46(2): 24-36. DOI: <http://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v46n2.63014>