

ESTUDIO DE LA ADSORCIÓN DE HERBICIDAS EN SUELO AGRÍCOLA Y EN PLANTAS COMESTIBLES

Julio Rodríguez Baños,* Otilio Arturo Acevedo Sandoval,
José Roberto Villagómez Ibarra, Elena María Otazo Sánchez,
César Abelardo González Ramírez

Centro de Investigaciones Químicas (UAEH), Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo,
Ciudad Universitaria, km. 4.5 Carr. Pachuca-Tulancingo, Mineral de la Reforma, Hgo., *e-mail: cuyo00@yahoo.com

Resumen

En este trabajo se estudió la degradación y la adsorción de tres herbicidas aromáticos de tipo ácido (I dicamba, herbicida del ácido benzoico; II picloram, herbicida del ácido picolinico; III esteron, herbicida del ácido fenoxiacético y IV atrazina, herbicida clorotriazina) en suelos agrícolas como en plantas comestibles —*Lycopersicum esculentum* y *Cucurbita pepo*—. Los resultados fueron sometidos a análisis para examinar las propiedades de cada pesticida (i) identificando cualquier concordancia entre los factores que influyen en el valor de degradación y (ii) determinar si habrá relación entre la adsorción y los procesos de degradación de los compuestos y los suelos. Se detectaron algunas diferencias marcadas entre los suelos en su relación con la capacidad de transformar los diferentes herbicidas. Los parámetros seleccionados para explicar las variaciones en los valores de degradación dependieron de la combinación de pesticida y de suelo. El contenido de carbón orgánico en el suelo influyó de manera positiva sobre la degradación. La relación entre el pH y el valor de degradación dependió del modo dominante de degradación para cada pesticida. Se identificaron relaciones positivas entre la adsorción y el valor de la degradación para los pesticidas picloram, esteron y dicamba, considerados juntos, y de atrazina no se observó ninguna relación entre los procesos de biodegradación para cada uno de los cuatro pesticidas individualmente.

Palabras clave: herbicida; vida media; adsorción; persistencia; suelo; plantas

Introducción

Desde hace algunas décadas, los estudios del problema alimentario han demostrado que la producción mundial de alimentos no ha sido suficiente para satisfacer los requerimientos nutricionales de toda la población. No obstante, por problemas de distribución, especulación, almacenamiento y transporte, aproximadamente el 40% de dicha producción no es aprovechada. Mientras tanto, los países industrializados están incrementando sus cosechas gracias a métodos intensivos y nuevas tecnologías. Así, desde hace unas décadas, se ha presionado a los países pobres, o en vías de desarrollo, a incrementar los rendimientos en diversos cultivos. Esto ha permitido, entre otras cosas, la progresiva adopción en el sector agrícola de los sistemas de cultivo que dieron origen a la "revolución verde". Para lograr altos rendimientos en nuestros cultivos no sólo se ha mejorado la tecnología, sino que también se han ampliado las áreas de riego e intensificado el empleo de fertilizantes. La modernización de la agricultura, implicó, igualmente, un aumento en el uso de los plaguicidas; sin embargo, la utilidad real de éstos se discute actualmente en muchos ámbitos y bajo distintas condiciones. Las plantas nocivas constituyen uno de los problemas más graves que enfrentan los agricultores a escala mundial. Hasta el momento, se tienen identificadas alrededor de 7000 especies de malezas de las cuales cerca de 250 ocasionan los mayores daños a la agricultura (Vyvyan, 2002). La interferencia de estas especies durante el proceso productivo ha provocado una dramática disminución en los rendimientos de los cultivos, obligando a los agricultores a aplicar un gran número de agentes herbicidas

para disminuir los daños. Se estima que aproximadamente el 70% de las ventas totales de agroquímicos en los países desarrollados corresponden a herbicidas, en su mayoría de origen sintético. Estos agentes, indudablemente, han desempeñado un papel importante en los sistemas integrales de control de malezas; ya que además permiten el incremento en los rendimientos de las cosechas, reducen los gastos generados por las labores de limpia de los terrenos, lo que ha permitido su empleo a altos índices de persistencia. No obstante, no sólo resultan tóxicos para el hombre y los animales, sino que también han ocasionado problemas toxicológicos y ambientales.

El objetivo de este trabajo es evaluar el tipo de agroquímicos adsorbidos por el suelo en la localidad del Guajolote, municipio de Epazoyucan, Hidalgo, e identificar cómo ha afectado los suelos agrícolas de esa zona.

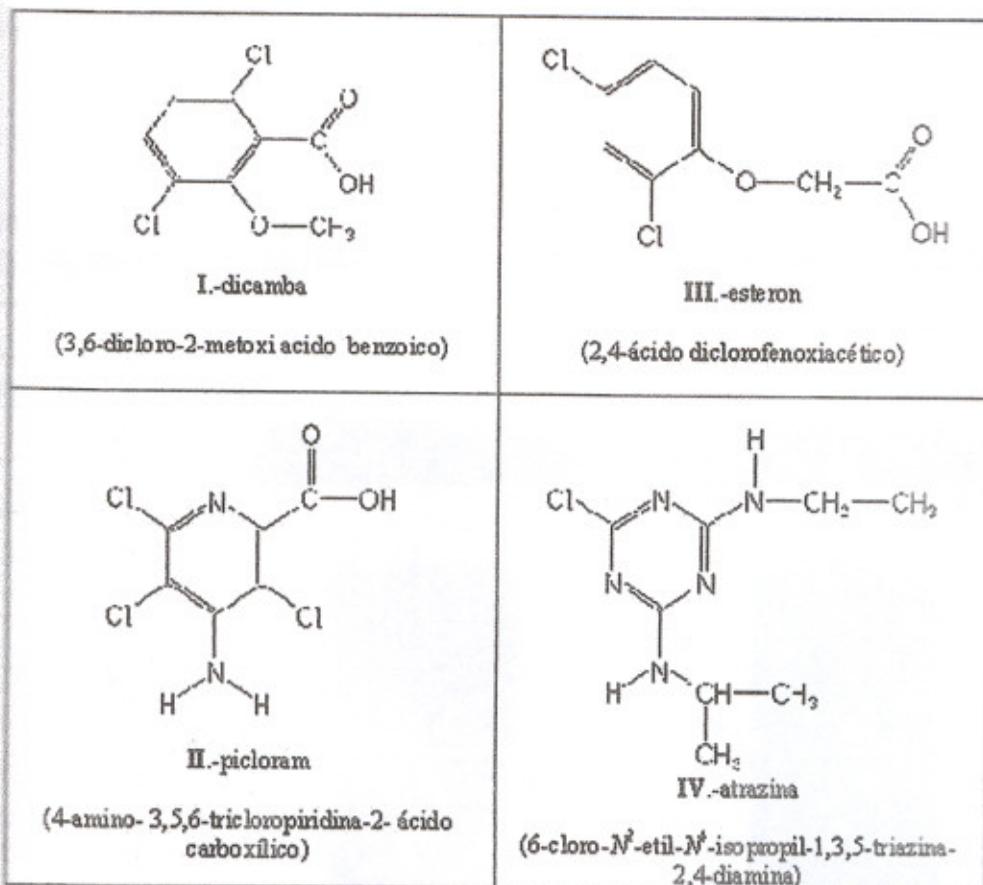
Metodología

La comunidad del Guajolote pertenece al municipio de Epazoyucan, y se encuentra ubicada en el extremo noreste. Se localiza a unos 14 kilómetros al este de la ciudad de Pachuca; la zona de estudio tiene una superficie aproximada de unas 460 hectáreas de cultivo, en la cual llevan más de 20 años utilizando agroquímicos. El Guajolote se encuentra dentro de la Sierra de Pachuca; una porción de su territorio está ubicada en la vertiente sur y el resto en la vertiente norte de la sierra. La población se ubica en un valle alto a una altitud de 2660 metros sobre el nivel del mar (msnm), las principales elevaciones que lo rodean son: el Cerro del Milagro, a 3180 msnm; el cerro de Las Navajas, el cual queda fuera de la comunidad pero se encuentra cercano; la peña del Guajolote, a 2720 msnm, peña de la cual se derivó el nombre de la exhacienda y luego el de la comunidad. La zona de estudio data del terciario superior y está formada por tobas ácidas (Carta geológica Pachuca 1:250 000, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)). El tipo de clima dominante es templado subhúmedo en verano, C (wo) (w), en las partes altas se encuentra el tipo semifrío (Carta de climas México 1:1000 000, INEGI). La precipitación media anual es 800 mm. Durante varias salidas de campo que se hicieron a la localidad, se llevaron a cabo entrevistas con campesinos, jornaleros y agricultores de la región y de la comunidad.

El muestreo del suelo se realizó mediante un transepto, cubriendo las áreas de aplicación de agroquímicos, además de una zona donde no se han aplicado, por costumbre tradicionalista, en el cual se utilizaron las técnicas propuestas por Ortiz (1996), a una profundidad de 0-20 cm. La determinación del análisis físico-químico del agua y el suelo se realizó mediante la NOM-127-SSA1-94 y NOM-021-SEMARNAT.

Se planteó el cultivo en un invernadero para evaluar la asimilación de los herbicidas en plantas de calabaza, *Cucurbita pepo* L. (Solanáceas) y en jitomate, *Lycopersicon esculentum* L. (Cucurbitáceas) las que fueron producidas a partir de semillas previamente desinfectadas en una solución de hipoclorito de sodio al 0.5% durante 15 minutos en agitación constante. Las plantas fueron cultivadas en invernaderos en condiciones controladas con temperaturas entre los 20 y 25 °C y con un régimen de luz de 16 h luz/8 h oscuridad. En el cultivo de las plantas se colocaron cuatro plántulas en cada maceta de 20 cm de diámetro y 20 cm de profundidad (con un pH 6.1, 17% de materia orgánica, 31.6% de arena, 56% de arcilla) cuando medían 10 cm con todo y raíz, utilizando el suelo comúnmente de los cultivos de la región. Las plantas fueron regadas durante todo el experimento, por la mañana y por la tarde. Para evaluar el efecto tóxico de los herbicidas sobre las plantas, se prepararon soluciones al 2% mezclando con agua destilada estéril las formulaciones comerciales de los cuatro herbicidas seleccionados (figura 1), los cuales fueron 3,6-dicloro-2-metoxi ácido benzoico; 2, 4-ácido diclorofenoxiacético; 4-amino-3,5,6-tricloropiridina-2- ácido carboxílico y 6-cloro-N²-etil-N⁴-isopropil-1,3,5-triazina-2,4-diamina, conocidos por sus nombres comerciales como dicamba, esterón, picloram y atrazina, respectivamente. La aplicación se realizó en su forma comercial a dosis de ingrediente activo recomendada en campo mediante un aspersor con barra de aplicación y boquilla de abanico, para evaluar las mismas al primer mes (dos aplicaciones), siguiendo al segundo mes (cuatro aplicaciones) y hasta el tercer mes para calabaza (seis aplicaciones); asimismo, para el jitomate fue hasta el cuarto mes (ocho aplicaciones), comparando con un control. Todos los experimentos fueron realizados por triplicado hasta fructificación de los cultivos.

De las plantas se evaluaron raíz, tallo, hojas, flores



Herbicidas aplicados y encontrados en la comunidad del Guajolote, municipio de Epazoyucan, Hidalgo. En estos se secaron a la sombra, posteriormente se extrajeron. Y por medio de extracciones con cloroformo y acetona, respectivamente, se filtraron y concentraron en rotavapor obteniendo los extractos respectivos, que posteriormente fueron separados por cromatografía en columna con silica gel de 0.063-0.200 mm, tamaño de partículas (Pecsok y Shields, 1977). Los metabolitos secundarios presentes en la planta, fueron separados por cromatografía en placa delgada y su identificación fue a través de factores de referencia (RFs), revelándolos con ácido salicílico al 50%; los agroquímicos y sus derivados se identificaron mediante RMN (resonancia magnética nuclear), EG (espectrofotómetro de gases) e IR (Infrarrojo).

Resultados y discusión

Los herbicidas empleados en este estudio son herbicidas de emergencia comúnmente aplicados para el control de malezas en la región, la cual fue visitada semanalmente durante dos periodos de cosecha normalmente, donde se

cultiva maíz, principalmente, avena, cebada, haba, alverjón, papa, y verduras como calabaza, rábano, cilantro, lechugas, espinacas, acelgas, jitomate y coliflor.

En los análisis físico-químicos del agua no se detectó contaminación por los agroquímicos utilizados en la región (tabla 1); sin embargo, en el suelo se encontró dicamba, picloram, esteron y atrazina, los cuales se hallaron depositados, principalmente, en el área de estudio de la comunidad del Guajolote, municipio de Epazoyucan, Hidalgo. En este sentido, se puede establecer que la principal afectación de la zona es por agroquímicos y por salinidad.

La textura del suelo (0-20 cm) se considera franco arenosa, con un porcentaje de partículas de tamaño arena del 69.11%, limo 14.54% y arcilla 16.35%, características de la región bajo estudio.

El suelo presenta un pH alcalino (6.0-7.23), favoreciendo la acumulación superficial de películas de óxidos de hierro amorfo que pueden ser observados a simple vista. Los contenidos de sodio, 4.23 ppm; de calcio, 8.0 ppm,

Tabla 1. Análisis de agua de escorrentía y de pozo de la comunidad del Guajolote, municipio de Epazoyucan, Hidalgo, donde se han aplicado los agroquímicos.

Núm.	Parámetro	Muestra	Unidades	NOM-127-SSA1-94
1	pH	6.5	u. de pH	6.5-8.5
2	Color	5.0	Cb-Pt	20.00
3	Turbiedad	5.7	UTN	5.00
4	Sólidos disueltos tot.	650.0	mg/l	1000.00
5	Cloruros	129.03	mg/l	250.00
6	Nitratos	0.041	mg/l	10.00
7	Nitritos	0.0	mg/l	0.05
8	Dureza total	185.2	mg/l	500.0
9	Sulfatos	24.12	mg/l	400.00
10	Nitrógeno amoniacal	0.1	mg/l	0.50
11	Aluminio	0.0	mg/l	0.20
12	Arsénico	0.0	mg/l	0.05
13	Bario	0.0	mg/l	0.70
14	Cadmio	0.0	mg/l	0.005
15	Cianuro	0.0	mg/l	0.07
16	Cobre	0.0	mg/l	2.00
17	Cromo	0.0	mg/l	0.05
18	Fierro	0.0	mg/l	0.30
19	Manganeso	0.0	mg/l	0.15
20	Plomo	0.0	mg/l	0.025
21	Cinc	0.0	mg/l	5.00
22	SAAM	0.1	mg/l	0.50
23	Sodio	178.3	mg/l	200.0
24	Fenoles	0.0	mg/l	0.001
25	Alcalinidad	10.0	mg/l	-----
26	Sólidos suspendidos	23.0	mg/l	1000.0
27	Mercurio	0.0	mg/l	0.001

Tabla 2. Análisis del suelo donde se han aplicado los agroquímicos.

No.	Parámetro	SC	SS	ST	Unidades
1.	pH	6.06	6.77	7.23	u. de pH
2.	C I C	18.6	16.8	17.6	meq/100g
3.	N total	0.3	0.6	0.5	%
4.	Arcilla	16.35	15.23	14.25	%
5.	Arena	69.11	65.23	64.53	%
6.	Limo	14.54	19.54	21.22	%
7.	Calcio	8.0	7.5	7.6	meq/100g
8.	Fósforo	17.2	18.0	16.8	meq/100g
9.	Sodio	4.23	5.21	5.67	meq/100g
10.	Potasio	0.02	0.02	0.01	meq/100g
11.	Magnesio	2.1	1.9	1.7	meq/100g

SC = capacidad de intercambio catiónico

SS = suelo con herbicidas

ST = suelo sin herbicidas

u. = suelo testigo

mientras que los contenidos de potasio y magnesio son inferiores a los de sodio (tabla 2). La cantidad de materia orgánica fluctúa entre 14 y 21% considerándose relativamente alta.

Si bien se encontraron residuos de agroquímicos contenidos en la zona de estudio y los contenidos de sales y de sodio intercambiable de un suelo puede darse de una forma más o menos fácil, su eliminación o degradación, en cambio, es lenta, lo cual dificulta la bioremediación de los suelos debido a que su aplicación es constante y excesiva cada año. Dado que el objeto de estudio fue someter las plantas a la aplicación de herbicidas y observar su comportamiento y ver si éstas lo absorben para que se transforme en el proceso metabólico propio de la planta, acumulando o transformándolo en otros metabolitos menos tóxicos y de esta manera remediar el suelo contaminado por este tipo de productos altamente tóxicos y persistentes en el suelo. Los resultados de este estudio, hasta el momento, son del 100% del tratamiento de control sin la aplicación de herbicidas, observándose que las plantas tienen un desarrollo

normal comparado con la aplicación del herbicida, y que su desarrollo se vio afectado hasta en un 75% en los tratamientos del primer lote y hasta en un 90% en el segundo, y en el tercero, incluso, provocó que la planta muriera. En el caso de la calabaza y el jitomate provocó, hasta el cuarto lote, que la planta también muriera.

Se ha encontrado que la actividad de los herbicidas ocurre tanto en el suelo como en la raíz; sin embargo, no se observó en el tallo, la flor y el fruto. Asimismo, de su transformación en la planta, se continúan analizando las concentraciones más elevadas.

Conclusiones

En la comunidad del Guajolote, estado de Hidalgo, uno de los problemas que más afecta a la agricultura, y la mantiene en riesgo, es el uso inadecuado e indiscriminado de los agroquímicos. Debido a estas circunstancias, se hace necesaria la implantación de programas de rehabilitación de los suelos afectados, una de las acciones que podrían efectuarse sería la rotación de cultivos. La utilización de herbicidas

requiere de mucho cuidado, ya que las malezas son muy parecidas a los cultivos, comparten la misma región y, a menudo, están presentes durante la misma temporada que el cultivo, afectando así los componentes del agroecosistema.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las autoridades de la comunidad y a su población, en particular al Sr. Manuel Vargas Castro del Rancho "Corpus Cristi", por su apoyo en el financiamiento del presente trabajo, también al Ing. Raúl Castillo Téllez y a la Biol. Yolanda Marmolejo Santillán por su apoyo en el trabajo analítico.

Referencias

- Alkorta, I. Garbisuc. (2001). Phytoremediation of organic contaminants in soils. *Bioresour Technol.* 273-6, Bilbao, Spain.
- Anubha Goel, Laura L. McConnell, and Alba Torrents. 2005. Wet Deposition of Current USE Pesticides at a Rural Location on the Delmarva Peninsula: Impact on Rainfall Patterns and Agricultural Activity. *J. Agric. Food Chem.* 53(20), 7915-7924. Maryland, USA.
- Chaudry, Q., Q. Chaudhry, P. Schroder, D. Werck-Reichhart, W. Grajek, R. Marecik. 2002. Prospects and limitations of phytoremediation for removal of persistent pesticides in the environment. *Environ. Sc Pollut Res Int*, 9(1):4-17. United Kingdom.
- Hiroyuki Kawahigashi, Sakiko Hirose, Hideo Ohkawa, and Yasunobu Ohkawa. 2006. Phytoremediation of the Herbicides Atrazine and Metolachlor by Transgenic Rice Plants Expressing Human CYP1A1, CYP2B6, and CYP2C19. *J. Agric. Food Chem.* 54 (8), 2985-2991. Tokyo, Japan.
- José Fenoll, Pilar Hellín, Cristóbal Marín, Carmen M. Martínez, and Pilar Flores. 2005. Multiresidue Analysis of pesticides in soil by Gas Chromatography with Nitrogen – Phosphorus Detection and gas Chromatography mass Spectrometry. *J. Agric. Food Chem.* 53(20), 7661-7666. Murcia, Spain.
- Melanie Kah, Sabine Beulke, and Colin D. Brown. 2007. Factors Influencing Degradation of Pesticides in Soil. *J. Agric. Food Chem.* 55 (11), 4487-4492.
- Miriam, E. 2004. Sorption Kinetics of Atrazine and Divron in soils from southern Brazil. *J. of Env. Sc.* vol. 39, 4. Pp. 583-601. Brazil.
- Ortiz, O. M. (1996). *El muestreo de los suelos salinos y sódicos*. Publicaciones del Departamento de Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo, p. 27.
- Pérez Escandón, B. E., A. Juárez, Y. Marmolejo, F. Pérez, J. Rodríguez, M. A. Villavicencio. 1992. *Usos y Tradiciones de Plantas y Animales*. Ed. Ramasa. México.
- Restrepo, I. *Los plaguicidas en México*. Comisión Nacional de Derechos Humanos. México. 1992.
- Stephen, A. (2005). Sassman and Linda S. Lee., Sorption of three tetracyclines by several Soils: Assesing the Role of pH and Cation Exchange. *Environ. Sci. Technol.*, 34, 7452-7454. Indiana, USA.