

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD EN LA DEGRADACIÓN DE ATRAZINA EN UN SUELO DE SALDAÑA (TOLIMA) POR CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA RESOLUCIÓN

Baudilio Acevedo Buitrago, Jairo A. Guerrero*, Amanda Lozano*, Cilia Fuentes**

Recibido: Noviembre 18/1999

Keywords: atrazine, deethylatrazine, deisopropylatrazine, degradation, persistence.

RESUMEN

En condiciones controladas de temperatura (20°C y 30°C) y humedad del suelo (25%, 50% y 75% de la capacidad de campo), se evaluó en el laboratorio el efecto de estos dos factores en la degradación de atrazina en un suelo traído de Saldaña (Tolima), cuya textura es franco arcillosa, de pH 6,23 (1:1 en agua), y con 1,48% de carbono orgánico. El proceso de extracción de la atrazina (AT), y sus metabolitos dealquilados deethylatrazina (DEA) y deisopropylatrazina (DIA), se realizó con metanol y la limpieza de este extracto se realizó con diclorometano-buffer fosfato pH 10; 0,01 M. La separación y cuantificación de los compuestos AT, DIA y DEA se realizó por cromatografía líquida de alta resolución.

Los resultados indican que durante el tiempo que duró el experimento, la humedad no se presentó como un factor significativo en la degradación de la atrazina,

mientras que la temperatura fué un factor determinante para la degradación de este herbicida. Así, se presenta una mayor velocidad de degradación a 30°C que a 20°C . Los metabolitos DIA y DEA no se detectaron en ninguno de los muestreos.

ABSTRACT

In this study was designed an experiment under laboratory conditions with temperature and soil moisture controlled. The effect of these two factors was evaluated in atrazine degradation in silty-loam soil, pH 6.23 (1:1 w), and 1.48% organic carbon.

The extraction process of AT and deethylatrazine (DEA), and deisopropylatrazine (DIA) metabolites of the soil was carried out with methanol followed by a clean up with dichloromethane-buffer phosphate pH 10, 0.01 M. Separation and quantification of the compounds was carried out by high performance liquid chromatography (HPLC).

Soil moisture was not a significant factor in atrazine degradation process, while

* Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia.

** Facultad de Agronomía; Universidad Nacional de Colombia. A.A. 14490, Bogotá, Colombia.

the temperature was the factor that regulate the herbicide degradation. Atrazine degradation at 30°C was faster than at 20°C. DIA and DEA metabolites were not detected in any soil field samples.

INTRODUCCIÓN

La atrazina es uno de los herbicidas más usados en Colombia para el control y destrucción de malezas en cultivos de maíz, sorgo, caña de azúcar y árboles frutales. Los principales productos de degradación de la atrazina en los suelos son los metabolitos dealquilados deetilatrazina (DEA) y desopropilatrazina (DIA). Dichos compuestos tienen también actividad fitotóxica (1,2,3).

La atrazina presenta el problema de ser muy persistente en el suelo debido a su estabilidad química, fuerte adsorción por los coloides del suelo y baja solubilidad en el agua. Es así que la atrazina y sus metabolitos, DIA y DEA, han sido detectados en aguas subterráneas, en ríos, en suelos, y en plantas del cultivo tales como maíz, sorgo, etc., demostrando de esta forma su potencial de contaminación ambiental e incrementando los riesgos para la salud humana (4,5,6).

Para dar un manejo adecuado a los plaguicidas se necesita entender el destino y comportamiento de estos compuestos en el ambiente, lo que conlleva a un uso racional y, por tanto, a la disminución de sus efectos negativos potenciales (7). Es necesario, por ende, implementar metodologías de análisis que permitan obtener datos reales para estimar el impacto de los plaguicidas en condiciones propias de nuestro país, pues el comportamiento de

estos compuestos no es una propiedad fija del plaguicida, sino que está influido por factores climáticos y por las características del suelo (8, 9, 10).

En estudios realizados en un suelo de la región de Saldaña (Tolima), tales como bioensayos con plantas indicadoras (11) y mediante técnicas cromatográficas (12), se reportó que la atrazina permanece hasta por dos meses tanto en el suelo como en las aguas de drenaje.

Este estudio se propuso determinar si la alta velocidad de degradación de la atrazina en el suelo de la región de Saldaña, encontrada en las anteriores investigaciones, está afectada por factores tales como la temperatura ambiente y la humedad del suelo.

METODOLOGÍA

Muestreo del suelo blanco y caracterización físico-química del suelo

Las muestras de suelo sin tratar con atrazina, fueron tomadas de la granja experimental Usosaldaña. Se tomaron 16 muestras al azar en diferentes sitios de la granja a una profundidad de 10 cm. En el laboratorio se realizaron análisis de caracterización fisicoquímica del suelo y las propiedades a determinar (textura, pH, contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio cationico, densidad real, y contenido de nitrógeno) siguieron la metodología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, (IGAC) (13).

Diseño experimental, tratamiento y muestreo

Se instaló un ensayo en condiciones controladas de laboratorio. El diseño experimental fue completamente aleatorio con arreglo factorial ($2 \times 3 \times 4$) de los tratamientos:

Factor A: Temperatura 20 y 30°C.

Factor B: Humedad del suelo 25%, 50%, y 75% de la capacidad de campo.

Factor C: Fechas de muestreo 15, 30, 45, y 60 días después del tratamiento con el herbicida. Cada tratamiento se realizó por triplicado.

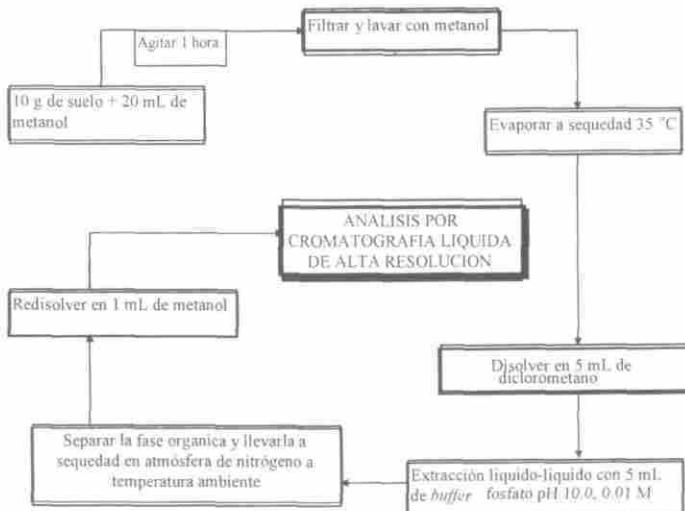
Se colocaron 100 g de suelo por matero, se trató con una cantidad de atrazina equivalente a 1,5 kg de ingrediente activo por hectárea de suelo, y se le añadió la cantidad de agua necesaria para mantener la humedad deseada. El control de la humedad del suelo a nivel de laboratorio se efectuó mediante pesada del matero con suelo y el agua añadida. La temperatura fue controlada en incubadoras debidamente termostatadas ($20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$).

En cada fecha de muestreo se tomó la totalidad del suelo que estaba contenido en el matero; de esta muestra se tomó una submuestra de 10 g y se siguió el tratamiento de extracción, limpieza y separación cromatográfica por cromatografía líquida de alta resolución, según el trabajo realizado y validado por Olarte (12).

Extracción y limpieza

Cada una de las muestras de suelo se secó al aire y se le realizó un proceso de tamizado a través de una malla de 3 mm, y se retiraron los residuos vegetales aún permanentes. Después se realizó el siguiente proceso de extracción y limpieza (por triplicado para cada muestra):

Figura 1. Proceso de extracción y limpieza a partir de las muestras de suelo.



Análisis cromatográfico

La determinación de AT, DEA y DIA se realizó por HPLC y la cuantificación se hizo por áreas mediante curvas de calibración con patrón externo (12). Se utilizó un cromatógrafo Perkin Elmer, equipado con un detector ultravioleta-visible ($\lambda = 218$ nm). Para el análisis se empleó una columna Lichrospher RP-18, 125 mm x 4 mm, 5 μm , una Precolumna Lichrospher 100 RP-18, el volumen de inyección fue de 20 μL y la fase móvil usada fue acetonitrilo-agua, bajo el gradiente que se muestra en la siguiente tabla:

so del experimento, mientras que los metabolitos DIA y DEA no fueron detectados en ninguno de los muestreos. En un estudio de campo realizado con anterioridad (12) sobre este mismo suelo y mediante la misma técnica cromatográfica, se obtuvieron resultados similares; no se detectaron los metabolitos dealquilados. Las causas de este resultado pueden estar dadas porque las cantidades de DIA y DEA son tan bajas que no alcanzan a ser detectadas mediante el método seguido, y/o el alto contenido de arcillas (30%) favorece una alta adsorción de estos compuestos, reduciendo así su biodisponibilidad (3, 7, 8, 9).

Tabla 1. Elución de la fase móvil para la determinación de AT, DEA y DIA.

Tiempo (min)	Flujo (ml/min)	% Acetonitrilo	% Agua	Elución
1,0 (equil.)	1,0	30	70	Isocrático
1,5	1,0	30	70	Isocrático
4,0	1,5	60	40	Gradiente
2,0	1,5	60	40	Isocrático
3,5	1,0	30	70	Gradiente

Tiempo total de análisis 11 minutos.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Propiedades fisicoquímicas del suelo

Las propiedades fisicoquímicas determinadas del suelo de la granja experimental Usosaldaña se muestran en la tabla 2.

Experimento en condiciones controladas de laboratorio

La atrazina fue detectada en los cuatro muestreos realizados durante el transcurso

Como se observa en la tabla 3, a una misma temperatura los valores encontrados de atrazina, para cada uno de los muestreos, no presentan grandes variaciones entre los niveles de humedad de 25%, 50% y 75% de capacidad de campo, mientras que a una misma humedad sí hay variaciones apreciables a diferentes temperaturas. Tomando como 100% el valor de atrazina encontrado en el primer muestreo, se observa que la atrazina estimada en el muestreo 3 a 30°C corresponde a aproximadamente el 35% del valor

Tabla 2. Características fisicoquímicas del suelo de Usosaldaña, Saldaña (Tolima).

Determinación	Método	Resultado
Textura	Bouyoucos	Franco-arcilloso FA % Arena = 23,6 % Limo = 46,4 % Arcilla = 30,0
Capacidad de campo (% de retención de humedad)	Curva tensiométrica	26,52
Densidad real	Picnómetro	2,70 g/mL
pH	Electrométrico	5,96 (sat.) 6,23 (1:1 agua)
Capacidad de intercambio catiónico (cmol ⁽⁺⁾ /kg)	Acetato de amonio	18,97
Acidez de cambio (cmol ⁽⁺⁾ /kg)	Yuan	Hidrógeno intercambiable = 1,47 Aluminio intercambiable = 0,00
Carbono orgánico	Walkey-Black	1,48 % MO = 2,55 %
Nitrógeno total	Kjeldahl modificado	0,11 % Relación C/N = 13,98

inicial, mientras que a 20°C, la concentración estimada corresponde a más del 50%. En los demás muestreos ocurre lo mismo: se observa siempre una mayor cantidad de atrazina en el tratamiento a 20°C con respecto a las cantidades encontradas en el tratamiento a 30°C, lo cual indica una mayor velocidad de degradación a esta última temperatura.

Como se observa en la figura 2, a una temperatura de 20°C la atrazina se degradó hasta un 30% de su valor inicial en 60 días, mientras que a 30°C este nivel de degradación se alcanzó a los 45 días después del tratamiento.

El análisis de varianza muestra que hubo diferencias significativas entre las cantidades

de atrazina encontradas en los diferentes muestreos realizados y en los tratamientos a diferentes temperaturas, mientras que para los tratamientos realizados a diferentes humedades no se encontraron diferencias significativas. Las interacciones muestreo por temperatura, muestreo por humedad, temperatura por humedad, y muestreo por temperatura por humedad fueron significativas ($\alpha = 0,05$).

CONCLUSIONES

En este estudio a nivel de laboratorio, se encontró que la humedad del suelo no fue un factor determinante en la degradación de la atrazina, y que la temperatura fue el factor con mayor impacto en la ra-

Tabla 3. Concentración de atrazina en suelo en condiciones controladas de laboratorio.

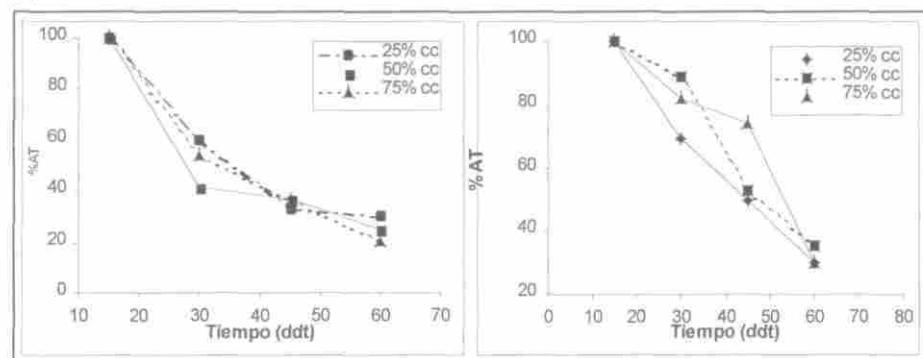
		Humedad (capacidad de campo)		
		25 %	50 %	75 %
Tiempo	Temperatura (°C)	AT µg /kg	AT µg /kg	AT µg /kg
		562	693	529
muestreo 1 15 ddt	30	577	639	549
		567	696	539
		667	611	690
	20	849	650	732
		844	785	806
		332	293	291
muestreo 2 30 ddt	30	334	275	314
		350	277	262
		585	616	659
	20	496	608	573
		565	600	595
		188	237	183
muestreo 3 45 ddt	30	175	255	198
		191	249	208
		301	352	549
	20	429	378	563
		450	345	542
		173	149	98
muestreo 4 60 ddt	30	185	159	118
		160	200	108
		270	240	244
	20	232	229	196
		209	250	231

Los datos presentados son el promedio de tres réplicas.

Las concentraciones de AT fueron corregidas de acuerdo con el porcentaje de recuperación del método (61%) (12).

ddt = días después del tratamiento.

Figura 2. Tratamientos a diferentes temperaturas y a diferentes humedades: (a) 30°C, (b) 20°C.



pidez de degradación de atrazina en el suelo de la región de Saldaña (Tolima). Así, la velocidad de degradación de atrazina fue mayor a 30°C que a 20°C.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros agradecimientos al Departamento de Química y a la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, sede Santa Fe de Bogotá, y al Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA) de Viena, Austria, por la colaboración y financiación suministrada para la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (1997). Subgerencia de prevención y control, división de insu- mos agrícolas, reporte general de plaguicidas.
- Weed Science Society of America. (1994). *Herbicide Handbook*. seventh edition. Illinois.
- Mersie, W., Seybold, C. (1996). Adsorption and desorption of Atrazine, Deethylatrazine, Desopropylatrazine, and Hydroxyatrazine on levy wetland soil. *J. Agric. Food Chem.* 44, 1925-1929.
- Qiao, X., Liping, H., Hans, E. (1986). Persistence of Atrazine and occurrence of its primary metabolites in three soil. *J. Agric. Food chem.* 44, 1225 -1929.
- Berg, M., Stephan, R., Schwarzenbach, R. (1995). Simultaneous determination of Triazines including Atrazine and their major metabolites Hydroxyatrazine, Desethylatrazine, and Desopropylatrazine in natural waters. *Anal. Chem.* 67, 1860-1865.
- Ramsteiner, K., Wolf, D., Dieter O. (1974). Multiresidue methods for the determination of Triazine herbicides in field-grown agricultural crops, water, and soils. *Journal of the AOAC*. 57(1): 192-201.
- Hance, R. J. (1980). Interactions Between Herbicides And The Soil. Published for the European Weed

- Research Society, London. Chap. 4 and 8.
8. Lavy, L., Dao, T. H. (1978). Atrazine adsorption on soil as influenced by temperature, moisture content and electrolyte concentration. *Weed Science*. 26, 303-308.
 9. Kruger, L., Somasundaran, L., Coats, J. (1993). Persistence and degradation of atrazine and Deisopropylatrazine as affected by soil depth and moisture conditions. *Environmental chemistry*. 12, 1959-1967.
 10. Walker, A. (1987). Evaluation of a simulation model for prediction of herbicides movement and persistence soil. *Weed Research*. 27, 143-152.
 11. Sánchez, A., Hernández, C. (1999). Detección de residuos biodisponibles de atrazina en suelos y aguas usando técnicas de bioensayo con plantas indicadoras en Saldaña, Tolima. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Santafé de Bogotá, Colombia.
 12. Olarte, I. (1998). Determinación de atrazina y algunos de sus productos de degradación en suelos y aguas por medio de HPLC. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Santafé de Bogotá, Colombia.
 13. Olarte, L., Muñoz, B., De Benavides, G., Garavito, F., Luna, C., Mejía, L., De Rozo, E. (1979). Métodos analíticos de laboratorio de suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, (IGAC). 4a. Edición. Colombia.