

TRANSPORTE DE IMAZAPIR, ATRAZINA, S-METOLACLORO Y ACETOCOR EN EL PERFIL UN SUELO ARGUJUDOL DEL SUDESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

J. L. Costa¹, V. Aparicio¹, M. Zelaya¹, V. Gianelli¹ y F. Bedmar²

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA. Balcarce. Ruta 226, km 73.5, Buenos Aires, Argentina.

² Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Ruta 226, km 73.5, Buenos Aires, Argentina.
E-mail de contacto: jcosta@balcarce.inta.gov.ar

RESUMEN. En Argentina se produjo una importante intensificación de la agricultura que mejoró la rentabilidad de los sistemas de producción. Esta intensificación fue acompañada por la adopción de la siembra directa y el reemplazo de la energía mecánica por la energía química para el control de malezas. En el mercado nacional, el 62% del total de plaguicidas corresponde a los herbicidas.

El objetivo de éste trabajo fue estudiar el transporte vertical de 4 herbicidas y un trazador, en el perfil del suelo.

El ensayo de campo constó de 6 parcelas. En cada parcela se colocaron dos cápsulas de cerámica a 1 y 1.9 m de profundidad. El sistema de riego fue por microaspersión y permitió la aplicación de un flujo de agua (q): 11 mm h⁻¹. Se aplicó bromuro como trazador y, luego de lavar el perfil de suelo, se aplicó el pulso con una mezcla de imazapir, atrazina, s-metolacoloro y acetoclor. La aplicación de los pulsos se realizó con una bomba peristáltica conectada a la manguera de riego.

El Br⁻ fue determinado empleando un analizador expansible de iones (EA-940 Orion) y los herbicidas imazapir, atrazina, s-metolacoloro y acetoclor fueron determinados empleando un cromatógrafo líquido de ultra performance (UPLC Waters ®) acoplado a un espectrómetro de masas triple cuadrupolo (Quattro Premier XE) (UPLC-MSMS). Se utilizó el programa CXTFIT 2.1 para ajustar las curvas de paso de imazapir, atrazina, s-metolacoloro, acetoclor y Br⁻.

Los resultados obtenidos permiten establecer que los 4 herbicidas estudiados se lixivian a través del perfil de un suelo estructurado, bajo flujo saturado y constante, lo cual representaría un riesgo potencial de contaminación del agua subterránea. El agua que ingresó en el momento de aplicación del pulso de los agroquímicos sólo estuvo en contacto con los macroporos y los herbicidas que estaban diluidos en ese pulso, tuvieron contacto con una superficie muy pequeña del suelo. De confirmarse esto, se fortalecería la hipótesis de que en suelos estructurados con alta proporción de macroporos y cercanos a saturación, algunos herbicidas son transportados básicamente por el agua móvil.

ABSTRACT. Agriculture intensification in Argentina has been improved the system productions profitability. This intensification was attached by no tillage adoption and mechanical energy was substituted for chemical energy to weeds control. In the national market, 62 % of pesticides are herbicides.

The aim of this work was to study the vertical transport of 4 herbicides and tracer in the soil profile.

The field trial consisted of 6 plots. In each plot two

ceramics capsules were placed to 1 and 1.9 m depth. The irrigation system was microsprinkling and the flow water (q) 11 mm h⁻¹. Bromide was applied as a tracer. Then a mixture of imazapyr, atrazine, s-metolachlor and acetochlor was applied. The application was realized by a peristaltic pump connected to the irrigation hose.

The Br⁻ was determined using an analyzer expansible of ions (EA-940 Orion) and the herbicides imazapir, atrazina, s-metolacoloro and acetoclor were determined using Ultra Performance Liquid Chromatographic (UPLC Waters ®) and Mass spectrometry (Quattro Premier XE) (UPLC-MS/MS). Pass curves of imazapyr, atrazine, s-metolachlor and Br⁻ were adjusted by CXTFIT 2.1

The results established that all herbicides leached through the structured soil profile, under near to saturated and constant flow. It will be increased groundwater pollution risk. Water incorporated with herbicides application was in contact only with macropores. Herbicides were in contact with a very small soil surface, so there was low adsorption. If it is supported, some herbicides will be transported by mobile water on structured soils with large macropores and near to saturation condition.

1.- Introducción

En Argentina se produjo una importante intensificación de la agricultura que mejoró la rentabilidad de los sistemas de producción. Esta intensificación fue acompañada por la adopción de la siembra directa y el reemplazo de la energía mecánica por la energía química para el control de malezas.

En el mercado nacional, el 62% del total de plaguicidas corresponde a los herbicidas (CASAFE, 2010). El incremento en el uso de los herbicidas en una región, aumenta el riesgo de contaminación del agua superficial y subterránea. Debido a ello los estudios de transporte de los herbicidas dentro de un perfil del suelo permiten una mejor predicción de su comportamiento y de su potencialidad para contaminar el agua subterránea.

Los estudios de transporte de agroquímicos pueden realizarse tanto en laboratorio con columnas de suelo disturbado o sin disturbar como a campo, integrando el perfil de suelo. Si bien los datos generados en el laboratorio son muy importantes, proporcionan escasa o nula información sobre la variabilidad inherente de los parámetros del suelo que afectan a la lixiviación en la

escala de campo. Esto es de particular importancia para los suelos estructurados, donde el flujo preferencial puede tener un impacto importante en la lixiviación. De hecho, diversos estudios de campo sugieren que el transporte preferencial de varios plaguicidas ocurre a una profundidad de 1 m.

El potencial de lixiviación de un herbicida se halla influenciado por diversas características fisicoquímicas del compuesto orgánico, propiedades del suelo, condiciones climáticas y de manejo. No obstante, el transporte por flujo preferencial determina una rápida lixiviación de los herbicidas, independientemente de las propiedades fisicoquímicas del compuesto (Elliot et al 2000). Los herbicidas atrazina, acetoclor, s-metolacloro e imazapir son frecuentemente utilizados para el control de malezas en los cultivos que se desarrollan en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina).

Atrazina posee la mayor frecuencia de contaminación de aguas subterráneas por herbicidas (38%) presentando niveles de contaminación altamente variables desde 0.1 a 27 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Funari et al. 1995). Sumado a ello, diversos relevamientos han detectado la presencia de atrazina, acetoclor, metolacloro, imazapir y sus productos de degradación en el agua subterránea (Carabias-Martinez et al., 2000; Kolpin et al 2002; Börjesson et al, 2004; Díaz-Cruz; et al 2008).

En Argentina, los estudios de campo para determinar el transporte de herbicidas a través del suelo aún son escasos, probablemente debido a su complejidad y costo. Por tal motivo, el objetivo de éste trabajo fue estudiar el transporte vertical de atrazina, imazapir, acetoclor, s- metolacloro y un trazador (bromuro), en el perfil del suelo.

2.- Materiales y Métodos

El ensayo de campo constaba de parcelas de 35 m² donde fueron instalados tubos de PVC de 25 cm de largo, cada tubo tenía una capsula de cerámica de 5 cm de diámetro aproximadamente, en el extremo inferior y un tapón de goma en el extremo superior. El tapón de goma poseía dos orificios donde se conectaron mangueras flexibles de 5 mm de diámetro. Una de las mangueras era de absorción y estaba conectada a un sistema de vacío centralizado y la otra se utilizaba para la extracción de la muestra desde la cápsula de cerámica, mediante un sistema de vacío individual. La bomba de vacío trabajó con una tensión que varía entre 36 y 42 kPa.

La instalación de las cápsulas y la extracción de solución de suelo, se realizó siguiendo la metodología propuesta por Lord and Shepherd (1993). En el momento de instalación de las cápsulas de cerámica, se procedió a realizar orificios en el suelo, en los cuales se colocarían las capsulas, se preparó una mezcla muy húmeda del horizonte de suelo correspondiente a la profundidad de colocación. Se introdujo esta mezcla en el fondo del pozo y luego se introdujeron las cápsulas adosadas al tubo de cerámica, seguidamente se colocó una cantidad suficiente de bentonita sódica hasta alcanzar los 30 cm de profundidad. Los

últimos 30 cm del pozo se rellenaron con suelo humedecido sacado a similar profundidad, en capas de 10 cm.

Este ensayo, instalado en 1998 para estudiar el transporte de nitratos en el perfil del suelo constaba de 12 parcelas experimentales y tres capsulas de cerámica ubicadas a 1, 1.5 y 1.9 m de profundidad para la toma de datos (Aparicio y Costa, et al., 2008). En esta oportunidad se redujo el número de parcelas a 6 y las profundidades de muestreo a dos (1 y 1.9 m) básicamente por el costo analítico que demanda trabajar en la detección y cuantificación de moléculas orgánicas.

Se utilizó en esta experiencia un sistema de riego con micro aspersores lo cual posibilitó la aplicación de un flujo de agua de 11 mm h⁻¹. Sobre las parcelas experimentales se construyó un invernáculo de PVC para evitar la deriva de agua de riego y el aporte de agua de lluvia.

Se realizaron 4 calicatas próximas al ensayo que permitieron la descripción de los horizontes y el muestreo de suelos. Para caracterizar cada calicata se extrajeron muestras de suelo disturbado y sin disturbar de los horizontes principales (A, B y C). Las muestras disturbadas se secaron en estufa de circulación forzada de aire a 30°C, se molieron y tamizaron por una malla de 2 mm. Las muestras no disturbadas se procesaron en el laboratorio. Las determinaciones realizadas en los principales horizontes de suelo fueron: *Textura*: se determinaron los contenidos de arena, limo y arcilla por el método de la pipeta de Robinson (Soil Conservation Service, 1972); *Carbono orgánico* (CO): se utilizó el método de Walkley y Black (1934); *Densidad aparente* (δ_a): se determinó por el método del cilindro (Blake and Hartge, 1986). Se extrajeron muestras de suelo sin disturbar empleando un muestreador manual (Eijkelkamp, Equipment Soil Res. B. V., Giesbeek) provisto de cilindros de acero inoxidable de 5 cm de diámetro y 5 cm de altura. Se tomaron 4 muestras por horizonte en los 3 horizontes principales de cada una de las calicatas; *Conductividad hidráulica saturada* (K): se determinó a campo utilizando un infiltrómetro de disco a tensión (Logston et al, 1993). Para ello se tomaron 4 determinaciones en cada uno de los horizontes.

El ensayo de transporte de Br⁻ y de herbicidas se realizó en dos etapas: **a.-** aplicación del trazador y **b.-** aplicación de los herbicidas. El total de la experiencia demoró 12 días, donde el suelo recibió flujo constante de agua de 11 mm h⁻¹. La secuencia de actividades fue la siguiente: **i.-** se inició la aplicación de riego por microaspersión programando el sistema de riego del ensayo; **ii.-** se controló la humedad del suelo con sonda de neutrones diariamente hasta lograr homogeneidad de humedad en el perfil de suelo, se asumió que cuando la humedad se hacía constante durante un período de 12 hs el flujo de agua también era constante; **iii.-** se calculó el flujo de agua aplicado distribuyendo 9 recipientes de 60 ml en cada parcela a estudiar y luego de 60 minutos bajo el sistema de riego se recolectaron, se registró el contenido de agua en

cada recipiente y se calculó la lámina aplicada por hora. Este procedimiento se realizó tres veces obteniendo valores de lámina similares; *iv.*-se realizó una extracción de la solución del suelo, considerada como blanco previo a la aplicación del pulso de Br; *v.*- se realizó la aplicación de un pulso de Br disolviendo 10 kg de KBr en 20 L de agua (dosis equivalente a 150 kg ha⁻¹) con una bomba peristáltica conectada a la manguera de riego. Esta aplicación duró 1,5 h y se inicio el muestreo de la solución del suelo cada 2 horas durante el primer día, cada 4 horas durante el segundo día y cada 6 horas durante el tercer y cuarto días hasta alcanzar valores de concentración similares al blanco.

Luego de éste ensayo se repitió el paso *iv.*- extracción de la solución del suelo, considerada como blanco previo a la aplicación del pulso; y *vi.*- se realizó la aplicación de un pulso de la mezcla de 4 herbicidas diluyendo 4,62 gr de imazapir, 180 cm³ de atrazina, 80 cm³ de s-metolacloro y 120 cm³ de acetoclor en 5,5 L de agua (dosis equivalentes a 0,1 kg ha⁻¹, 2 kg ha⁻¹, 1,6 kg ha⁻¹ y 2,250 kg ha⁻¹ de ingrediente activo respectivamente). La aplicación se realizó con una bomba peristáltica conectada a la manguera de riego. Esta aplicación duró 0,58 h, el muestreo de la solución del suelo se realizó cada 2 horas durante el primer y segundo día, cada 4 horas durante el tercer y cuarto días hasta alcanzar valores de concentración similares al blanco.

El ensayo se realizó en dos etapas por dos razones: *a.*- el volumen de agua a aplicar para el Br- fue mayor que el volumen de agua a aplicar para la mezcla de herbicidas y *b.*- decidimos realizar primero la aplicación de Br- y registrar debidamente los datos chequeando que todo estuviese funcionase bien para evitar múltiples aplicaciones de herbicidas en el ambiente. La selección de los herbicidas a estudiar correspondió a los mas utilizados en cultivos estivales, tales como papa, girasol y maíz, en el sudeste bonaerense. Las dosis aplicadas correspondieron a las dosis de campo empleadas por los productores. En la Tabla 1 se presentan algunas características de los productos aplicados (Senseman, 2007).

El Br⁻ fue determinado empleando un analizador expansible de iones (EA-940 Orion) y los herbicidas imazapir, atrazina, s-metolacloro y acetocloro fueron determinados empleando un cromatógrafo líquido de ultra performance (UPLC Waters ®) acoplado a un espectrómetro de masas triple cuadrupolo (Quattro Premier XE) (UPLC-MSMS).

Tabla 1. Propiedades de los herbicidas acetoclor, atrazina, imazapir y s-metolacloro.

Propiedad	acetocl or	atrazin a	imazap ir	S- metolacloro
Solubilidad en agua 25°C (mg L ⁻¹)	223	33	11272	488
Vida media en el suelo(días)	13	60	30-150	90
Koc (mL g ⁻¹)	130	100	4-170	200
Presión de vapor at 25°C (Pa)	4,53 x 10 ⁻⁶	3,87 x 10 ⁻⁵	<10 ⁻⁷ a 45°C	1,73 x 10 ⁻³
Ionizabilidad (pKa)	no iónico	1,7	1,9 y 3,6	no iónico

Koc: coeficiente de partición en carbono orgánico.

Se utilizó el programa CXTFIT 2.1 (Toride et al., 1999), este programa permite ajustar las curvas de paso de un soluto con diferentes modelos y estimar los parámetros de transporte (V: velocidad; D: dispersión hidrodinámica). El programa CXTFIT cuenta con diversos modelos de ajuste, en este caso se utilizó el modelo de equilibrio. La ecuación de convección – dispersión (ECD) empleada fue la siguiente:

$$\frac{\partial C}{\partial T} = D \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} - V \frac{\partial C}{\partial X} - \mu C \quad (1)$$

Donde: C es la concentración de soluto (mg L⁻¹), t es el tiempo (d), D es el coeficiente de dispersión del soluto (cm² d⁻¹), x es la distancia (cm), V es la velocidad promedio del agua en los poros del suelo (cm d⁻¹) y μ es el coeficiente de decaimiento. Esta expresión considera a q (flujo por unidad de área), θ (contenido volumétrico de agua) y D (coeficiente de dispersión) constantes.

La elección de este modelo se basó en tratar de reducir los parámetros involucrados, trabajos previos del mismo ensayo no indicaron diferencias muy importantes en la calidad del ajuste cuando se utilizó el modelo de equilibrio y el de no equilibrio.

La aparición temprana del pico de concentración de los herbicidas coincidente con el pico de concentración de Br nos llevo a decidir utilizar un factor de retardo (R) de uno para realizar el ajuste e incluir el en el ajuste de la curva de paso de los herbicidas el coeficiente de decaimiento de primer orden (μ). Con este procedimiento se estimaron dos parámetros (V y D) para el ajuste de la curva de paso de Br y tres parámetros (V, D y μ) para ajustar la curva de paso de los herbicidas.

El análisis estadístico se realizó con el SAS 9,0 (SAS Institute, Inc., 2002).

3.- Resultados y Discusión

3.1.- Caracterización del suelo

El perfil de suelo tiene una profundidad que supera los 70 cm, cuyos horizontes principales son franco y franco arcilloso, horizontes A y B respectivamente (Tabla 2). Además, este suelo posee un horizonte superficial de 30 cm de espesor, rico en carbono orgánico (CO). La densidad aparente (δ_a) y porosidad (φ) muestran buena capacidad de aireación y circulación de agua.

Tabla 2. Espesor, contenido de arcilla, limo y arena, carbono orgánico (CO), densidad aparente (δ_a), porosidad (φ) y conductividad hidráulica (K₃₀) para los principales horizontes del suelo.

Hz	Espesor cm	As %	Li	Ar	CO g kg ⁻¹	δ _a Mg m ⁻³	φ %	K ₍₋₃₀₎ mm h ⁻¹
A	0-30	28	46	27	38	1,15	57	18,7
B	30-70	33	40	27	15	1,27	52	16,6
C	+ 70	26	45	28	5	1,35	49	26,8

3.2.- Curvas de Paso de herbicidas y Br-

Se estimaron los parámetros de transporte empleando la ECD con las concentraciones relativas de Br⁻ y de imazapir, atrazina, s-metolacloro, acetoclor en función del tiempo. Como ejemplo se muestran los valores observados y estimados para una de las parcelas y un herbicida a las dos profundidades en estudio (Fig.1).

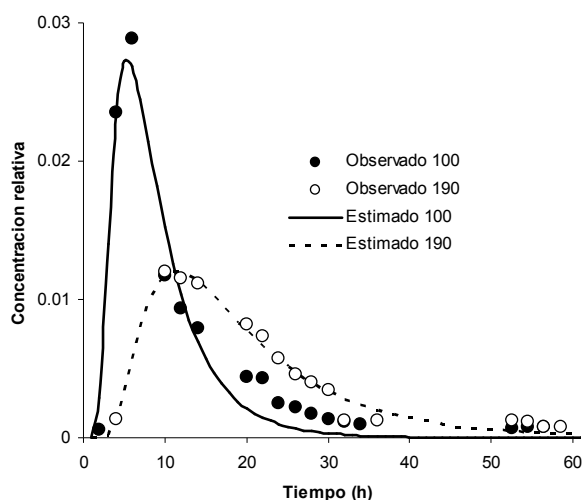


Fig. 1. Concentraciones relativas de Imazapir para la parcela 4 a dos profundidades 100 cm y 190 cm y los valores estimados por CXTFIT.

Con los valores de D, V y el coeficiente μ estimados por CXTFIT se realizó un ANOVA y se compararon sus medias. En ningún caso hubo interacción entre los factores profundidad y herbicida.

Hubo diferencias estadísticamente significativas por profundidad para D, indicando la relación entre D y la distancia desde el punto de aplicación del herbicida. No se encontraron diferencias entre herbicidas para el mismo parámetro (Tabla 3).

No hubo diferencias en V por profundidad, sin embargo si hubo diferencias entre herbicidas para V (Tabla 3). Atrazina e Imazapir tuvieron los mayores valores de V comparados con Acetoclor y S-Metolacloro.

El coeficiente μ tuvo diferencias significativas entre herbicidas ($p < 0,1$) siendo Atrazina el herbicida que tuvo el menor valor de μ . En éste trabajo no se midió la degradación del producto en solución, sin embargo el coeficiente μ indica que existe un decaimiento en la concentración de los herbicidas aplicados, ya sea por degradación o adsorción en el suelo.

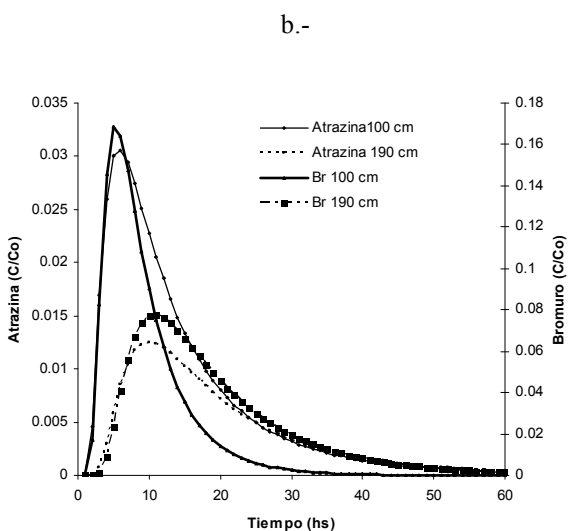
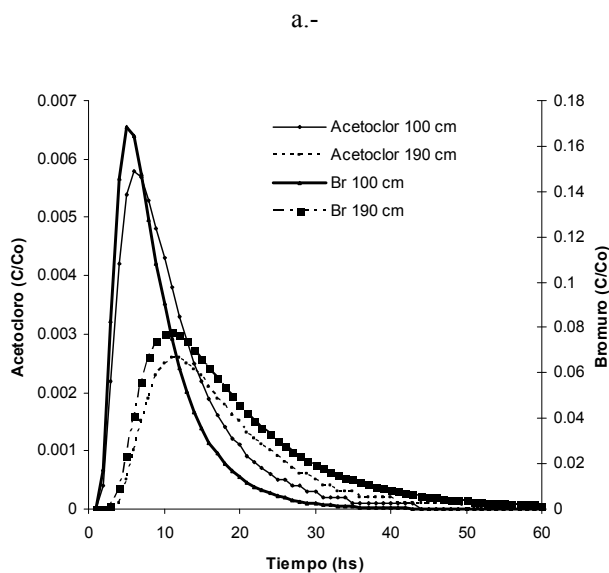
Tabla 3. Valores de velocidad (V), Dispersión (D) y coeficiente de decaimiento (μ).

Efecto	V	D	μ
	cm h ⁻¹	cm ² h ⁻¹	h ⁻¹
Imazapir	6,15 a	419 a	0,063 a
Atrazina	5,53 a	367 a	0,025 b
S-Metolacloro	1,78 b	312 a	0,054 a
Acetoclor	1,35 b	257 a	0,095 a

100 cm	3,36 a	245 a	0,057 a
190 cm	4,05 a	433 b	0,061 a

Con los parámetros de transporte estimados para cada herbicida y profundidad se simularon las curvas de paso de cada herbicida para compararlas con las curvas de Br⁻ utilizado como trazador.

En la Fig.2 (a, b, c y d) se observa que los picos de concentración de cada herbicida comparado con el Br⁻ fueron muy cercanos. El tiempo de aplicación (t_0) para Br⁻ fue $t_0 = 1,5$ h y para los herbicidas fue $t_0 = 0,58$ hs. Este resultado indicaría que los productos aplicados sobre el suelo, en condiciones de flujo constante, son transportados por el agua a través de los macroporos del suelo. De confirmarse esto, se fortalecería la hipótesis de que en suelos estructurados con alta proporción de macroporos, algunos agroquímicos son transportados básicamente por el agua móvil (Kjaer et al., 2005).



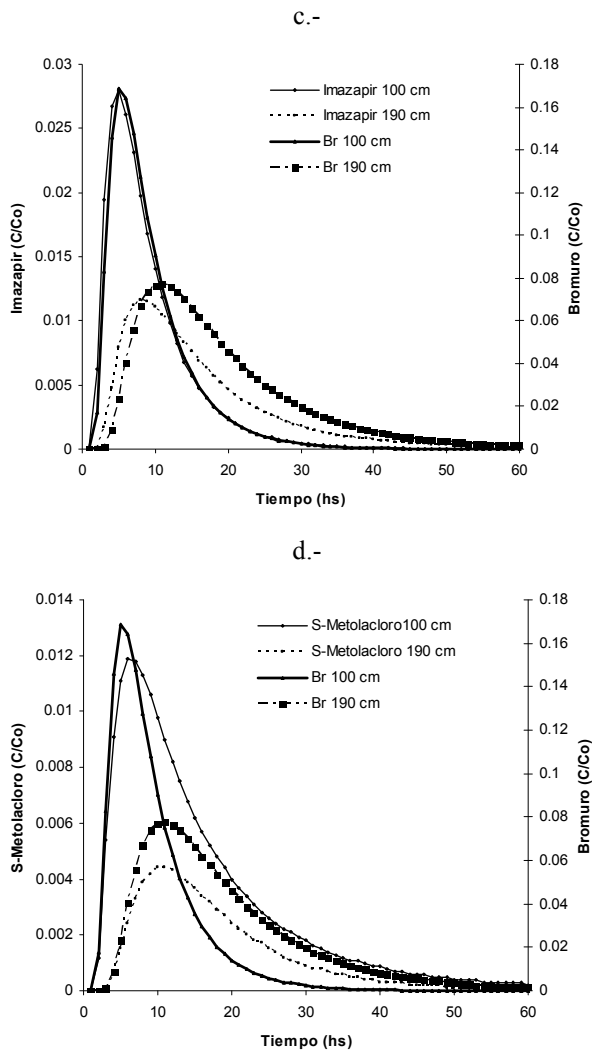


Fig. 2. Valores de concentración relativa en función del tiempo, para: a.- Acetoclor; b.- Atrazina; c.- Imazapir y d.- S – Metolaclo comparado con la concentración relativa del Br⁻, estimados por CXTFIT, a 100 y 190 cm de profundidad.

En el suelo bajo estudio, un Argiudol típico con horizonte superficial franco con alto contenido de carbono orgánico, bien estructurados y bajo un flujo de agua constante de 11 mm h⁻¹ los herbicidas s-metolaclo, imazapir, atrazina y acetoclor se lixiviaron por debajo de los 190 cm en concentraciones máximas de 128, 21, 450, 106 µg L⁻¹ respectivamente. La masa acumulada lixiviada representa el 13,6; 32; 43,3; y 7,5 % del total aplicado de s-metolaclo, imazapir, atrazina y acetoclor respectivamente, estos valores están en coincidencia con los valores de μ presentados en la Tabla 3. Atrazina que tiene un valor de $\mu=0.025$ tiene el mayor porcentaje de masa lixiviada mientras que el acetoclor con un $\mu=0.095$ tiene el menor porcentaje de masa lixiviada.

Estas concentraciones son superiores al límite máximo de plaguicidas de 0,1 µg L⁻¹, permitido por la Unión Europea para el agua potable, sin embargo en Argentina todavía no

hay un límite establecido para la concentración de herbicidas en aguas de consumo humano.

4.- Conclusiones

Los herbicidas acetoclor, s-metolaclo, atrazina e imazapir se lixivian a través del perfil de un suelo estructurado, bajo flujo saturado y constante, lo cual representaría un riesgo potencial de contaminación del agua subterránea.

Agradecimientos. Este trabajo se realizó gracias a INTA a través del proyecto de investigación AEGA 221641, a la AGENCIA-SECYT a través del PICT 2007-00448

5.- Bibliografía

- Virginia, A. Costa, J. L. y Zamora, M.. 2008. Nitrate leaching in a long-term experiment under supplementary irrigation. *Agricultural Water Management*, 95:1361 - 1372
- Börjesson E, Torstenson L, y Stenström J. 2004. The fate of imazapir in a Swedish railway embankment. *Pest Manag Sci.* ;60(6):544-9.
- Carabias Martinez, R; Rogriguez Gonzalo, E; Fernandez Laespada, M.E y Sanchez San Roman, F.J. 2000. Evaluation of surface-and ground-water pollution due to herbicides in agricultural areas of Zamora and Salamanca (Spain). *J.of Chromatogr. A.* 869:471-480
- CASAFE, 2010. (Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes). www.casafe.org.ar
- Díaz-Cruz, M.S. y Barcelo, D. 2008. Trace organic chemicals contamination in ground water recharge. *Chemosphere* 72:333-342.
- Elliott, J.A., Cessna, A.J., Nicholaichuk, W. y Tollefson, L.C. Leaching rates and preferential flow of selected herbicides through tilled and untilled soil. *J. Environm. Qual.* 29, 1650-1656.
- Funari, E. 1995. Human health implications associated with the presence of pesticides in drinking water. En: Vighi, M.; Funari, E. (eds.) *Pesticide risk in groundwater*. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, USA. pp.121-130.
- Kjaer, J., Olsen P., Ullum, M., y Grant, R. 2005. Leaching of Glyphosate and Amino-Methylphosphonic Acid from Danish Agricultural Field Sites. *Vadose Zone Processes and Chemical Transport*.
- Kolpin, D. Jack, W., Barbash, E. y Gilliom, R. J. 2002. Atrazine and metolachlor occurrence in shallow ground water of the united states, 1993 to 1995: Relations to explanatory factors. *Jornal of the american water resources association.* 30, 301-311.
- Logsdon S.D. y Jaynes D.B. 1993. Methodology for determining hydraulic conductivity with tension infiltrometers. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, 1426-1431.
- Lord E. I., Shepherd, M. A. 1993. *Journal of Soil Science* 44:435-449.
- SAS Institute, Inc., 2002. SAS User's guide Statistic, version 5 Edition. SAS Inc. Cary NC
- Senseman, S.A. (ed.) 2007. *Herbicide handbook*. 9th ed. *Weed Sci. Soc. of Am.*, Lawrence, KS, USA.458p.
- Soil Conservation Service. 1972. *Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soils samples*. Soil Surv. Report, 1. USDA, WA.
- Toride, N., Leij, F.J. y van Genuchten, M.Th. 1999. The CXTFIT code for Estimating Transport Parameters from Laboratory or Fiel Tracer Experiments. Version 2.1. Research Report n° 137. US Salinity Laboratory. Agricultural Research Service. US Department of Agriculture. Riverside, California. 119 pp
- Walkley A. y Black, I.A.1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*37:29-37.

