

CONTAMINACION DEL AGUA Y SUBSUELO POR EL USO DEL FLUROXIPYR METILHEPTIL ESTER EN CULTIVOS DE SOYA EN LA LOCALIDAD DE CHANÉ EN EL DEPARTAMENTO DE SANTA CRUZ

Paul E. Vargas^{a*} Walter de Groot^b Carlo Vandecasteele^c

^aCentro de Aguas y Saneamiento Ambiental, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia. E-mail: paul_5151@yahoo.com

^bDepartamento de Química, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.

^cDepartment of Chemical Engineering, Kuleuven, De Croylaan 46, B-3001, Leuven, Belgium. E-mail: Carlo.Vandecasteele@cit.kuleuven.ac.be

Keywords: Herbicide, Starane, Santa Cruz, soybean, fluroxypyr methylheptyl ester, intact soil, leaching, K_d , K_{oc} , sorption. Herbicida, Starane, Santa Cruz, soya, fluroxipir metilheptil éster, suelo intacto, infiltración, K_d , K_{oc} , sorción

RESUMEN

Starane[®] es un producto herbicida muy utilizado en el cultivo de soya, su componente activo es **fluroxipir metilheptil éster** (FMHE). Se colectaron muestras de suelo de Santa Cruz y Cochabamba. Los valores de K_d y K_{oc} obtenidos para el FMHE fueron 8 ml g^{-1} y 401 ml g^{-1} . Los ensayos de infiltración con 1,74 veces la dosis de FMHE aplicada en campo presentaron una recuperación de menos del 1% de FMHE. Solo suelos con abundancia de material grueso presentaron FMHE en sus respectivos infiltrados. Altos contenidos de materia orgánica y sales se asociaron con una mayor y menor sorción de FMHE en el suelo, respectivamente. FMHE fue detectado en cuatro ríos y un pozo poco profundo de Santa Cruz.

ABSTRACT

Starane[®] is a herbicide used massively in soybean production, its active ingredient is **fluroxypyr methylheptyl ester** (FMHE). Soil samples were collected from locations in Santa Cruz and Cochabamba. The obtained K_d and K_{oc} values are 8 ml g^{-1} and 401 ml g^{-1} . The infiltration tests applying 1.74 times the FMHE field dose rendered a recovery of less than 1% FMHE. FMHE was only found in the leachates of soils with gravel and high sand contents. High contents of organic matter and salts were associated with a bigger and smaller sorption of FMHE in soil, respectively. FMHE was detected in four rivers and one well in Santa Cruz.

INTRODUCCION

En los últimos años, la soya ha llegado a constituirse en uno de los principales productos de exportación en

Bolivia. El departamento de Santa Cruz produjo más del 90% de la producción total boliviana en el periodo 1991 – 2000 (INE, 2005). En el departamento de Santa Cruz, aproximadamente el 60% de los plaguicidas utilizados son herbicidas y 27% son insecticidas (APIA, 2003).

Un herbicida, con las precipitaciones pluviales puede ser transportado por escorrentía a través de la cuenca, llegar a los ríos y recorrer grandes distancias sin modificarse.

Starane[®] es un concentrado emulsionable que actúa como herbicida post-emergente selectivo; contiene 303 g de **fluroxipir metilheptil éster** (FMHE) por litro (Dow AgroSciences, 2001). La Figura No. 1 presenta la estructura química del FMHE.

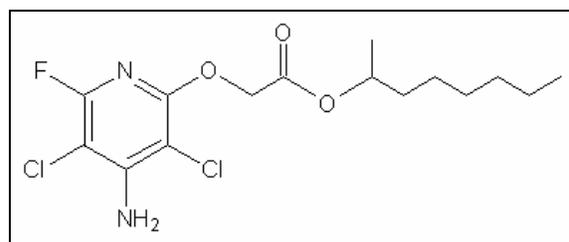


Figura No. 1: Estructura química del fluroxipir metilheptil éster (THE MERCK INDEX, 2000)

“Starane” es comercializado por Dow AgroSciences para el control o eliminación de malezas anuales o perennes de hoja ancha. La dosis recomendada por comercios de productos agropecuarios en la ciudad de Montero (Santa Cruz) para aplicaciones en cultivos de soya es de 1 litro de “Starane” por hectárea de terreno, aproximadamente el triple de lo recomendado por el fabricante.

Estimaciones de la concentración ambiental para exposiciones crónicas realizadas mediante modelos, dieron como resultado valores de 1,6 ppb para aguas superficiales y 0,017 ppb para aguas subterráneas (EPA, 2005).

El herbicida FMHE es completamente hidrolizado a **ácido fluroxipir (AF)** durante la penetración a través de la piel del ser humano y de la rata, así como en el interior de una planta (HEWITT *et al.*, 2000). Estudios de toxicidad a largo plazo demostraron que el AF tiene un efecto crítico sobre los riñones (DIRECTORATE GENERAL HEALTH & CONSUMER PROTECTION, 1999). La Figura No. 2 presenta la estructura química del AF.

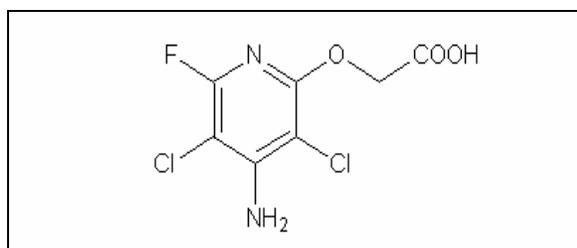


Figura No. 2: Estructura química del ácido fluroxipir (THE MERCK INDEX, 2000)

Ensayos de movilidad del FMHE por medio de columnas de infiltración revelaron que en el infiltrado se obtenía menos del 2% de FMHE (DIRECTORATE GENERAL HEALTH & CONSUMER PROTECTION, 1999).

La principal fuente de agua de consumo en las zonas agrícolas del departamento de Santa Cruz es el agua subterránea. Pequeñas poblaciones como Chané tienen cooperativas que distribuyen agua de pozos de hasta 100 m de profundidad. Desde este punto de vista y considerando la creciente actividad agrícola de estas zonas, se ve la necesidad de estudiar el comportamiento de infiltración de uno de los compuestos aplicados como es el FMHE.

PARTE EXPERIMENTAL

Zona de Estudio

La zona de estudio se localizó en la provincia Obispo Santiestevan del departamento de Santa Cruz. La localidad de Chané y las zonas de cultivo que se extienden hasta Río Grande fueron de especial interés

en el presente trabajo. Sin embargo, también se consideró la localidad de General Saavedra. Las localidades de General Saavedra y de Chané se encuentran a 69 y 95 kilómetros de Santa Cruz de la Sierra, respectivamente, ambas al norte de esta ciudad. En la Figura No. 3 se presenta la ubicación en el mapa de Santa Cruz de estas dos localidades.

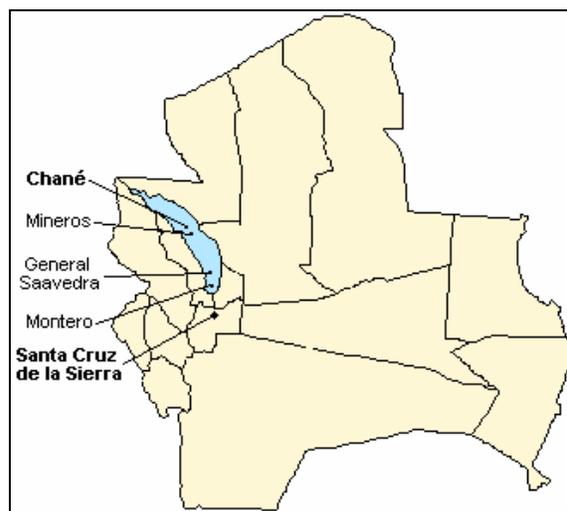


Figura No. 3. Ubicación de las localidades de interés en el mapa del Departamento de Santa Cruz

La localidad de Chané tiene una precipitación anual promedio de 1 400 mm mientras que G. Saavedra tiene una precipitación entre 1 100 y 1 200 mm (CIAT-ANAPO, 1998). La estación lluviosa se inicia generalmente en diciembre para concluir en marzo. De 60 a 80 % de las precipitaciones ocurren durante estos 4 meses (MATTOS & CRESPO, 2000).

Muestreo de aguas y análisis de FMHE

Se colectaron muestras de agua en la zona de estudio a finales del mes de Septiembre (periodo en que se presentan las primeras lluvias después del periodo seco). Se obtuvieron muestras de los ríos Piraí (1), Del Palo (3), Chané (4), Grande (8) y de un pozo poco profundo (7), todos en la zona de estudio (ver Figura No. 4). Las muestras de agua se colectaron en recipientes de vidrio de 1 litro de capacidad, se preservaron con 15 ml de diclorometano (Scharlau, 99.9% pureza) y se almacenaron a una temperatura menor de 5°.

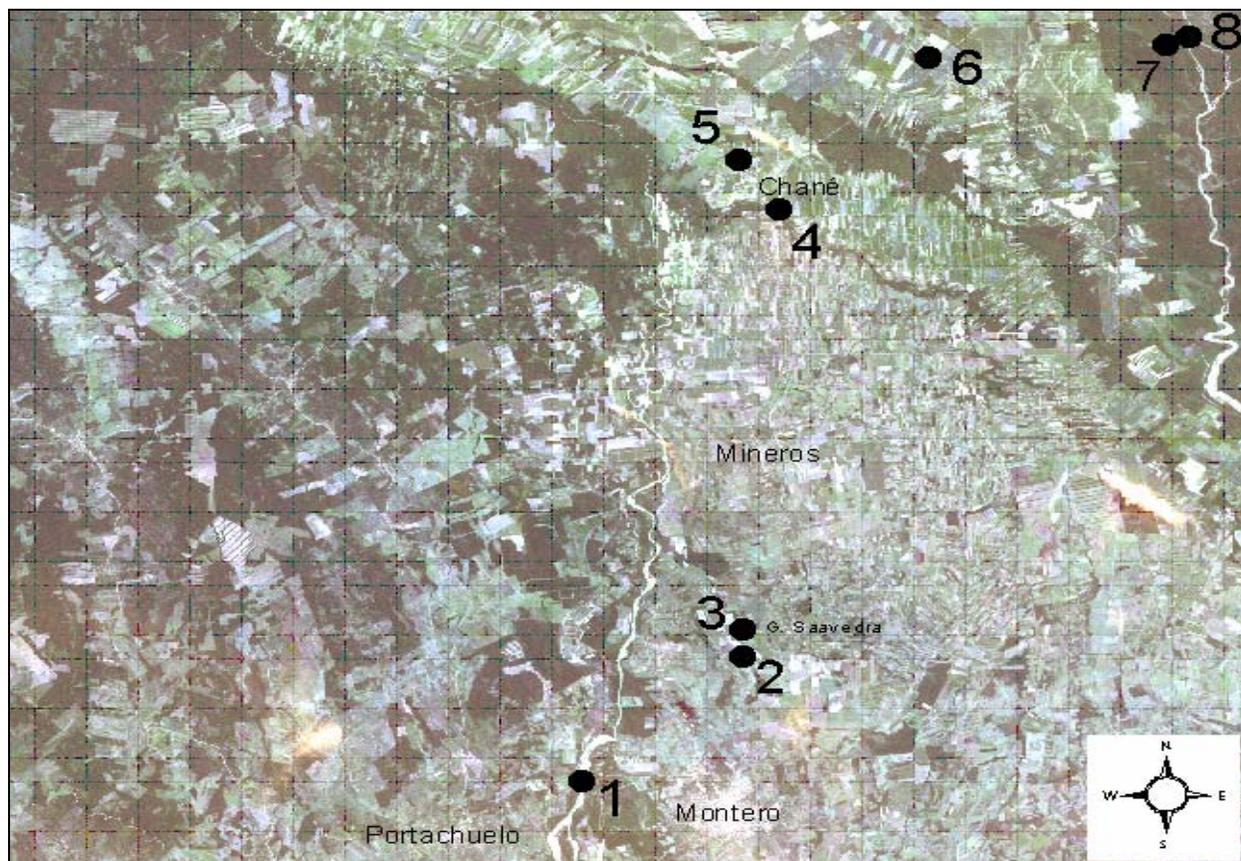


Figura No. 4. Imagen satelital del norte del departamento de Santa Cruz (Instituto Geográfico Militar-Bolivia, 2004)

Para el análisis se realizó una extracción líquido-líquido con una mezcla acetona (Merck, min. 99,5% pureza) y diclorometano (Scharlau, 99,9% pureza) en proporción (1:1 v/v) como solvente extractor. Se extrajo el total de la muestra (aprox. 1 litro en el caso de muestras ambientales y 200 ml en el caso de los infiltrados) con tres fracciones del solvente de extracción. Se concentró el extracto por medio de un rotaevaporador y se limpió con Florisil activado a 130°C. Finalmente, se concentró el extracto concentrado limpio por flujo de nitrógeno en un equipo "Minivap" (Supelco) hasta un volumen final de 1 ml.

En el cromatógrafo, se utilizó una columna tipo cpsil19cb (Varian) de 50 m de largo, 0,25 mm de diámetro interno y 0,2 µm de espesor de "film". El gas portador fue helio y el gas "make up" fue nitrógeno. Las temperaturas del inyector y del detector fueron 220° y 300°C, respectivamente. La temperatura del

horno varió desde 100°C (2 min. de espera) hasta 150°C a una razón de 15°C/min. Luego varió desde 150°C (5 min. de espera) hasta 240°C a una razón de 10°C/min. Finalmente, varió desde 240°C (11 min. de espera) hasta 245°C a una razón de 10°C/min.

El estándar interno utilizado fue el pentacloronitrobenceno, con un tiempo de retención para el método de 20,3 min., mientras que para el FMHE fue 41,5 min. El límite cuantificable de FMHE en el extracto fue 9,9 µg/l. La Figura No. 5 presenta el cromatograma de una solución estándar en acetona que contiene 0,99 mg/l de FMHE y 2,14 mg/l de pentacloronitrobenceno, además de 1,12 mg/l de clorpirifos y 1 mg/l de dibutilcloroendato.

El día 21 de septiembre del 2004 se colectaron muestras de agua de algunos ríos y un pozo de agua en el norte del departamento de Santa Cruz. Los puntos de muestreo se los presenta en la imagen satelital de la Figura No. 4.

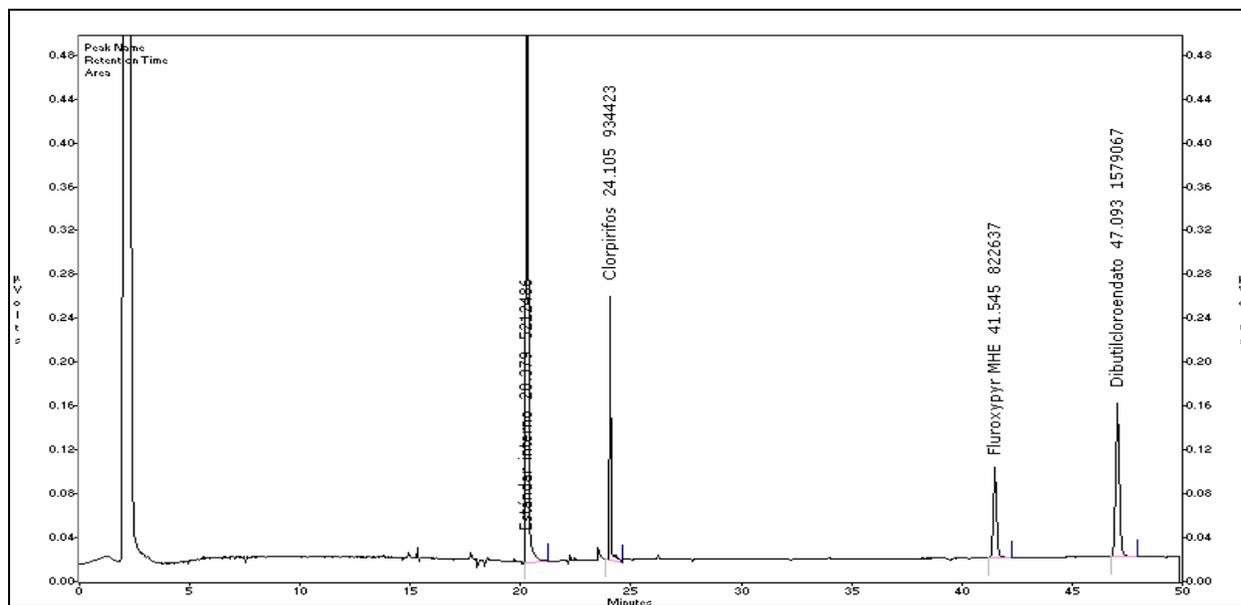


Figura No. 5: Cromatograma de la mezcla patrón con cuatro compuestos disueltos en acetona

Muestreo de suelo

Para el muestreo de suelo se utilizaron tubos de hierro galvanizado de 33 cm de largo, cuyo diámetro externo e interno fueron 5 y 4,8 cm, respectivamente. El tubo de muestreo se introdujo en el suelo hasta los 15 cm mediante percusión cuidando de no modificar el perfil de suelo. Se extrajo cuidando de que el suelo de la parte inferior del tubo no se desmorone; inmediatamente después se cubrió la parte inferior con papel de aluminio y un tapón plástico, mientras que la parte superior se cubrió con papel de aluminio. Se almacenaron los tubos con las muestras a una temperatura menor a 5°C.

Se obtuvieron muestras de suelo intacto y disturbado de cuatro parcelas distintas: cinco muestras de una parcela de cultivo de soja en la localidad de Chané (5), dos muestras de una parcela de cultivo de soja camino a Río Grande (6), tres muestras una parcela de cultivo en la localidad de General Saavedra (2) y tres muestras de una parcela de referencia en la localidad de Colcapirhua; las tres primeras parcelas pertenecen al departamento de Santa Cruz y se muestra su localización en la imagen satelital de la Figura No. 4 de acuerdo a los números entre paréntesis, mientras que la última se localiza en el departamento de Cochabamba.

K_d y K_{oc}

Para la determinación del Coeficiente de Distribución para Adsorción, K_d y el Coeficiente de Adsorción Normalizado para Carbono Orgánico, K_{oc} , se realizó un Ensayo de Sorción por Lotes. Aproximadamente 2

g de suelo de la parcela de cultivo de soja en la localidad de Chané (pesado con 0,000 1 g de exactitud) se sometió a agitación por 24 horas, con 300 ml de solución 0,99 mg/l de FMHE. La solución contenía además CaCl_2 0.01 M y NaN_3 al 0,1%. El NaN_3 se adicionó para minimizar la biodegradación (SØVIK *et al.*, 2002).

Se determinó la concentración de FMHE en la solución en equilibrio y por medio de este dato se calculó la cantidad de FMHE retenido en el suelo por unidad de masa de suelo seco. La relación de la cantidad de FMHE retenido en el suelo respecto de la concentración de la solución en equilibrio, permitió obtener el valor de K_d . Por medio del factor de *Van Bemmelen* (1,724), el contenido de materia orgánica (determinado por pérdida de peso por ignición) y el valor de K_d , se obtuvo el valor de K_{oc} .

Ensayo de infiltración

Existen dos métodos de infiltración en columna considerados los más utilizados para el análisis de infiltración de pesticidas en suelos (KJOLHOLT, *et al.*, 1998), éstos son:

- Método descrito por la guía de la “Biologische Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft”, BBA (Alemania).
- Método descrito por la guía de la “United States Environmental Protection Agency”, US EPA (Estados Unidos).

Ambos métodos emplean un estrato de suelo empacado; en el presente trabajo se propone la utilización de un estrato de suelo “intacto”. Los tubos

con las muestras de suelo intacto de cada una de las cuatro parcelas muestreadas, se colocaron en el equipo para ensayo de infiltración cuyo esquema se presenta en la Figura No. 6.

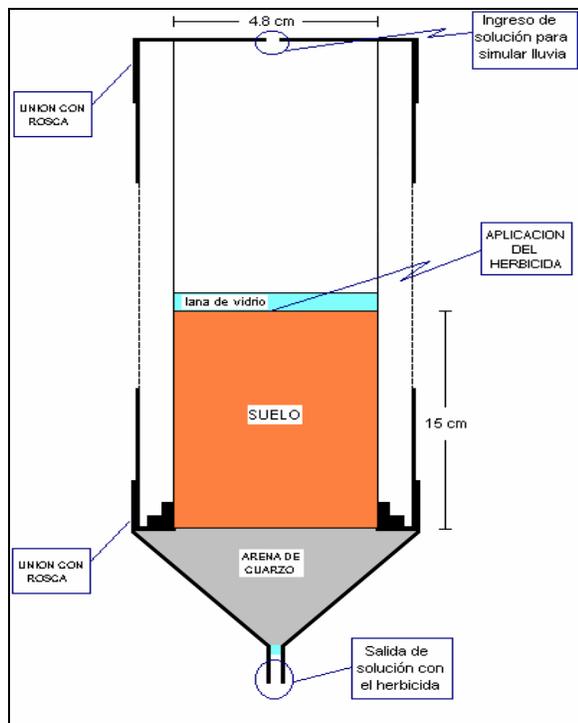


Figura No. 6. Esquema del equipo para ensayo de infiltración

Se saturó la muestra de suelo por medio de goteo lento de una solución CaCl_2 0,01 M y NaN_3 0,1%, a una razón de flujo tal que no permita acumulación de solución en la parte superior de la muestra de suelo. Se midió el caudal de salida de la solución, a partir del cual, se obtuvo la conductividad hidráulica de la muestra de suelo en el tubo.

Luego de la saturación, se dosificó a cada muestra de suelo 1 ml de una solución de estándar de FMHE de concentración 99 mg/l equivalente a 1,74 veces la dosis de aplicación del herbicida en campo. Se simuló una precipitación en el sistema mediante la adición de solución CaCl_2 0,01 M y NaN_3 0,1% (a una razón de flujo tal que no produzca acumulación de solución) hasta obtener 200 ml de infiltrado (volumen sugerido por el método BBA). En la muestra 8 de la parcela de G. Saavedra se obtuvo 500 ml de infiltrado (volumen sugerido por el método US EPA) para comprobar si existe diferencia respecto a los casos en que solo se

obtuvo 200 ml de infiltrado. El infiltrado se analizó para conocer la cantidad de FMHE que atravesó el estrato de suelo.

Otros ensayos

Se obtuvo el pH, contenido de materia orgánica y conductividad eléctrica de las muestras de suelo disturbado.

El pH se determinó en una suspensión suelo:solución CaCl_2 0.01 M (1:2). Después de 30 min. de agitación de la suspensión y un tiempo similar de reposo, se midió con el electrodo del pHmetro el sobrenadante. De manera similar se midió la conductividad eléctrica, pero el tiempo de agitación para este caso fue 4 horas. El contenido de materia orgánica se determinó por "ignición" a 550°C y la consiguiente variación en el peso de una muestra de aproximadamente 5 g de suelo húmedo.

Se prepararon muestras compuestas de las cuatro parcelas, las mismas que fueron ensayadas por tamizado en el Laboratorio de Geotecnia-UMSS, para determinar la granulometría.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los ensayos por tamizado realizados por el Laboratorio de Geotecnia-UMSS para los suelos de las cuatro parcelas comprendidas en este estudio, proporcionaron los contenidos de grava, arena y material fino (limo y arcilla) presentados en la Tabla No. 1.

Tabla No. 1: Granulometría de los suelos estudiados

Origen Muestra	Grava (%)	Arena (%)	Material Fino (%)
Chané	0,00	7,20	92,80
Río Grande	0,00	1,25	98,75
G. Saavedra	0,00	67,78	32,22
Colcapirhua	0,81	5,75	93,44

Como se observa a partir de los resultados de granulometría, tres suelos tenían importante contenido de material fino comparado con el contenido de arena (Chané, Río Grande y Colcapirhua). Por otra parte, un suelo tenía alto contenido de arena (G. Saavedra) y uno solo de los suelos tenía grava (Colcapirhua).

La Tabla No. 2 presenta los valores de contenido de materia orgánica, pH, conductividad eléctrica y conductividad hidráulica de las muestras de suelo intacto.

Tabla No. 2: Valores de contenido de materia orgánica, pH, peso específico seco, conductividad eléctrica e hidráulica de las muestras de suelo intacto

Origen Muestra	Nº	Cont. Materia Orgánica (%)	pH suelo:sol. CaCl ₂ (1:2)	Conductividad eléctrica [µS/cm]	Conductividad hidráulica [cm/s]
Chané	1	4,80	7,64	1 085	1,47 x 10 ⁻⁵
Chané	2	5,80	7,41	1 505	2,03 x 10 ⁻⁵
Chané	3	5,23	6,50	262	4,24 x 10 ⁻⁵
Chané	6	5,39	7,68	2 470	9,22 x 10 ⁻⁶
Chané	9	4,40	7,05	89	4,64 x 10 ⁻⁴
Río Grande	1	5,49	8,15	5 520	1,47 x 10 ⁻⁵
Río Grande	2	5,81	7,49	812	4,61 x 10 ⁻⁶
G. Saavedra	3	2,64	4,80	37	3,07 x 10 ⁻⁴
G. Saavedra	4	1,62	4,59	14	7,90 x 10 ⁻⁴
G. Saavedra	8	2,13	4,45	52	1,32 x 10 ⁻³
Colcapirhua	2	6,62	6,34	408	2,21 x 10 ⁻⁵
Colcapirhua	3	7,60	6,59	113	2,40 x 10 ⁻⁵
Colcapirhua	4	10,26	6,95	200	3,76 x 10 ⁻⁴

De acuerdo a estos resultados, se pudo comprobar que todas las muestras de suelo intacto que se obtuvieron eran de características muy distintas, aun cuando fueron obtenidas de la misma parcela. Estas diferencias podrían deberse a particularidades propias del terreno como ser pequeñas depresiones o pendientes que se manifiestan en época lluviosa por la acumulación de agua en ciertas partes de la parcela. Precisamente esa acumulación de agua ocasiona que en las depresiones del terreno se tengan contenidos salinos más altos (conductividades eléctricas más altas). Por otra parte, la conductividad hidráulica del suelo también es un factor que determina el grado de salinidad del suelo; el suelo de G. Saavedra es, en general, más permeable que el de las otras parcelas debido a su alto contenido de arena; esto posibilita un mayor flujo de agua a través del suelo y, por consiguiente, un mayor lavado de las sales.

Se tuvieron contenidos de materia orgánica con valores entre 1.62% y 10.26% siendo las muestras de suelo de G. Saavedra y Colcapirhua las que tuvieron menores y mayores contenidos de materia orgánica, respectivamente. Suele considerarse el contenido de materia orgánica como el factor primario que determina la sorción de compuestos orgánicos en el suelo (HOLM, *et al.*, 2003).

Los valores de K_d y K_{oc} obtenidos para el FMHE en la parcela de cultivo de Chané fueron 8 ml g⁻¹ y 401 ml g⁻¹, respectivamente. De acuerdo a una clasificación de movilidad manejada por FOGG, *et al.* (2004), el FMHE estaría clasificado como un compuesto entre moderadamente móvil y débilmente móvil. El valor de K_{oc} obtenido para el FMHE es menor al encontrado en trabajos previos, en los que se maneja un rango de valores de K_{oc} que va desde 6 200 a 43 000 ml g⁻¹ (DIRECTORATE GENERAL HEALTH & CONSUMER PROTECTION, 1999). En los ensayos de sorción de la presente investigación se buscó minimizar la biodegradación mediante la adición de NaN₃, por tanto, el K_{oc} obtenido solo considera los efectos físicos y químicos del suelo sobre el FMHE.

En lo referido a los ensayos de infiltración con las muestras de suelo intacto, ninguna muestra del cultivo de soya de Chané y camino a Río Grande, presentó FMHE detectable y cuantificable en sus infiltrados. Al ser suelos con un alto porcentaje de material fino sus conductividades hidráulicas eran bajas, es decir, la razón de flujo (volumen de solución que atraviesa la muestra de suelo por unidad de tiempo) de estas muestras eran bajas. Un factor importante que limita la infiltración del FMHE a través de la muestra de suelo es la razón de flujo, pues a mayor razón de flujo mayor será la infiltración del compuesto (KOOKANA *et al.*,

1992). El hecho de que cinco de los siete ensayos de infiltración realizados en muestras de cultivos de soya de Chané y camino a Río Grande tengan las conductividades hidráulicas más bajas del conjunto de muestras, demuestra que necesariamente la razón de flujo condiciona el movimiento del FMHE, sin embargo, no es el único factor que se debe considerar. La Tabla No. 3 presenta los resultados del ensayo de infiltración en columna; se presenta la concentración de los infiltrados correspondientes a las distintas muestras de suelo intacto, además del porcentaje de FMHE que llegó a infiltrar en cada caso.

Tabla No. 3: Resultados del ensayo de infiltración

Origen Muestra	Nº	C _{plag} [mg/l]	FMHE infiltrado [%]
Chané	1	N.D.	N.D.
Chané	2	N.D.	N.D.
Chané	3	N.D.	N.D.
Chané	6	N.D.	N.D.
Chané	9	N.D.	N.D.
Río Grande	1	N.D.	N.D.
Río Grande	2	N.D.	N.D.
G. Saavedra	3	0.0031	0.63
G. Saavedra	4	0.0015	0.30
G. Saavedra	8	0.0003	0.15
Colcapirhua	2	0.0020	0.40
Colcapirhua	3	N.D.	N.D.
Colcapirhua	4	0.0003	0.06

* N.D. significa "No detectable"

En general, el porcentaje de FMHE infiltrado en los suelos de Colcapirhua es menor al infiltrado en los suelos de G. Saavedra, esto debido a que los suelos de Colcapirhua tienen mayor contenido de materia orgánica, material fino y una menor conductividad hidráulica.

El suelo de la parcela de Colcapirhua, a pesar de poseer un contenido material fino ligeramente superior al del suelo del cultivo de soya de Chané, en los infiltrados de dos de las tres muestras de suelo intacto

se encontró FMHE. El contenido de grava podría ser la causa, sin embargo este factor parece tener un efecto mínimo pues las conductividades hidráulicas de las muestras de la parcela de Colcapirhua, en general, son ligeramente superiores a las de las muestras de la parcela de Chané. Incluso, dos muestras de la parcela de Chané poseen conductividades hidráulicas superiores a las de las muestras de Colcapirhua.

La explicación a la presencia de FMHE en el infiltrado de las muestras de la parcela de Colcapirhua está en las características del material fino que constituye el suelo. Son dos suelos de dos departamentos con orografía y clima distintos, por consiguiente, con orígenes distintos. Considerando las características del suelo de la parcela de Chané y de las parcelas de cultivo que se extienden hasta Río Grande, estos serían suelos de origen aluvial, es decir, transportados por acción del agua de ríos; en tal sentido, serían suelos ricos en material coloidal. Las partículas coloidales, al tener mayor superficie de sitios activos, tienen una mayor capacidad de sorción (BJERRE et al., 2000). A partir de los resultados obtenidos, se podría decirse que el material fino que constituye los suelos de la parcela de Chané y la del camino a Río Grande, tienen mayor capacidad de sorción comparado con el existente en la parcela de Colcapirhua.

De acuerdo a lo observado es posible decir que el efecto combinado de altos contenidos de materia orgánica y bajas conductividades hidráulicas, es capaz de reducir en una forma notable la infiltración del FMHE. Por otra parte, el contenido salino del suelo parece tener un efecto en la sorción y, por consiguiente, en el porcentaje de FMHE infiltrado; contrastando los valores de conductividad eléctrica y de porcentaje de infiltración para los suelos de Colcapirhua, se observa que a mayores contenidos salinos existiría también un mayor porcentaje de FMHE infiltrado, es decir, el contenido salino inhibiría la sorción en el suelo. Este efecto se observó para los suelos de Colcapirhua y G. Saavedra aunque en menor grado debido, obviamente a que la composición de las sales son distintas en ambas zonas.

En todas las muestras de agua de los ríos y de los pozos se detectó la presencia de FMHE. La Tabla No. 4 presenta las coordenadas del punto de muestreo (GPS), una breve descripción del lugar y punto de muestreo así como los resultados del análisis de las muestras de agua colectadas, es decir, las concentraciones de FMHE en el agua.

Tabla No. 4: Lugares y puntos de muestreo en el departamento de Santa Cruz

N° en la imagen	Lugar	GPS	Descripción del punto de muestreo	Concentración de FMHE [mg/l]
1	Río Piraí	20K 465067 UTM 8084652	Muestreo realizado a 100 m del puente del tramo Portachuelo-Montero.	0,261
3	Río Del Palo	20K 473681 UTM 8094532	Río pequeño que atraviesa un club de caza y pesca.	0,025
4	Río Chané	20K 476569 UTM 8124259	Muestreo realizado a 50 m del puente de la carretera hacia Montero. Presencia de gran cantidad de plantas acuáticas.	9,116
7	Pozo dotado de bomba manual	20K 498269 UTM 8135360	Pozo de aprox. 4 m de profundidad y con agua bastante salina.	0,032
8	Río Grande	20K 499713 UTM 8135874	Río con aguas turbias y de importante caudal.	0,571

Las muestras de agua se tomaron al final de la época seca. La noche anterior al muestreo llovió, pudiendo ser esta la razón por la cual se encontró el FMHE en los ríos. En especial, se puede destacar el valor de la concentración del Río Chané pues es extremadamente alto. Este río es una especie de rebalse del Río Piraí en el norte de la provincia Obispo Santiestevan y se caracteriza por tener aguas con poco movimiento, a tal punto que existe abundante vegetación acuática flotante cerca de las orillas. En toda la zona que rodea al Río Chané se observó una notable actividad agrícola dedicada fundamentalmente al cultivo de soya, la presencia de un gran número de recipientes vacíos de plaguicidas en los bordes de los cultivos delataba también la aplicación de plaguicidas.

El cultivo de soya abarca todo el año, llegándose a tener tres cosechas anuales, por tanto es obvio que la aplicación de plaguicidas también abarca todo el año. Es lógico entonces que las primeras lluvias pudieran ocasionar la escorrentía de éstos, llevándolos a cursos de agua como son los ríos. Es así que se puede explicar la presencia del FMHE en las aguas de los ríos, llegando a tener concentraciones apreciables, incluso en ríos tan caudalosos como el Río Grande.

En lo referido a un pozo de agua dotado de una bomba manual ubicado en un campamento cercano al Río Grande, en una zona de intensa actividad sojera (punto de muestreo 7 en la Figura No. 2), el agua presentó una concentración de FMHE de 0,032 mg/l, demostrando que existe una leve movilidad del compuesto, tal como era de prever considerando el valor de K_{oc} obtenido.

CONCLUSIONES

Los valores promedio de K_d y K_{oc} obtenidos fueron de 8 ml g^{-1} y 401 ml g^{-1} , respectivamente. De acuerdo a estos valores, el FMHE se clasifica como un

compuesto entre moderadamente móvil y débilmente móvil.

Las muestras de suelo intacto con granulometría tal que su contenido de material fino sea muy alto y que presente abundancia de material coloidal, no presentan FMHE detectable en sus infiltrados en el tiempo de evaluación. Pero en periodos largos en los que continuamente se aplica el herbicida en los cultivos, y además se presenta un importante régimen de lluvias, el herbicida puede llegar a acuíferos poco profundos, a pesar de su baja movilidad.

En suelos con altos contenidos de arena, menos del 1% del FMHE es capaz de infiltrar, por tanto, en suelos con granulometría en la que hay presencia y predominan partículas gruesas, se tendrá un riesgo mayor de contaminación del subsuelo.

El contenido de sales solubles (conductividad eléctrica) tiene efecto sobre el grado de infiltración y, por consiguiente, sobre el riesgo de contaminación del subsuelo por FMHE. Mayores valores de conductividad eléctrica se asociaron a una mayor infiltración del FMHE en el suelo.

El riesgo de contaminación del subsuelo por el uso del FMHE en cultivos de soya de la localidad de Chané en el departamento de Santa Cruz es bajo, debido a las características del suelo del lugar y el importante grado de sorción del compuesto en el suelo.

AGRADECIMIENTOS

Estamos muy agradecidos por el apoyo brindado por la cooperación belga a través del Convenio UMSS-IUC, que permitió la realización del presente trabajo. No menos importante fue el concurso del Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental de la Universidad Mayor de San Simón, que nos brindó sus instalaciones y su equipamiento para todo el trabajo de laboratorio.

REFERENCIAS

- (1) Asociación de Proveedores de Insumos Agropecuarios (APIA); Consulta Personal al M.Sc. Ing. Jaime Palenque (Gerente General APIA); Santa Cruz, Bolivia, 2003.
- (2) J. Bjerre; P. Englund; E. Aagard; O. Hjelmar; Use of Lysimeter for Characterisation of Leaching from Soil and Mainly Inorganic Waste Materials, Nordtest Technical Report **473**, Denmark, 13-20, 2000.
- (3) Centro de Investigación Agrícola Tropical, CIAT; Asociación de Productores de Oleaginosas y Trigo (ANAPO); Soya: Guía de Recomendaciones Técnicas, Editora El País, Santa Cruz, Bolivia, 1-7, 1998.
- (4) Directorate General Health & Consumer Protection; Review report for the active substance fluroxypyr, 6848/VI/98-Final, 8-15, Germany, 1999.
- (5) Dow AgroSciences, Material Safety Data Sheet: Starane 200, Australia, 2001.
Disponible "on line":
<http://www.dowagro.com/webapps/lit/litorder.asp?filepath=au/pdfs/noreg/012-10058.pdf&pdf=true>
- (6) Environmental Protection Agency (EPA); Fluroxypyr: Pesticide Tolerances for Emergency Exemptions, 2005, Volume 70, Number 16, 3642-3649.
- (7) P. Fogg; A.B.A. Boxall; A. Walker; A. Jukes; Effect of Different Soil Textures on Leaching Potential and Degradation of Pesticides in Biobeds, J. Agric. Food Chem., 2004, **52**, 5643-5652.
- (8) P.G. Hewitt; J. Perkins; S.A.M. Hotchkiss; Metabolism of Fluroxypyr, Fluroxypyr Methyl Ester and the Herbicide Fluroxypyr Methylheptyl Ester II: In Rat Skin Homogenates, Drug Metabolism and Disposition, 2000, **28**, 755-759.
- (9) Instituto Nacional de Estadística (INE), 2005. Disponible "on line": <http://www.ine.gov.bo>
- (10) J. Kjølholt; Critical Variables in Soil Column Leaching Test. Danish Environment Protection Agency, 1998, **38**, 18-2.(10) R.S.
- (11) Kookana; R.G. Gerritse; L.A.G. Aylmore; A Method for Studying Nonequilibrium Sorption During Transport of Pesticides in Soil. Soil Science, 1992, 154 (**5**), 344-349.
- (12) R. Mattos; A. Crespo; Informe Nacional sobre la Gestión del Agua en Bolivia, Comisión para la Gestión Integral del Agua en Bolivia, Bolivia, 32-33, 2000.
Disponible "on line":
<http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/GestRecAgua.htm>
- (13) A.K. Søvik; E. Alfnes; G.D. Breedveld; H.K. French; T.S. Pedersen; P. Aagaard; Transport and Degradation of Toluene and o-Xylene in an Unsaturated Soil with Dipping Sedimentary Layers, J. Environ. Qual., 2002, **31**, 1809-1823.