



¿El Metsulfuron metil puede contaminar las aguas subterráneas en el sudeste bonaerense?

Analizamos los factores que condicionan el destino final en el ambiente de un herbicida muy utilizado en la región pampeana.

Eliana Gonzalo Mayoral¹
Virginia Aparicio²
Eduardo De Gerónimo²
José Luis Costa³

¹Becaria de CONICET

²INTA - CONICET

³INTA (retirado)

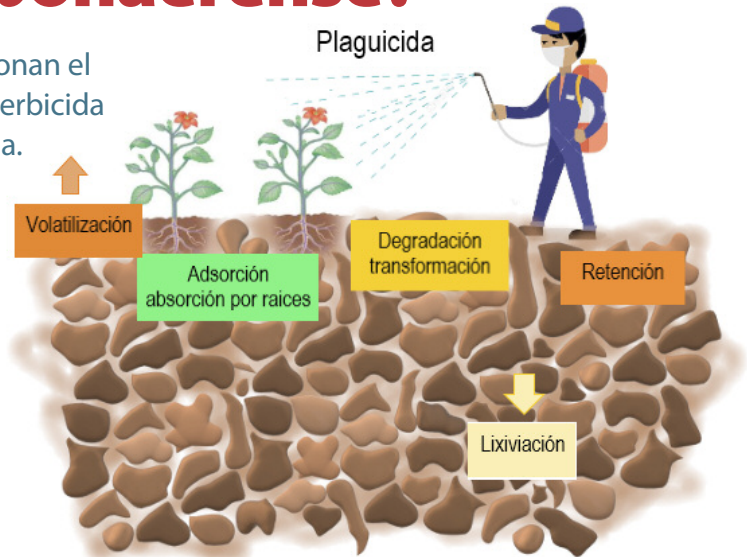


Figura 1 | Procesos que puede sufrir un plaguicida al ingresar al suelo

Fuente: Elaboración propia

La producción agropecuaria tiene un lugar importante en la economía nacional. El uso de diversos agroquímicos es una práctica generalizada en muchos de nuestros sistemas productivos, lo que nos posiciona como el tercer país que más agroquímicos emplea, luego de China y Estados Unidos. Según las estimaciones de la FAO, para el año 2017, en nuestro país se utilizaron 196008.03 toneladas de agroquímicos, de los cuales los herbicidas representaron el 97.3%. Pero ¿qué ocurre cuando aplicamos estos compuestos en nuestros suelos o cultivos? ¿Toda la cantidad aplicada cumple realmente su objetivo de controlar malezas o la plaga puntual para la cual fue aplicado?

Cuando se realiza una aplicación de agroquímicos, entran en juego una serie de factores que condicionarán su destino final en el ambiente, y harán que la cantidad de plaguicida disponible para cumplir su objetivo sea menor a la cantidad inicialmente aplicada. Dichos factores incluyen las condiciones y características del suelo, las condiciones climáticas y meteorológicas, y las características propias del producto aplicado, además del tipo de aplicación efectuada. Tras una aplicación, un gran porcentaje del producto llega al suelo, donde interactúa con los constituyentes minerales, la materia

orgánica y la biota edáfica. Aquí, podrá repartirse en las fases sólidas, líquida y gaseosa del suelo:

En la fase sólida, el compuesto será retenido con diferente fuerza en la fracción orgánica e inorgánica del suelo, pudiendo migrar a otros sitios por acción del agua o el aire;

En la fase líquida, el plaguicida está disponible para ser transformado o degradado física, química o biológicamente a otros compuestos, o bien transportado por el agua a horizontes más profundos;

En la fase gaseosa, la molécula podrá ser incorporada a la atmósfera por medio de la volatilización.

La Figura 1 resume los principales procesos que sufre un agroquímico al ingresar al suelo.

En la región pampeana se utiliza el metsulfuron metil, un herbicida sistémico perteneciente a la familia de las sulfonilureas. Se emplea para el control de malezas de hoja ancha, ya sea sólo o en mezcla con otros herbicidas. Al igual que el resto de las sulfonilureas, este herbicida es elegido por su alta actividad a bajas dosis de

aplicación y por su poder residual. Este último aspecto presenta una importante controversia, dado que la residualidad si bien es una característica deseada desde el punto de vista del control de malezas, puede comprometer el desarrollo de los cultivos posteriores, y por ende, su rendimiento.

En cuanto al comportamiento ambiental de este herbicida, se trata de un compuesto no volátil, pero con gran capacidad para escurrir superficialmente y para lixiviar, lo cual lo postula como un potencial contaminante de aguas, tanto superficiales como subterráneas. De hecho, en un experimento piloto a campo realizado en INTA Balcarce, se detectó la presencia de metsulfuron metil en agua subterránea en concentraciones de hasta 1.17 µg/L⁻¹. Estos datos indican que si bien este herbicida es aplicado en suelos de uso agrícola con dosis muy bajas, es capaz de movilizarse hacia otras matrices, como son el agua superficial y agua subterránea.

En Argentina, no existe reglamentación que establezca límites máximos permitidos de agroquímicos de uso actual en el agua para consumo, pero la Unión Europea establece que para

plaguicidas individuales, se permite un nivel máximo de $0.1 \mu\text{gL}^{-1}$, mientras que la suma de agroquímicos no debe exceder los $0.5\mu\text{gL}^{-1}$. Si nos guiamos por esta normativa, y consideramos las concentraciones máximas de met-sulfuron metil encontradas en el estudio piloto a campo ($1.17 \mu\text{gL}^{-1}$) vemos que se exceden los valores recomendados. Es por ello que resulta necesario realizar estudios sobre el comportamiento de esta molécula a fin de conocer cómo son los mecanismos que gobiernan su destino en el ambiente. En este sentido, se llevó a cabo un estudio de retención de met-sulfuron metil en laboratorio, para estudiar el comportamiento de adsorción y desorción que tiene esta molécula en el perfil de un suelo típico del sudeste bonaerense.

¿Qué es la retención y cómo se estudia? Análisis de la retención de metsulfuron metil en el sudeste bonaerense

Como se adelantó, la retención es un proceso que puede ocurrir cuando un plaguicida ingresa al suelo, e implica tanto mecanismos de adsorción, como de desorción. El primero consiste en el paso del herbicida desde la fase líquida hacia la fase sólida del suelo, mientras que el segundo es la inversa, es decir, es la transferencia de moléculas del plaguicida desde los constituyentes del suelo hacia la solución o fase líquida. Que un agroquímico se adsorba al suelo implica que sus moléculas se asociarán, con mayor o menor fuerza, a los constituyentes orgánicos y/o inorgánicos del suelo (materia orgánica, arcillas, óxidos de hierro y aluminio), limitando la posibilidad de transportarse, ya sea verticalmente a lo largo del perfil del suelo, o bien horizontalmente hacia otras áreas, fuera del lugar de aplicación. Además, dependiendo del grado de adsorción, su biodisponibilidad puede reducirse, limitando también la posibilidad de degradación del compuesto. Pero, una vez que el agroquímico, o una cierta cantidad de lo que se aplica, se adsorbe al suelo, puede ocurrir el proceso inverso que denominamos desorción; por lo tanto, luego de cierto tiempo, este agroquímico que se encontraba inmóvil en el suelo, puede volver a estar disponible en la solución y transportarse hacia horizontes más profundos a través del agua de lixivia-

ción, o bien transportarse horizontalmente por acción de la escorrentía superficial/subsuperficial. De esta manera, el agroquímico se encuentra nuevamente disponible para alcanzar otras matrices ambientales o áreas distintas al sitio donde fue aplicado, volatilizarse hacia la atmósfera o degradarse. Estos procesos se pueden estudiar en el laboratorio a través de lo que se denominan isotermas de retención.

Si bien hay estudios que indican que un determinado compuesto tendrá mayor o menor afinidad por el suelo, y por ende tendrá mayor probabilidad de adsorberse, es importante realizar ensayos de adsorción y desorción (retención) de dicho agroquímico en distintos suelos. Esto se debe a que el comportamiento de cada agroquímico en el suelo no sólo depende de sus propias características físico-químicas, sino también de las propiedades de cada suelo y de las condiciones agrometeorológicas dominantes. Incluso es importante también considerar distintas profundidades del perfil del suelo a estudiar, dados que las propiedades edáficas varían, y por ende, el comportamiento de los agroquímicos.

Para este estudio se tomaron cinco muestras de cada horizonte principal (A, B y C) de un Argiudol típico, compuesto por las series Mar del Plata y Balcarce, ubicado en Unidad Integrada Balcarce. Se trata de un suelo profundo, oscuro, con buen desarrollo y drenaje, y que puede contener tosca en plancha a los 70 cm aproximadamente. La Tabla 1 resume las principales propiedades de cada horizonte.

El estudio de retención de metsulfuron metil se llevó a cabo en laboratorio, a una temperatura de 25°C . Los resultados indican que la adsorción de metsulfuron metil es limitada en los tres horizontes y que decrece con la profundidad, dado que el mayor valor se obtuvo en A, y el menor en C. La Tabla 2 muestra las tasas de adsorción por horizonte y concentración inicial aplicada

Cuando analizamos la adsorción en función de las propiedades edáficas de cada horizonte, se encontraron correlaciones significativas entre el parámetro de adsorción y el contenido de CO ($r=0.76$) y el pH ($r=-0.79$). Estos valores indican que el horizonte A, que tiene mayor contenido de CO y menor pH tuvo la mayor adsorción del herbicida, mientras que, por el contrario, el horizonte B, con mayor valor de pH y menor contenido de CO, tuvo la menor adsorción del herbicida. Por lo tanto, en suelos con características similares al estudiado en este trabajo, podría esperarse que la adsorción de metsulfuron metil sea escasa, y se vea favorecida por un mayor contenido de CO y un menor pH.

En cuanto a la desorción, el estudio se llevó a cabo en las muestras que tenían 5 mg L^{-1} como concentración inicial, y se realizaron 3 pasos consecutivos de desorción para conocer qué cantidad del herbicida adsorbido vuelve a quedar disponible en la fase líquida del suelo. En los tres horizontes la mayor tasa de desorción ocurrió en el primer paso, disminuyendo en los sucesivos. Si comparamos la desorción entre los horizontes, en el primer

Tabla 3 | Propiedades físico-químicas del suelo

	Horizonte A (0-30 cm)	Horizonte B (30-75 cm)	Horizonte C (75-160 cm)
pH	5.62	6.50	7.01
CO (%)	3.23	0.97	0.20
CIC ($\text{cmol}^+ \text{Kg}^{-1}$)	24.26	28.2	19.1
CE (ds m^{-1})	0.10	0.08	0.07
Fe ⁺² (mg Kg^{-1})	3014.8	5380.2	4326.7
Al ⁺³ (mg Kg^{-1})	6.28	6.36	3.02
Arena (%)	47.7	41.3	56.0
Limo (%)	27.6	18.6	20.1
Arcilla (%)	24.7	40.1	23.9
K _{sat} (mm h^{-1})	97.4	2.97	9.83

CO: carbono orgánico; CIC: capacidad de intercambio catiónico; CE: conductividad eléctrica; Ksat: conductividad hidráulica saturada.

paso ésta fue mayor en el horizonte C, seguido por el B y el A, mientras que los pasos dos y tres mostraron mayor tasa en el horizonte superficial. La tabla 3 resume los porcentajes de metsulfuron metil desorbidos en cada paso considerado, calculados a partir de la concentración del herbicida adsorbida al suelo.

El hecho de que este herbicida tenga una débil adsorción al suelo y una significativa desorción es de gran importancia desde el punto de vista ambiental. Si nos centramos en los resultados obtenidos para el horizonte superficial, que es el que recibe directamente la aplicación en condiciones de campo, de la cantidad inicial aplicada, entre el 65 y el 50% es adsorbido por el suelo (Tabla 2). Este valor dependerá, por un lado, de la presencia del herbicida en el suelo previamente y, por otro, de la concentración inicial aplicada, dado que a medida que se incorpora el agroquímico al suelo, sus moléculas van ocupando los sitios disponibles para la adsorción, dejando menor cantidad de sitios vacantes para otras moléculas. Por ello la tasa de adsorción suele disminuir con el aumento de la concentración aplicada. A su vez, de ese porcentaje adsorbido en el horizonte superficial, alrededor del 21.7% se desorbe en un primer momento, seguido por pérdidas del 10.6 y 5.7% del herbicida que queda adsorbido a la matriz del suelo.

Si consideramos la cantidad del herbicida que no se adsorbió al suelo, tenemos que en el horizonte superior, entre un 35 y 50% de la cantidad aplicada queda disponible en la solución del suelo, ya sea para ser absorbido o adsorbido por las raíces de las plantas (o malezas), o bien transportarse verticalmente por el perfil del suelo hacia horizontes más profundos o escurrirse superficial / subsuperficialmente hacia áreas de menor pendiente. Además, luego de la adsorción es posible que ocurra una desorción de hasta el 21% de la cantidad retenida. Esta parte del herbicida aplicado quedaría nuevamente disponible en la solución del suelo para sumarse a los procesos mencionados, por lo cual, en una situación a campo con un suelo de características similares al estudiado, donde este herbicida se suele aplicar, la concentración del herbicida que efectivamente se adsorbe en el suelo es mucho menor que la cantidad aplicada.

Tabla 2 | Tasa de adsorción de metsulfuron metil por horizonte y concentración inicial aplicada

Concentración inicial	Horizonte A	Horizonte B	Horizonte C
0.2 mgL ⁻¹	65.3 %	40.4 %	33.9 %
0.5 mgL ⁻¹	60.0 %	34.9 %	33.1 %
1 mgL ⁻¹	54.7 %	41.2 %	40.7 %
2 mgL ⁻¹	55.8 %	34.6 %	31.9 %
5 mgL ⁻¹	49.9 %	35.5 %	40.0 %

Tabla 3 | Tasa de metsulfuron metil desorbida por horizonte

Tasa de Desorción	Horizonte A	Horizonte B	Horizonte C
Paso 1	21.7	21.9	56.4
Paso 2	10.6	3.2	6.9
Paso 3	5.7	0.7	1.0

Una vez que el herbicida llega a los horizontes B y C, de acuerdo a nuestro estudio, la adsorción será menor que en el horizonte superficial. Esto implica que de la cantidad de herbicida que puede llegar al horizonte B, menos del 41% podría ser adsorbido, y el resto podría estar disponible para continuar la lixiviación a través del perfil y llegar al horizonte C, donde hasta el 41% podría ser adsorbido. Según los resultados obtenidos en nuestro estudio, los horizontes más profundos adsorben menos metsulfuron metil, debido a que tienen un menor contenido en carbono orgánico que el horizonte superficial, y un mayor pH. Retomando las cantidades de metsulfuron metil que se adsorben en los horizontes B y C, en un primer paso, se desorbería casi el 22% en el horizonte B, y el 56% en el horizonte C. Por tanto, en estos horizontes, aunque la capacidad de adsorción es menor, la capacidad de desor-

ción es mayor que la del horizonte superficial, lo que aumenta el riesgo de lixiviación del herbicida, y por tanto de contaminación de las aguas subterráneas.

Nuestro estudio permite afirmar que metsulfuron metil es un herbicida con baja adsorción al suelo y significativa desorción, lo que lo postula como un potencial contaminante de aguas subterráneas. Una vez que el herbicida logra atravesar el horizonte superficial del suelo, el transporte vertical presenta menos impedimentos en los horizontes profundos, incrementando el riesgo de alcanzar las aguas subterráneas. Es por ello, que en una región donde la población se abastece de este recurso y donde el uso de este compuesto es una práctica habitual, es necesario implementar algunas estrategias para la reducción del riesgo de contaminación del agua subterránea con metsulfuron metil.

Consideraciones finales

- Metsulfuron metil es un herbicida que se adsorbe débilmente al suelo y, una vez adsorbido puede volver a estar disponible en la solución del suelo mediante la desorción.
- El horizonte superficial es el que mayor capacidad de adsorción de metsulfuron metil presenta, debido a su mayor contenido de carbono orgánico y menor pH.
- Los horizontes más profundos, con menor contenido de carbono orgánico y mayor pH, mostraron una menor adsorción del herbicida y una mayor desorción, por lo cual el transporte vertical de esta molécula se ve facilitado.

