

# Uso de un Modelo de Lixiviación de Agroquímicos en la Agricultura

**José Neira Román<sup>1</sup>,  
Luís Morales Salinas<sup>1</sup>,  
Carlos Rojas-Walker<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables,

<sup>2</sup>Departamento de Agricultura Sustentable, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Casilla 439/3, Santiago, Chile. [lmorales@uchile.cl](mailto:lmorales@uchile.cl)

Cada día la agricultura ocupa un sitio más relevante con respecto a la contaminación del medioambiente, al contribuir con el deterioro de los suelos y aguas por medio de descargas de residuos, los que a través de procesos de escorrentía y/o percolación son transportados hasta recursos superficiales y subsuperficiales. Si se tiene en cuenta que en las zonas en que se desarrollan las actividades agrícolas existen muchos predios donde cada uno realiza un manejo agrícola distinto, nos enfrentaremos al primer problema, que corresponde a la dificultad de localizar e identificar las fuentes contaminantes, responsables de la introducción de fertilizantes, pesticidas y sedimentos a las aguas, alteraciones de la corteza terrestre y la cubierta vegetal, contribuyendo aproximadamente con un 80% del material fino que llega a las aguas superficiales (Escobar, 2002). La agricultura utiliza aproximadamente un 70% de los suministros hídricos superficiales (Ongley, 1997)

Chile no se excluye de los problemas generados por las actividades agrícolas, ya en un censo realizado en 1990 por la Intendencia de Servicios Sanitarios, donde se realizaron análisis a 395 acuíferos de los que se obtiene agua potable, 45 presentaron altos niveles de nitratos. En general, el desarrollo de malas prácticas agrícolas conlleva a los problemas que actualmente sufren los suelos chilenos (Escobar, 2002; CEPAL/OCDE, 2005).

## AGROQUÍMICOS

Los agroquímicos son sustancias utilizadas en la agricultura con el fin de aumentar la producción de las especies cultivadas; el uso de agroquímicos se masificó después de la segunda guerra mundial y se vinculó con un cambio en la producción de los cultivos. El término agroquímicos se refiere principalmente a plaguicidas (insecticidas, fungicidas, herbicidas, acaricidas) y fertilizantes (orgánicos e inorgánicos). Mientras los plaguicidas cumplen la función de repeler, eliminar, atraer, regular o interrumpir el crecimiento de plagas y malezas, contribuyendo a la eliminación de enfermedades; los fertilizantes aportan los nutrientes que son requeridos por los cultivos.

Cuando se inició la aplicación de estos productos se desconocía cuan nocivos eran para las

personas y el medio ambiente, luego se ha comprobado que el uso excesivo e indiscriminado de estos agroquímicos ha contaminado suelo, agua y aire, lo que tendrá duras consecuencias para los ecosistemas y la supervivencia de los seres humanos. (Ongley, 1997; Javadi y AL-Najjar, 2007). Es importante considerar que el nitrógeno y los plaguicidas poseen un comportamiento muy complejo en el sistema Suelo-Agua-Planta, que involucran numerosas interacciones y transformaciones (Figura 1), por lo que estimar el impacto ambiental del uso de plaguicidas y fertilizantes, in situ, es una tarea extremadamente difícil, y que además consume una gran cantidad de recursos, pues los síntomas de la contaminación pueden aparecer en diferentes puntos del medio ambiente. (Qian Du et al, 2007)

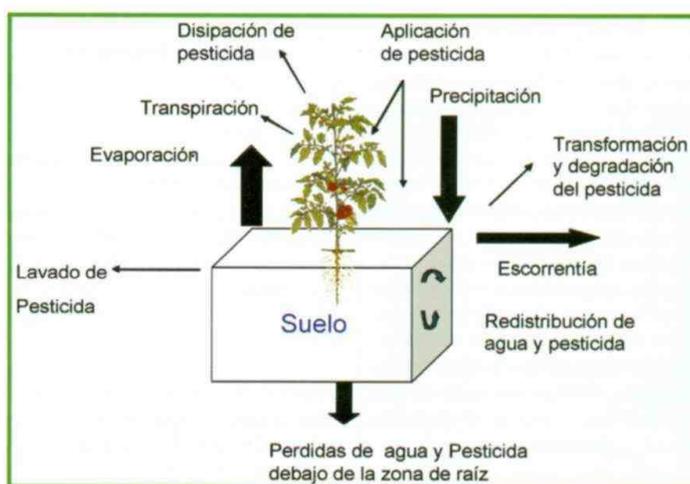


Figura 1: Efectos de los distintos procesos ambientales a los que están sujetos los pesticidas. Fuente: Manual del Modelo GLEAMS (Knisel y Davis, 2000)



Por esta razón, cuantificar los efectos de estos productos en la agricultura ha sido un tema que ha recibido gran atención en las últimas décadas; durante los últimos 20 años se han realizado extensivos monitoreos en cuerpos de agua en Europa y Estados Unidos que han determinado la presencia de agroquímicos (Javadi y AL-Najjar, 2007).

### LIXIVIACIÓN

Uno de los procesos investigado en las últimas décadas es la lixiviación, principal causante de la pérdida de nutrientes en los horizontes superiores del suelo y de la alteración en el transporte de solutos a través del suelo. Este es un proceso muy complejo ya que depende de muchos factores, los cuales se pueden diferenciar según se hable de fertilizantes o de plaguicidas (Javadi y AL-Najjar, 2007).

En el caso de los fertilizantes, la lixiviación depende del tipo de práctica agrícola, de los aportes de nitrógeno u otros nutrientes, de la cantidad de agua de riego, de las características del perfil de la zona no saturada y de la frecuencia y duración de las precipitaciones. El tipo de cultivo es de especial importancia pues aquellos con fuerte demanda de nitrógeno, disminuyen los riesgos del lixiviado; también incide el periodo de crecimiento de las plantas, el desarrollo radicular y los residuos que quedan después de la cosecha. Los nitratos son conservados en la zona radicular y más allá de esta zona solamente la capilaridad del suelo puede reducir el lixiviado. La cantidad de materia orgánica presente en el suelo es primordial como fuente de energía para la biomasa que interviene en el ciclo del nitrógeno (mineralización, nitrificación, inmovilización y desnitrificación). También es de gran importancia la presencia de partículas arcillosas que provocan la adsorción y fijación del amonio; los suelos arcillosos o con intercalaciones semipermeables contribuyen a que el flujo de agua sea más lento y permiten que existan condiciones anaerobias que facilitan la desnitrificación, mientras que en los suelos arenosos difícilmente se dan condiciones anaerobias y, además, la velocidad del movimiento del agua es más elevada.

En el caso de los plaguicidas, las características del suelo que inciden en la lixiviación son la textura, la estructura, o forma en que se agru-

pan los granos del suelo para formar agregados (estructuras planas, granulares, prismáticas, en bloques, etc.), la porosidad, en función del espacio total ocupado por los poros y el tamaño y distribución de los mismos; el contenido de materia orgánica, que contribuye notablemente a la absorción del plaguicida y afecta la bioactividad, bioacumulación, biodegradabilidad, lixivabilidad y volatilidad de estos productos; la humedad del suelo, que influye en la adsorción y solubilidad de los plaguicidas; la temperatura, una variable ambiental que influye directamente en la humedad del suelo y que también afecta a la volatilización del plaguicida; el pH, ya que algunos plaguicidas presentan distinto comportamiento debido a los cambios de pH en el suelo.

Respecto a las características del plaguicida, la lixiviación es afectada por su solubilidad en agua; volatilización, que consiste en el flujo del compuesto hacia la fase aire y supone uno de los mecanismos de pérdida de masa hacia la atmósfera; la adsorción, que corresponde a la retención del plaguicida en el suelo; la transformación, probablemente el proceso más determinante del comportamiento de los plaguicidas y que depende de la reactividad química de cada compuesto; y la biodegradación, que es cualquier transformación estructural en el compuesto original inducida biológicamente, de tal manera que cambia la integridad de la molécula (Apuntes Hidrogeoquímica, Universitat Jaume).

### MODELOS DE SIMULACIÓN

El uso de modelos de simulación como un instrumento de investigación agronómica ha resultado especialmente promisorio para el establecimiento de relaciones entre variables ecológicas y residualidad de estos productos en el suelo, puesto que permiten una estimación cuantitativa de los procesos a que están sujetos los agroquímicos, en términos de magnitud de su ocurrencia en el tiempo y en función de las condiciones ambientales imperantes (Fuentes et al, 2000).

En general, los modelos de transferencia de solutos y aguas en medios porosos, y particularmente en el suelo, han sido equipados con metodologías interesantes cubriendo una amplia gama de sustancias. Los mecanismos de transporte pueden ser definidos de una manera similar, a excepción de las reactividades cinéti-

cas o termodinámicas de cada compuesto con el suelo y los elementos que lo conforman. Así los modelos empiezan con una aproximación general incluyendo los mecanismos de transporte (difusión o convección), pero tomando en cuenta la adsorción y los procesos reactivos específicos para cada problema (Asensio et al, 2007); siendo los modelos de simulación basados en parámetros ambientales físicos la alternativa más viable frente a otras estrategias, su uso debe ser considerado como una herramienta de decisión, debido a que la aplicación de esta alternativa permite un ahorro de tiempo y recursos, y además es ambientalmente segura, debido a que la investigación no se desarrolla in situ.

La información bibliográfica disponible acerca del uso de modelos de lixiviación en la agricultura es extensa, ya sea para estimar las pérdidas de agroquímicos en alguna de sus formas, o bien, a través de la determinación de cartografías de riesgo mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (De Paz y Rubio, 2006)

Para demostrar los beneficios ambientales del manejo bajo Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), contrastado con la realidad de la Agricultura Tradicional (AT) en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo las mismas condiciones agroclimáticas, se utilizó el modelo de lixiviación de agroquímicos GLEAMS (Groundwater Loading of Agricultural Management System). La información del manejo agrícola se obtuvo a partir de datos entregados por el Centro Regional de Investigación la Platina, INIA, en el que se detallan las prácticas agrícolas realizadas por un agricultor tipo (AT) y un manejo bajo BPA, la cual corresponde a una proposición de profesionales pertenecientes al INIA.

GLEAMS, es un modelo matemático desarrollado a escala de campo para evaluar los efectos del manejo agrícola sobre el movimiento de agroquímicos a través de Rizósfera (Leonard et al, 1987); este modelo permite simular las transferencias de masa y la carga de agua, pesticidas, sedimentos y nutrientes a partir del complejo Suelo- Clima- Manejo Agrícola, calculando de forma secuencial, y a incrementos de un día, los diferentes balances hídricos, erosión, nutrientes y pesticidas.

En ambas situaciones, las pérdidas totales de N por escorrentía y el transporte por sedimentos son bajas en comparación con las pérdidas por lixiviación, debido a que el cultivo de tomate se realizó en épocas con precipitaciones poco frecuentes, y en terrenos con pendientes poco pronunciadas (inferior a 3%).

En la figura 2 se observa que la pérdida de nitrógeno se debe principalmente a la lixiviación de nitrato, a continuación se encuentra la pérdida de nitrógeno debido a escorrentía y por transporte de sedimentos. Al compararse observa que la pérdida por lixiviación es mayor en AT que en BPA.

El rendimiento final del cultivo bajo ambos manejos (información proporcionada por INIA), muestra diferencias para los dos escenarios (figura 3), con rendimientos de 30 ton ha<sup>-1</sup> más en BPA que en AT, producto de la aplicación de plaguicidas de manera preventiva, la extracción de plantas con evidencias de enfermedades, y la aplicación del manejo integrado de plagas (MIP).

Los resultados demostraron que el manejo del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) a través de BPA proporciona beneficios económicos y ambientales respecto de las prácticas convencionales. Por otra parte, el modelo GLEAMS 3.0 se presenta como una herramienta útil para estimar las concentraciones de nitratos y plaguicidas en el perfil de suelo bajo distintas condiciones de manejo agrícola, aún cuando su principal limitante es la información requerida para operar el modelo.

### BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

**Apuntes de Hidrogeoquímica: Lecciones 21 y 22.** Plaguicidas. Grupo de Gestión de Recursos Hídricos. Departamento de Ciencias Experimentales. Universitat Jaume, Castellon. Consultado 4 de abril 2007 [http://www.agua.uji.es/hidrogeoquimica2.htm]

**Asensio, M. I, B. Ayuso, L. Ferragut y G. Sangalli.** Numerical methods for modelling leaching of pollutants in soils. *Advances in Engineering Software* 38 (2007) 429-438

**CEPAL/OCDE.** Evaluaciones del desempeño Ambiental, Chile. Naciones Unidas, CEPAL, 2005. 245 pág.

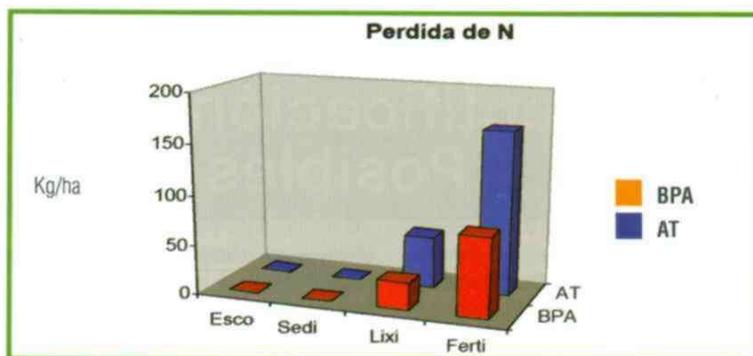


Figura 2: Pérdidas de Nitrógeno en cultivo de Tomate bajo un manejo BPA y AT.

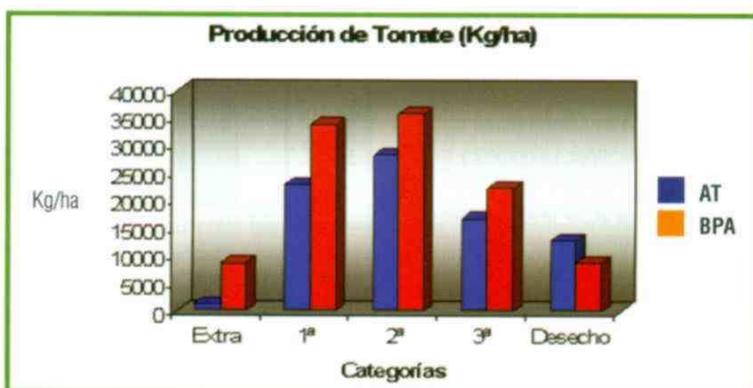


Figura 3. Producción de Tomate (kg/ha) para BPA y AT

**De Paz, J. y J. Rubio.** Application of a GIS-AF/RF model to assess the risk of herbicide leaching in a citrus-growing area of the Valencia Community, Spain. *Science of the Total Environment* 371 (2006): 44-54

**Escobar, Jairo.** Contaminación de los ríos y su efecto sobre las áreas costeras., CEPAL: División de Recursos Naturales e Infraestructura. Organización de Naciones Unidas, Chile. 2002. 68 pág.

**Fuentes, R. Umaña, L. Manquían, N y Cristi, R.** Proposición de un modelo matemático simple de persistencia de herbicidas en el suelo. *Pesq. Agropec. bras, Brasilia*, v. 35, n. 12, p. 2317-2328, Diciembre 2000.

**Javadi, A.A. y AL-Najjar, M.M.** Finite element modeling of contaminant transport in soils including the effect of chemical reactions. *J. Hazard. Mater.* (2007), doi:10.1016/j.jhazmat.2007.01.016

**Jarvis N.,** The MACRO Model (Version 3.1), Technical Description and Sample Simulation, Department of Soil Sciences, Reports and Dissertations 19, Uppsala, Sweden, 1994.

**Knisel, W y Davis, F.** GLEAMS: Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems. Version 3.0, Publication No. SEWRL-WGK/FMD-050199, revised 081500. 2000. 191 pp.

**Leonard, R., W. Knisel y D. Still.** GLEAMS: GroundWater Loading Effects of Agricultural Management System. *American Society of Agricultural Engineers* vol. 30 (5) (1987):1403-1418

**Ongley, E.D.** Fuente: Lucha contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55). GEMS/Water Collaborating Centre, Canada Centre for Inland Waters Burlington, Canadá, 1997. 123 pág.

**Qian Du, Ni-Bing Chang, Chenghai Yang, Kanth R. Srilakshmi.** Combination of multispectral remote sensing, variable rate technology and environmental modeling for citrus pest management. *Journal of Environmental Management* (2007), doi:10.1016/j.jenvman.2006.11.019