

Tablero de comando sobre riesgo de contaminación ambiental por plaguicidas

Arregui, María C., Sánchez, D. y Grenón, D.
Facultad de Ciencias Agrarias, Esperanza, Argentina

Resumen

Los plaguicidas son elementos imprescindibles para la producción de los cultivos, ya que las pérdidas más importantes de rendimiento se vinculan con el daño causado por insectos, enfermedades y malezas. Sin embargo, los plaguicidas pueden contaminar el agroecosistema. Se elaboró un software que posibilita cuantificar un indicador de riesgo de impacto ambiental de plaguicidas basado en lógica difusa. Este software permite calcular de manera sencilla y precisa los efectos de los plaguicidas que pueden emplearse durante el ciclo de un cultivo, permitiendo una planificación y selección de ingredientes activos más inocuos al ambiente.

Palabras clave

Lógica difusa, indicadores, riesgo ambiental plaguicidas, contaminación plaguicidas

Introducción

Los plaguicidas pueden entrar al ambiente por aire, suelo y agua y desde allí llegar a los alimentos, o afectar los ecosistemas y la salud humana. La distribución de los productos depende de sus propiedades físico-químicas y de su interacción con los distintos elementos [1]. Los agroquímicos son necesarios, la cuestión es establecer una correlación riesgo/beneficio para evaluar el impacto ambiental potencial [1].

Se estima que entre el 30 y el 40% de los plaguicidas que se aplican llegan al blanco, mientras el resto se deposita en suelo y agua. Las propiedades de los plaguicidas que favorecen la contaminación del agua incluyen la formulación, la toxicidad, la persistencia, la volatilidad, la solubilidad en agua y la adsorción al suelo. Desde luego que también intervienen las características del suelo, los métodos de aplicación, el clima y otros factores [2]. La presencia de plaguicidas en el suelo y sus interacciones dependen de las propiedades de ambos [3].

Para diseñar estrategias de preservación del ambiente de los efectos indeseables de los plaguicidas es necesario ponderar el impacto que pueden ocasionar. En general, el impacto ambiental de un plaguicida resulta de la combinación de exposición y toxicidad y su evaluación se ha realizado con distintos métodos.

El empleo de modelos de simulación para estimar el componente exposición ha sido uno de ellos. Usando informaciones del plaguicida y de las características de la aplicación y del ambiente como variables de ingreso, el modelo podría calcular la concentración ambiental predecible (PEC), que se podría relacionar con las concentraciones sin efectos o con las máximas admisibles. Los resultados de este método pueden ser validados y proveen una manera de combinar variables de ingreso. Sin embargo, ninguno de los modelos empleados hasta ahora representa simultáneamente los procesos más relevantes del comportamiento ambiental de un plaguicida que son: volatilización, deriva, lixiviación, escurrimiento y degradación [4] [5]. Además, el nivel de validación de estos modelos ha sido bajo. A esto debe agregarse que requieren una gran cantidad de datos para calcular sus parámetros y obtener variables de ingreso, y éstos no suelen estar disponibles.

Otros modelos son más simples y semicuantitativos, requiriendo variables vinculadas a exposición y toxicidad de plaguicidas, que se agregan en uno o varios indicadores. Las variables de ingreso suelen tener rangos y dimensiones disímiles como por ej., vida

media y momento de aplicación y por eso deberían convertirse en escalas, que luego son condensadas en uno o más indicadores. Estos métodos de agregación presentan problemas matemáticos y conceptuales [6] [7].

Se han desarrollado muchos indicadores para evaluar el riesgo de contaminación por plaguicidas. Todos tienen fortalezas y debilidades y cubren distintos aspectos del riesgo. El impacto ambiental de un plaguicida depende de 4 criterios: 1) la cantidad de ingrediente activo en el sitio; 2) su partición y concentración en agua, aire y suelo; 3) la tasa de degradación en cada compartimento y 4) la toxicidad a las especies presentes en el compartimento [8].

Un grupo de investigadores [9] elaboraron un indicador que considerara estos criterios a través de un sistema experto basado en lógica difusa. Este sistema se empleó para agregar variables formando módulos indicadores y subsecuentemente agregar dichos módulos en un único resultado final.

El indicador propuesto de lógica difusa, denominado Ipest, utiliza un conjunto de funciones difusas de pertenencia y reglas de decisión de las variables que componen los distintos módulos. Se toman en cuenta tres grupos de variables: propiedades del suelo, condiciones específicas del sitio a evaluar y factores de aplicación. Tiene una estructura modular y provee un indicador sintético que refleja el impacto global, a través de la integración por lógica difusa de 4 módulos: presencia de plaguicida, contaminación de agua superficial, de agua subterránea y de aire [9] [10]. La Unión Europea ha comparado y evaluado 8 indicadores de riesgo de plaguicidas entre los cuales se encontró Ipest. Los indicadores se consideraron herramientas muy útiles para ser empleados como base de técnicas que disminuyan los riesgos de contaminación ambiental por plaguicidas [11].

El objetivo de este trabajo fue elaborar un software, que tomando como base el sistema experto Ipest, brindara indicadores de riesgo de contaminación por plaguicidas para todos los ingredientes activos registrados para usar en maíz, trigo, girasol, alfalfa y soja en distintas condiciones de suelo y de aplicación, siguiendo las dosis recomendadas y registradas para su uso.

Elementos del Trabajo y Metodología

1.- Descripción del indicador

El indicador Ipest se calcula en dos etapas.

En un primer paso, Ipest se calcula para cada aplicación de un único ingrediente activo. Su valor depende de 4 módulos: Presencia (P); Riesgo de contaminación de agua subterránea (Rsub); Riesgo de contaminación de agua superficial (Rsup) y Riesgo de volatilización (Rair). El valor de cada módulo depende de entre 2 a 4 variables de ingreso de acuerdo a reglas de decisión difusas. Para todos los módulos se define la pertenencia al conjunto difuso favorable (F) y desfavorable (D). El valor de P depende de la dosis aplicada y de la vida media del activo en el suelo. El valor de Rsub depende del potencial de lixiviación, del sitio de aplicación (incorporado, sobre el suelo o sobre la planta), del momento de aplicación y de la toxicidad del plaguicida al hombre. El valor Rsup depende del riesgo de escurrimiento, del sitio de aplicación y de la toxicidad del plaguicida para la fauna acuática. El valor Rair depende de la volatilidad del plaguicida, de la vida media y de su lugar de aplicación.

Los 4 módulos pueden ser considerados individualmente o agregados en un solo valor. El modo de agregación es por reglas de decisión, combinando las premisas favorables y desfavorables para cada módulo.

En una segunda etapa, el indicador Ipest se calcula para todas las aplicaciones de plaguicidas en un cultivo desde la siembra hasta la cosecha. A este nivel toma valores entre 0 (máximo riesgo) y 10 (no riesgo). Para ello se emplea la ecuación siguiente:

$$\text{Ipest global} = \text{MIN Ipest(ingrediente activo)} - (\text{factor de riesgo} * k)$$

donde:

MIN Ipest (ingrediente activo): el valor mínimo de Ipest de todos los activos empleados durante el ciclo del cultivo

$$\text{Factor riesgo} = \frac{10 - \text{Ipest (ingrediente activo)}}{10}$$

k es un factor de calibración

Los valores de Ipest por encima de 7 se consideran valores aceptables sin riesgo de contaminación y, por el contrario, los que están por debajo de 7 ocasionan riesgos [12].

2.- Características y uso del software

El software para poder evaluar el Ipest se presenta en dos versiones: una para uso en ordenadores no conectados a Internet (desarrollada en Visual Basic) y otra de acceso libre ubicada en el sitio TIC-Tambo (<http://www.fca.unl.edu.ar/tictambo>) que se opera con equipos en línea. En el presente trabajo se describe la versión para ordenadores no conectados, la cual es muy similar a la segunda.



Figura 1: Pantalla de inicio del programa Ipest en su versión 1

Al ingresar a la aplicación, el primer paso consiste en seleccionar el cultivo. Se despliega la lista de cultivos disponibles, se elige el cultivo con el que se desee trabajar y luego se confirma con el botón [**Selecciona Cultivo**]:



Figura 2: Selección del cultivo

Al seleccionar el cultivo aparecen las variables que caracterizan el suelo y sitio de la aplicación: textura, pendiente, materia orgánica, reacción (pH) y distancia del sitio a una fuente de agua superficial (canal, arroyo, etc.):

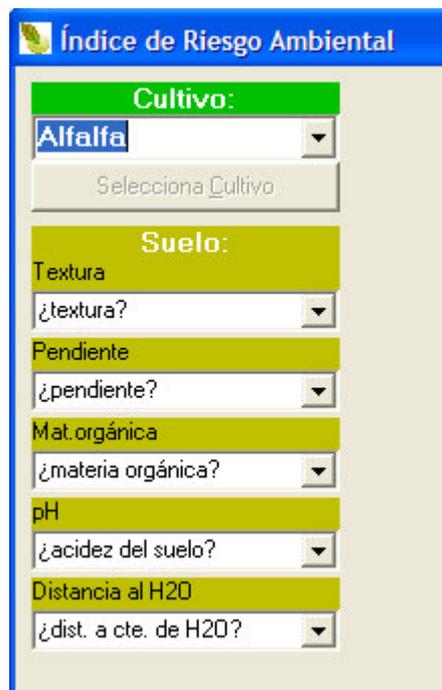


Figura 3: Características del sitio

Una vez que se han especificado todas las variables de suelos, aparece la posibilidad de ingresar hasta diez aplicaciones de agrotóxicos en el sitio caracterizado y para el cultivo seleccionado:

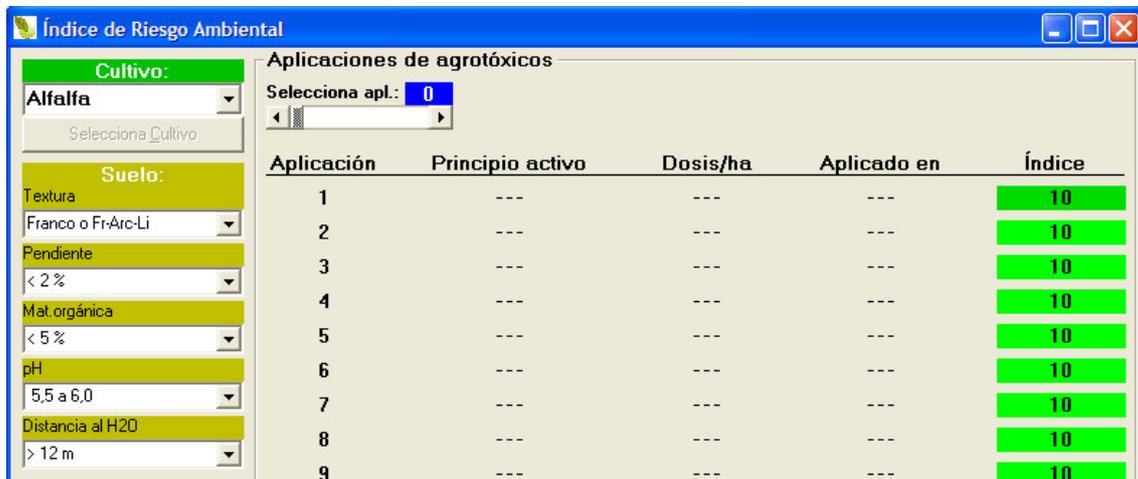


Figura 4: Inicio de carga de las aplicaciones de agrotóxicos

Para ingresar cada una de las aplicaciones primero se debe seleccionar el número de aplicación (de 1 a 10), entonces aparece el listado de todos los principios activos autorizados para el cultivo elegido:

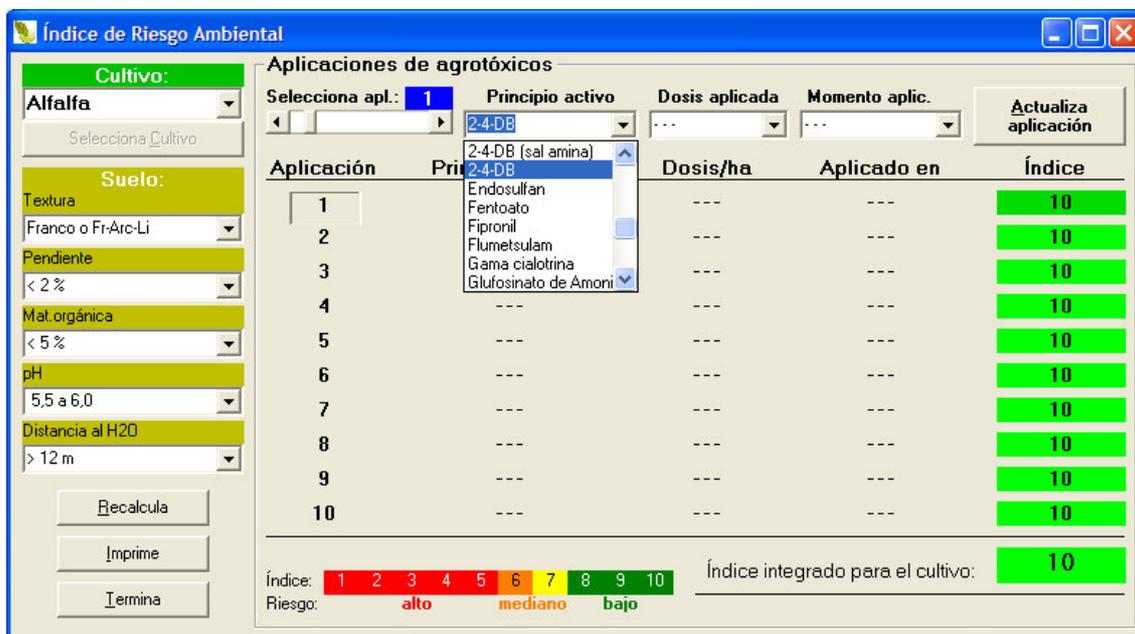


Figura 5: Selección de principio activo para la aplicación indicada.

Al seleccionar el principio activo, aparecen las opciones para indicar su dosis y el momento de aplicación. Las dosis que aparecen en el menú desplegable, así como los principios activos, sólo son las autorizadas por la legislación argentina para el cultivo elegido:

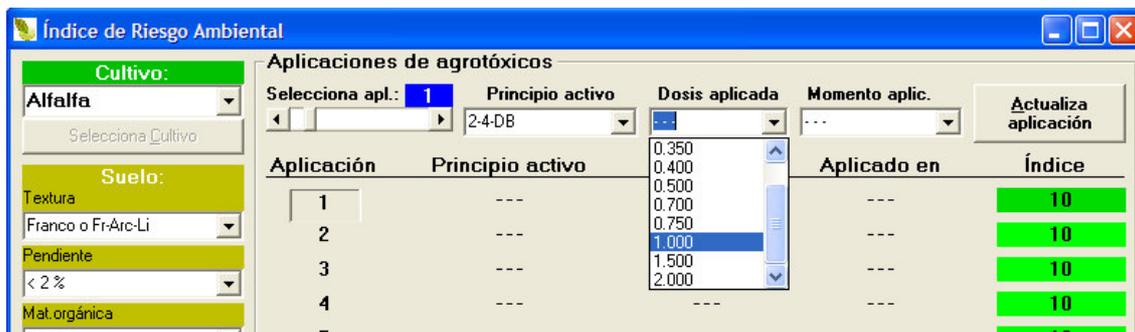


Figura 6: Selección de la dosis aplicada o a aplicar.

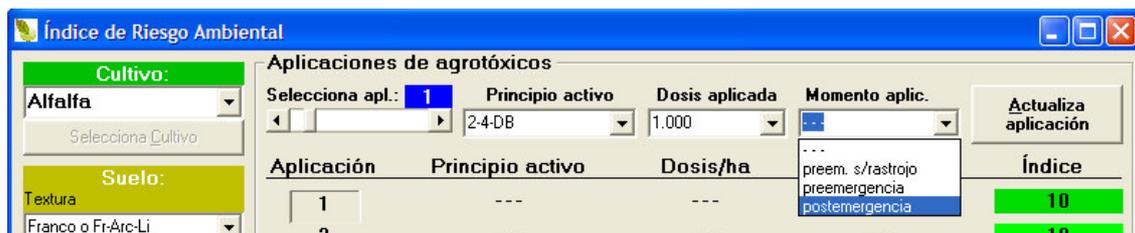


Figura 7: Selección del momento de aplicación

Una vez indicados todos los parámetros de la aplicación (principio activos, dosis y momento) se oprime el botón [Actualiza aplicación] que calcula el valor del índice

(columna derecha) con el color de fondo que indica el riesgo (según la escala que se puede consultar en la parte inferior de la ventana):

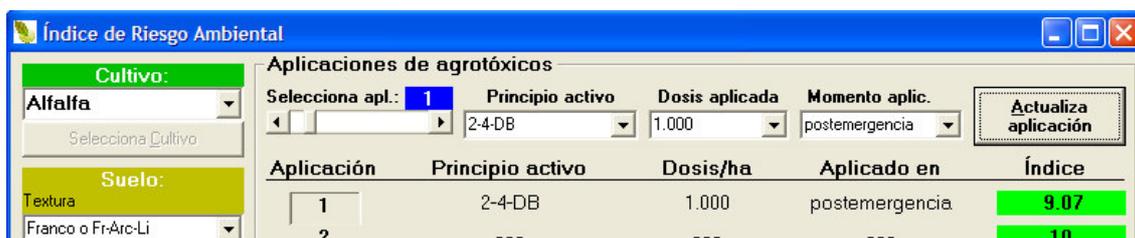


Figura 8: Actualización del índice de la aplicación 1

Si se modifica cualquiera de los parámetros de la aplicación, se puede evaluar su impacto sobre el índice oprimiendo nuevamente el botón **[Actualiza aplicación]**, por ejemplo, si modifico dosis y momento del ejemplo anterior:

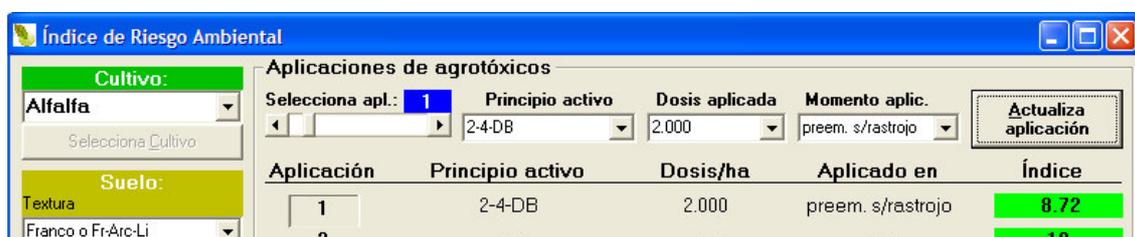


Figura 9: Cambio en el valor del índice al cambiar dosis y momento de aplicación

De la misma forma, si se desea evaluar el impacto de las características del sitio, por ejemplo distancia a la fuente de agua superficial, se utiliza el botón **[Recalcula]**. Este botón actualiza el índice de todas las aplicaciones indicadas en la tabla de la derecha, mientras que el botón **[Actualiza aplicación]** sólo recalcula el índice de la aplicación seleccionada:

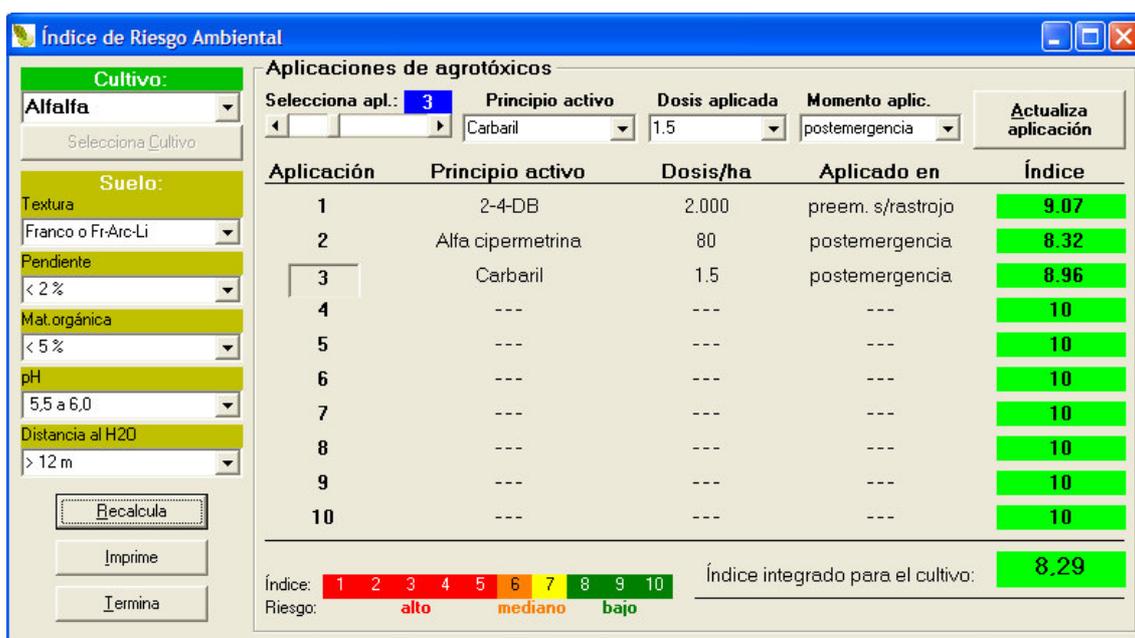


Figura 10.1: Índices individuales por aplicación e integrado para el cultivo para un sitio lejos (> 12 m) de una fuente superficial de agua.

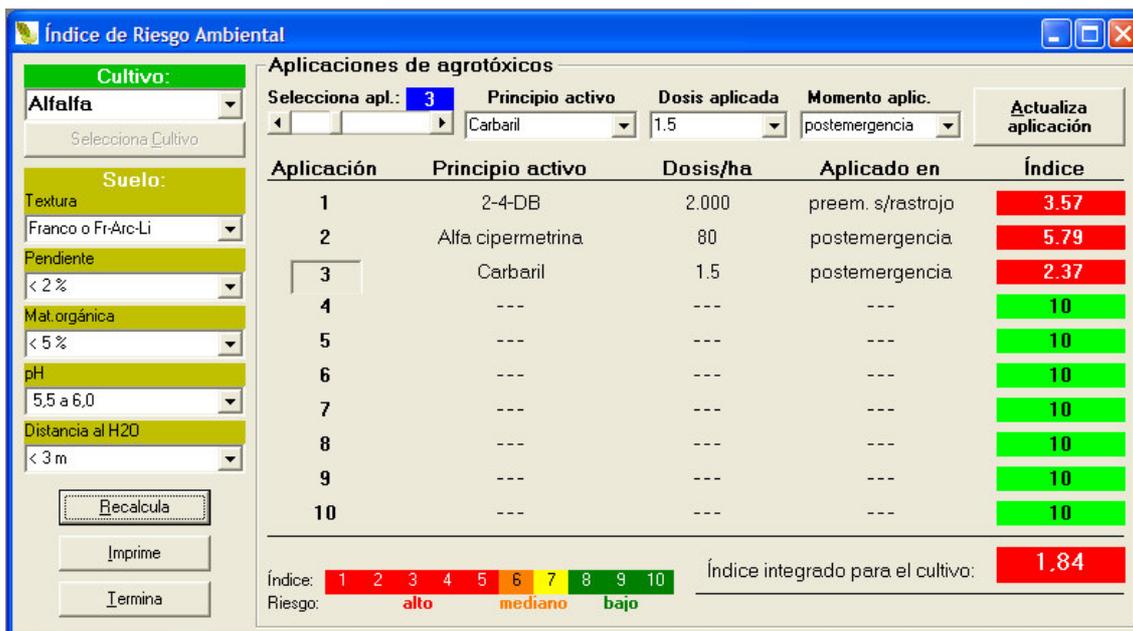


Figura 10.2: Actualización de todos los índices con Recalcula para evaluar el impacto de la distancia al agua. Se cuantifica el riesgo para la situación en que la fuente de agua esté dentro del potrero o a menos de 3 m del borde.

Resultados

Se ha obtenido una aplicación que permite a los profesionales de las ciencias agrarias cuantificar (tanto *ex ante* como *ex post*) un índice de riesgo ambiental de las aplicaciones de pesticidas en los cultivos de mayor extensión en el país.

Para cada dosis de los principios activos autorizados legalmente para su uso en el cultivo seleccionado se puede evaluar el índice de calidad ambiental para 1080 alternativas de aplicación distintas: 3 momentos de aplicación x 3 tipos de textura del suelo x 3 intervalos de pendiente del potrero x 2 niveles de materia orgánica del suelo x 5 intervalos de acidez edáfica x 4 distancias desde el potrero a fuentes superficiales de agua, lo cual posibilita diseñar y elegir aquellos manejos que minimicen los riesgos ambientales.

El programa está disponible para su uso libre en el sitio TIC-Tambo (www.fca.unl.edu.ar/tictambo) y forma parte de los tableros de control para uso por parte de los ingenieros agrónomos disponibles en dicho sitio.

Discusión

El empleo de este software tendrá dos resultados positivos que contribuirán a mejorar la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios. Por un lado, le permitirá a los asesores técnicos planificar las aplicaciones de los cultivos conociendo *ex ante* las consecuencias que tendrá para el agroecosistema, pudiendo elegir plaguicidas de menor impacto ambiental con suficiente tiempo para tenerlos disponibles en el momento de uso. Por otro lado, con el empleo continuado de este software se podrán ir diseñando prácticas de selección y aplicación de plaguicidas más adecuadas para evitar las consecuencias adversas de los plaguicidas en el ambiente. Inclusive pueden modificarse las rotaciones de cultivos o introducirse otros que actualmente tienen poca difusión.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Dr. Philippe Girardin y al Dr. Christian Bockstaller la provisión de este sistema experto, así como también su asistencia, paciencia y permanente estímulo durante el entrenamiento ofrecido a la Dra. Arregui para el empleo de Ipest. Este proyecto fue financiado por la Universidad Nacional del Litoral y la Agencia Nacional de Ciencia y Tecnología.

Referencias

- [1] Mansour M. y E.A. Feicht (1994) Transformation of chemical contaminants by biotic and abiotic processes in soil and water. *Chemosphere*, 28 (2): 323-332.
- [2] Stevenson D.E., J.L. Cook, P. Baumann y J.A. Jackman (2001) Pesticide Properties That Affect Water Quality. The Texas A&M University System, B6050. http://insects.tamu.edu/extension/bulletins/water/water_01.html.
- [3] Weber, J.B. (1995) Physicochemical and mobility studies with pesticides. En: *Agrochemical environmental fate. State of art.*, Lewis Publishers, London, Cap. 10: 99-115.
- [4] Wagenet R.J. y P.S.C. Rao (1990) Modeling pesticide fate in soils. En: *Pesticides in the soil environment. Soil Sci. Soc. Amer. Book Series, No 2*, Madison, 351-399.
- [5] EPPO (1993) Decision-making scheme for the environmental risk assessment of plant protection products, Cap. 3, *Soil. EPPO Bull.*, 23: 27-49.
- [6] Levitan L. I. Mervin y J. Kovach (1995) Assessing the relative environmental impact of agricultural pesticides: the quest for a holistic method. *Agric., Ecosyst., & Environ.*, 55: 153-168.
- [7] Dushoff J. B. Caldwell y C.L. Mohler (1994) Evaluating the environmental effect of pesticides: a critique of the environmental impact quotient. *Amer. Entomol.*, 40: 180-184.
- [8] Van der Werf, H.M.G. 1996. Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agric., Ecosys. & Environ.*, 60: 81-96.
- [9] Van der Werf, H.M.G. Zimmer, C. 1998. An indicator of pesticide environmental impact based on a fuzzy expert system. *Chemosphere*, 36: 2225-2249.
- [10] Girardin, P., Bockstaller, C, Van der Werf H. 1999. Indicators: tools to evaluate the environmental impacts of farming systems. *J. Sust. Agric.*, 13: 5-21.
- [11] Reus J., Leendertse, P., Bockstaller, C., Fomsgaard, J., Gutsche, V., Lewis K., Nilsson, C., Pussemier, I., Trevisan, M., Van der Werf, H., Alfarroba, F., Blümel, S., Isart, J., Mcgrath, D., Seppälä, T. 2002. Comparison and evaluation of eight pesticide environmental risk indicators developed in Europe and recommendations for future use. *Agric., Ecosys. & Environ.*, 90: 177-187.
- [12] Bockstaller, C. 2004. Elaboration et utilization des indicateurs. Exemple de I-PHY In: Barriuso, E. (Ed.) *Estimation des risques environnementaux des pesticides*, INRA, 75-86.

Datos de Contacto:

Dra. María Cristina Arregui, Facultad de Ciencias Agrarias, Kreder 2805; 3080 Esperanza.
carregui@fca.unl.edu.ar