

IIRAmb: avances en el Índice Integrado de Riesgo Ambiental por el uso de plaguicidas en cultivos

Daniel Grenón^{1,2,3}, Estefanía Galán^{1,2}, Federico Pernuzzi^{1,3} y Sebastián Guzman¹

¹ Cátedra de Agromática, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral
dgrenon@fca.unl.edu.ar

² CIAC 940152 “Ordenación territorial participativa en los espacios periurbanos: la problemática de las aplicaciones de fitosanitarios” (Proyecto INTA-AUDEAS-CONADEV)

³ CIAC 940145 “Evaluación del impacto generado por plaguicidas a través del uso de un indicador de riesgo de contaminación ambiental” (Proyecto INTA-AUDEAS-CONADEV)

Resumen. El IIRAmb es un sistema de soporte de decisiones para evaluar tanto el estado actual como posibles impactos futuros del riesgo ambiental y sobre la salud humana de los manejos fitosanitarios a nivel de cultivos, lotes, empresas o zonas periurbanas. En el presente artículo se presentan las últimas modificaciones incorporadas al sistema: un sistema de información geográfica para la evaluación de aplicaciones periurbanas o cercanas a escuelas rurales; un indicador de riesgo por toxicidad crónica; y un modelo de la dinámica de “unidades de toxicidad crónica” (totales y según su efecto crónico sobre la salud humana) para evaluar el efecto remanente de aplicaciones de años anteriores. Se presenta un ejemplo de aplicación y se discuten las futuras modificaciones que deberían incorporarse al sistema.

Palabras claves: impacto ambiental, agricultura, agroquímicos

1 Introducción

Para diseñar estrategias de protección del ambiente y sobre la salud humana de los efectos indeseables de los plaguicidas es necesario ponderar el impacto que estos pueden ocasionar. Ante la complejidad de la problemática y la falta de suficientes datos puntuales, se recurre a la elaboración de indicadores e índices que estimen el riesgo de contaminación y que permitan sintetizar la gran cantidad de datos y de variables de ingreso. Estos indicadores e índices, sustentados en análisis lógicos o matemáticos, explican la dinámica de los fitosanitarios incorporados a diversos ambientes de características edafoclimáticas definidas y según las prácticas de uso utilizadas.

Se presentan los últimos avances incorporados a un sistema de soporte de decisiones (IIRAmb: Índices Integrados de Riesgo Ambiental [1]) para evaluar los riesgos de impacto ambiental y sobre la salud humana de un sitio productivo (a escala de trata-

miento, cultivo, lote, empresa o zona) derivados de las aplicaciones de plaguicidas. Esta evaluación se puede realizar ex-ante (para cuantificar los riesgos a futuro según la planificación de los próximos tratamientos) o para evaluar la situación actual (a partir de registros de los tratamientos históricos).

1.1 Estructura del IIRAmb

El IIRAmb original tiene varios años de desarrollo [2] y aplicaciones a cultivos de la zona centro y norte de la provincia de Santa Fe [3][4][5][6][7].

El IIRAmb consiste en:

- un conjunto de bases de datos,
- interfaces de selección del sitio a analizar (suelo, profundidad de napa, pendiente, ubicación geográfica, etc.) y de los tratamientos a aplicar o aplicados,
- módulos de procesamiento de datos para diversos indicadores e índices,
- módulos de presentación de resultados.

Las **bases de datos** son de:

- a) Propiedades físicas, químicas, biológicas y toxicológicas de los principios activos autorizados en Argentina. Esta base de datos es una adecuación de los datos registrados en la PPDB [8] y complementados o actualizados según otras fuentes.
- b) Datos de suelos: parámetros físicos y químicos de cada horizonte de los perfiles edáficos de los sitios evaluados.
- c) Registros de los tratamientos realizados en cada lote: cultivo, fechas de siembra y de aplicación, tecnología, principio activo, dosis.

La **interface de selección del sitio** a analizar (figura 1) permite relacionar las características del sitio (pendiente, distancia a agua superficial, profundidad de napa, etc.) con datos de los cultivos y tratamientos realizados.

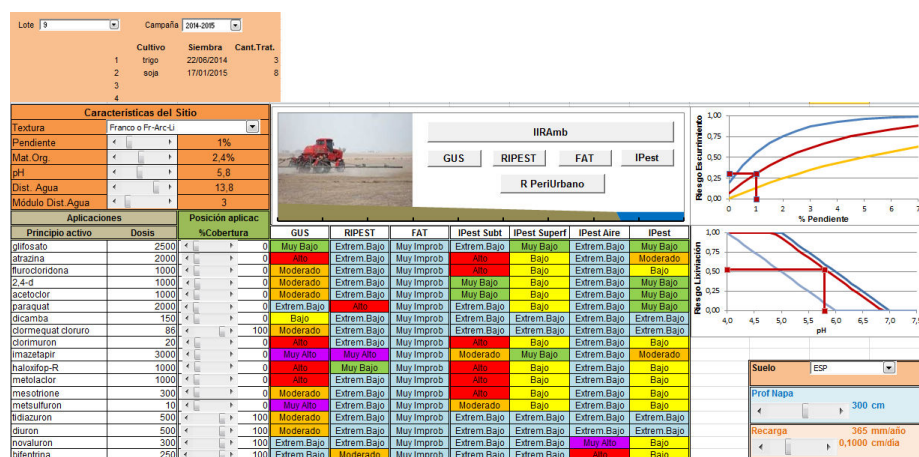


Fig. 1. Interface de carga de sitio y tratamientos a evaluar en el IIRAmb. Secciones: lote y campaña, características del sitio, aplicaciones realizadas, botones de acceso a los módulos de procesamiento y de detalles de resultados, tablas de semáforos parciales, tipo de suelo, etc.

Los **módulos de procesamiento** de datos (con algunas adecuaciones a las características de los cultivos o sitios propios del centro de Santa Fe) incorporados inicialmente son:

- i. GUS (Groundwater Ubiquity Score) [9]
- ii. RIPEST [10]
- iii. FAT (Factor de Atenuación) [11]
- iv. IPest [12]
- v. Se está trabajando en la incorporación de otros índices de uso extendido en el nivel nacional e internacional como ser AgroEcoIndex [13], EIQ [14] y POCER [15]

La **presentación de los resultados** se hace tanto en la interface de selección (en modo resumido) como en pantallas específicas y detalladas de los puntos a evaluar (figura 2).

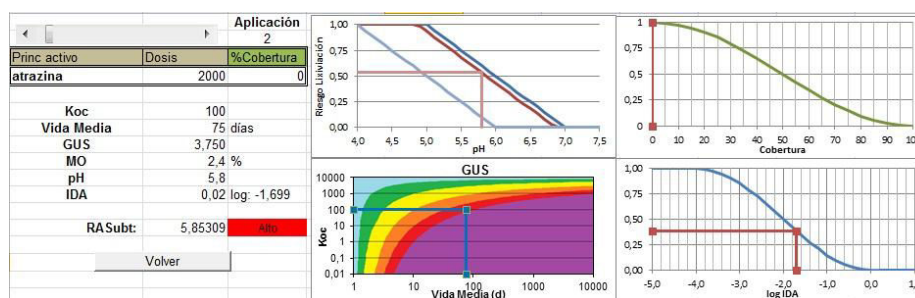


Fig. 2. Ejemplo de interface de presentación de indicadores e índices de riesgo para aguas subterráneas del IPest para una aplicación de atrazina. Los cuatro gráficos de la derecha presentan los valores de las curvas para alimentar el motor de lógica difusa que calcula el índice RASubt.

2 Nuevas funcionalidades del IIRAmb

El uso del IIRAmb durante los últimos años ha demostrado ser útil, pero también se ha detectado la necesidad de complementar su capacidad operativa con nuevos índices y funcionalidades. En el presente artículo se presentan las últimas modificaciones que se han incorporado:

- Módulo de sistema de información geográfica para la evaluación del riesgo de aplicaciones periurbanas.
- Cronitox: índice de riesgo por toxicidad crónica. Involucra la consideración de la historia de aplicaciones en el sitio y la dinámica de degradación de los productos para estimar la concentración actual de plaguicidas.

- Discriminación de los productos usados y su remanente actual según el tipo de riesgo crónico para la salud humana.

2.1 Módulo Periurbano

Permite obtener el riesgo en las zonas periurbanas y cualquier otra zona con población vulnerable (Escuelas Rurales, apiarios, feedlots, etc). Para su cálculo tiene en cuenta las coordenadas de localización del lote donde se va a realizar la aplicación fitosanitaria (latitud y longitud), el límite de restricción, la pendiente y la dirección del viento [16].

Se incorpora una base de datos con las ubicaciones geográficas de:

- Zonas urbanas:** latitud y longitud de los vértices del polígono que envuelve el área urbana de cada localidad.
- Escuelas rurales, feedlots, apiarios, granjas avícolas, etc.:** latitud y longitud de los puntos que representan ubicaciones vulnerables por el tipo de poblaciones (silvestres, domésticas o humanas) que se concentran en el área.

Se agrega también una interface (figura 3) que permite señalar (latitud y longitud) del sitio de tratamiento fitosanitario. En el ejemplo que se presenta, el sistema identifica la localidad más cercana (se dispone de la ubicación georreferenciada de 35 localidades del Departamento Las Colonias, Provincia de Santa Fe) y otros puntos de interés en el área de influencia del tratamiento (en este caso, datos de 18 escuelas rurales aledañas a la ciudad de Esperanza, Santa Fe).

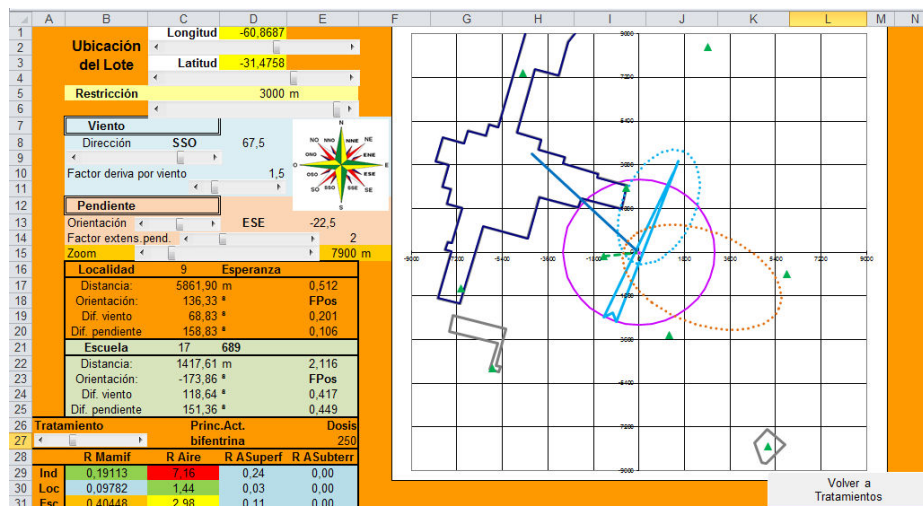


Fig. 3. Interface del módulo Periurbano. Ubicación del lote: longitud y latitud (centro del gráfico). Restricción: círculo violeta, restricción legal según producto y tipo de aplicación (en la figura, 3000 m por aplicación aérea). Viento: dirección (flecha celeste) e intensidad del viento (elipse celeste). Pendiente: orientación y extensión (elipse marrón). Localidad: polígono azul. Escuelas rurales: puntos verdes.

El tablero de control de este módulo consiste en:

Ubicación del lote: Se indica con su longitud y latitud. En la figura 3, es el origen de coordenadas.

Restricción: Hace referencia a la distancia de prohibición del producto seleccionado según leyes, decretos u ordenanzas. Por ejemplo, suponiendo una aplicación aérea, tendríamos una restricción de 3000 m. Se representa en la figura 3, con el círculo de color violeta.

Viento: Se debe ingresar su dirección y un factor estimado de riesgo de deriva de los gases productos de la posible evaporación del plaguicida. En la figura 3, la flecha celeste marca la dirección, y el óvalo de borde punteado celeste, el área que se presupone bajo riesgo.

Pendiente: Se debe indicar la dirección predominante de posible escurrimiento de aguas superficiales (o, alternativamente, la de escurrimiento de aguas subterráneas según el parámetro que se desee evaluar). El factor de extensión de la pendiente, lo mismo que el factor de riesgo por viento, es una estimación del área que podría llegar a ser afectada por el arrastre de plaguicidas con el movimiento de las aguas en la zona. En la figura 3, se representa con el óvalo de línea punteada marrón.

Los polígonos grises y azules representan las **áreas urbanas** del departamento Las Colonias (Prov. de Santa Fe). Según la ubicación del lote, el sistema selecciona la localidad cuyo “centro” geográfico está más cercano al sitio de tratamiento. Para esta localidad calcula la distancia (m) y la orientación entre el lote y la zona urbana (representada con la línea azul, la localidad seleccionada también se marca con línea azul).

Las **escuelas rurales** se marcan con triángulos verdes. El sistema también selecciona aquella que se encuentra más cercana. Señala la distancia y la orientación entre el lote y la escuela seleccionada con una línea de guiones verdes.

Tanto para la localidad como para la escuela seleccionadas el sistema calcula, además, los ángulos (expresados en grados sexagesimales) entre las orientaciones de las distancias lote-población y lote-escuela y las orientaciones de las direcciones del viento y de la pendiente.

Con estas ubicaciones y orientaciones se estiman tres “factores de posición” para cada localidad y escuela seleccionadas:

Factor posición-restricción = (Dist. restricción) / (Dist. Lote - centro localidad o escuela)

Si este factor es mayor a 1 significa que el centro de la localidad o la escuela se encuentra dentro del área de exclusión según la normativa vigente.

Factor dirección viento: Según el ángulo entre la distancia al sitio vulnerable y la dirección del viento, se calcula la distancia [lote-borde punteado celeste] según la línea azul (o verde para la escuela) y se lo divide por la distancia lote-localidad o lote-escuela. Si este factor es mayor a 1 significa que la población vulnerable está dentro del óvalo de riesgo por evaporación y dispersión de gases. Cuanto menor es este factor, más alejada se encuentra la población o escuela y menor es el riesgo que tendrá la posible contaminación aérea.

Factor dirección pendiente: Lo mismo que para el viento, pero con los datos del óvalo punteado marrón (área de riesgo por escurrimiento superficial o subsuperficial de aguas). Si el factor es mayor a 1, la población o escuela se encuentra en el área de mayor riesgo, por lo que los índices de riesgo de aguas superficiales o subterráneas se verán incrementados.

Índices de riesgos modificados por los factores de posición: Para la estimación del riesgo para los pobladores de una localidad o de una escuela, se consideran el índice M del RIPEST (riesgo por toxicidad aguda para mamíferos) y los índices de los módulos aire, agua superficial y agua subterránea del IPest.

El sistema permite seleccionar cada uno de los tratamientos aplicados en el lote, presenta los valores estimados para los índices elegidos y los modifica de la siguiente forma:

R Mamif: multiplica el índice M del RIPEST por el factor posición-restricción. En la figura 3, el valor inicial de 0,19113 para la bifentrina (riesgo muy bajo) se transforma en 0,09782 para la localidad (riesgo extremadamente bajo) porque el centro de la localidad está aproximadamente al doble de distancia que la restricción de aplicación. Mientras que para la escuela, el índice se duplica a 0,40448 (riesgo moderado) porque la escuela se encuentra aproximadamente a mitad de la distancia de restricción.

R Aire: Se multiplica el riesgo para aire del IPest por el factor dirección viento. Así se ve en la figura 3, que el alto riesgo de la bifentrina para el aire es fuertemente disminuido tanto para la localidad como para la escuela dado que las orientaciones de sus ubicaciones no coinciden con las dirección del viento (ambos sitios se encuentran “fuera” del óvalo celeste), aún cuando la escuela esté dentro del área de restricción.

R ASuperf y R ASubterr: Los índices de agua superficial y de agua subterránea del IPest se multiplican por el factor dirección pendiente. Se los interpreta de la misma forma que los anteriores. En el ejemplo presentado en la figura 3 no hay variaciones importantes dados los niveles de riesgo extremadamente bajo de la bifentrina para este sector ambiental.

2.2 CroniTox: Riesgo por toxicidad crónica

Si bien algunos indicadores suelen incorporar criterios de riesgo por toxicidad crónica, la mayoría de ellos solo consideran las aplicaciones realizadas durante un ciclo de cultivo y gran parte de la evaluación se basa en los criterios de toxicidad aguda.

Sin embargo, los xenobióticos agregados al ambiente pueden llegar a persistir más allá del ciclo de un cultivo dependiendo de las concentraciones iniciales, de las tasas de degradación en suelos, aguas y biota, de las características edafoclimáticas del sitio y de la dinámica de los factores meteorológicos. Además, las dosis subletales pueden generar problemas a la salud que se manifiestan después de largos períodos de exposición de las poblaciones a estos productos.

Se considera necesario incorporar al IIRAmb un índice de riesgo por toxicidad crónica (CroniTox) que permita considerar los riesgos de concentración de plaguicidas luego de varios ciclos de cultivos y la probable dinámica de su concentración en el ambiente.

Se han desarrollado dos índices alternativos: uno relacionando propiedades físico-biológicas y proporcionalidades relativas de efectos sobre la salud (CroniTox1), y otra aplicando lógica difusa de manera similar a los índices del IPest (CroniTox2) [12]. Ambos están todavía en etapa de análisis.

Ambos índices utilizan como indicadores:

- **Vida Media en suelo (VM)**: la dinámica de la degradación se resume en este valor, que es directamente proporcional al riesgo en la alternativa CroniTox1 y, para CroniTox2, totalmente favorable si $VM < 10$ días (menos de 3 meses para degradar el producto a menos del 1% de la dosis inicial) y totalmente desfavorable si $VM > 50$ (un año para degradar el producto a menos del 1% de la dosis inicial).
- **Factor de Bioconcentración (FBC)**: este factor representa la amenaza a que el plaguicida se incorpore y se concentre en la biocenosis del agroecosistema (resultado neto de la absorción, transformación y eliminación de una sustancia por un organismo a través de todas las vías de exposición, es decir, aire, agua, sedimento/suelo y alimentación). Es directamente proporcional para CroniTox1. Para CroniTox2 es totalmente favorable si $\log_{10}FBC < 0$ y totalmente desfavorable si $\log_{10}FBC > 1$.
- **Ingesta Diaria Admisible (IDA)**: es la cantidad máxima que se considera segura aun cuando se ingiera diariamente durante largos períodos, es decir que no genera efectos adversos a la salud. Es un indicador de exposición, que multiplicado por el peso vivo del individuo, genera un indicador de vulnerabilidad. Es inversamente proporcional para CroniTox1, mientras que para CroniTox2 se considera totalmente favorable si $\log_{10}IDA > 0$ y totalmente desfavorable si $\log_{10}IDA < -2$.
- **Efectos crónicos sobre la salud**: según [17] los principales efectos crónicos de los plaguicidas son carcinogénesis, mutagénesis, disrupción endocrina, efectos sobre reproducción y desarrollo, y neurotoxicidad. Para incorporar estos riesgos en el CroniTox se considera tanto la cantidad de efectos crónicos que puede producir el plaguicida como el grado en que se puede manifestar cada efecto (según la clasificación cualitativa de la PPDB [8]: sí produce, dudoso, sin datos, no produce).
 - Para el CroniTox1, se cuantifica el grado de manifestación de cada efecto (sí produce=1,6; dudoso=1,2; sin datos=0,8; no produce=0) y

se lo transforma en $IndSalud = (\sum \text{efectos} + 0,4) / 4$ que altera en forma directamente proporcional al índice:

$$CroniTox1 = \log_{10}(VM * FBC / IDA) * IndSalud$$

- Para el CroniTox2 se definen dos variables: ISalud que es la sumatoria de efectos y CantSalud que es la cantidad de efectos crónicos (ponderados por su grado de manifestación). El esquema de nivel de riesgo asignado a cada combinación de situaciones favorables o desfavorables de las cinco variables consideradas se representa en la figura 4:

VM	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
FBC	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
IDA	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
CantSalud	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
ISalud	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
Riesgo	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,4	0,45	0,5	0,55	0,65	0,7	0,8	0,85	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	

Fig. 4. Esquema de los riesgos asignados a las combinaciones de condiciones favorables y desfavorables de las cinco variables consideradas para la estimación de CroniTox2 por el método de lógica difusa.

Comparando ambos índices (previamente ajustados a una escala de 0 a 10) se observa que para el 84% (257 casos) de los 305 principios activos evaluados el CroniTox2 indica mayor riesgo que el CroniTox1 (Figura 5), por lo que, basados en el principio precautorio, se sugiere utilizar el método de lógica difusa.

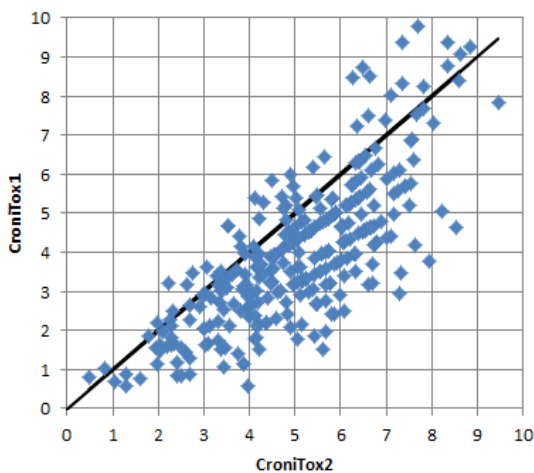


Fig. 5. Comparación de las alternativas de cálculo del CroniTox [18] para 305 principios activos. La recta representa la relación 1:1

2.3 Dinámica temporal y discriminación por tipo de efecto sobre la salud

El CroniTox indica el riesgo de toxicidad crónica para un determinado principio activo, pero para determinar el riesgo de un sitio donde se hayan aplicado numerosos plaguicidas en diferentes circunstancias (estado de los cultivos, fechas, dosis, etc.) es necesario estimar la posible concentración de cada uno de ellos en cualquier momento.

En función de este propósito, lo primero es definir un criterio que posibilite uniformar las cantidades remanentes de todos los principios activos aplicados en una magnitud que permita compararlos. Se propone una **Unidad de Toxicidad Crónica** (UTCr), que relaciona la masa de plaguicida presente en un sitio con la IDA para una persona de 70 kg (aunque el IIRAmb posibilita definir el peso de referencia entre 10 kg y 100 kg) durante un año [19]:

$$\text{UTCr (Ha}^{-1}\text{)} = 1000 \text{ mg.g}^{-1} * \text{Dosis g.Ha}^{-1} / \text{IDA mg.kg}^{-1}.\text{d}^{-1} / 70 \text{ kg} / 365 \text{ d}$$

Para estimar la cantidad de UTCr (Ha⁻¹) presentes en un sitio en un momento se estructura una matriz de cálculo donde las columnas corresponden a cada uno de los principios activos aplicados en el sitio (con la dosis expresada en UTCr y la fecha de aplicación), las filas corresponden a las fechas de cálculo (en el IIRAmb se utiliza una fila por semana), y en cada elemento se estima la cantidad de UTCr del principio activo (correspondiente a la columna) en la fecha (correspondiente a la fila). La sumatoria de todas las UTCr de una fila determina la cantidad total para esa fecha.

Por último, ponderando las UTCr de cada principio activo por el grado de manifestación de cada efecto crónico (con la escala: sí produce=1; dudoso=0,8; sin datos=0,5; no produce=0) se puede estimar la cantidad de UTCr que corresponden a productos cancerígenos, mutagénicos, disruptores endocrinos, con efectos sobre la reproducción y el desarrollo, o neurotóxicos.

Tabla 1. Tratamientos fitosanitarios realizados en un lote del norte de la provincia de Santa Fe entre el 12/08/2009 y el 14/07/2014.

Tr.	Cultivo	Fecha de Siembra	Fecha Tratamiento	Principio Activo	Dosis g/Ha
1	Girasol	11/08/2009	12/08/2009	glifosato	993
2			12/08/2009	flurocloridona	250
3			12/08/2009	acetoclor	1000
4			12/08/2009	cipermetrina	25
5			12/08/2009	haloxifop p metil	20,22
6			02/12/2009	endosulfan	400
7			02/12/2009	cipermetrina	50
8	Soja	29/12/2010	01/12/2010	glifosato	1324
9			15/12/2010	glifosato	1324
10			14/01/2011	glifosato	1324
11			14/01/2011	lambdacialotrina	100
12			02/03/2011	glifosato	1324
13			02/03/2011	lambdacialotrina	150
14			29/03/2011	piraclostrobin	66,5
15			29/03/2011	epoxiconazole	25
16	Soja	01/12/2011	15/01/2012	glifosato	1120,5
17			15/01/2012	imazetapir	11,649

18			08/03/2012	cipermetrina	37,5
19			08/03/2012	glifosato	1324
20			12/03/2012	novaluron	10
21			12/03/2012	bifentrina	10
22	Girasol	31/08/2012	10/08/2012	glifosato	1324
23			31/08/2012	glifosato	662
24			31/08/2012	flurocloridona	250
25			31/08/2012	metolaclor	960
26			31/08/2012	cipermetrina	50
27	Soja	28/11/2013	27/11/2013	glifosato	1324
28			27/11/2013	clorimuron	100
29			27/11/2013	2,4-D	600
30			27/11/2013	lambdacialotrina	100
31			06/01/2014	glifosato	1324
32			06/01/2014	lambdacialotrina	150
33			31/01/2014	clorantraniliprole	7
34			08/03/2014	flubendiamida	28,8
35			08/03/2014	tiametoxam	28,2
36			08/03/2014	lambdacialotrina	21,2
37			21/03/2014	piraclostrobin	66,5
38			21/03/2014	epoxiconazole	25
39	Girasol	08/08/2014	10/06/2014	glifosato	1324
40			10/06/2014	2,4-D	600
41			14/07/2014	prometrina	750

Se presenta el ejemplo de un lote al que se le realizaron 41 tratamientos fitosanitarios entre el 12/08/2009 y el 14/07/2014 (1798 días) para 3 cultivos de girasol y 3 de soja en el norte de la provincia de Santa Fe (tabla 1). La evolución de las UTCr totales y por algunos efectos crónicos sobre la salud se grafica en las figuras 6, 7 y 8.

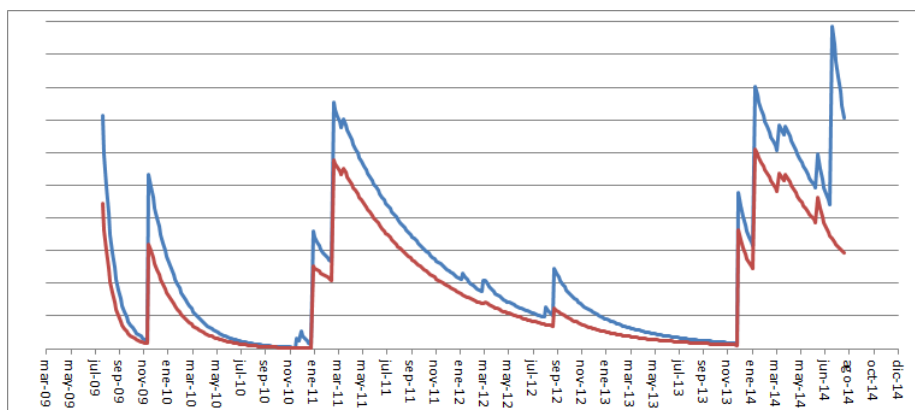


Fig. 6. Evolución de las UTCr totales (línea azul) y con efecto sobre reproducción y desarrollo (línea roja) de los tratamientos listados en la tabla 1.

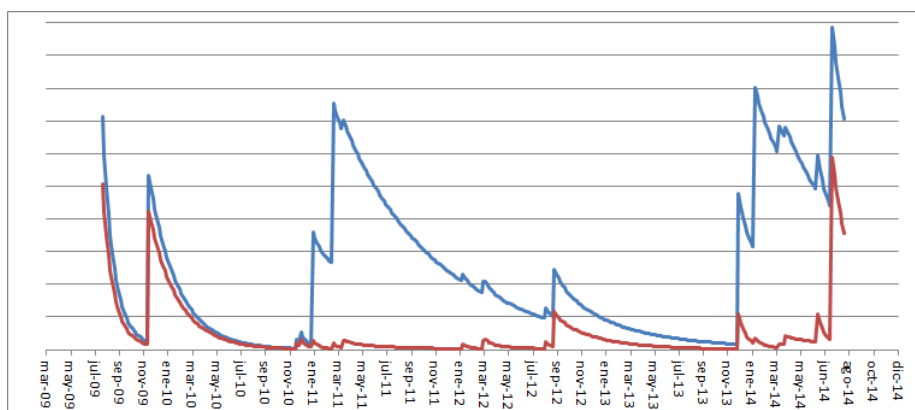


Fig. 7. Evolución de las UTCr totales (línea azul) y con efectos de disrupción endocrina (línea roja) de los tratamientos listados en la tabla 1.

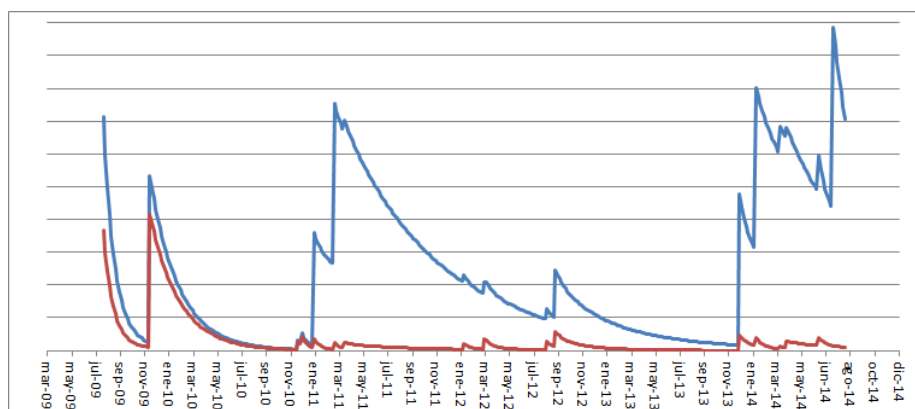


Fig. 8. Evolución de las UTCr totales (línea azul) y con efecto cancerígeno (línea roja) de los tratamientos listados en la tabla 1.

Así como se ha presentado el ejemplo de una serie de registros históricos, de la misma manera se podría evaluar ex-ante el riesgo resultante de la planificación de tratamientos sanitarios (selección de principios activos, fechas, dosis) para las próximas actividades a realizar, y cuantificar la posible acumulación de UTCr con efectos crónicos sobre la salud que ya estén con altos valores en el lote por su historia reciente (por ejemplo, si estuviésemos “ubicados” en diciembre de 2014 analizando los próximos tratamientos para el lote con el historial de la Tabla 1, ¿sería conveniente continuar agregando productos con alto grado de riesgos para efectos reproductivos o de disruptores endocrinos según las figuras 6 y 7?).

3 Conclusiones

Los índices presentados deben continuar ajustándose o incorporándose nuevos. Por ejemplo, las UTCr además de discriminarse según el efecto crónico, serán cuantificadas para cada destino ambiental: se está trabajando con modelos de fugacidad [20] para ajustar la proporción de plaguicidas que tienden a acumularse en aire, suelo, aguas superficiales o subterráneas. También está planificada la incorporación de modelos probabilísticos de eventos meteorológicos (o alternativamente el análisis de series históricas de registros) para ajustar los índices de riesgos por escurrimientos, percolación profunda a napas freáticas o dispersión por vientos. Otro aspecto importante será disponer de indicadores del riesgo de que esas UTCr se acumulen en la biocenosis del sitio o lleguen a ser inhaladas o ingeridas por humanos [21].

Otros ajustes en desarrollo se refieren a mejorar la interface para potenciar la funcionalidad de la herramienta, por ejemplo, habilitar la base de datos de formulados (productos comerciales) aprobados por SENASA para no tener que ingresar los principios activos y su concentración que los componen: solamente indicando la marca comercial y cantidad de producto aplicado, el sistema indicará la cantidad de cada principio activo incluido en la formulación [18] [19].

Aunque la presente versión del IIRAmb continúa en evaluación y desarrollo, se la considera lo suficientemente útil y funcional como para ayudar a los Ingenieros Agrónomos a diseñar estrategias de manejos fitosanitarios que minimicen los riesgos de impactos ambientales y para la salud humana. También es una herramienta necesaria en la administración de aplicaciones periurbanas para identificar zonas de alto riesgo según los cultivos planificados, las características edafoclimáticas o el historial de aplicaciones ya realizadas.

Referencias

1. Grenón, DA., M.C. Arregui, E. Galán y D.E. Sánchez. IIRAmb versión 0.5: Integración de índices de riesgo ambiental para diseñar estrategias de manejo fitosanitario de menor impacto. XV Jornadas Fitosanitarias Argentinas Santa Fe (2015). Actas en CD.
2. Arregui M.C.; Sánchez D. y Grenón D., ITOX: índice de riesgo ambiental por aplicación de plaguicidas. Software. Reg. de Prop. Int. 893841. (2010).
3. Arregui M.C., Sánchez D.; Althaus R.; Scotta R.R. y Bertolaccini I., Assessing the environmental impact of pesticides used in several Argentina cropping systems with a fuzzy expert indicator. *Pest Management Science* (2010), 66: 736-740.
4. Arnold M.V., D. Sanchez, D. Grenon, M. Cracogna, D. Vitti, P. Menapace, F. Pernuzzi y M. Magliano, Estudio del riesgo de impacto ambiental de los fitosanitarios más utilizados en el cultivo de Soja en el centro-norte de la provincia de Santa Fe, XV Jornada Fitosanitaria Argentina, Santa Fe (2015). Actas en CD.
5. Menapace P., D. Sanchez, D. Grenon, M. Cracogna, D. Vitti, Arnold M.V., F. Pernuzzi y M. Magliano, Estudio del riesgo de impacto ambiental de los fitosanitarios más utilizados en el cultivo de Algodón en el centro-norte de la provincia de santa fe, XV Jornada Fitosanitaria Argentina, Santa Fe (2015). Actas en CD.

6. Pernuzzi F.M., P. Menapace, M.V. Arnold, D. Grenon, M. Cracogna, D. Sanchez y D. Vitti, Estudio del riesgo de impacto ambiental de los fitosanitarios más utilizados en el cultivo de girasol (*Helianthus annuus*) en el centro-norte de la provincia de Santa Fe, XV Jornada Fitosanitaria Argentina, Santa Fe (2015). Actas en CD.
7. Pernuzzi F.M., P. Menapace, M.V. Arnold, D. Grenon, M. Cracogna, D. Sanchez y D. Vitti, Estudio del riesgo de impacto ambiental de los fitosanitarios más utilizados en el cultivo de Maíz (*Zea mays*) en el centro-norte de la provincia de Santa Fe, XV Jornada Fitosanitaria Argentina, Santa Fe (2015). Actas en CD.
8. AERU, PPDB: Pesticide Properties DataBase. Agriculture & Environmental Research Unit (AERU), University of Herfordshire En: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es/atoz.htm>. Consulta: 10/10/2017.
9. Gustafson D.I., Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. *Environ. Toxicol. Chem.* (1989), 8: 339-357.
10. Ferraro, D.O.; Ghersa C.M. y Sznajder G.A., Evaluation of environmental impact indicators using fuzzy logic to assess the mixed cropping systems of the Inland Pampa, Argentina. *Agric. Ecosys. & Environ.* (2003), 96: 1-18.
11. Rao P.S.C., A.G. Hornsby y R.E. Jessup. Indices for ranking the potential for pesticide contamination of groundwater. *Soil Crop Sci. Soc. Fl.* (1985), 44: 1-8.
12. Werf, H. van der y C. Zimmer, An indicator of pesticide environmental impact based on a fuzzy expert system. *Chemosphere* (1998), 36 (10): 2225-2249.
13. Viglizzo E.F.; F. Frank; J. Bernardos; D.E. Buschiazzo y S. Cabo, A rapid method for assessing the environmental performance of commercial farms in the pampas of Argentina. *Environ. Monitoring & Assessment*, (2006) 117: 109-134.
14. Kovach J.; Petzoldt C.; Degni J. y Tette J., A method to measure the environmental impact of pesticides. *New York's Food and Life Sciences Bulletin* (1992) 139: 1-8.
15. Vercrusse, F. y W. Sterbaut, POCER, the pesticide occupational and environmental risk indicator. *Crop Protection* (2002) 21: 307-315.
16. Galán, E., Fitosanitarios en zonas periurbanas y escuelas rurales: Herramientas para evaluar su riesgo, Tesina de grado, Facultad de Ciencias Agrarias UNL (2016), 62 pp.
17. López Guarnido, O., Influencia de la exposición crónica a plaguicidas sobre diversos marcadores bioquímicos (esterasas y enzimas antioxidantes) en trabajadores de invernadero de la costa oriental de Andalucía. Tesis doctoral. Facultad de Medicina, Universidad de Granada (2005) 314 pp.
18. Pernuzzi, F. y D. Grenón (director), Índice de riesgo por toxicidad crónica por el uso de plaguicidas en cultivos extensivos. Tesina de Grado, Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral (2018).
19. Guzman, S. y D. Grenón (director), Riesgo de toxicidad crónica por el uso de plaguicidas en una rotación de cultivos extensivos. Tesina de Grado, Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral (2018).
20. Mackay, D., S. Paterson and W.Y. Shiu, Generic models for evaluating the regional fate of chemicals. *Chemosphere* (1992) 24: 695-717.
21. R. Duarte-Davidson, K.C. Jones, Screening the environmental fate of organic contaminants in sewage sludge applied to agricultural soils: II. The potential for transfers to plants and grazing animals, *The Science of the Total Environment* 185 (1996) 59-70.