

## **IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL DEL USO DE PESTICIDAS EN CULTIVOS DE LA CUENCA DEL ARROYO LUDUEÑA, SANTA FE**

**Sergio Montico, Julio Denoia y José Berardi**

Manejo de Tierras - Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario  
CC 14 S2125ZAA. Zavalla. Santa Fe. Argentina  
e-mail: smontico@unr.edu.ar

### **RESUMEN**

El objetivo de este trabajo fue estudiar los impactos y riesgos ambientales producidos por la aplicación de pesticidas en cultivos de una cuenca del sur de Santa Fe, Argentina. El trabajo se desarrolló en la cuenca rural del arroyo Ludueña, en los cultivos de soja, maíz y trigo, de ocho sistemas de producción: dos monocultivos de soja, dos rotaciones agrícolas, cuatro mixtos, con invernada y tambo. Se relevó la información de la gestión anual de los pesticidas. Se calculó el coeficiente de impacto ambiental y el índice de riesgo ambiental de los pesticidas utilizados en los cultivos de los sistemas de producción. Los mayores impactos negativos y riesgo ambiental se alcanzaron con la inclusión de maíz en las rotaciones. En el sistema mixto con invernada de mayor escala, los impactos fueron los más altos en todos los cultivos. Se halló una importante asociación entre los indicadores, los mayores impactos ambientales negativos coincidieron con el incremento de los riesgos ambientales ocasionados por los pesticidas aplicados. Ambos indicadores fueron útiles para valorar la incidencia de los pesticidas en diferentes sistemas de producción. La gestión de los pesticidas puede optimizarse y lograr una producción primaria de alimentos compatibles con las crecientes demandas sociales orientadas a su inocuidad.

**Palabras clave:** impacto ambiental, pesticidas, sistemas de producción, cuenca rural.

### **ABSTRACT**

The objective of this work was to study the environmental impacts and risks caused from the application of pesticides on crops in a basin south of Santa Fe, Argentina. The work was developed in the rural basin of Ludueña stream, in soybean, corn and wheat, of eight production systems, two soybean monocultures, two crop rotations, four mixed, with wintering and dairy farm. The information in the annual management of pesticides was surveyed. The coefficient of environmental impact and environmental risk index pesticides used in crop production systems was calculated. The major negative impacts and environmental risk occurred by the inclusion of corn rotations. In the mixed system wintering larger scale impacts were highest in all crops. A significant association was found between indicators, the major negative environmental impacts matched with increasing environmental risks produced by pesticides applied. Both indicators were useful to assess the impact of pesticides on different production systems. The management of pesticides can be optimized and make a primary food production compatible with the growing social demands oriented towards safety.

**Keywords:** environmental impact, pesticides, production systems, rural basin.

## INTRODUCCIÓN

Los agroquímicos, y en particular los pesticidas, han llegado a ser una parte integral de los sistemas modernos de agricultura, contribuyendo significativamente a mejorar el rendimiento de las cosechas, pero a pesar de su destacado aporte, producen residuos indeseables en el medio ambiente (Pimentel, 1998; Bürger et al., 2012).

Algunos investigadores advierten sobre la necesidad de determinar su presencia en el ambiente y realizar un programa de seguimiento para analizar las posibles alteraciones como consecuencia de su uso (Torres y Capote, 2004).

Para lograr un mejor conocimiento sobre cómo las prácticas agronómicas pueden afectar a los distintos componentes ambientales se recurre a indicadores, los que permiten evaluarlas a través de diferentes dimensiones (Montico y Di Leo, 2008). Estos son herramientas valiosas, dado que sintetizan la información y contribuyen a que los responsables de las decisiones de intervención en el territorio comprendan la complejidad de los sistemas (Trevisan et al., 2009). Aquellos utilizados para medir el impacto de los plaguicidas son cada vez más aplicados y se requiere que resulten sencillos de calcular y fácil de comunicar (Castoldi et al., 2007).

En la región pampeana norte argentina, los efectos asociados a la aplicación de pesticidas en los cultivos extensivos no son suficientemente monitoreados y existen dudas, intereses y demandas sociales que exigen una mayor claridad respecto a los tipos, momento y estrategias de su uso (Montico et al., 2013).

Actualmente, en el sur santafesino, la agricultura es la principal actividad productiva. El doble cultivo trigo-soja y la soja de segunda siembra ocupa el 88% de la superficie agrícola. En este escenario, el herbicida más aplicado es una Glicina (glifosato), en menor medida los Bipiridilos, y los insecticidas Piretrinas y Piretroides. Asimismo los Triazoles y Estrobirulinas, son los más utilizados como funguicidas, y en menor proporción, los Carbamatos. Aunque la superficie destinada al cultivo de maíz es aproximadamente del 10%, se aplican importantes cantidades de Atrazina y Acetoclor (Montico y Di Leo, 2015).

El objetivo de este trabajo fue analizar los impactos y riesgos ambientales producidos por la aplicación de pesticidas en sistemas productivos de una cuenca rural del sur de Santa Fe.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en la cuenca del arroyo Ludueña (70000 ha) en el sureste de la provincia de Santa Fe, Argentina, y que se ubica entre los paralelos 32° 45' y 33° 08' S y los meridianos 61° 04' y 60° 39' O.

A partir de trabajos realizados en la cuenca por Bonel et al. (2005) y Montico et al. (2013), se seleccionaron ocho sistemas de producción (SP) representativos del uso de la tierra local. A continuación se indican los SP y la proporción de uso de los cultivos y pasturas:

- . Monocultivo de soja (Ms1); 110 has: soja1 (100%).
- . Monocultivo de soja (Ms2); 99 has: soja1 (100%).
- . Rotación agrícola (Ra1); 162 has: trigo/soja2 (56.1%), maíz (11.9%), soja1 (32%).
- . Rotación agrícola (Ra2); 464 has: trigo/soja2 (33%), maíz (33%), soja1 (33%).
- . Mixto agricultura-invernada (Mxai1); 1050 has: trigo/soja2 (4.9%), maíz (12.3%), soja1 (73.8%), Pp4 (9.1%).
- . Mixto agricultura-invernada (Mxai2), 1200 has: trigo/soja2 (20%); maíz (9.6%); soja1 (55.3%); Pp4 (15.1%).
- . Mixto agricultura-tambo (Mxat1), 273 has: trigo/soja2 (25%); soja1 (35.0%), maíz (10%), Pp4 (30.0%).
- . Mixto agricultura-tambo (Mxat2), 233 has: trigo/soja2 (20,0%), maíz (10.0%), soja1 (20.0%), Pp4 (50.0%).

[soja1: soja de primera siembra; soja2: soja de segunda siembra; Pp4: pastura polifítica de cuatro años].

El estudio de los SP consideró tres tipos de uso de la tierra (monocultivo de soja, rotación agrícola y mixto), tres cultivos (soja de primera y segunda siembra, trigo y maíz) representando la mayor superficie agrícola de los establecimientos y de la cuenca (Bonel et al., 2005). Respecto a los pesticidas que participaron del control de malezas, insectos y fitopatógenos, fueron seis herbicidas, seis insecticidas y tres funguicidas, respectivamente.

Se efectuaron en total 84 aplicaciones, siendo los pesticidas más frecuentes, glifosato y cipermetrina, 32.1% y 19.1%, respectivamente (Figura 1). La actual tendencia al mayor uso de estos productos fitosanitarios es la que justifica los estudios de impacto en ambientes agrícolas debido a su particular dinámica y a los escasos conocimientos que se tiene sobre ellos en la región pampeana argentina (Peruzzo et al., 2003).

En orden decreciente, el mayor número de aplicaciones fue en: soja1 54.8%; soja2 26.2%; trigo 10.7%; maíz 8.3%.

En los SP se relevó la información relacionada con la gestión de uso de los pesticidas en el año de los cultivos de soja de primera y segunda siembra, trigo, y maíz. Específicamente, herbicidas, insecticidas y funguicidas, tipo y dosis de aplicación.

Con la información relevada se calcularon dos indicadores ambientales por el uso de pesticidas en los tres cultivos, el coeficiente de impacto ambiental (CIA) y el índice de riesgo ambiental (IRA).

El valor de impacto ambiental de los pesticidas se obtiene del cálculo del CIA. El CIA fue elaborado por Kovach et al. (1992) y consiste en evaluar el riesgo ambiental y de salud de un pesticida. Considera información toxicológica y química del principio activo para calcular el riesgo a trabajadores rurales, consumidores y a la ecología. La construcción del CIA (adimensional) es:

$$\left\{ C \left[ (DT*5) + (DT*P) \right] + \left[ \left( C * \left( \frac{S + P}{2} \right) * SY \right) + (L) + \left( F * R \right) + \left( D * \left( \frac{S + P}{2} \right) * 3 \right) + \left( Z * P * 3 \right) + \left( B * P * 5 \right) \right] \right\} / 3$$

C, toxicidad crónica; DT, toxicidad dermal; P, vida media de residuos en superficie de planta; S, vida media de residuos en el suelo; SY, sistematicidad; L, potencial de lixiviación; F, toxicidad en peces; R, potencial de escorrentía; D, toxicidad en aves; Z, toxicidad en abejas; B, toxicidad en artrópodos benéficos.

Los valores de CIA totales de los pesticidas utilizados en los SP se obtuvieron del IPM (2015). Para el cálculo del CIA a campo de los pesticidas utilizados en cada cultivo, se multiplicó la dosis empleada, el porcentaje de ingrediente activo y el número de aplicaciones realizadas en el ciclo 2012-2013. Mayores valores de CIA implican impactos ambientales negativos más altos.

El IRA fue elaborado por Arregui et al. (2009) y soportado en la propuesta del sistema experto Ipest (Van der Werf y Zimmer, 1998). Consiste en un

*software* basado en el Ipest que vincula información de la gestión de uso de plaguicidas y componentes agroambientales (relieve, suelo y agua) y es de acceso libre y se encuentra en línea en <http://www.fca.unl.edu.ar/tictambo>.

La obtención del IRA surge a partir del ingreso de la información de: textura de suelo, pendiente, materia orgánica, pH, distancia a una fuente de agua, principio activo, dosis y momento de aplicación del pesticida.

El IRA se obtiene luego del ingreso de todos los pesticidas aplicados entre siembra y cosecha del cultivo y toma valores entre 0 (máximo riesgo) y 10 (sin riesgo). Valores entre 0 y 5 se consideran de alto riesgo, 6 y 7, de riesgo medio, y mayores a 7, bajo a sin riesgo de contaminación.

Los valores de textura del suelo, pH y materia orgánica, se obtuvieron de las cartas de suelo 1:50000 de INTA (1975), las pendientes, de las cartas topográficas 1:100000 del IGM (1948), y para la distancia a la fuente de agua, se consideró el módulo propuesto por el Ipest, riesgo de contaminación de aguas subterráneas, a partir de la distancia a la primera napa. Este rasgo fisiográfico se obtuvo de la consulta a los decisores de los SP.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El clima es subhúmedo mesotermal, con una temperatura media anual de 17 °C y con un monto de precipitaciones totales promedio de 1110 mm.

Los ambientes donde se ubican los SP seleccionados poseen un relieve de lomas extensas y ligeramente onduladas, con pendientes menores al 1%. En general, el escurrimiento es moderado a bueno y el drenaje también es bueno. No existe peligro de anegamiento o inundación y la napa freática, por su profundidad, no influye en las propiedades edáficas. En las áreas con mayor pendiente la erosión hídrica es leve. También se presentan algunos sectores en los interfluvios entre las vías de drenaje, con numerosos microrrelieves, donde la permeabilidad de suelo es lenta, el perfil edáfico tiene características hidromórficas y son afectados por alcalinidad sódica, siendo el escurrimiento también lento. La capacidad de uso corresponde a I-2, IIe en los sectores más elevados, IIws y IIw en los cóncavos y IVws, VIws y VIIws en aquellos con mayores problemas de drenaje y sodicidad.

El estudio desarrollado se llevó adelante mediante etapas simples de trabajo, y permitió conocer el impacto y los riesgos que suceden en el ambiente, por el empleo de principios activos en cultivos y sistemas de producción regionalmente representativos. Además, establece referencias para el análisis de pesticidas alternativos, rotaciones de cultivos y nuevos usos de la tierra. Así, adquiere gran importancia el manejo integrado de las plagas, que privilegia por sobre la cantidad de pesticidas aplicado, el uso adecuado y la mejor oportunidad para hacerlo (Oerke y Dehne, 2004).

Tal como plantean Vernier et al. (2013), los esfuerzos por conocer cada vez con mayor precisión el impacto del uso de pesticidas en las cuencas rurales se incrementan no sólo por las decisiones de los gobiernos, sino también por las de las sociedades. Es así como los sistemas de ciencia y técnica deben continuar explorando y evaluando los riesgos de las tecnologías asociadas al uso de principios activos químicos para la protección de los cultivos.

Los valores de CIA y IRA de soja1, soja2, trigo y maíz fueron muy diferentes entre sistemas de producción (Figura 2). El menor CIA fue el de trigo Ra2 (10.36) y el mayor el de maíz Mxai2 (114.14), siendo trigo el cultivo menos impactante en todos los SP cuando participó en la secuencia agrícola, y el maíz, el que causa mayores efectos ambientales negativos. La diferencia entre ambos fue de 90.9%.

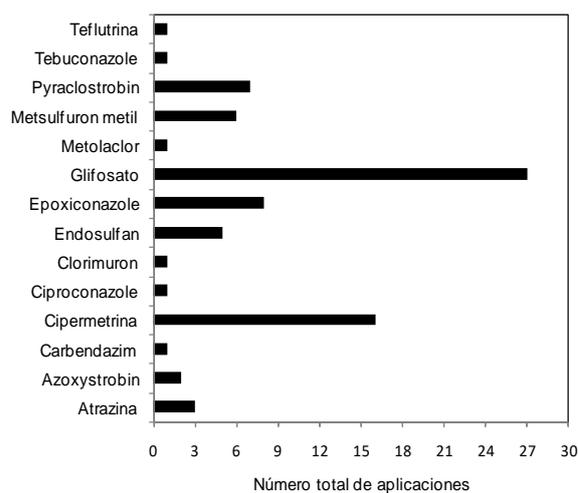
El cultivo de soja1 incrementó su impacto ambiental desde Ms (1 y 2) a Mxat2, situación que no coincidió con soja2, trigo y maíz, donde los CIA no tuvieron relaciones de interés y significancia con los SP. Los SP de monocultivo de soja (Ms1 y Ms2) impactaron de manera similar en el ambiente, coincidiendo en un 66.6% de los principios activos aplicados.

El sistema Mxai1 presentó los mayores valores de CIA para todos los cultivos: soja1 (79.15), trigo (24.00), soja2 (54.65) y maíz (114.14).

Los valores obtenidos fueron muy superiores a los estimados en sistemas de producción donde se aplica el manejo integrado de plagas, práctica que reduce las aplicaciones y minimiza el uso de pesticidas (Kovach et al., 1992; IPM, 2015).

El IRA fue medio en los cultivos de soja1, soja2 y trigo, y alto en maíz (entre 4.88 y 5.55). En los

primeros, los valores fueron los más bajos del rango medio (entre 6.33 y 6.86). El menor correspondió a maíz en Mxai2 (4.88), alto riesgo ambiental, y el mayor a soja1 Ra (6.86), riesgo ambiental medio. Se destaca que el herbicida atrazina en maíz es el que incrementa sustancialmente el IRA en los SP (Di Leo et al., 2013).



**Figura 1. Total de aplicaciones de cada pesticida realizada en los tres cultivos en todos los SP analizados.**

En soja1, los mejores valores de IRA -menos impacto- se observan en Ra2 y Mxai1, en trigo en Ra1 y Ra2, en soja2 en Ra2 y Mxai1, y en maíz, en Ra1 y Mxat2.

Bockstaller (2004) considera ambientalmente aceptables indicadores de riesgo ambiental mayores a 7 y propone incorporar otros para mejorar el seguimiento de los pesticidas en el ambiente.

La relación entre los CIA y los IRA producidos por los pesticidas en los cultivos de los ocho sistemas de producción seleccionados en la cuenca se observan en la Figura 3. La secuencia consecutiva de ascensos y descensos de los valores de los CIA son coincidentes con los descensos y ascensos de los IRA.

Se advierte una muy fuerte asociación entre ambos indicadores ambientales, esto es, los mayores CIA son correspondidos por los menores IRA. Esta condición significa que cuanto mayor es el impacto ambiental negativo de un pesticida tanto mayor es el riesgo ambiental.

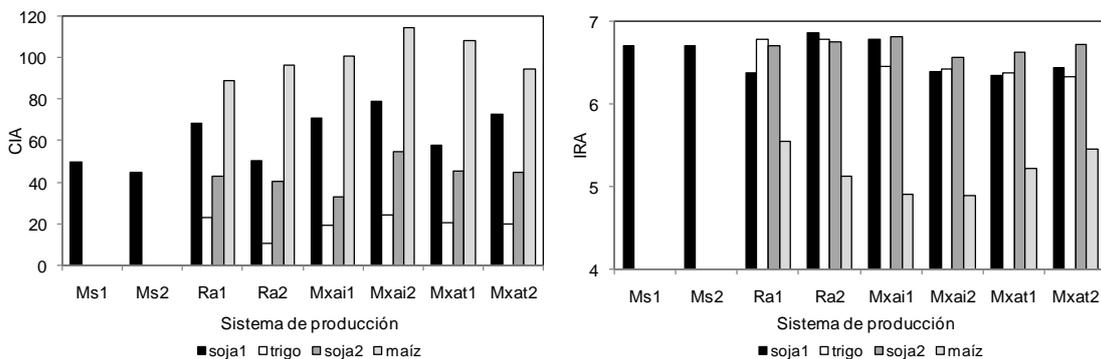


Figura 2. Valores de CIA e IRA de cada cultivo en los sistemas de producción.

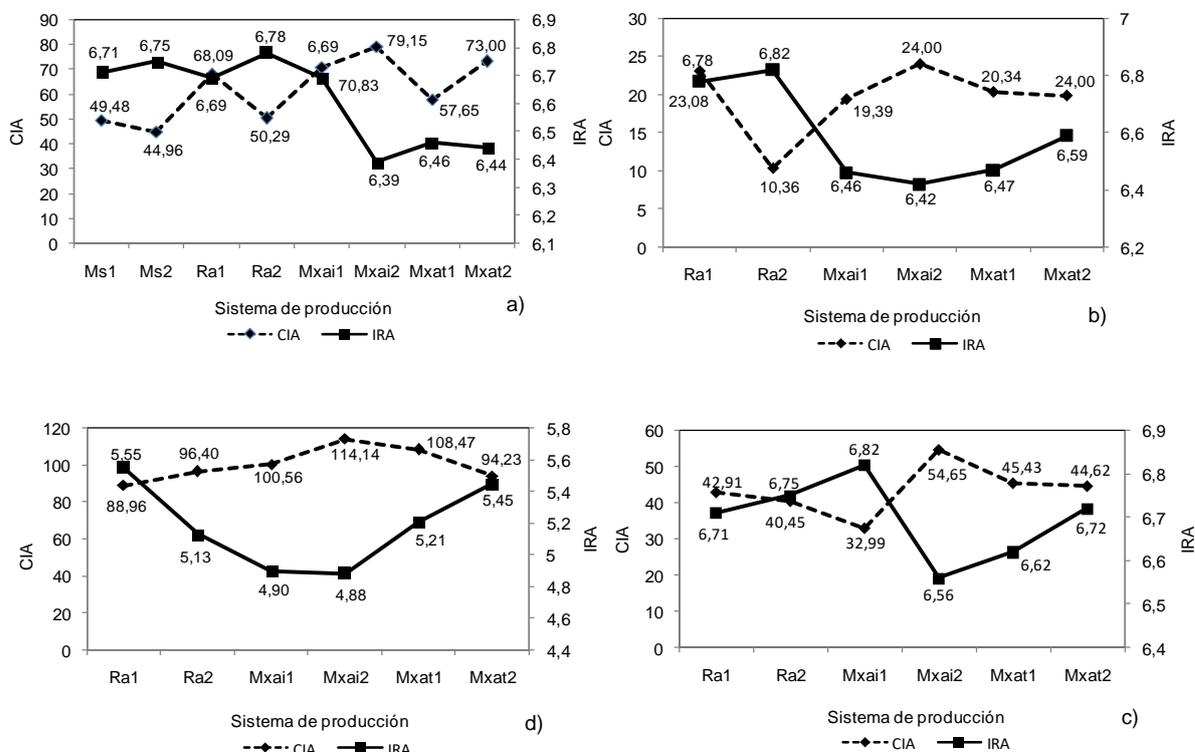


Figura 3. Valores de CIA e IRA en los SP de los cultivos de a) soja1; b) trigo, c) soja2 y d) maíz.

Conocer los efectos en el ambiente de los pesticidas a través de diferentes indicadores puede resultar una medida de la calidad del proceso productivo primario, y tal como asevera Sattler et al. (2007), aporta a la construcción de un sistema de referencia local respecto a cómo se lleva adelante la producción agropecuaria.

Se considera importante disponer de indicadores que posibilitan el análisis de la evolución de los impactos ambientales por cultivos, dado que optimizan la gestión de los sistemas de producción,

brindando una perspectiva relevante a nivel territorial. En este sentido, March et al. (2012) así lo consideraron cuando en Córdoba estudiaron el uso de plaguicidas en maní comparando tres décadas consecutivas (1980, 1990 y 2000). Estos autores mostraron un aumento del impacto ambiental entre las décadas extremo de 167%, sugiriendo considerar este enfoque junto al social para optimizar las condiciones de sustentabilidad.

Es importante disponer de herramientas que permitan valorar los riesgos de la aplicación de los

pesticidas, más cuando se basan en indicadores sencillos de construir y que se orienten a brindar información para minimizar el uso de pesticidas (Castoldi et al., 2007; Bürger et al., 2012).

## CONCLUSIONES

Los dos indicadores ambientales aplicados fueron un recurso útil para valorar la incidencia de los pesticidas en diferentes sistemas de producción de una cuenca. Los mayores impactos negativos y riesgo ambiental se alcanzaron con la inclusión de maíz en las rotaciones. En el sistema mixto con invernada de mayor escala, los impactos fueron los más altos en todos los cultivos. Se halló una importante asociación entre los indicadores, los mayores impactos ambientales negativos coincidieron con el incremento de los riesgos ambientales ocasionados por los pesticidas aplicados.

La gestión de los pesticidas puede optimizarse a partir del conocimiento de los efectos que ocasionan, y con ello, lograr una producción primaria de alimentos compatibles con las crecientes demandas sociales orientadas a su inocuidad.

## REFERENCIAS

- Arregui, M. C.; Sánchez, D E.; Grenón, D.A. 2009. Tablero de comando sobre riesgo de contaminación ambiental por plaguicidas. Actas 38° JAIIO, Mar del Plata, Argentina.
- 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.
- Bonel, B.; Montico, S.; Di Leo, N.; Denoia, J. y Vilche, M.S. 2005. Análisis energético de las unidades de tierra en una cuenca rural. *Revista FAVE*, 4 (1-2):37-47.
- Bürger, J.; Günther, A.; de Mol, F. y Gerowitt, B. 2012. Analysing the influence of crop management on pesticide use intensity while controlling for external sources of variability with Linear Mixed Effects Models. *Agricultural Systems*, 111:13-22.
- Castoldi, N.; Finizio, A. y Bechini, L. 2007. Agro-ecological indicators of field-farming system sustainability. II. Nutrients and pesticides. *Italy Journal Agrometeorology*, 1:6-23.
- Di Leo, N.; Bonel, B. y Montico, S. 2013. Estrategia para la racionalización del uso y manejo de fitosanitarios en espacios periurbanos. Actas VIII Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales. Buenos Aires. Argentina.
- IGM. 1948. Cartas Topográficas: Hojas N° 3360-14-1 y 3; 3360-20-1. Buenos Aires, Argentina.
- INTA. 1975. Carta de suelos: Carcarañá, Andino, Cañada de Gomez-Rosario, Casilda, Arroyo Seco-San Nicolás de los Arroyos. Buenos Aires. Argentina.
- IPM. 2015. Measure the Environmental Impact of Pesticides. Disponible en <http://www.nysipm.cornell.edu/>. Consultado el 10/2/2015.
- Kovach, J.; Petzoldt, C.; Degni, J. y Tette, J. 1992. A method to measure the environmental impact of pesticides. New York's Food and Life Sciences. Bulletin N°. 139. Cornell University, Ithaca, New York, USA. 8 p.
- March, G. J., Oddino, C. M.; Zorza, E.; Soave, J.; Moresi, A.; Garcia, J. y Ferrari, S. 2012. Indicadores de riesgo de plaguicidas en maní en el Centro-Sur de Córdoba. Jornada Nacional de Maní. Córdoba. Argentina.
- Montico, S. y Di Leo, N. 2008. Cambio de la sostenibilidad biofísica en cuencas hidrográficas: tres décadas de reemplazo de pastizales naturales por agricultura. *Cuadernos del CURIHAM*, 13: 1-7.
- Montico, S.; Bonel, B.; Di Leo, N. y Denoia, J. 2013. La aplicación del método GEO en la cuenca del arroyo Ludueña, Santa Fe. Actas VIII Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales. Buenos Aires. Argentina.
- Montico, S. y Di Leo, N. 2015. Riesgo ambiental por pesticidas en una cuenca del sur de la provincia de Santa Fe, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Número 2, Volumen 31 (en impresión).
- Oerke E.C.; H. E. Dehne. 2004. Safeguarding production losses in major crops and the role of crop protection. *Crop Protection*, 23: 275-285.
- Peruzzo, P.; Marino, D.; Cremonte, C.; da Silva, M.; Porta, A. y Ronco, A. 2003. Impacto de pesticidas en aguas superficiales y sedimentos asociado a cultivos por siembra directa. Conferencia Internacional Usos del Agua, Cartagena de Indias, pp. 135-142. Colombia.
- Pimentel, D. 1998. Environmental and economic issues associated with pesticide use. p. 8-11. International Conference on Pesticide Use in Developing Countries: Impact on Health and Environment. Universidad de Costa Rica, San Jose, Costa Rica.
- Sattler, C.; Kachele, H. y Gernot, V. 2007. Assessing the intensity of pesticide use in

- agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119: 299–304.
- Trevisan, M.; Di Guardo, A. y Balderacchi, M. 2009. An environmental indicator to drive sustainable pest management practices. *Environmental Modelling & Software*, 24: 994-1002.
- Vernier, F.; Miralles, A.; Pinet, F.; Carluer, N.; Gouy, V.; Molla, G. y Petit, K. 2013. EIS Pesticides: An environmental information system to characterize agricultural activities and calculate agro-environmental indicators at embedded watershed scales. *Agricultural Systems*, 122 (2013) 11–21.
- Artículo recibido el 02/2015 y aprobado para su publicación el 06/2015.*