



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación



EFECTO DE LA APLICACIÓN DE AGROQUÍMICOS AL CULTIVO DE MAÍZ SOBRE EL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

Sasal M.C.¹, Wilson M.G.^{1,3}, Guezengar A.² y Oszust J.D.³

¹ Grupo Recursos Naturales y Factores Abióticos - INTA EEA Paraná

² Ecole nationale supérieure agronomique de Toulouse

³FCA-UNER

Introducción

La evaluación de los potenciales impactos negativos de la implementación de prácticas agrícolas sobre el ambiente es compleja. Por un lado, el estudio de los cambios en la calidad del agua debidos a los agrosistemas requiere unidades experimentales de evaluación y monitoreo adecuadas. Por otro lado, la definición de medidas de mitigación integralmente viables requiere la comprensión integral de las características de los flujos de agua superficial y subterránea.

Se visualizan dos vías de aporte difuso debidas a fugas de agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas) desde agrosistemas hacia el agua: lixiviación y escurrimiento. El objetivo de este trabajo fue analizar cambios en la concentración de N, P y glifosato del agua de un embalse y de una napa freática durante el ciclo de cultivo de maíz en una microcuenca.

Materiales y Métodos

El sitio de estudio fue un lote agrícola sembrado con maíz en la campaña 2009/10, de 16 ha con un embalse de 1 ha situado en la EEA INTA Paraná, Entre Ríos, Argentina. El suelo es Argiudol ácuico de la serie Tezanos Pinto. El lote presenta dos laderas con pendientes de 4% (oeste) y 8% (este) que desaguan a un canal central conectado con el embalse (tajamar). La microcuenca (relevada topográficamente) que alberga al lote en estudio tiene una superficie total de 29 ha e incluye además un lote de soja de 13 ha, cuyo desagüe se conecta a través de una alcantarilla con el canal central del lote en estudio (Figura 1). La línea color blanco de la Figura 1, representa la zona de aporte del agua de escurrimiento al embalse (cuadrículado), delimitado en función de las curvas de niveles a fin de caracterizar las divisorias de las aguas superficiales. Señalado con líneas oblicuas aparece el lote de estudio. La línea de árboles situada al oeste de dicho lote, constituye una barrera al escurrimiento.

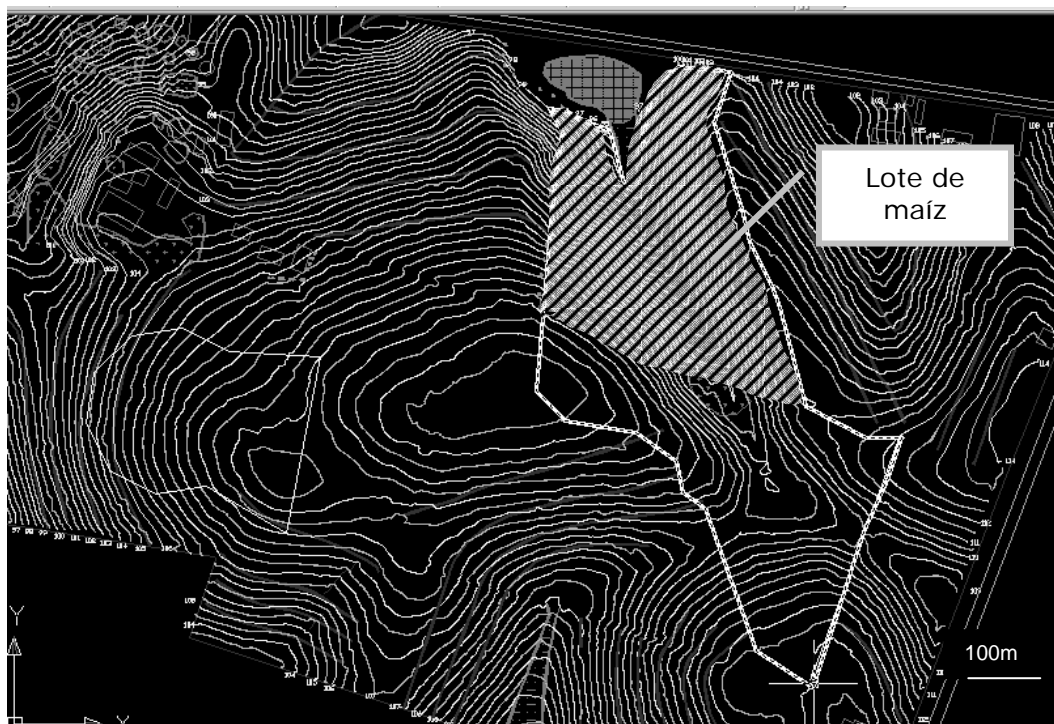


Figura 1. Mapa de delimitación de la microcuenca.

En diciembre de 2008 se instaló una unidad de monitoreo de calidad de agua. Se realizaron 8 pozos (3 alrededor del embalse –bajo-, 3 en posiciones medias de ambas laderas –medio- y 2 en la posición alta del lote –alto-) perforados para monitoreo del nivel freático de una napa colgante cercana a la superficie de flujo local (Figura 2). Los pozos denominados 1, 2 y 3 se ubican en la posición baja del lote de estudio (97.33 m snm, 97.91 m y 98.91 m, respectivamente), el 4, el 5 y el 7 en posición media (100.7 m, 102.85 m y 105.96 respectivamente), y el 6 y el 9 en posición alta (105.5 m y 109.23, respectivamente). El pozo 8 (de referencia) se ubica a 103.97 m snm en el Observatorio Agrometeorológico de la Estación Experimental, situado a 650 m de la microcuenca, donde fueron registradas las precipitaciones. Se colocó una regla para medir el nivel de agua superficial en el embalse.



Figura 2. Mapa de la microcuenca y localización de los pozos

La secuencia de cultivos en el lote bajo estudio es maíz-trigo/soja de segunda siembra bajo siembra directa continua y durante el período de muestreo tuvo la fase maíz. El maíz fue sembrado el 15/09/09 y fertilizado con 14 kg ha^{-1} de P y $92,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de N. Se realizaron aplicaciones de sulfosato (glifosato p.a. 62%) el 20/08/09 (2 l ha^{-1}) y el 21/09/09 ($1,5 \text{ l ha}^{-1}$). En el lote de soja se aplicaron 2 l ha^{-1} de sulfosato el 15/12/09 y $2,5 \text{ l ha}^{-1}$ de glifosato (p.a. 46%) el 15/01/10.

Se registró el nivel freático y del embalse con frecuencia semanal. Con frecuencia aproximada bimestral se realizaron muestreos de la calidad del agua subterránea entre junio de 2009 y febrero de 2010 y superficial (embalse) entre enero de 2009 y febrero de 2010. Se determinó nitrógeno (N) de nitrato y Fósforo disuelto reactivo (P) en las muestras de agua por el método de fenol disulfónico y colorimetría del ácido ascórbico, respectivamente. El glifosato y el ácido amino metil fosfónico (AMPA) se analizaron por derivatización pre-columna (FMOC-CL) y cromatografía líquida.

Resultados y Discusión

Nivel freático y del embalse

Para el periodo en estudio, el nivel del embalse osciló entre las cotas 94,7 m y 96,3 m (Figura 3a) y el nivel freático osciló entre -0,2 y -1,2 m en el pozo 1 y entre -6.9 y -8.2 m para el pozo 9. Estas oscilaciones se debieron a la rápida respuesta de la napa ante las precipitaciones y del embalse al aporte de agua superficial por escurrimiento.

En todos los pozos se registró un aumento importante del nivel freático luego a la importante lluvia de 236,5 mm ocurrida el 4 de marzo de 2010. En la figura 3b se presenta la variación del nivel freático en el pozo 8 como ejemplo. Esto podría indicar que la recarga de la napa freática puede realizarse en toda el área de la cuenca o que el aumento de la presión hidrostática en el área de recarga (partes altas) genera un flujo muy rápido hacia la zona de descarga. Independientemente de las causas, puede suponerse que el régimen de precipitaciones tiene un impacto inmediato sobre las variaciones de cotas del nivel freático y su recarga.

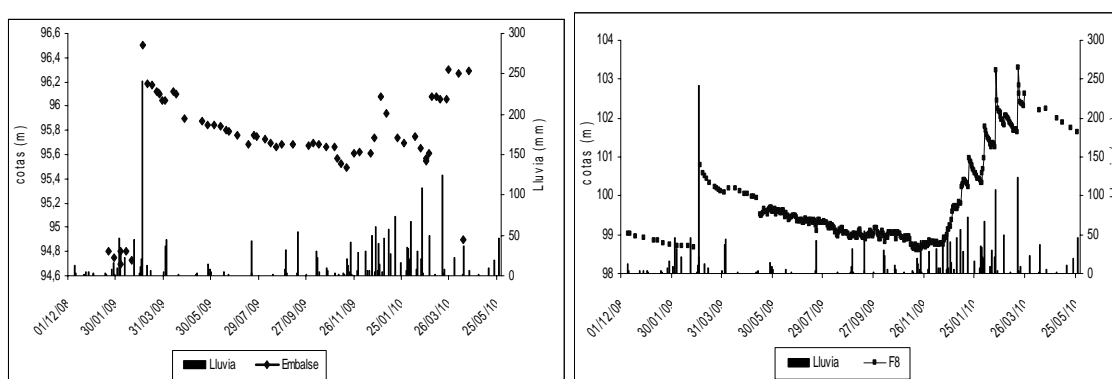


Figura 3. a) Cotitas del embalse y b) Cotitas del nivel freático en el pozo 8.

En todos los pozos se observó un aumento del nivel freático a partir de diciembre de 2009 hasta marzo de 2010 (Figura 3b). Este aumento coincidió con un régimen mayor de precipitaciones. Sin embargo, este aumento del nivel freático no fue constante, observándose descensos puntuales que indicarían una descarga entre cada lluvia. También se observó una disminución regular a partir de abril cuando

cesaron las precipitaciones. La repuesta de la napa a las precipitaciones es de manera rápida, tanto para la recarga como para la descarga.

Nitrógeno en el agua superficial y subterránea

Luego de la aplicación de fertilizante la concentración de N en el agua subterránea aumentó. A partir de noviembre, la concentración en N bajó debido al efecto de dilución provocado por la recarga de la napa freática. La dinámica de la concentración de N fue similar en las distintas posiciones del paisaje y se observaron mayores concentraciones en la posición más alta (Figura 4). Según Foster e Hirata (1991), los flujos de agua en a las posiciones bajas del paisaje son mayormente ascendentes mientras los de posiciones altas son descendentes, o sea que la composición química del agua subterránea en las posiciones bajas del paisaje sería representativa de la composición química del agua en profundidad en las posiciones más altas. Se puede observar que las concentraciones en N medidas en el pozo 6 (posición alta) son mayores que las medidas en el pozo 5 (posición media), las cuales son mayores a las registradas en pozo 2 (posición baja) (Figura 4). Estos resultados podrían también mostrar un efecto buffer del suelo.

En el agua superficial no se detectaron variaciones de N luego de la fertilización, pero se observó un efecto de dilución luego de la precipitación de marzo de 2009 (Figura 4).

Las concentraciones de N registradas en el agua superficial y subterránea fueron muy inferiores al límite de 30 mgL⁻¹, valor umbral para la evaluación de riesgos de eutrofización de aguas superficiales (Marchetti y Verna 1992; Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, 2003) y el límite de 10 mgL⁻¹ para agua de bebida (USEPA, 1995). Estos umbrales son utilizados por el código alimentario argentino y la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación que establecen los niveles guía de calidad de agua.

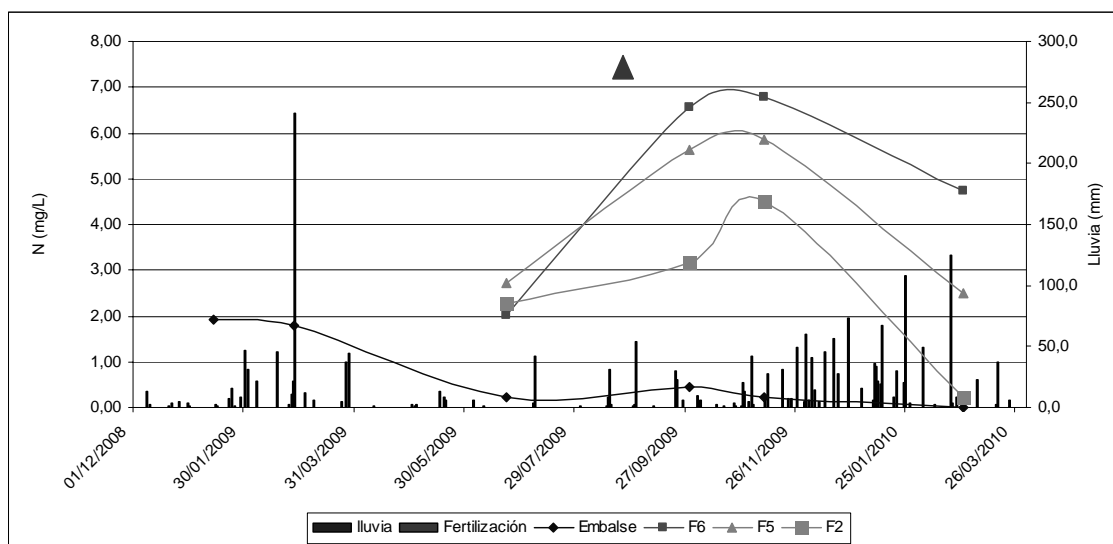


Figura 4. Concentraciones en N en la napa freática y en el embalse, régimen de precipitaciones e intervención en el cultivo de maíz.

Fósforo en el agua superficial y subterránea

Se observó una relación entre el aumento de la concentración de P en el agua superficial y las precipitaciones ocurridas (Figura 5). Esto podría deberse a la

pérdida de suelo por erosión hídrica. El aumento de la concentración de P medido en junio 2009 sería causado por un importante aporte de sedimentos provocado por la lluvia de 236,5 mm con una intensidad de 30 mmh⁻¹ del 4 de marzo de 2009. En los últimos dos muestreos se registró un aumento de la concentración de P en el agua del embalse en coincidencia con un incremento en la precipitaciones. Se observó además que ningún muestreo presentó concentraciones de P superiores al límite de 10 mg l⁻¹, umbral considerado para la evaluación de riesgos de eutrofización de aguas superficiales (Marchetti y Verna, 1992, Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, 2003).

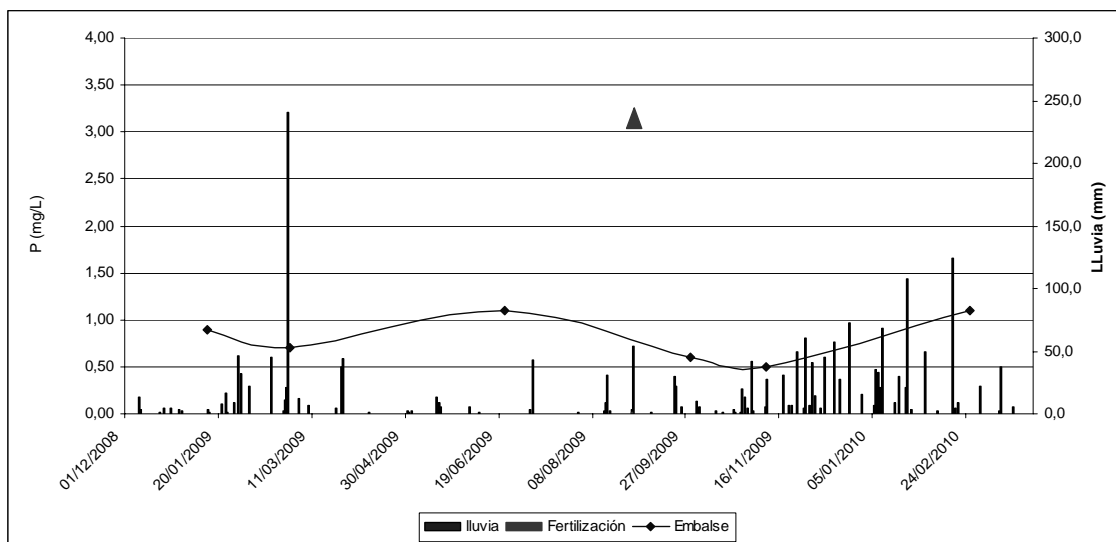


Figura 5. Concentraciones en P en el embalse, régimen de precipitaciones e intervención en el cultivo de maíz.

Glifosato y AMPA en el agua superficial y subterránea

Con respecto a las concentraciones de glifosato y AMPA, en 2 fechas de muestreo se encontraron concentraciones superiores al límite de detección. Luego de las aplicaciones de pre-siembra y pre-emergencia del maíz se registraron en el pozo situado en la posición más baja (pozo 1) valores de 0,5 µg l⁻¹ de glifosato y en el muestreo del 11 de febrero de 2010 en el embalse se registraron 1,38 y 1,82 µg l⁻¹ de glifosato y AMPA, respectivamente. Estos niveles se atribuyeron a las aplicaciones realizadas al cultivo de soja.

Tabla 1. Concentraciones de glifosato en agua y momento y dosis de las aplicaciones

| | 11/06/2009 | 20/08/2009 | 21/09/2009 | 30/09/2009 | 09/11/2009 | 15/12/2009 | 15/01/2009 | 11/02/2010 |
|----------------------|------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|------------|-------------------------|---------------------------|-------------|
| Freátmetro alto (F9) | ND | 2L/ha sulfosato en maíz | 1.5 L/ha sulfosato en maíz | ND | ND | 2L/ha glifosato en soja | 2.5L/ha glifosato en soja | ND |
| Freátmetro bajo (F1) | ND | | | <0,5 µg l ⁻¹ | ND | | | ND |
| Embalse | ND | | | ND | ND | | | 1,38 µg.l-1 |

El límite admitido en Europa para glifosato y AMPA en agua de bebida es 0,1 µg l⁻¹ (Vereecken, 2005). En USA este nivel es más elevado, aunque hay importantes diferencias entre Estados, valores comprendidos entre 6 y 700 µg l⁻¹ (USEPA, 2002). La Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación establece como nivel guía admitido para ingesta diaria de glifosato el valor 0,1 mgkg⁻¹ de masa corporal, límite estimado por la USEPA. Así, asumiendo una masa corporal de 60 kg, un consumo diario de agua por persona igual a 2 l día⁻¹ se establece el nivel guía de

calidad para agua de bebida de $300 \mu\text{g l}^{-1}$, expresado como sal de glifosato con isopropilamina.

Conclusiones

Si bien el período de estudio analizado es muy breve para evaluar el impacto ambiental en un agrosistema, permitió comprobar que tanto el embalse como la napa freática responden rápidamente a las precipitaciones y registraron variaciones en las concentraciones de nutrientes y glifosato. Sin embargo, no se registraron concentraciones superiores a los umbrales admitidos que indiquen peligro de contaminación.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó en el marco del Proyecto Regional INTA ERIOS-630021 y de los Proyectos Nacionales AEGA-221631, AEGA-221641 y PNECO-093012. Agradecemos la realización de los trabajos de campo a C. Acosta, los análisis de laboratorio de C. Hasenahuer y los datos meteorológicos de N. Garciarena y G. Maffini. También, a G. Pausich, G. Schulz y D. Bedendo por los trabajos de cartografía y análisis de datos de relevamientos e imágenes.

Bibliografía

- FOSTER S. y R. HIRATA (1991). Determinación del Riesgo Ambiental de Aguas subterráneas, una metodología basada en los datos existentes. En el marco de las Terceras Jornadas de Actualización en Hidrología Subterránea. Huerta Grande, Córdoba, marzo de 1994. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- MARCHETTI R. and N. VERNA 1992. Quantification of the phosphorus and nitrogen loads in the minor rivers of the Emilia-Romagna coast (Italy): A methodological study on the use of theoretical coefficients in calculating the loads. Intern. Confer. on Marine Coastal Eutrophication. Bologna, 21-24 Marzo 1990. Sci. Total Environ.: 315-336
- SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA NACIÓN. 2003. Niveles Guía Nacionales de Calidad de Agua Ambiente. Desarrollos de niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente correspondientes a glifosato. 24 p.
- USEPA (US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). 1995. Drinking water regulations and health advisories. Washington D.C., Office of Water, U. S. Environmental Protection Agency, 11 p.
- USEPA. 2002. Occurrence Estimation Methodology and Occurrence Findings for Six-Year Review of National Primary Drinking Water Regulations. Glyphosate - DRAFT. EPA Report/815-D-02-005, Office of Water, 192-197.
- VERECKEN H. 2005. Mobility and leaching of glyphosate: a review. Pest Manag Sci 61:139-1151