

Monitoreo de glifosato en agua superficial en Entre Ríos.

La investigación acción participativa como metodología de abordaje

SASAL, M.C.¹; WILSON, M.G.¹; SIONE, S.M.²; BEGHETTO, S.M.³; GABIOUD, E.A.¹; OSZUST, J.D.²; PARAVANI, E.V.⁴; DEMONTE, L.⁵; REPETTI, M.R.⁶; BEDENDO, D.J.¹; MEDERO, S.L.⁶; GOETTE, J.J.¹; PAUTASSO, N.¹ y SCHULZ, G.A.⁷

RESUMEN

Las pérdidas de glifosato desde agroecosistemas y su impacto sobre el agua superficial generan preocupación en los actores de la comunidad rural y urbana de Entre Ríos, habiéndose generalizado percepciones de riesgo. La ausencia de información ha agudizado la sensibilidad social, requiriéndose un abordaje adecuado. Los objetivos fueron: conformar una red de monitoreo del efecto del uso de glifosato sobre la calidad del agua (RMCA) en el área agrícola de Entre Ríos; estimar la concentración de glifosato en agua superficial, y acordar prácticas agronómicas de bajo impacto ambiental. Se desarrolló una investigación acción participativa (IAP), con participación de diferentes actores en todas las instancias del estudio. Se llevó adelante un programa de sensibilización de profesionales, productores y organismos interesados en conocer la calidad de aguas. La selección de sitios y el muestreo fueron realizados por los integrantes de la RMCA. Se establecieron tres períodos de muestreo: 1.º: 15 agosto – 15 setiembre 2012; 2.º: 15 noviembre – 15 diciembre 2012, y 3.º: 15 marzo – 15 abril 2013. Las concentraciones de glifosato fueron clasificadas en 3 categorías: <0,1 µg L⁻¹; 0,1-240 µg L⁻¹ y >240 µg L⁻¹. La RMCA resultó integrada por 70 miembros. Se evaluaron 311 puntos y 703 muestras de agua. En el primer período, 4,7% de los puntos superó el nivel de 240 µg L⁻¹, mientras que en el segundo todas las concentraciones resultaron inferiores, de las cuales un 69,2% presentó valores inferiores a 0,1 µg L⁻¹. El 76% de las muestras de marzo/abril presentó concentraciones inferiores a 0,1 µg L⁻¹. Los resultados se discutieron con los integrantes de la RMCA en un taller replicado en cuatro localidades y en un segundo evento se acordaron prácticas agronómicas de bajo impacto ambiental. La IAP demostró ser una metodología adecuada para analizar los cambios en la calidad del agua superficial debidos al uso de glifosato en Entre Ríos. La cuantificación de la concentración de glifosato permitió analizar el riesgo de contaminación no medido precedentemente, lo cual fue motor de búsqueda de soluciones consensuadas entre los diferentes actores del sector agroalimentario para mitigar o remediar impactos ambientales por el uso de agroquímicos.

Palabras clave: Entre Ríos, agua superficial, glifosato, investigación, acción participativa.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Paraná. Ruta 11, km 12.5, Oro Verde, Entre Ríos.

²FCA- UNER. Ruta 11, km 10.5, Oro Verde, Entre Ríos.

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Cambio Rural II, Agencia de Extensión Rural (AER) Crespo, Almafuerde 998 y Ruta Nacional 131, Crespo, Entre Ríos.

⁴FI-UNER; Ruta 11, km 10.5, Oro Verde, Entre Ríos.

⁵FIQ-UNL; Santiago del Estero 2829, Santa Fe, Santa Fe.

⁶Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIRN), Instituto de Recursos Biológicos; Nicolás Repetto y de los Reseros s/n, Hurlingham, Buenos Aires.

⁷Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIRN), Instituto de Suelos; Nicolás Repetto y de los Reseros s/n, Hurlingham, Buenos Aires.

Dirección: Ruta 11, km 12,5, Oro Verde. Entre Ríos. Correo electrónico: sasal.maria@inta.gob.ar

ABSTRACT

There is concern about glyphosate losses from agroecosystems and its impact on surface water in urban and rural communities of Entre Ríos, having a widespread perception of risk in public opinion. Social awareness was exacerbated by lack of information, which requires an adequate approach. The objectives were: i) to set up a network for monitoring the effect of glyphosate use on water quality (RMCA) in the agricultural area of Entre Ríos, ii) to estimate glyphosate concentration in surface water as a result of losses from the agroecosystem, and iii) to identify management practices of low environmental impact to be agreed on with members of the agro alimentary sector. The methodological framework applied corresponds to a Participatory Action Research (PAR) approach. An awareness program for professionals, farmers and organizations interested in knowing water quality was carried out. Site selection and water sampling were carried out by RMCA members. A schedule of 3 sampling periods was established: 1º) August 15th - September 15th 2012, 2º) November 15th - December 15th 2012 and 3º) March 15th - April 15th 2013. Concentration of glyphosate in the water samples was determined by the Elisa technique, using as a UPLC-MS/MS verification method. Glyphosate concentrations were classified according to the guide levels defined by the Undersecretariat of Water Resources of Argentina and the European Union: $< 0.1 \mu\text{g L}^{-1}$; $0.1\text{-}240 \mu\text{g L}^{-1}$ y $> 240 \mu\text{g L}^{-1}$. The RMCA network was integrated by 70 members becoming a community-based organization to promote the preservation of surface water. 311 monitoring points and 703 water samples were evaluated. In the first period, 4.7% of the monitoring points overcame the level of $240 \mu\text{g L}^{-1}$ whereas in the second sampling instance all concentrations results were lower, 69% of them showing values below $0.1 \mu\text{g L}^{-1}$. 76% of the March-April samples resulted in concentrations below $0.1 \mu\text{g L}^{-1}$. Results were discussed by RCMA members in a workshop that was replicated at 4 locations. In a second meeting, the members identified on agronomic practices of environmental low impact. The PAR proved to be an adequate methodology to analyze changes in the quality of surface water due to the use of glyphosate in the agricultural area of Entre Ríos. The quantification of glyphosate concentration in water allowed to know the risk of pollution, not previously measured, which promoted the search for consensual solutions among stakeholders of the agro alimentary sector to either mitigate or solve environmental impact by the use of agrochemicals.

Keywords: Entre Ríos, surface water, glyphosate, Participatory action research.

INTRODUCCIÓN

En Argentina se ha producido un proceso de expansión del cultivo de soja, por el reemplazo de sistemas naturales a partir del desmonte y por la sustitución del área sembrada con otros cultivos, dando origen a un escenario de simplificación agrícola (Aizen *et al.*, 2009). La superficie destinada a soja se ha duplicado en los últimos 10 años. El incremento en la superficie con soja bajo siembra directa, sumado al uso de variedades transgénicas resistentes a glifosato, ha generado un aumento en los volúmenes utilizados de este herbicida, representando el 65% de fitosanitarios comercializados (CASAFE, 2014). Entre Ríos ha acompañado este cambio en el uso de la tierra. El área destinada a soja en la campaña 2012/13 alcanzó 1.363.200 ha, incrementando 130% respecto al área sembrada en 2000 (Bolsa de Cereales Entre Ríos, 2015).

Los agroquímicos representan potenciales fuentes de contaminación ambiental. Los ambientes acuáticos son sistemas vulnerables, receptores naturales de las sustancias emitidas por las actividades agrícolas e industriales (Manahan, 2007). Los impactos generados por las prácticas agrícolas sobre la calidad del agua derivan fundamentalmente del aporte difuso de las fugas de agroquímicos por deriva, escurrimiento o erosión, y del aporte puntual debido a prácticas mal implementadas. Entre estas pueden señalarse las pulverizaciones sobre las nacientes de

arroyos, la carga y el lavado de equipos aplicadores y la acumulación de envases vacíos en cursos de agua (Sasal *et al.*, 2012a; Di Fiori *et al.*, 2012). En Entre Ríos, las características naturales de topografía ondulada así como la baja capacidad de infiltración de sus suelos y las precipitaciones intensas en primavera-verano-otoño predisponen a gran parte de la superficie provincial a procesos de degradación de suelos, especialmente por erosión hídrica (Scotta y Papparotti, 1990), a la vez que incrementan el riesgo de contaminación de los cursos de agua por escurrimiento desde agroecosistemas.

Diversos estudios han demostrado el impacto ambiental de la utilización de glifosato. En el suelo, es adsorbido mediante uniones fosfato y degradado por microorganismos, lo que determina una escasa movilidad tanto del glifosato como de su principal metabolito, el ácido amino metil fosfónico (AMPA). Sin embargo, estudios de lixiviación y escurrimiento indican que puede ser transportado hacia las capas profundas del suelo o hacia cursos de agua superficiales cuando su aplicación se realiza previo a lluvias intensas (Flury 1996; Villholth *et al.*, 2000; Jaynes *et al.*, 2001; Petersen *et al.*, 2002; Rampoldi, 2007; Sasal *et al.*, 2010). En consecuencia, se han detectado glifosato y AMPA en cursos de agua superficial aledaños a campos agrícolas (Primost, 2013; Sasal *et al.*, 2012a; Aparicio *et al.*, 2013; Etchegoyen, 2014; Ayarragaray *et al.*, 2015).

El Ministerio de Ambiente de Canadá (1987) fija en $280 \mu\text{g L}^{-1}$ la concentración máxima aceptable de glifosato en agua potable y establece como umbral de largo plazo para la protección de la vida acuática en agua dulce una concentración de $800 \mu\text{g L}^{-1}$ (CWQGs, 2012). La Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos ha determinado en agua potable las metas máximas de niveles contaminantes para glifosato en $700 \mu\text{g L}^{-1}$ y ha fijado puntos de referencia para la vida acuática entre 1.800 y $49.900 \mu\text{g L}^{-1}$ (USEPA, 2007). La Directiva Europea establece un valor paramétrico de $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$ para el total de plaguicidas y de $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ para cada plaguicida individual. En Argentina, la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación publicó en el año 2003 los niveles guías nacionales de calidad de agua ambiente correspondientes a glifosato. Para fuentes de consumo humano se establece un nivel $<300 \mu\text{g L}^{-1}$, expresado como sal isopropilamina de glifosato, correspondiendo a la protección de la biota acuática un Valor Crónico Final de $240 \mu\text{g L}^{-1}$. El Código Alimentario Argentino no define niveles guía de concentración de glifosato para agua potable de suministro público.

El glifosato ha sido clasificado por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Cámara de Fitosanitarios Argentina como un producto de mediana a baja peligrosidad. Sin embargo, la Agencia Internacional para la Investigación sobre Cáncer (IARC) dependiente de la OMS lo ha reclasificado e incluido en el grupo 2A, como producto probablemente cancerígeno (Guyton *et al.*, 2015). En este contexto, la detección de glifosato en agua constituye una temática que genera preocupación entre los diferentes actores de la comunidad rural y urbana, habiéndose generalizado percepciones de riesgo en la opinión pública. La ausencia de información fehaciente ha agudizado la sensibilidad social, requiriéndose un abordaje metodológico adecuado.

La investigación acción participativa (IAP) es una metodología que apunta a la producción de un conocimiento propositivo y transformador, mediante un proceso de debate, reflexión y construcción colectiva de saberes entre los diferentes actores de un territorio con el fin de lograr la transformación social (Fals Borda y Rodríguez Brando, 1987). Mediante la interacción entre el saber técnico-científico y el saber empírico, una comunidad identifica un problema, revisa lo que se conoce acerca de ello, analiza la información generada, extrae conclusiones, aprende a conducir conjuntamente una investigación e implementa soluciones (Selener, 1997). Esto permite que la toma de decisiones desde las etapas iniciales del proceso, recaiga sobre el total de la población involucrada.

Se plantearon los siguientes objetivos: i) conformar una red de monitoreo del efecto del uso de glifosato sobre la calidad del agua (RMCA) en el área agrícola de Entre Ríos; ii) estimar la concentración de glifosato en agua superficial, producto de las pérdidas desde agroecosistemas e iii) identificar y acordar con los actores del sector agroalimentario, prácticas agronómicas de bajo impacto ambiental. Estos objetivos se desprendieron de las preguntas de investigación: ¿se detecta glifosato en el agua superficial del área

agrícola de Entre Ríos? ¿Cuáles son las prácticas por modificar para preservar el ambiente?

MATERIALES Y MÉTODOS

El marco metodológico del estudio corresponde a una IAP, verificándose la participación de los diferentes actores de la cadena agroalimentaria en todas las instancias del estudio. Se contemplaron tres etapas:

1. Montaje institucional y metodológico de la investigación

Área de estudio

El estudio se desarrolló a escala regional, dentro de los límites de Entre Ríos.

Conformación de la red de monitoreo

Se llevó adelante un programa de sensibilización y motivación de los diferentes actores de la cadena agroalimentaria. El programa contempló una serie de reuniones de trabajo, en las que se efectuó la presentación del estudio, sus objetivos, actividades previstas y resultados esperados. Se elaboró un video (<https://www.youtube.com/watch?v=OE50D1HB-qM>) y un díptico. Se convocó a profesionales, productores y organismos interesados en conocer la calidad de aguas en cursos linderos a lotes agrícolas. Se creó una cuenta de correo electrónico de uso compartido para los agentes involucrados en el estudio a cargo del INTA.

2. Obtención de datos y análisis de la información

Muestreo de cursos de agua superficial

La selección de los sitios y el muestreo de agua para el análisis de su calidad fueron realizados por los integrantes de la red. Se muestrearon sitios próximos a lotes de producción agrícola o forestal en la campaña 2012/2013. La ubicación de los puntos de monitoreo respondió a los criterios de accesibilidad y representatividad.

Fruto del consenso, la frecuencia de muestreo fue definida en función de la estacionalidad de pulverizaciones a efectos de detectar los cambios de concentración de glifosato en el tiempo. Se establecieron tres períodos de muestreo:

- 1.º período: 15 de agosto – 15 de setiembre, para contemplar efectos de aplicaciones de barbecho químico y de escurrimiento por las primeras precipitaciones de primavera.
- 2.º período: 15 de noviembre – 15 de diciembre, próximo a la fecha de siembra del cultivo de soja y de las aplicaciones de pre y posemgerencia
- 3.º período: 15 de marzo – 15 de abril, distanciado de las fechas de aplicaciones, luego de la cosecha de soja.

Los requisitos para la extracción de las muestras fueron difundidos a través del video y el díptico.

Condiciones meteorológicas

A fin de evaluar la influencia de las precipitaciones en relación con los tres períodos de muestreo, se efectuó el cálculo de las precipitaciones acumuladas en el lapso 15 junio – 15 setiembre; 16 setiembre – 15 diciembre y 16 diciembre – 15 abril (fig. 1). A nivel provincial, en el trimestre junio-agosto de 2012 se registraron 179 mm. La lluvia total esperada para los meses de setiembre y octubre es de 190 mm; no obstante durante el año

2012, el promedio provincial fue 400 mm, lo que resultó 110% superior al valor histórico. La precipitación acumulada entre noviembre de 2012 y marzo de 2013 (594 mm) resultó próximo al valor histórico (600 mm). Sin embargo, las precipitaciones más importantes se ubicaron dentro de la primera quincena de diciembre, con una gradual disminución en enero y un aumento hacia la 2.ª quincena de febrero. Por una parte, en diciembre de 2012 llovieron 255 mm vs. los 110 mm habituales; esto representó el 43% de las lluvias totales del periodo analizado. Por otra parte, enero tuvo tan solo una participación del 9% del monto total acumu-

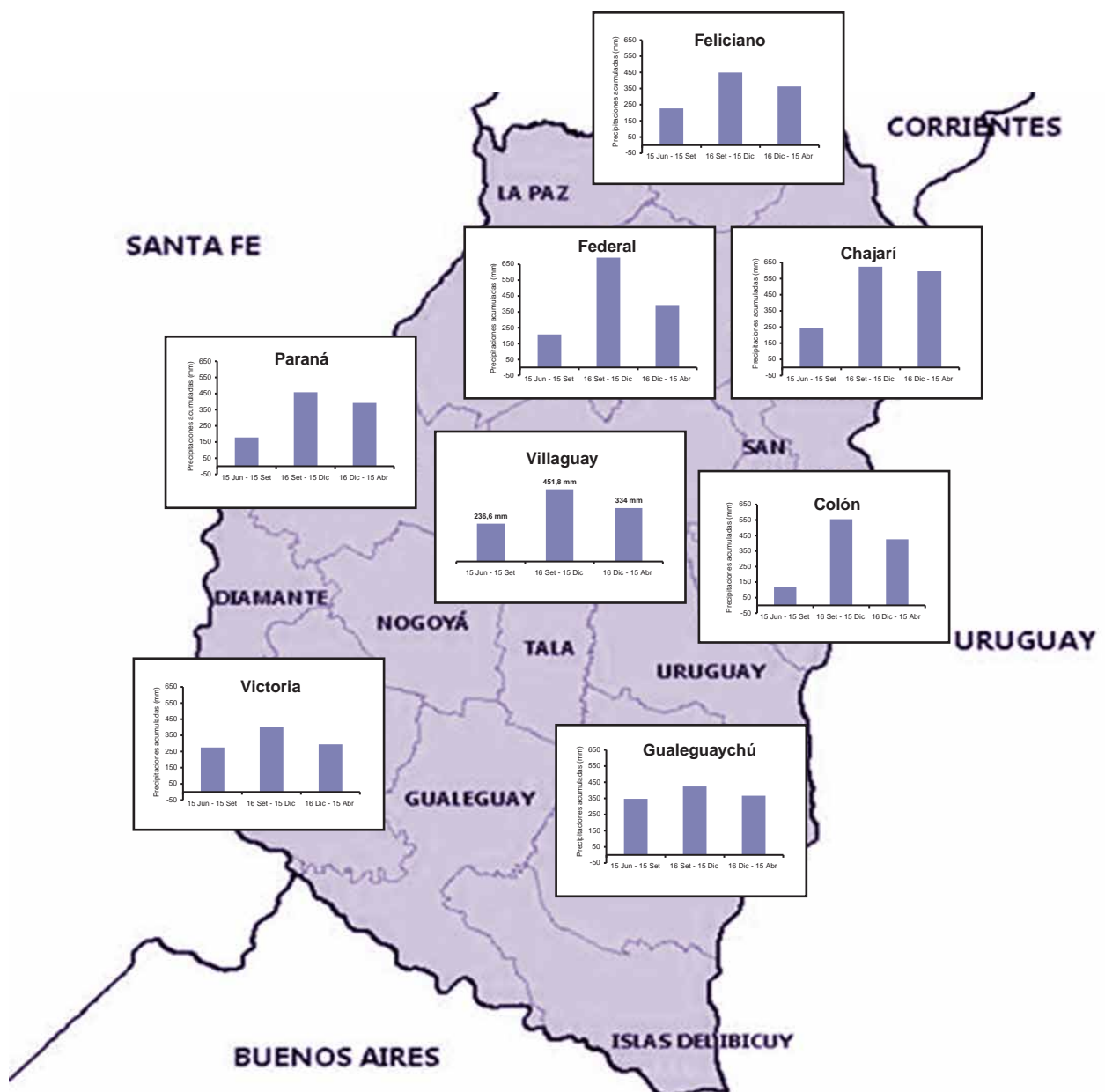


Figura 1. Precipitaciones acumuladas (mm) por período de muestreo y por zona.

lado de noviembre a marzo (54 mm), el valor histórico fue próximo a 120 mm (SIBER, 2015).

Determinación de la concentración de glifosato

Se puso a punto la técnica de inmunoabsorción ligada a enzimas (ELISA), empleando el kit Abraxis® (Cailla *et al.*, 1973). Concentraciones de glifosato menores al límite inferior de detección (0,075 µg L⁻¹) fueron informadas como no detectadas (ND), mientras que valores mayores al último estándar (4 µg L⁻¹) fueron informadas como concentraciones no cuantificables (NC) por el ensayo (Paravani *et al.*, 2016). Esta técnica permitió reducir los costos analíticos.

Cómo método de verificación, las muestras NC, junto con un subgrupo de muestras seleccionadas aleato-

riamente, fueron analizadas también por la técnica de UHPLC-MS/MS, en el laboratorio PRINARC (Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral), según Ibañez *et al.* (2006) y Hanke *et al.* (2008), con modificaciones (Sasal *et al.*, 2015). El límite de detección de glifosato por esta técnica es de 0,2 µg L⁻¹.

Los valores de concentración de glifosato fueron clasificados en categorías, en función de los niveles guía definidos por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación Argentina y por la Unión Europea. Estas categorías fueron acordadas por los integrantes de la RMCA, resultando: <0,1 µg L⁻¹; 0,1-240 µg L⁻¹ y >240 µg L⁻¹. Se calculó la frecuencia porcentual de cada categoría de concentración.

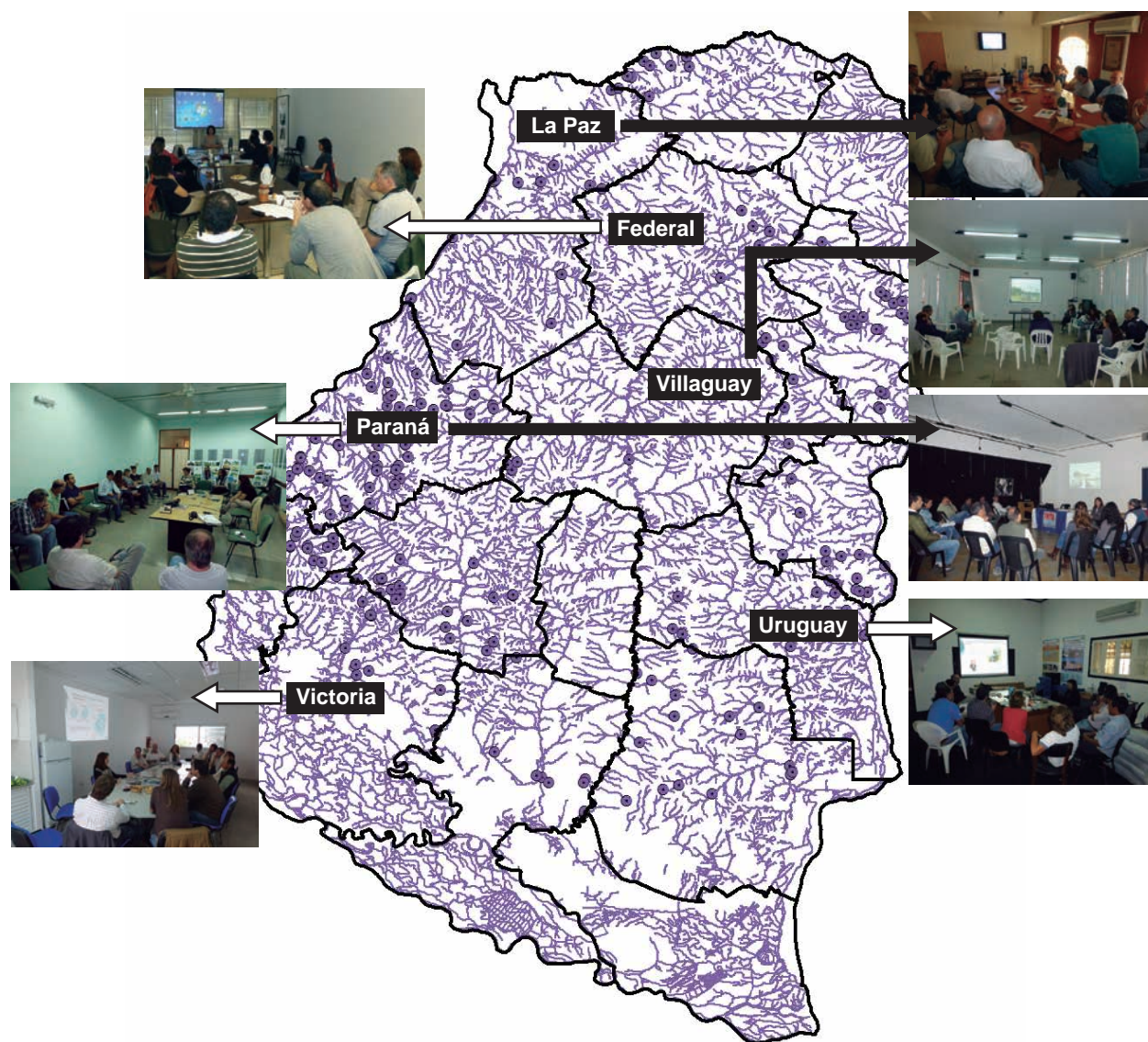


Figura 2. Localidades de Entre Ríos donde se realizaron los talleres de la RMCA. Flechas blancas: localidades donde se desarrolló el taller de análisis y discusión de resultados. Flechas negras: localidades donde se desarrolló el taller de consolidación de la RMCA y estrategias a futuro.

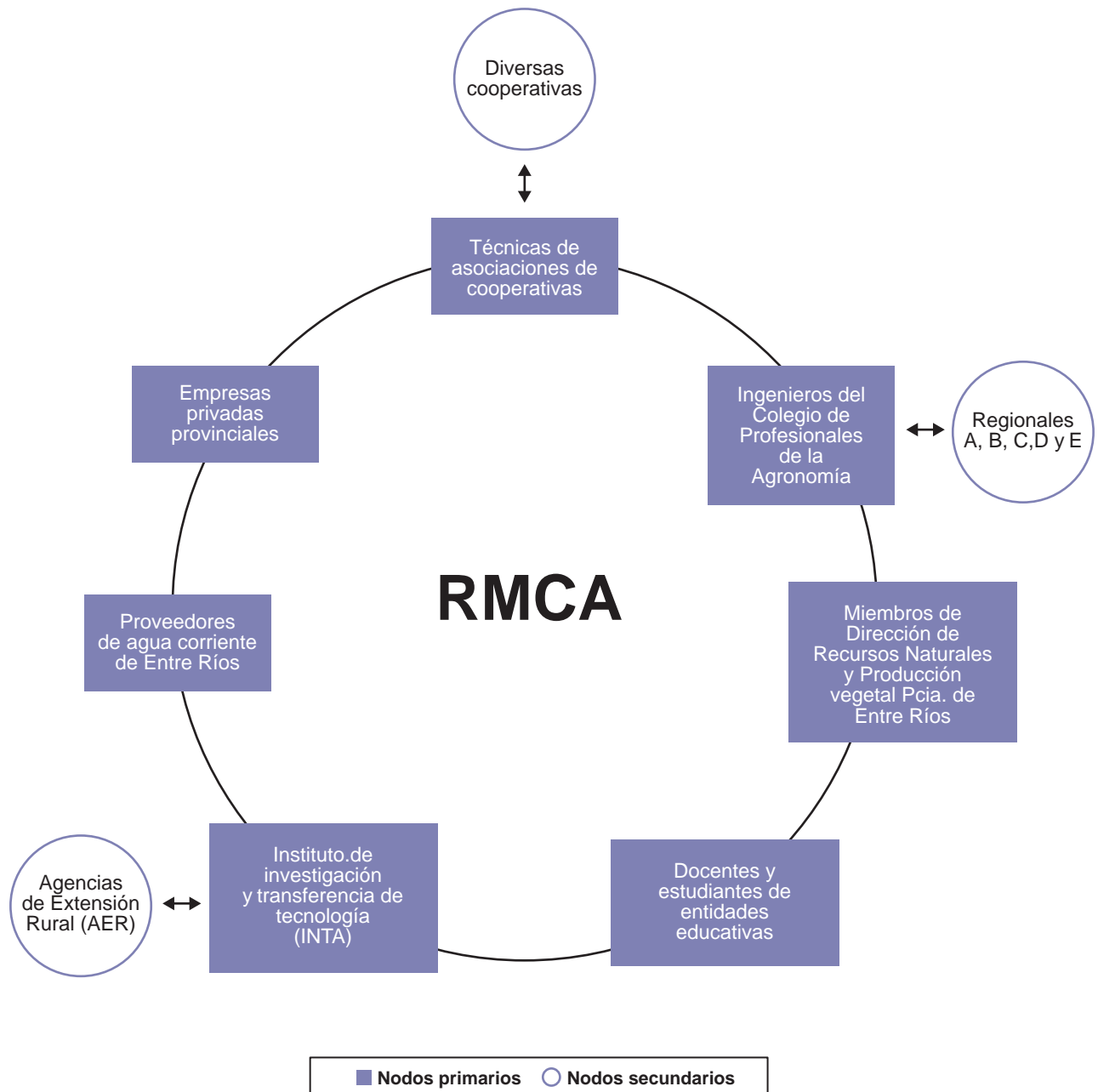


Figura 3. Estructura de la RMCA.

Análisis de la información

Los datos resultantes del análisis de las muestras de agua fueron enviados por correo electrónico en forma individual a cada integrante de la red. Posteriormente, se desarrolló un taller de análisis y discusión de los resultados globales. Los objetivos de este taller fueron someter a análisis e interpretación los datos, discutir aspectos referidos a percepción y niveles guía, temas considerados de gran importancia por los participantes de la RMCA. El taller, de 3 horas de duración, se replicó en 4 localidades de la provincia (fig. 2): Victo-

ria (19/08/14), Paraná (20/08/14), Federal (21/08/14) y Concepción del Uruguay (22/08/14).

Retroalimentación de la RMCA y acciones derivadas

Un segundo taller sobre “Consolidación de la RMCA y estrategias a futuro” tuvo lugar en 3 localidades: Villaguay (08/10/15), Crespo (09/10/15) y La Paz (25/11/15) (fig. 2). En el marco de este taller, a partir de la presentación y análisis de información antecedente, se construyó un espacio de referencia donde se identificaron y acordaron prácticas agronómicas de bajo impacto ambiental.

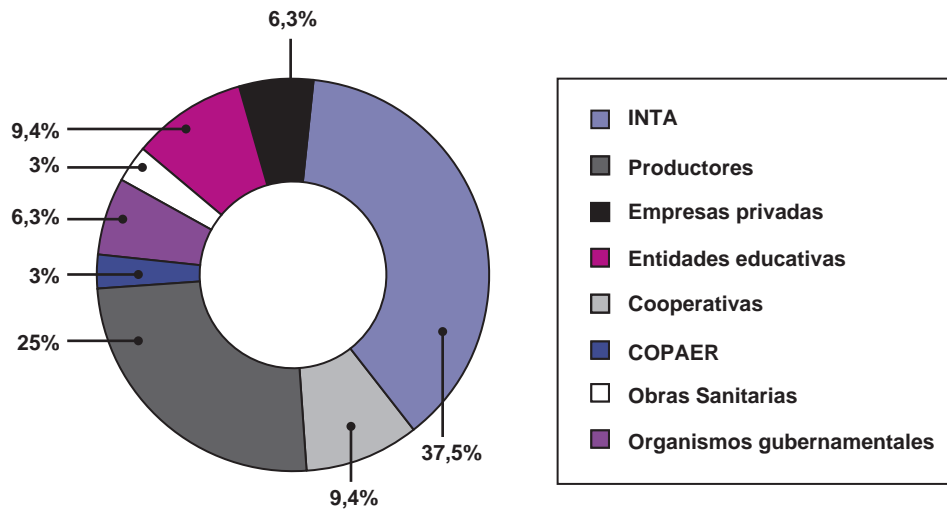


Figura 4. Contribución porcentual de los diferentes grupos de actores en la red de monitoreo.

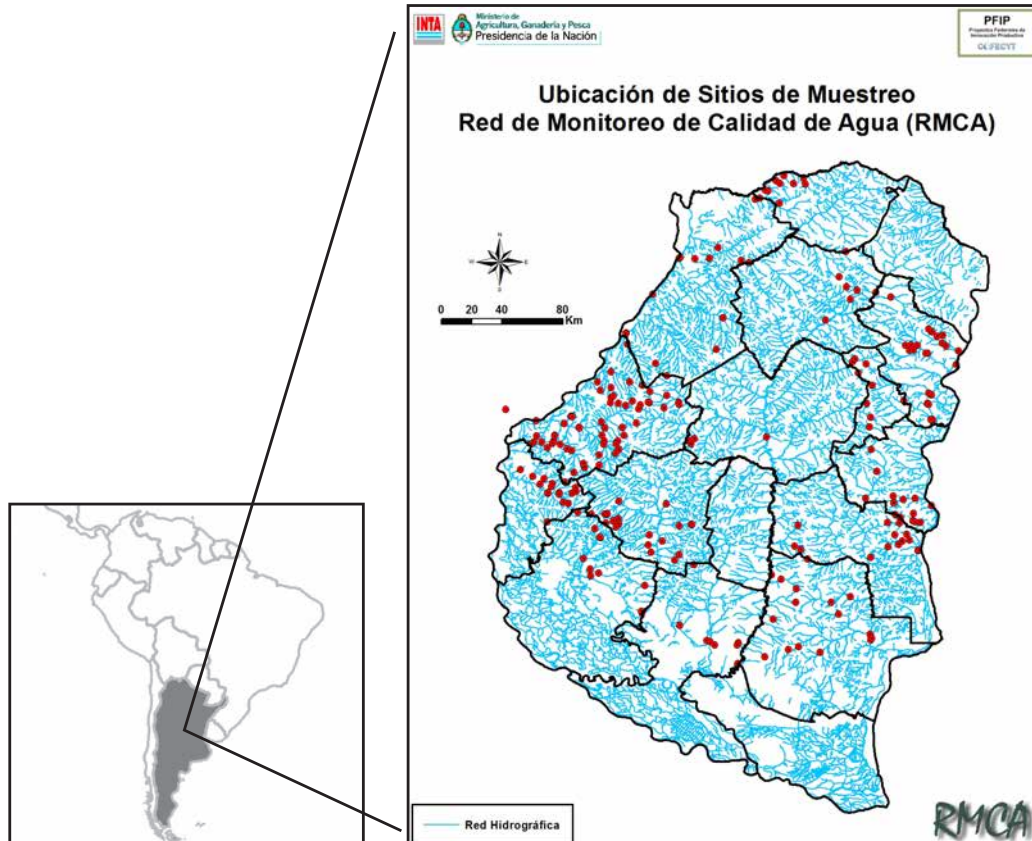


Figura 5. Mapa hidrográfico de Entre Ríos y distribución de puntos de monitoreo de la RMCA.

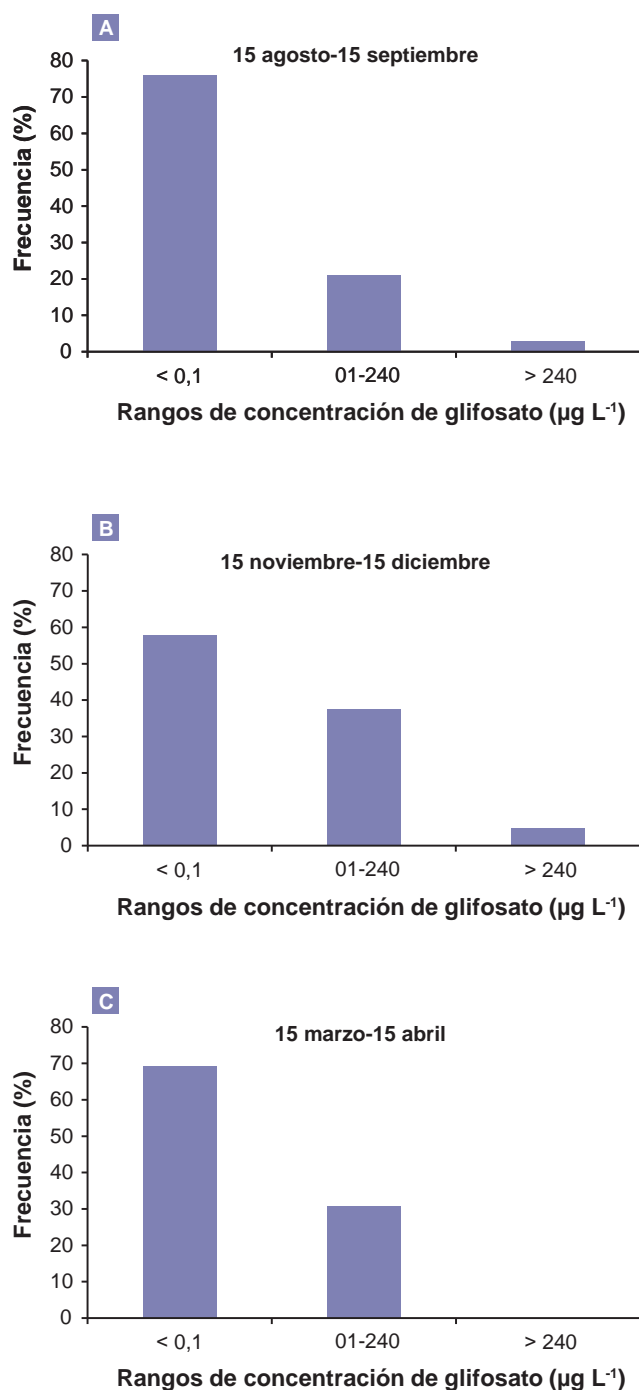


Figura 6. Frecuencia porcentual de categorías de concentración de glifosato en agua superficial de Entre Ríos, por período monitoreado. A. 1.º período: 15 agosto – 15 setiembre 2012; B. 2.º período: 15 noviembre – 15 diciembre 2012; C. 3.er período: 15 marzo – 15 abril 2013.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Montaje institucional y metodológico de la investigación

Conformación del sistema de monitoreo en red

Se conformó una red de monitoreo de calidad de aguas, que se constituyó en una Organización de Base Comu-

nitaria para promover la preservación de los cursos de agua superficiales de Entre Ríos. Resultó integrada por 70 miembros, que representan un grupo de interés común, incluyendo productores agropecuarios, profesionales de la agronomía y organismos gubernamentales preocupados por el impacto de las aplicaciones de agroquímicos sobre el ambiente. La estructura de la red contempla nodos de vinculación primarios y secundarios (fig. 3). Las agencias de extensión de INTA y los productores agropecuarios constituyeron los grupos de mayor contribución de integrantes a la red, seguidos por las cooperativas (fig. 4).

Puntos de monitoreo

La RMCA permitió evaluar 311 puntos de monitoreo (fig. 5) situados en cursos de agua linderos a lotes bajo producción agrícola del territorio provincial. Se analizaron 703 muestras durante los 3 períodos.

Obtención de datos y análisis de la información

Concentración de glifosato en agua superficial

En el 1.º período de muestreo (15 agosto – 15 setiembre), el 4,7% de los puntos superó $240 \mu\text{g L}^{-1}$ (fig. 6a), detectándose 2 sitios con concentraciones superiores a $73.000 \mu\text{g L}^{-1}$, que correspondieron a casos de contaminación puntual por depósito de envases vacíos de glifosato.

En el 2.º período de muestreo, todas las concentraciones resultaron inferiores a $240 \mu\text{g L}^{-1}$, de las cuales un 69,2% presentó valores inferiores a $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ (fig. 6b). Si bien las aplicaciones de glifosato próximas a la siembra de la soja estuvieron acompañadas por eventos de escurrimiento, es probable que las abundantes precipitaciones ocurridas en este período produjeran un efecto de dilución en los cursos de agua. En este período, el volumen promedio acumulado de precipitaciones en la provincia resultó 110% superior respecto al valor histórico (fig. 1).

De las muestras de agua extraídas en el período marzo/abril, el 76% presentó concentraciones inferiores a $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$. Un sitio superó el valor de $240 \mu\text{g L}^{-1}$. En esta muestra se determinó un valor del orden de los $105.000 \mu\text{g L}^{-1}$, correspondiendo a uno de los puntos con altas concentraciones del 1.º período (fig. 6c).

Análisis y discusión de la información

El taller de análisis y discusión de los datos obtenidos (fig. 2) contó con la participación de 55 actores. Los integrantes de la RMCA arrojaron respuestas divergentes sobre la relación entre la percepción de contaminación previa al estudio y los datos de concentración de glifosato obtenidos. Algunos actores percibían previo a la investigación, niveles de glifosato en los cursos de agua superiores a los detectados, debido a las prácticas inadecuadas de aplicación de agroquímicos. Otros integrantes en cambio, consideraban poco probable detectar presencia de glifosato en

cursos de agua. Esta dicotomía entre percepciones llevó a valorizar la función de la RMCA para generar información concreta, entendiendo que disponer de datos ayuda a definir medidas a futuro.

Los niveles de concentración de glifosato en los cursos de agua de la provincia son coincidentes con valores encontrados en otras zonas del país (Peruzzo *et al.*, 2008; Ayarragaray *et al.*, 2015; Primost, 2013; Aparicio *et al.*, 2013; Oszust *et al.*, 2015). Además, si bien los valores superiores al nivel guía para la vida acuática fueron poco frecuentes, la detección de glifosato en concentraciones entre 0,1 y 240 $\mu\text{g L}^{-1}$ en aproximadamente el 30% de las muestras, indica que hay prácticas agrícolas que necesitan reverse. Este reconocimiento por parte de los integrantes de la red permitió una vinculación directa con su realidad y con la necesidad de buscar e implementar medidas de mitigación, generando entre los participantes de la red sentido de pertenencia con los resultados obtenidos.

Retroalimentación de la RMCA

El taller sobre "Consolidación de la RMCA y estrategias a futuro" (fig. 2) contó con la participación de 52 actores que identificaron y acordaron prácticas agronómicas de bajo impacto ambiental sobre la calidad del agua.

Prácticas agronómicas de bajo impacto ambiental identificadas y acordadas

Las prácticas identificadas como necesarias para minimizar pérdidas de glifosato no son desconocidas para los actores del sector. Está demostrado que las acciones probadas para minimizar el escurrimiento, reducen también el aporte de glifosato desde agroecosistemas a ambientes acuáticos. Dentro de estas, la implementación de rotaciones y de cultivos de cobertura (CC) se encuentran entre las principales y más reconocidas por los participantes. Por un lado, estudios realizados durante 5 años a escala de parcela han revelado que en años con precipitaciones normales (1000 mm), el monocultivo de soja pierde por escurrimiento aproximadamente 4 veces más agua que la rotación con maíz y trigo y aproximadamente 8 veces más que una pastura. Por otro lado, la inclusión de un CC en el monocultivo de soja permitió una reducción de 45% de escurrimiento. El CC redujo la concentración media de glifosato y AMPA en el agua escurrida, resultando 27 y 35% inferior al monocultivo, respectivamente, sin reducción de rendimiento (Sasal *et al.*, 2012b).

Como norma general, cualquier monocultivo es excluido como buena práctica agrícola, ya que impacta sobre la sustentabilidad del sistema en el largo plazo. En particular, la minimización del escurrimiento a partir de la diversificación en la secuencia tiene efecto directo sobre la reducción en las pérdidas de glifosato hacia cursos de agua superficiales.

El distanciamiento entre momento de pulverización y eventos de precipitaciones constituye otra de las estrategias de minimización de pérdidas de plaguicidas. En lisímetros y parcelas de escorrentía (Sasal *et al.*, 2010) se

comprobó que lluvias inmediatamente posteriores a las pulverizaciones (1 a 3 días) pueden generar pérdidas de glifosato por lixiviación y escurrimiento. También, Oszust *et al.* (2015) y Sasal *et al.* (2015) en estudios realizados en un embalse y con simulaciones de lluvia en Entre Ríos detectaron picos de concentración de glifosato inmediatamente posteriores a eventos de lluvia que generaron escurrimiento. Por esto, se propone analizar pronósticos de precipitaciones previas a la aplicación de glifosato con el fin de reducir las pérdidas por escurrimiento.

Otra de las prácticas identificada por los integrantes de la RMCA es la implementación de prácticas de conservación de suelo, tales como la sistematización de tierras y la siembra directa. La primera permite controlar la velocidad del escurrimiento del agua de lluvia. Por su parte, la protección de la superficie del suelo con rastrojos, así como la ausencia de labores de remoción del suelo, hace de la siembra directa una herramienta para minimizar la erosión hídrica y las pérdidas de nutrientes y plaguicidas asociadas.

Finalmente, se destacó el distanciamiento entre el momento de pulverización con glifosato y el de fertilización fosforada como otra estrategia de manejo que también contribuye a minimizar pérdidas de glifosato y que actualmente es desconocida por los actores del sector. Se ha demostrado que el fósforo compite con el glifosato en el proceso de adsorción al suelo, favoreciendo el arrastre por escurrimiento. Así, la combinación de la fertilización fosforada y la aplicación de glifosato aumentan las pérdidas del herbicida por escurrimiento, incrementándose cuando ocurre un evento de precipitación próximo a la pulverización. Se han determinado pérdidas en el agua de escurrimiento del orden del 28% del glifosato aplicado a causa de la aplicación conjunta de fertilización fosforada y pulverización. Estas pérdidas resultaron 2,5 veces inferiores cuando solo se aplicó glifosato, reduciéndose aún más a medida que transcurrieron los días entre la aplicación y la lluvia (Sasal *et al.*, 2015). Por esto, se recomienda no combinar la fertilización con fósforo y la aplicación de glifosato en la misma jornada.

CONSIDERACIONES FINALES

La IAP resultó adecuada para analizar los cambios en la calidad del agua superficial debidos al uso de glifosato en el área agrícola de Entre Ríos, involucrando a los diferentes actores de la cadena agroalimentaria en la búsqueda de prácticas que minimicen el impacto ambiental.

La conformación de una red de monitoreo con base comunitaria se constituyó en el primer logro de este trabajo. Los integrantes de la RMCA se interesaron en conocer el impacto de sus sistemas de producción agrícola sobre la calidad del agua superficial de Entre Ríos. La cuantificación de la concentración de glifosato en agua superficial, producto de las pérdidas desde agroecosistemas, permitió dar luz a especulaciones de contaminación que no ha sido medida precedentemente.

Los integrantes de la red acordaron prácticas agronómicas de bajo impacto ambiental, necesarias para mini-

mizar pérdidas de glifosato. Estas son la implementación de rotaciones y de cultivos de cobertura, el distanciamiento entre momento de pulverización y eventos de precipitaciones, el distanciamiento entre el momento de pulverización con glifosato y el de fertilización fosforada y la implementación de prácticas de sistematización de tierras para control de la erosión. Además, coincidieron en la necesidad de dar continuidad a la RMCA. La investigación acción participativa involucró a los miembros de la red desde un nuevo lugar, pasando a ser agentes de cambio y no objeto de estudio. El compromiso de los integrantes de la RMCA valoriza los resultados generados y asegura un cambio.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con fondos presupuestarios del MINCyT, en el marco de la línea PFIP del COFECyT (PFIP 512-09), y de los Proyectos INTA PNNAT 1128043 y PRET ERIOS-1263101/2/3/4/5. Agradecemos a las instituciones y actores participantes de la RMCA y al equipo técnico y de apoyo de la EEA Paraná.

BIBLIOGRAFÍA

- APARICIO, V.; DE GERONIMO, E.; MARINO, D.; PRIMOST, J.; CARRIQUIRIBORDE, P.; COSTA, J.L. 2013. Environmental fate of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in surface waters and soil of agricultural basins. *Chemosphere* 93(9):1866-1873. Disponible: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653513008837> verificado: 02 de marzo de 2016.
- AIZEN, M.A.; GARIBALDI, L.A.; DONDO, M. 2009. Expansión de la soja y diversidad de la agricultura argentina. *Ecol. Austral* 19 (1). Versión online. Disponible: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2009000100004 verificado: 02 de marzo de 2016.
- AYARRAGARAY, M.; REGALDO, L.; RENO, U.; M.F. GUTIÉRREZ. 2015. Monitoreo de glifosato y ácido aminometilfosfónico (AMPA) en ambientes acuáticos cercanos a la ciudad de San Justo (Santa Fe, Argentina). Tesis de maestría en Gestión Ambiental. FICH-UNL.
- BOLSA DE CEREALES DE ENTRE RÍOS. 2015. Superficie sembrada con soja. La Bolsa de Cereales de Entre Ríos da a conocer el reporte sobre el área cultivada con soja en el ámbito provincial para la campaña agrícola 2012/13. Disponible: <http://www.bolsacer.org.ar/Fuentes/informe.php?Id=542> verificado: 02 de marzo de 2016.
- BOLSA DE COMERCIO DE ROSARIO. 2015. Rindes superadores reposicionan a la soja en 59 millones t. Disponible: <http://www.bcr.com.ar/Pages/gea/estimaProd.aspx> verificado: 02 de marzo de 2016.
- CAILLA, H.L.; RACINE-WELSBUCH, M.S.; DELANGE, M.N. 1973. Adenosine 3', 5' Cyclic monophosphate assay at 10-15 mole level. *Anal. Biochem.* 56:394-407.
- CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (CCME). 2012. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Disponible: <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/182> verificado: 02 de marzo de 2016.
- CASAFE (2012). Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes. Disponible: <http://www.casafe.org/publicaciones/estadisticas> verificado: 01 de mayo de 2015.
- DI FIORI, E.; PIZARRO, H.; DOS SANTOS, A.M.; CATALDO, D. 2012. Impact of the invasive mussel *Limnoperma fortunei* on glyphosate concentration in water. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 81:106-13.
- ETCHEGOYEN, A. 2014. Distribución de plaguicidas en aguas y sedimentos de fondo en los principales afluentes de la cuenca del Paraguay-Paraná. Trabajo Final de Licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP, p. 84.
- FALS BORDA, O.; RODRIGUES BRANDAO, C. 1987. Investigación Participativa. Instituto del Hombre. Ediciones Banda Oriental. Uruguay.
- FLURY, M. 1996. Experimental evidence of transport of pesticides through field soil. A review. *J. Environ. Qual.* 25:25-45.
- FREIRE, P. 1970. Pedagogía del Oprimido. Siglo XXI Editores Argentina S.A. México D.F., p. 175.
- GUYTON, K.; LOOMIS, D.; GROSSE, Y.; GHISSASSI, F.; BEN-BRAHIM-TALLAA, L.; GUHA, N.; SCOCCIANI, C.; MATTOCK, H.; STRAIF, K. 2015. Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate. *The Lancet Oncology*. IARC, Lyon, Francia. Disponible: [http://www.thelancet.com/pdfs/journals/lanonc/PIIS1470-2045\(15\)70134-8.pdf](http://www.thelancet.com/pdfs/journals/lanonc/PIIS1470-2045(15)70134-8.pdf) verificado: 10 de diciembre de 2015.
- HANKE, I.; SINGER, H.; HOLLENDER, J. 2008. Ultratrace-level determination of glyphosate, aminomethylphosphonic acid and glufosinate in natural waters by solid-phase extraction followed by liquid chromatography-tandem mass spectrometry: performance tuning of derivatization, enrichment and detection. *Anal. Bioanal. Chem.* 391, 2265-2276.
- HEALTH CANADA. 2014. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality Summary Table Disponible: http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/pdf/pubs/water-eau/sum_guide-res_recom/sum_guide-res_recom_2014-10_eng.pdf verificado: 05 de febrero de 2016.
- IBÁÑEZ, M.; POZO, O. J.; SANCHO, J. V.; LOPEZ, F. J.; HERNANDEZ, F. 2006. Re-evaluation of glyphosate determination in water by liquid chromatography coupled to electrospray tandem mass spectrometry. *J. Chromatogr.* 1134, 51-55.
- JAYNES, D.B.; AHMED, S.I.; KUNG, J.S.; KANWAR, R.S. 2001. Temporal dynamics for preferential flow to a subsurface drain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1368-1376.
- MANAHAN, S. 2007. Introducción a la Química Ambiental. Ed. Reverté. Barcelona, España, p. 725.
- OSZUST, J.D.; RAMIREZ, A.C.; SIONE, S.M.; WILSON, M.G.; GABIOUD, E.A.; REPETTI, M.R.; SASAL, M.C.; POLLA, W. 2015. Evaluación de la concentración de glifosato en un embalse asociado a un ambiente agrícola en Entre Ríos. Presentado en: xxv Congreso Nacional del Agua. 15-19 de junio de 2015. Paraná, Entre Ríos.
- PARAVANI, E.V.; SASAL, M.C.; SIONE, S.M.; GABIOUD, E.A.; OSZUST, J.D.; WILSON, M.G.; DEMONTE, L.; REPETTI, M.R. 2016. Determinación de la concentración de glifosato en agua mediante la técnica de inmunoabsorción ligada a enzimas (ELISA). *Revista Internacional de Contaminación*. En prensa.
- PERUZZO, P.J.; PORTA, A.A.; RONCO, A.E. 2008. Levels of glyphosate in surface waters, sediments and soils associated with direct sowing soybean cultivation in North pampasic region of Argentina. *PJ. Peruzzo, AA Porta; AE Ronco. Environmental Pollution* 156:61-66.
- PETERSEN, C.; HOLM, J.; KOCH, C.B.; JENSEN, H.E.; HANSEN, S. 2002. Movement of pendimethalin, ioxynil and soil particles to field drainage tiles. *Pest Manag. Sci.* 59:85-96.

- PRIMOST, J. 2013. Estudio de niveles ambientales de glifosato y AMPA en una zona modelo de intensa actividad agrícola en los alrededores de Urduyruyín, Entre Ríos. Trabajo Final de Graduación. Centro de Investigaciones en Medio Ambiente (CIMA) Facultad de Ciencias Exactas, UNLP.
- RAMPOLDI, E.A. 2007. Comportamiento de glifosato en suelos agrícolas de la prov. de Córdoba y su relación con la estratificación de la materia orgánica provocada por la siembra directa. Tesis de Doctorado. Facultad de Cs. Agropecuarias-UNC.
- SASAL, M.C., ANDRIULO, A.E., WILSON, M.G.; PORTELA, S.I. 2010. Pérdidas de glifosato por drenaje y escurrimiento en Molisoles bajo siembra directa. Información tecnológica Vol. 21(5): 135-142.
- SASAL, M.C.; WILSON, M.G.; OSZUST, J.D., CASTIGLIONI, M.G.; ANDRIULO, A.E. 2012a. Destino de fugas de N, P y glifosato del sistema agrícola. Argentina y Ambiente 2012. Mar del Plata, 28 al 31 de junio.
- SASAL, M.C.; WILSON, M.G.; GARCARENA, N.A. 2012b. Impacto ambiental de la introducción de un cultivo de cobertura al monocultivo de soja. 2012. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, 16 al 20 de abril.
- SASAL, M.C.; DEMONTE L.; CISLAGHI, A.; GABIOUD, E.A.; OSZUST, J.D.; WILSON, M.G.; MICHLIG, N.; BELDOMENICO, H.R.; REPETTI, M.R. 2015. Glyphosate loss by runoff and its relationship with phosphorous fertilization. J. Agric. Food Chem. 63 (18): 4444-4448.
- SCOTTA, E.; PAPANOTTI, O. 1990. Aguas excedentes y tecnologías de control y captación. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea 57. Jornadas Regionales "Labranzas y conservación de suelos", pp. 57-69.
- SELENER, D. 1997. Participatory Action Research and Social Change. Nueva York: Cornell University, Participatory Action Research Network, p. 384.
- SIBER. 2015. Sistema de Información Bolsa de Cereales de Entre Ríos. Red Pluviométrica Provincial. Disponible: <http://centrales.bolsacer.org.ar/pluviometros/> verificado: 05 de diciembre de 2015.
- SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS. Disponible: <http://www.pnuma.org/agua-miaac/CODIA%20CALIDAD%20DE%20LAS%20AGUAS/MATERIAL%20ADICIONAL/PONENCIAS/PONENTES/Tema%205%20Niveles%20Guías%20Calidad%20de%20Aguas/NIVELES%20GUIA/4%20-%20Desarrollos/glifosato.pdf> verificado: 05 de diciembre de 2015.
- USEPA. 2007. United States Environmental Protection Agency. Restricted Database.
- VILLHOLTH, K.G.; JARVIS, N.J.; JACOBSON, O.H.; DE JONGE, H. 2000. Field investigations and modelling of particle-facilitated pesticide transport in macroporous soil. J. Environ Qual. 29:1298-1309.