

PLAGUICIDAS EN AGUAS DE CONSUMO HUMANO EN EL SURSUDESTE DE LA REGIÓN PAMPEANA ARGENTINA

VIRGINIA APARICIO ([id](#))¹
EDUARDO DE GERÓNIMO ([id](#))¹
FRANCISCO ESCRIVA SANEUGENIO ([id](#))²
ARTEMI CERDA ([id](#))²
JOSÉ LUIS COSTA ([id](#))¹

¹*Agronomía, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Ruta 226 km 73,5, Balcarce, Argentina.*

²*Soil Erosion and Degradation Research Group. Departament de Geografia. Universitat de València, Universidad de Valencia, Blasco Ibáñez 28, 46010- Valencia*

Autor de correspondencia: artemio.cerda@uv.es

Resumen. En Argentina, no se dispone de datos oficiales sobre el uso de Productos de Protección de las Plantas (PPP) y sus efectos en el medio ambiente y la salud. Este estudio analiza la presencia de PPP en el agua subterránea de consumo humano en el sur-sudeste de la provincia de Buenos Aires durante el período 2020-2022, utilizando cromatografía líquida de ultra-alta performance acoplada a espectrometría de masas triple cuadrupolo en tándem. Los resultados muestran la presencia generalizada de PPP en el agua, con herbicidas como el grupo más comúnmente encontrado. El 89% de las muestras contenían al menos un PPP, y diez muestras superaron el umbral acumulado de 0.5 µg L⁻¹. Estos hallazgos destacan la necesidad de políticas públicas más sólidas y el uso de conocimientos científicos y tecnológicos para establecer normas claras de uso y control de PPP, con el objetivo de proteger la salud pública.

Palabras clave: territorios, comunidades, producción agraria, interacción entre ciencia y comunidad.

PESTICIDES IN DRINKING WATERS IN THE SOUTH-SOUTHEAST OF THE ARGENTINE PAMPAS REGION

Abstract. Official data on the use of plant protection products (PPP) in Argentina are not available, nor are there systematic environmental or health surveys on their effects. This study aimed to investigate the types and concentrations of PPP in underground water sources used for human consumption in the South-Southeast region of the Buenos Aires province. From 2020 to 2022, water samples were analyzed using ultra-high-performance liquid chromatography (UPLC) coupled to Triple Quadrupole Mass spectrometry in tandem (UHPLC-MS/MS). PPPs were identified and quantified qualitatively. Results showed that herbicides were the most frequently detected PPP group among the 31 PPPs found in the water samples, with 89% of the samples containing at least one PPP. Furthermore, 10 water samples exceeded the accumulated threshold of 0.5 µg L⁻¹. These findings reveal a generalized presence of PPPs in groundwater, highlighting the fragility of public policies. It is necessary to utilize scientific-technological knowledge to establish clear standards for the use and control of PPPs, prioritizing public health as a fundamental axis.

Keywords: territories, communities, agricultural production, science-community interaction.

1. INTRODUCCIÓN

El agua subterránea representa la principal fuente de agua en muchas regiones del mundo (Hanak *et al.*, 2011). La gestión de la tierra, las condiciones ambientales y las características del pozo influyen sobre

la composición del agua subterránea (Leite *et al.*, 2018). La implementación de prácticas agrícolas y ganaderas extensivas ha favorecido la contaminación de las aguas subterráneas en varios países del mundo, principalmente por la aplicación de fertilizantes, productos de protección de las plantas (PPP) y estiércol animal (González *et al.*, 2012; Lupi *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2016; Montoya *et al.*, 2019; Blarasin *et al.*, 2020; Lutri *et al.*, 2020; Mas *et al.*, 2020; Costa *et al.*, 2020). Este proceso ocurre como consecuencia de la intensificación de las producciones agrícolas y del avance de las fronteras productivas en ausencia de un efectivo programa de ordenamiento territorial (Ministerio de la Salud, 2007).

Hacia fines del siglo XX se consolidó en los países del Cono Sur (Brasil, Argentina, Paraguay, Uruguay y Bolivia) el denominado modelo agroindustrial, caracterizado por su simplicidad. En Argentina, en la campaña 2018/19, la soja y el maíz representaron el 66,7 % del área agrícola total y, según datos elaborados por la Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (CASAFE), el volumen de PPP utilizados alcanzó los 373.820.837 kg con un promedio aproximado de 8.3 kg de formulado ha⁻¹. El Estado argentino consulta cifras de uso de PPP de las cámaras empresariales ya que no existen datos oficiales sobre las cantidades utilizadas, así como tampoco evaluaciones ambientales ni sanitarios sistemáticos sobre sus efectos (Gárgano 2022).

Los PPP que se encuentran en el agua potable tienen un impacto potencial en la salud humana, según la cantidad / toxicidad de los PPP y la frecuencia / duración de la exposición humana al agua potable contaminada. Muchos países del mundo establecen niveles máximos de concentración de PPP en agua potable para proteger la salud humana, sin embargo, en un estudio reciente se señala que esos niveles máximos son demasiado altos para cumplir ese objetivo (Li and Jennings, 2017)

Argentina adhiere a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas y su normativa para la regulación del uso de PPP es comparable a la de países referentes en agricultura. No obstante, pone el foco en la toxicidad aguda y es deficitaria en los posibles efectos crónicos, aspecto que se encuentra en estudio y debate en diversos países (Montoya *et al.*, 2023). Además, en lo que a control de calidad del agua potable se refiere, el Código Alimentario Argentino en su capítulo XII sobre agua potable (ANMAT, 2012), plantea un listado de PPP que son los que deben monitorearse. A excepción de uno, el herbicida 2,4-D, se trata de PPP persistentes que ya no se usan en los campos y no incorpora PPP más frecuentes como glifosato, atrazina o metalocloro, por nombrar algunos. Con esta omisión, la normativa vigente invisibiliza la presencia de los PPP en el agua que consume y utiliza la población en todo el país (Gárgano, 2022).

La exposición humana a mezclas de PPP en dosis bajas puede tener un impacto negativo y duradero en la salud, algunos de ellos relacionados con el aumento de enfermedades crónicas degenerativas, el desarrollo neurológico deficitario y cáncer en humanos.

En este contexto, emergen conflictos ligados a la contaminación del agua por el uso de PPP. El avance de las fronteras extractivas, como ocurre por ejemplo en el noroeste argentino, la estructural falta de agua potable y/o las precarias modalidades para su acceso se convierten en nuevas fuentes de injusticias y desigualdades para las poblaciones urbanas y rurales (Schmidt *et al.*, 2022). El sur-sudeste de la provincia de Buenos Aires no es ajena a esta realidad y sus comunidades manifiestan preocupación por la calidad del agua que beben diariamente. El Laboratorio de Análisis de PPP de la EEA INTA Balcarce, comenzó a recibir y analizar muestras de agua para consumo humano desde principios de la década del 2010 y esa demanda fue aumentando a través del tiempo. En 2018 se dio a conocer el primer fallo de la Justicia Federal, en el epicentro de la actividad agrícola del país, estableciendo responsabilidades penales para funcionarios estatales, medidas cautelares protectoras basadas conjuntamente en la contaminación de aguas y el registro de daño sanitario por PPP y convocando a investigadores y organismos oficiales para contribuir en el análisis de las evidencias científicas, lo que constituyó un hecho inédito en la justicia argentina (Gárgano, 2022). Este hecho refortaleció los reclamos sociales por el acceso a agua suficiente, segura, aceptable, asequible y accesible físicamente para el uso doméstico y personal.

En este trabajo nos proponemos conocer qué PPP y en qué concentración aparecen con mayor frecuencia en el agua de consumo humano de origen subterráneo. Estos resultados contribuirán a la actualización de las normas vigentes de control de calidad del agua potable en Argentina.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El sur- sudeste de la provincia de Buenos Aires (Figura 1), es un paisaje con topografía típicamente plana con lomas suaves que, a medida que se avanza hacia el este, presenta afloramientos serranos del sistema de Tandilia con sierras y serranías separadas por amplios valles, cubiertos por depósitos eólicos (Tomás *et al.*, 2005). Los piedemontes serranos están formados por loess de un espesor promedio que oscila entre uno y dos metros, depositado sobre una costra calcárea que suele aflorar en las lomas, los suelos profundos son más comunes en sectores relativamente bajos, pero bien drenados. Los suelos de toda la zona de estudio son aptos para la agricultura y la ganadería, con limitaciones por profundidad y con riesgo de erosión hídrica en las ondulaciones (SAGPyA e INTA, 1990).

Figura 1. Área de estudio



Fuente: Elaboración propia

2.2. Obtención de muestras de agua

Las muestras ingresaron al laboratorio durante el período 2020 – 2022, frizadas (-20°C) o refrigeradas (4°C) cuando fueron extraídas e ingresadas el mismo día.

2.3. Método de análisis de laboratorio

Antes del análisis, las muestras de agua fueron descongeladas durante la noche a 4°C y filtradas a través de una membrana de nylon de 0,45 µm para separar el agua de las partículas en suspensión. Los residuos de PPP se determinaron mediante cromatografía líquida de ultra-alta-performance (Acquity UPLC) acoplada a espectrometría de masas triple cuadrupolo en tándem (UHPLC-MS/MS), según las metodologías descritas por De Gerónimo *et al.*, (2014) y Aparicio *et al.*, (2013). Las metodologías fueron validadas considerando recuperaciones analíticas, límites de detección (LD), límites de cuantificación (LQ), precisión, linealidad y efecto de matriz (De Gerónimo *et al.*, 2014). Para la separación cromatográfica, se utilizó una columna Acquity UPLC BEH C18 (1,7 µm, 100 × 2,1 mm, Waters) equipada con una precolumna Acquity VanGuard BEH C18 (1,7 µm, 5 × 2,1 mm, Waters). La fase móvil consistió en agua/metanol (95:5) modificado con acetato amónico 0,1 mM y ácido fórmico 0,01 % (fase A) y metanol modificado con acetato amónico 0,1 mM y ácido fórmico 0,01 % (fase B) en gradientes de 10 a 100% de la fase B. El gas de secado y nebulización fue nitrógeno de un generador de nitrógeno de prea N₂ LC-MS. El gas de colisión fue argón al 99,99 % con una presión de 6,3 × 10⁻³ mbar en la celda T-Wave. Se utilizó Masslynx™ 4.1 (Waters) para procesar todos los datos.

2.4. Procesamiento de datos y cálculos

En primer lugar, se realizó un análisis cualitativo, para identificar la frecuencia de los PPP en cada muestra de agua. Los PPP se representaron en un mapa con su ubicación respectiva, en caso de tener más de una muestra de una misma zona, se seleccionó la de mayor número de moléculas totales a los efectos de discutir los resultados menos satisfactorios en cada zona.

Posteriormente se realizó un análisis cuantitativo, considerando la concentración de cada PPP que supera el límite de cuantificación del método analítico empleado (LQ). A partir de esos resultados, se estimó el rango de concentración de la suma de PPP, en $\mu\text{g L}^{-1}$.

2.5. Elaboración de mapas de cultivo vinculados a la presencia y concentración de PPP en agua subterránea

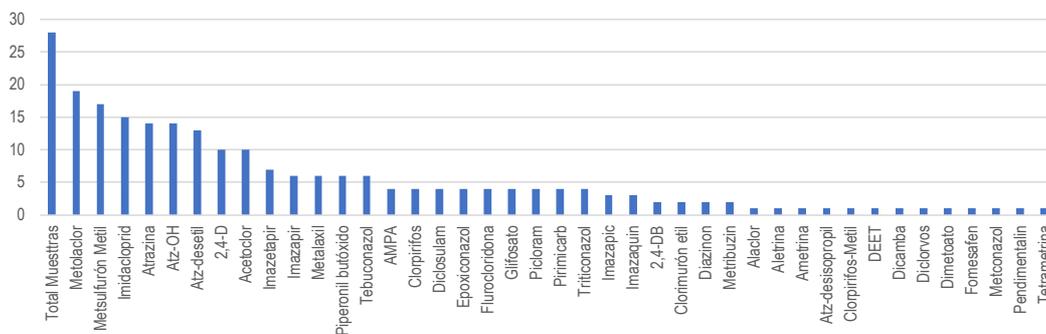
La información sobre residuos de PPP en agua subterránea se analizó junto a la distribución de cultivos de verano (2020-2021). Se obtuvieron los datos de cultivo utilizando la base de datos de GeoINTA. Se delimitó una zona de influencia alrededor de los sitios analizados y se recortó el archivo raster descargado de GeoINTA utilizando dicha zona. Luego se aplicó el complemento r.report para obtener las estadísticas de la capa raster recortada. De esta forma, se pudieron determinar las superficies sembradas con cultivos de verano.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Presencia de PPP en agua de consumo humano

Las muestras de agua presentaron un rango de 0 a 31 PPP, y las 4 moléculas más frecuentes corresponden al grupo de los herbicidas (metolaclor, metsulfuron metil, y atrazina) e insecticidas (imidacloprid) (Figura 2). El 89% de las muestras tuvo al menos un PPP ($n=28$).

Figura 2. Histograma de presencia de PPP en muestras de agua

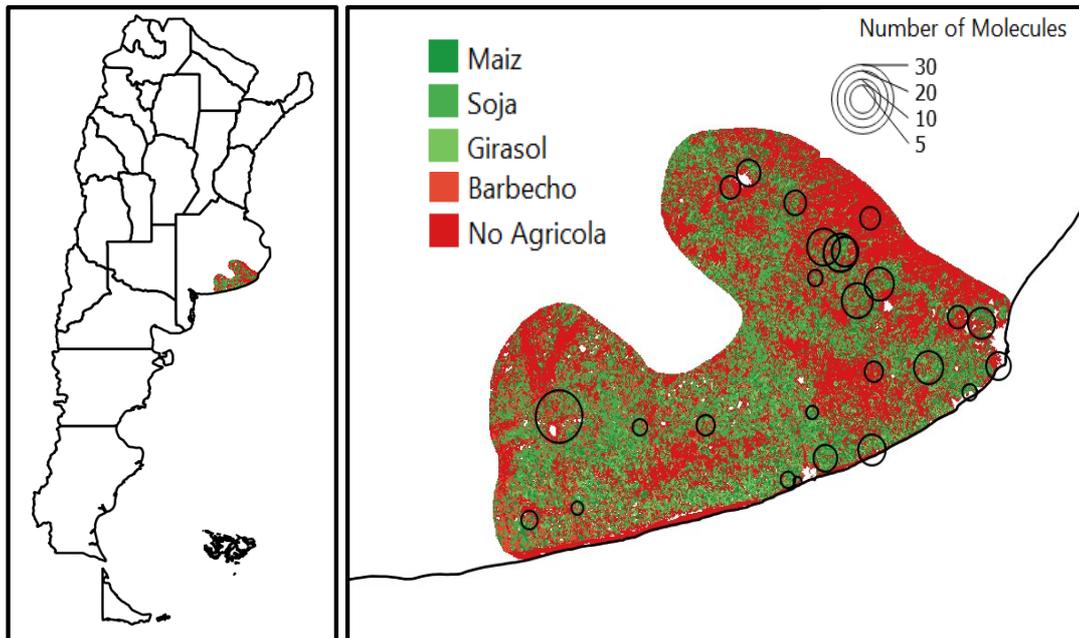


Fuente: Elaboración propia.

El agua subterránea empleada para consumo humano en pequeños pueblos y establecimientos rurales del sursudeste de la provincia de Buenos Aires evidencia una presencia generalizada de PPP sintéticos de uso actual. La exposición humana a varios PPP es un aspecto muy importante y de creciente preocupación científica ya que, los efectos toxicológicos combinados de dos o más componentes de una mezcla de PPP en dosis bajas están poco estudiados por el momento (Hernández *et al.*, 2013).

El riesgo de contaminación del agua subterránea surge de la combinación de la vulnerabilidad del suelo y de la carga contaminante. La carga está definida por la frecuencia y dosis aplicada de PPP y por el momento de aplicación (Caprile *et al.*, 2017). En nuestro trabajo, se observa que los PPP están presentes en el agua de consumo humano asociado a los sistemas de producción (Figura 3).

Figura 3. Presencia de productos de protección de las plantas (PPP) en agua en sur-sudeste de la provincia de Buenos Aires



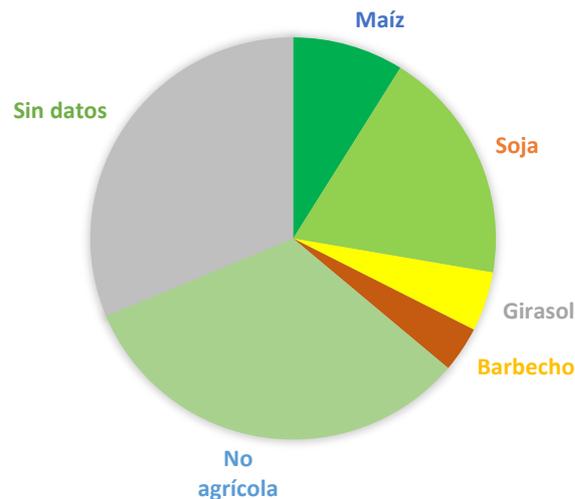
Fuente: Elaboración propia con datos de GeoINTA

En la década del 1990 se produjeron dos eventos en el agro argentino, por un lado, la expansión masiva de la siembra directa que actualmente ocupa más del 90% de la superficie agrícola del país (AAPRESID, 2021) y la introducción en el mercado de cultivos genéticamente modificados resistentes al glifosato que actualmente representa casi 100% de soja y algodón y 98% de maíz (Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología, 2021). Si bien éste constituye el evento más destacado, otras tecnologías se incorporaron a partir de la década de los 90, como por ejemplo los maíces tolerantes al glufosinato de amonio; maíces tolerantes al herbicida imazapic, girasoles tolerantes a imazapyr y arroces tolerantes a imazapic+imazapyr (Merotto *et al.*, 2022). Las ventajas operativas y económicas de ésta próspera industria de insumos agropecuarios evidenciaron, en el corto plazo, el desarrollo de poblaciones de malezas resistentes que se combatieron con nuevas mezclas de herbicidas y/o dosis mayores. En la campaña agrícola 2020-21, hubo una importante proporción de la superficie agrícola ocupada con cultivos de soja, maíz y girasol (Figura 4) para quienes el mercado tiene una importante oferta de insumos para el control químico de malezas y plagas que explicarían la presencia de PPP en el agua de consumo humano.

La oferta y utilización de tecnologías de insumos inquietan a las comunidades circundantes, respecto de su exposición a los PPP considerando que la actualización de las normas de monitoreo del agua de consumo (y del ambiente en general) no se han actualizado siguiendo el ritmo de incorporación de PPP en la producción agrícola. Este es un problema relacionado con la gestión de los suelos y el agua que incide directamente en los retos del desarrollo sostenible de Naciones Unidas y en los planes de recuperación y protección ambiental de muchos países desarrollados (Keesstra *et al.*, 2018; Visser *et al.*, 2019; Keesstra *et al.*, 2021).

Sin embargo, el sistema científico – tecnológico reporta basta información vinculada a las relaciones suelo: PPP que contribuyen a la comprensión de qué ambientes son más o menos vulnerables al transporte vertical de determinados PPP (Shomar *et al.*, 2006; Székács *et al.*, 2015; Munira *et al.*, 2018; Lutri *et al.*, 2020; Gonzalo Mayoral *et al.*, 2021, 2022). Esta información debería aplicarse evitando la globalización de prácticas de control de malezas y plagas en el territorio nacional; concretamente, deberíamos contar con una autorización de uso adicional por zona edafoclimática. Además, la vulnerabilidad diferencial del ambiente debería ser contemplada a la hora de diseñar y actualizar los monitoreos de agua potable.

Figura 4. Uso del suelo en el sursudeste de la provincia de Buenos Aires (2020-21)



Fuente: Elaboración propia.

En Argentina, a la luz de las evidencias presentadas, es necesario incorporar todo el conocimiento disponible para establecer normas claras de uso y control de PPP, teniendo como eje fundamental la salud pública global.

3.2. Suma de concentración de PPP en agua de consumo humano

El máximo de concentración en una muestra de agua para la suma de moléculas de PPP es de 0.5 g/L^{-1} (UE 2006). Este umbral constituye una forma de contemplar la exposición a múltiples PPP y, en nuestro trabajo, 10 muestras de agua lo superaron. Se analizaron 53 PPP y productos de degradación y hemos visibilizado la presencia y concentración de su suma en el agua subterránea (Figura 5).

Las pérdidas de PPP debidas al flujo por macroporos suelen ser menores a 1% de lo aplicado, pero puede llegar en algunos casos hasta el 5% (Jarvis, 2007). Estos bajos porcentajes han dejado la impresión de que el transporte vertical de PPP es un proceso físico despreciable, sin embargo, Jarvis (2007) estimó su significado basado en el estándar de agua potable de la UE ($0,1 \mu\text{g L}^{-1}$). Una dosis hipotética de $0,2 \text{ kg ha}^{-1}$ para una recarga anual de 200 mm tuvo como resultado que la pérdida por lixiviación máxima permitida fue sólo del 0,1% de la cantidad aplicada. En el sudeste de la provincia de Buenos Aires se estimó una recarga neta de 160 mm, equivalente al 18% de la precipitación anual (Quiroz-Lodoño *et al.*, 2008) y una dosis promedio anual de 5 kg ha^{-1} (fundamentalmente herbicidas) que explicarían las concentraciones halladas en el agua potable, en este trabajo.

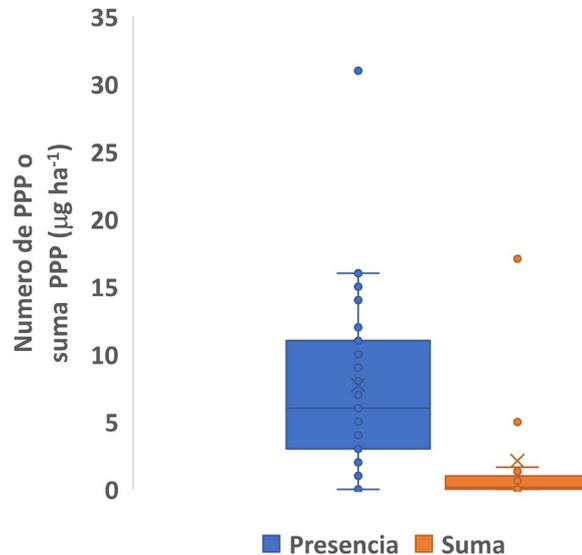
La contaminación difusa es una realidad que afecta tanto a poblaciones rurales y de pequeños pueblos y pone en evidencia la fragilidad de las políticas públicas nacionales que tienen la obligación de asegurar el cumplimiento del derecho humano al acceso al agua en forma suficiente, segura, aceptable y asequible.

La suma de PPP informadas en este trabajo sugiere la necesidad de mejorar las prácticas agronómicas para reducir y/o evitar que se agudice el problema de calidad del agua subterránea. Esta tarea debe ser profundizada donde el servicio de suministro de agua de red es insuficiente o no existe y la población se ve obligada a tomar agua de pozo individual. Este tema es de vital importancia para la gestión de agua y suelos en todo el mundo debido a que a través del manejo adecuado de los suelos y de las aguas se puede conseguir un manejo sostenible y la sostenibilidad de las sociedades humanas (Keesstra *et al.*, 2016; Keesstra *et al.*, 2023).

Los estudios aquí presentados muestran que la agricultura es responsable de la degradación ambiental y que hay la necesidad de restaurar las prácticas agrícolas para conseguir un medio ambiente sano y recuperar la salubridad en suelos y aguas. La restauración de los suelos y las aguas en zonas agrícolas pasa por el uso de abonos verdes, acolchados y la reducción o eliminación del excesivo laboreo (Cerdà *et al.*, 2021a; Cerdà *et al.*, 2021b). La mejora en la gestión de los suelos permitirá una mejora en la calidad de las aguas al reducirse la erosión de los suelos y con ello el transporte de materiales -entre ellos nutrientes- por las aguas de escorrentía (Rodrigo-Comino *et al.*, 2018; 2020), lo que debe estar gestionado

con los usuarios que gestionan las tierras. La percepción de los agricultores es aquí decisiva para el éxito de las medidas (Cerdà y Rodrigo-Comino, 2021).

Figura 5. Número y suma de productos de protección de las plantas (PPP) en agua en sursudeste de la provincia de Buenos Aires



Fuente: Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

El agua subterránea empleada para consumo humano en el sursudeste de la provincia de Buenos Aires evidencia una presencia generalizada de PPP de uso actual y pone en evidencia la fragilidad de las políticas públicas nacionales.

El umbral de concentración de la suma de PPP fue superado en 10 muestras de agua. La externalidad que generan algunas prácticas de manejo agropecuario implica que las comunidades rurales estén expuestas a los PPP.

El conocimiento científico-tecnológico debe estar disponible para establecer normas claras de uso y control de PPP, teniendo como eje fundamental la salud pública.

Agradecimientos: Los autores agradecen a las comunidades vecinas, productores y municipios por expresar su preocupación y organizarse para arrojar luz sobre este importante tema vinculado a la salud humana y ambiental; a Natalia Gulle y Agustín Mosca por su colaboración en el laboratorio de análisis de plaguicidas; al INTA, a la Asociación Cooperadora de INTA Balcarce y al proyecto SPRINT, que recibe financiación del Programa de Investigación e Innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea bajo el acuerdo de subvención nº 862568, por facilitarnos la infraestructura y financiación para hacer posible la obtención de estos resultados.

REFERENCIAS

- ANMAT (2012). *Argentine food code—chapter XII: water drinks, water and sparkling water*. Recuperado de http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigqa/CAPITULO_XII.pdf. Accessed 3 Feb. 2023
- Aparicio, V. C., De Gerónimo, 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. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.041>

- Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa – AAPRESID. [Malas hierbas]. Rosario: Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa; 2021 [acceso 21 de noviembre de 2021]. Español. Recuperado de <https://www.aapresid.org.ar/rem/malezas#pid=1>
- Blarasin M, Cabrera A, Matiatos I, Quinodóz FB, Albo JG, Lutri V, Matteoda E, Panarello H (2020). Comparative evaluation of urban versus agricultural nitrate sources and sinks in an unconfined aquifer by isotopic and multivariate analyses. *Sci Total Environ*, 741: 140374. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140374>
- Caprile, A. C., Aparicio, V. C., Portela, S. I., Sasal, M. C., Andriulo, A. E. (2017). Drenaje y transporte vertical de herbicidas en dos molisoles de la pampa ondulada Argentina. *Ciencia del suelo*, 35 (1), 147-159. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672017000100013
- CASAFE. 2018. *El mercado de agroquímicos se mantuvo estable respecto de 2015*. Recuperado de <https://www.casafe.org/pdf/2018/ESTADISTICAS/Informe-Mercado-Fitosanitarios-2016.pdf>.
- Cerdà, A., Franch-Pardo, I., Novara, A., Sannigrahi, S., Rodrigo-Comino, J., (2021a). Examining the Effectiveness of Catch Crops as a Nature-Based Solution to Mitigate Surface Soil and Water Losses as an Environmental Regional Concern. *Earth Syst Environ*, 6: 29-44 <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00284-9>.
- Cerdà, A., Novara, A., Moradi, E. (2021b). Long-term non-sustainable soil erosion rates and soil compaction in drip-irrigated citrus plantation in Eastern Iberian Peninsula. *Science of The Total Environment*, 787, 147549.
- Cerdà, A., Rodrigo-Comino, J. (2021). Regional Farmers' Perception and Societal Issues in Vineyards Affected by High Erosion Rates. *Land*, 10 (2), 205.
- Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología – ARGEPIO. [Cultivos transgénicos en Argentina y en el mundo]. Buenos Aires: Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología; 2021. Recuperado de https://www.porquebiotecnologia.com.ar/Cuadernos/El_Cuaderno_43.pdf
- Costa, J. L., Angelini, H., De Geronimo, E., Aparicio, V. (2020) Summer crops and the impact of pesticides on surface and underground water in the southeast of the province of Buenos Aires, Argentina. *EGU General Assembly 2020*, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-1775. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-1775_2019
- De Gerónimo, E., Aparicio, V. C., Bárbaro, S., Portocarrero, R., Jaime, S., Costa, J. L. (2014). Presence of pesticides in surface water from four sub-basins in Argentina. *Chemosphere*, 107, 423-431. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.01.039>
- Dereumeaux, C., Fillol, C., Quenel, P., Denys, S. (2020). Pesticide exposures for residents living close to agricultural lands: A review. *Environment international*, 134, 105210. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105210>
- European Commission (2006). *EU Pesticide Database. Active Substances. Regulation (EC) No 1107/2009*.
- European Union (2023). *Zero pollution: Improved quality and access to drinking water*. Recuperado de https://environment.ec.europa.eu/news/improved-quality-and-access-drinking-water-all-europeans-2023-01-12_en
- Gárgano, C. (2022). Mujeres con “La Soja al Cuello”. Experiencias y Evidencias en Torno a la Contaminación de Cuerpos y Territorios en Buenos Aires. *Historia Ambiental Latinoamericana Y Caribeña (HALAC) Revista De La Solcha*, 12 (3), 164–192. <https://doi.org/10.32991/2237-2717.2022v12i3.p164-192>
- GeoINTA, <http://www.geointa.inta.gob.ar/2021/09/07/mapa-nacional-de-cultivos-campana-2020-2021/>
- González, M., Miglioranza, K.S.B., Shimabukuro, V.M., Londono, O.M.Q., Martínez, D.E., Aizpún, J.E., Moreno, V.J. (2012). Surface and groundwater pollution by organochlorine compounds in a typical soybean system from the south Pampa. Argentina *Environ Earth Sci* 65 (2):481–491. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1328-x>
- Gonzalo Mayoral, E. S., Aparicio, V. C., De Gerónimo, E., Costa, J. L. (2021). Metsulfuron-methyl and glyphosate transport in a mollisol soil in the Pampean region of Argentina. *Soil Science Society of Pakistan*. <http://dx.doi.org/10.25252/SE/2021/202578>
- Gonzalo Mayoral, E. S., Aparicio, V. C., De Gerónimo, E., Fernandes, G., Rheinheimer dos Santos, D., Costa, J. L. (2022). Glyphosate, AMPA, and metsulfuron-methyl retention in the main horizons of a Typic Argiudoll. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 57 (7), 526-540. <https://doi.org/10.1080/03601234.2022.2069982>

- Hanak, E., Lund, J., Dinar, A., Gray, B., Howitt, R., Mount, J., Moyle, P., Thompson, B. (2011). *Managing California's water: from conflict to reconciliation*. Publ Policy Inst of Calif, San Francisco, p 500
- Hernández, A. F., Parrón, T., Tsatsakis, A. M., Requena, M., Alarcón, R., López-Guarnido, O. (2013). Toxic effects of pesticide mixtures at a molecular level: their relevance to human health. *Toxicology*, 307, 136-145. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2012.06.009>
- Jarvis, N. J. (2007). A review of non-equilibrium water flow and solute transport in soil macropores: Principles, controlling factors and consequences for water quality. *European Journal of Soil Science*, 58 (3), 523-546. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2007.00915.x>
- Keesstra, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tittonell, P., Smith, P., Bardgett, R. D. (2016). The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *Soil*, 2, 111-128.
- Keesstra, S., Mol, G., de Leeuw, J., Okx, J., de Cleen, M., Visser, S. (2018). Soil-related sustainable development goals: Four concepts to make land degradation neutrality and restoration work. *Land*, 7 (4), 133.
- Keesstra, S., Sannigrahi, S., López-Vicente, M., Pulido, M., Novara, A., Visser, S., Kalantari, Z. (2021). The role of soils in regulation and provision of blue and green water. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 376(1834), 20200175.
- Keesstra, S., Veraart, J., Verhagen, J., Visser, S., Kragt, M., Linderhof, V., Groot, A. (2023). Nature-Based Solutions as Building Blocks for the Transition towards Sustainable Climate-Resilient Food Systems. *Sustainability*, 15 (5), 4475.
- Leite, N.K., Stolberg, J., da Cruz, S.P., Tavela, A.D.O., Safanelli, J.L., Marchini, H.R., Exterkoetter, L.M., Giovana, M.C., Krusche, A.V., Johnson, M.S. (2018). Hydrochemistry of shallow groundwater and springs used for potable supply in southern Brazil. *Environ Earth Sci* 77:1–17. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7254-4>
- Li, P., Wu, J., Qian, H., Zhang, Y., Yang, N., Jing, L., Yu, P. (2016). Hydrogeochemical characterisation of groundwater in and around a wastewater irrigated forest in the southeastern edge of the Tengger desert, northwest China. *Expo Heal* 8 (3): 331–348. <https://doi.org/10.1007/s12403-016-0193-y>
- Li, Z., Jennings, A. (2017). Worldwide regulations of standard values of pesticides for human health risk control: A review. *International journal of environmental research and public health*, 14 (7), 826. <https://doi.org/10.3390/ijerph14070826>
- Lupi, L., Miglioranza, K.S.B., Aparicio, V., Marino, D., Bedmar, F., Wunderlin, D. (2015). Dynamics of Glyphosate and AMPA in an agricultural watershed from the southeastern region of Argentina. *Science of the Total Environment*, 536, 687-694. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.090>
- Lutri, V.F., Matteoda, E., Blarasin, M., Cabrera, A., Giuliano Albo, J. (2020). Hydrogeological features affecting the spatial distribution of glyphosate and AMPA in groundwater and surface water in an agroecosystem. Córdoba, Argentina. *Science of the Total Environment*, 711, 134557. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134557>
- Mas, L.I., Aparicio, V.C., De Gerónimo, E., Costa, J.L. (2020). Pesticides in water sources used for human consumption in the semiarid region of Argentina. *SN Applied Sciences* 2 (4): 691. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2513-x>
- Merotto, Jr, A., Gazziero, D. L., Oliveira, M. C., Scursioni, J., Garcia, M. A., Figueroa, R., Turra, G. M. (2022). Herbicide use history and perspective in South America. *Advances in Weed Science*, 40.
- Ministerio de la Salud, Presidencia de la Nación. (2007). Aamma, Organización Panamericana de la Salud, Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable. *La problemática de los agroquímicos y sus envases, su incidencia en la salud de los trabajadores, la población expuesta y el ambiente*. Estudio Corporativo Multicentrico
- Montoya, J., Porfri, C., Roberto, Z.E., Viglizzo, E.F. (2019). Assessing the vulnerability of groundwater resources in semiarid lands of central Argentina. *Sustain Water Resour Manag* 5 (4):1419–1434. <https://doi.org/10.1007/s40899-018-0246-4>
- Montoya, J., López, S., Salvaggiotti, F., Mitidieri, M., Cid, R., Sasal, C., Martens, S., Carrancio, L., Aparicio, V., Acciari, H., Papa, J. C., Vigna, M., Volante, J., Irueta, M., Trumper, E. (2023). *Los productos fitosanitarios en los sistemas productivos de la Argentina. Una mirada desde el INTA*.
- Munira, S., Farenhorst, A., Sapkota, K., Nilsson, D., Sheedy, C. (2018). Auxin herbicides and pesticide mixtures in groundwater of a Canadian prairie province. *Journal of Environmental Quality*, 47 (6), 1462-1467. <https://doi.org/10.2134/jeq2018.05.0202>

- Quiroz Londoño, O.M., Martínez, D.E., Dapeña, C. (2008). Hydrogeochemistry and isotope analyses used to determine groundwater recharge and flow in low-gradient catchments of the province of Buenos Aires, Argentina. *Hydrogeol J*, 16, 1113–1127 <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0289-y>
- Rodrigo Comino, J., Keesstra, S. D., Cerdà, A. (2018). Connectivity assessment in Mediterranean vineyards using improved stock unearthing method, LiDAR and soil erosion field surveys. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43 (10), 2193-2206.
- Rodrigo-Comino, J., Terol, E., Mora, G., Giménez-Morera, A., Cerdà, A. (2020). Vicia sativa Roth. Can Reduce Soil and Water Losses in Recently Planted Vineyards (Vitis vinifera L.). *Earth Systems and Environment*, 1-16.
- SAGPyA e INTA (1990). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro de Investigaciones en Recursos Naturales. Proyecto PNUD Argentina 85/019. *Atlas de Suelos de la República Argentina*. Tomo I. 677 pp.
- Schmidt, M., Tobías, M., Merlinsky, M. G., Toledo López, V. (2022). Conflicts over water and the use of agrochemicals in Salta and Santiago del Estero, Argentina: a political ecology analysis. *Agua y Territorio / Water and Landscape*, 21. <https://doi.org/10.17561/at.21.5889>
- Shomar, B.H., Müller, G., Yahya, A. Occurrence of Pesticides in Groundwater and Topsoil of the Gaza Strip. *Water Air Soil Pollut*, 171, 237–251 (2006). <https://doi.org/10.1007/s11270-005-9038-1>
- Székács, A., Mörtl, M., Darvas, B. (2015). Monitoring pesticide residues in surface and groundwater in Hungary: surveys in 1990–2015. *Journal of Chemistry*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/717948>
- Tomas, M., Farenga M., Bernasconi M.V., Martínez G., Massone H., Cabria F., Calandroni M., Dillon G., Mazzanti D., Pastoriza E., Pilcic T., Espinosa A., Lanari M.E., López M.T., López J., Salgado P. (2005). Atlas digital del Partido de Balcarce Provincia de Buenos Aires, República Argentina. *Revista Cartográfica*, 80-81: 91-102.
- Visser, S., Keesstra, S., Maas, G., De Cleen, M. (2019). Soil as a Basis to Create Enabling Conditions for Transitions Towards Sustainable Land Management as a Key to Achieve the SDGs by 2030. *Sustainability*, 11 (23), 6792.