



# CICTERRÁNEA

- Revista de Comunicación de las Ciencias de la Tierra -



**Miradas y abordajes  
en torno al agua**

Encuentros entre ciencia  
y territorio

**Problemas  
socioambientales**

Reflexiones sobre el quehacer  
científico en Argentina

**Vincularnos  
con las aguas**

Retejernos con la vida

**Agua  
subterránea**

Un tesoro escondido  
en peligro

Con gran alegría compartimos un nuevo número de Cicterránea. Este número es especial, ya que está dedicado a un tema tan corriente como importante, que nos interpela a tod@s: el agua. Nuestro día a día incluye relacionarnos de múltiples maneras con ella y la mayoría de las veces no le prestamos mayor atención creyéndola infinita, sin embargo, la realidad del agua es prácticamente la contraria. Según la UNESCO, la crisis climática global que vivimos afectará la disponibilidad, calidad y cantidad de agua imprescindible para cubrir las necesidades humanas básicas de agua potable y su saneamiento de miles de millones de personas en todo el mundo. Además, la existencia de fuertes desigualdades en su distribución, y las decisiones políticas y económicas que la determinan, hacen a la problemática del agua uno de los grandes desafíos del siglo 21.

Desde nuestro territorio no estamos ajen@s a esta problemática, nuestro país y provincia son escenarios de numerosos conflictos socioambientales relacionados a la falta de acceso, y saneamiento de este bien común y a los impactos de los extremos climáticos, es decir, inundaciones y sequías. En este contexto, la intervención de una amplia variedad de actores con visiones e intereses contrapuestos -muchas veces irreconciliables- ponen de manifiesto la gravedad de las disputas y las múltiples aristas que existen en nuestra realidad en torno al problema.

Como científic@s no estamos ajenos a esta situación; por eso entendemos que las discusiones y búsqueda de posibles soluciones se ven enriquecidas cuando se logra una interacción entre múltiples actores. Es así que estamos orgullos@s que este número de Cicterránea represente un espacio para visibilizar otras maneras de entender e interactuar con esta problemática. En los tiempos que corren, la percepción y conciencia pública sobre los problemas globales y locales resultan esenciales, por lo que, desde nuestro lugar, esperamos que con este número estemos aportando un granito de arena para estar más cerca de concebir al agua como lo que es: un bien común finito y vital.

Emilia Sferco, Gisela Morán y Beatriz Waisfeld

Este número se financió con el Programa de Apoyo Económico para Publicaciones de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNC.

Año 6

Número 6 – 2022

Número Especial: Agua

ISSN 2618-2122

## COMITÉ EDITORIAL

### Editoras responsables

Dra. Gisela Morán

Dra. Emilia Sferco

Dra. Beatriz G. Waisfeld

### Comité editor

Dr. Edgardo Baldo

Lic. Daniela Del Bono

Lic. Cecilia Echegoyen

Dra. Nexxys C. Herrera Sánchez

Ggo. Joel Jaeggi

Dr. Fernando J. Lavié

Dra. Cecilia E. Mlewski

Dr. Agustín Mors

Dr. Diego F. Muñoz

Dra. Fernanda Serra

Mgrt. Eliana Soto Rueda

Lic. Pablo Yaciuk

### Diagramación y diseño gráfico

Paula Benedetto

### Corrección de estilo

Dr. Alberto M. Díaz Añel

Foto de Tapa: la portada ha sido diseñada usando imágenes de Freepik.com.

Esta revista de formato digital se publica con la finalidad de difundir actividades e investigaciones en Ciencias de la Tierra. Los artículos y opiniones firmadas son exclusiva responsabilidad de l@s autor@s. Lo expresado por ell@s no refleja necesariamente la visión o posición de la Institución o editor@s.

Contacto: [cicterranea@gmail.com](mailto:cicterranea@gmail.com)

[www.cicterra.conicet.unc.edu.ar/revista-cicterranea/](http://www.cicterra.conicet.unc.edu.ar/revista-cicterranea/)

<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/cicterranea>

Seguinos en:



CONICET



Universidad Nacional de Córdoba

C I C T E R R A



Director: Dr. Marcelo G. Carrera

Vicedirector: Dr. Diego Gaiero

Contacto:

[secretariacicterra@fcefyn.unc.edu.ar](mailto:secretariacicterra@fcefyn.unc.edu.ar)

Av. Vélez Sársfield 1611,

X5016GCB Córdoba, Argentina

Teléfono: +54 351 535-3800 ext. 30200

[www.cicterra.conicet.unc.edu.ar](http://www.cicterra.conicet.unc.edu.ar)

# AGUA SUBTERRÁNEA

## Un tesoro escondido en peligro

La contaminación por herbicidas es un problema ambiental que puede afectar al agua superficial y subterránea, por lo que es de vital importancia analizar la presencia y concentración de estos agroquímicos en zonas hidrogeológicas diferentes, para identificar las características del sistema natural y de las actividades humanas que favorezcan o limiten la llegada de los mismos a los acuíferos. Hallar herbicidas en el agua subterránea significa que su aplicación durante décadas ha superado su potencial de degradación en el suelo, lo que aumenta la probabilidad de contaminación de las aguas subterráneas, principalmente en zonas de mayor vulnerabilidad natural.



### El que busca encuentra

El agua subterránea constituye el 94 % del agua dulce líquida del planeta y es un recurso muy relevante para abastecer todas las actividades humanas. Además, cumple múltiples funciones mientras fluye en la Tierra: participa en la formación de suelos, de yacimientos minerales, modelado del paisaje, enfriamiento del planeta, etc.

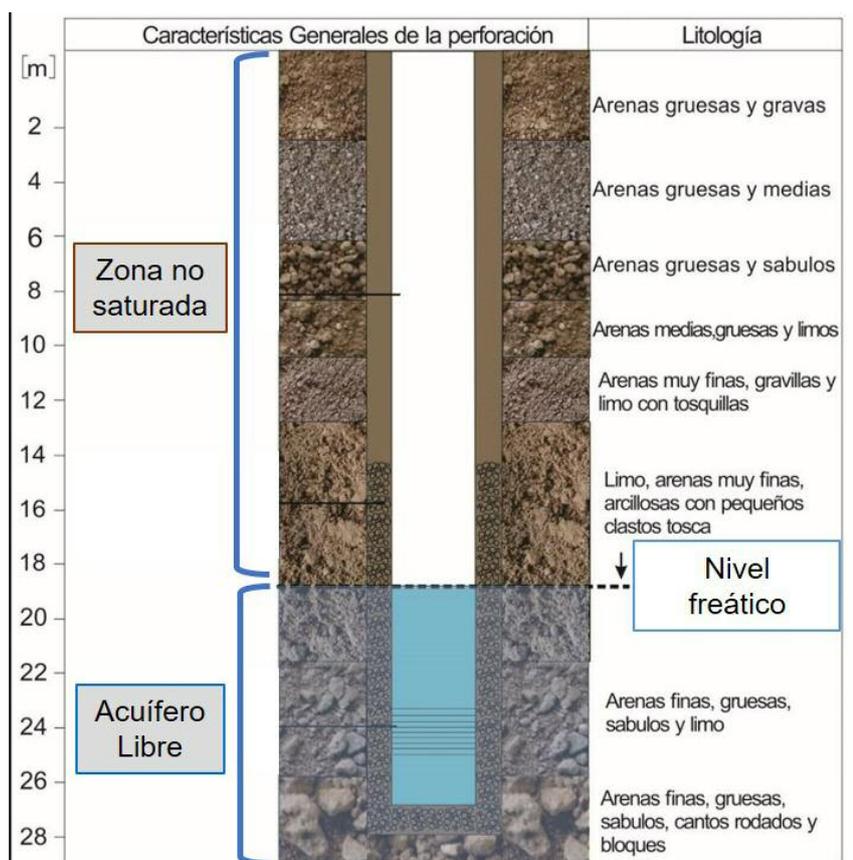
El territorio de la provincia de Córdoba tiene dos ambientes geológicos principales muy diferentes, las sierras y la llanura. Esta última, en su mayoría, es un colorido mosaico de diferentes cultivos, con ríos, lagos, humedales y ciudades. Sin embargo, contiene grandes cantidades de agua invisible a nuestros ojos. Pero... ¿dónde están? ¡Se localizan en los **acuíferos**! Un acuífero (coloquialmente llamado “napa”) es la suma de una parte *sólida*, el “esqueleto”,

que puede estar formado por sedimentos (arenas, gravas) o rocas fracturadas y de una parte líquida que llena completamente los huecos o poros de los mismos, que es *el agua*. Para que un sistema se denomine acuífero tiene que cumplir con ciertas condiciones: que ese esqueleto pueda recibir, almacenar y transmitir el agua (es decir que circule), como ocurre en rocas con alto grado de fracturamiento o en sedimentos gruesos (arenas y gravas). Los sistemas acuíferos pueden imaginarse como verdaderas esponjas llenas o saturadas de agua de las que se puede extraer el líquido por diferentes mecanismos de bombeo. Por debajo de la superficie terrestre pueden existir capas acuíferas a diferente profundidad, normalmente separadas unas de otras por rocas o sedimentos impermeables que si bien contienen agua no la transmiten, no pudiendo extraerse de ellas cantidades útiles de agua ya que los poros o fracturas no presentan conexiones.

**Los sistemas acuíferos pueden imaginarse como verdaderas esponjas llenas o saturadas de agua de las que se puede extraer el líquido por diferentes mecanismos de bombeo. Por debajo de la superficie terrestre pueden existir capas acuíferas a diferente profundidad, normalmente separadas entre sí por rocas o sedimentos impermeables cuyos poros o fracturas no están conectados**

La llanura pampeana de Córdoba es una extensa área conformada por capas de sedimentos de diverso origen, tanto marinos como continentales, que contienen los acuíferos más importantes de la provincia hasta aproximadamente los 500 metros de profundidad. Si se realizara una perforación en la llanura se encontraría primero una zona

“seca” que se denomina Zona No Saturada (ZNS) (en la que los poros contienen fundamentalmente aire) y luego la primera capa acuífera, llamada freática o libre (Figura 1), cuya superficie recibe agua principalmente de las precipitaciones y está sometida a la presión atmosférica. Por debajo del acuífero libre, en general por debajo de los 80-100 metros de profundidad existen capas acuíferas llamadas confinadas, que no están conectadas con la atmósfera y son de gran importancia regional. Ellas alojan aguas más antiguas, suelen contener volúmenes importantes y muy buena calidad. Dependiendo de su ubicación espacial, profundidad y características, pueden usarse para el riego en la actividad agrícola, para ganadería o para consumo humano en zonas con baja calidad natural del acuífero libre. Los sedimentos que separan al acuífero libre de los confinados constituyen capas impermeables, en general de materiales sedimentarios muy finos, como arcillas, o por sedimentos limosos con cementación carbonática, comúnmente denominados tosca.



**Figura 1.** Esquema de una perforación vertical para extraer agua (perforación hidrogeológica) de 28 metros de profundidad realizada en cercanías a la localidad de Tancacha, Córdoba. En el esquema puede verse la zona no saturada (ZNS) y la saturada (acuífero libre) y los materiales predominantes que son sedimentos muy gruesos, como sábulos, arenas gruesas y gravas. Existen también capas de limos y arenas muy finas en profundidad. El nivel freático fue medido en este sitio a los 19 metros.

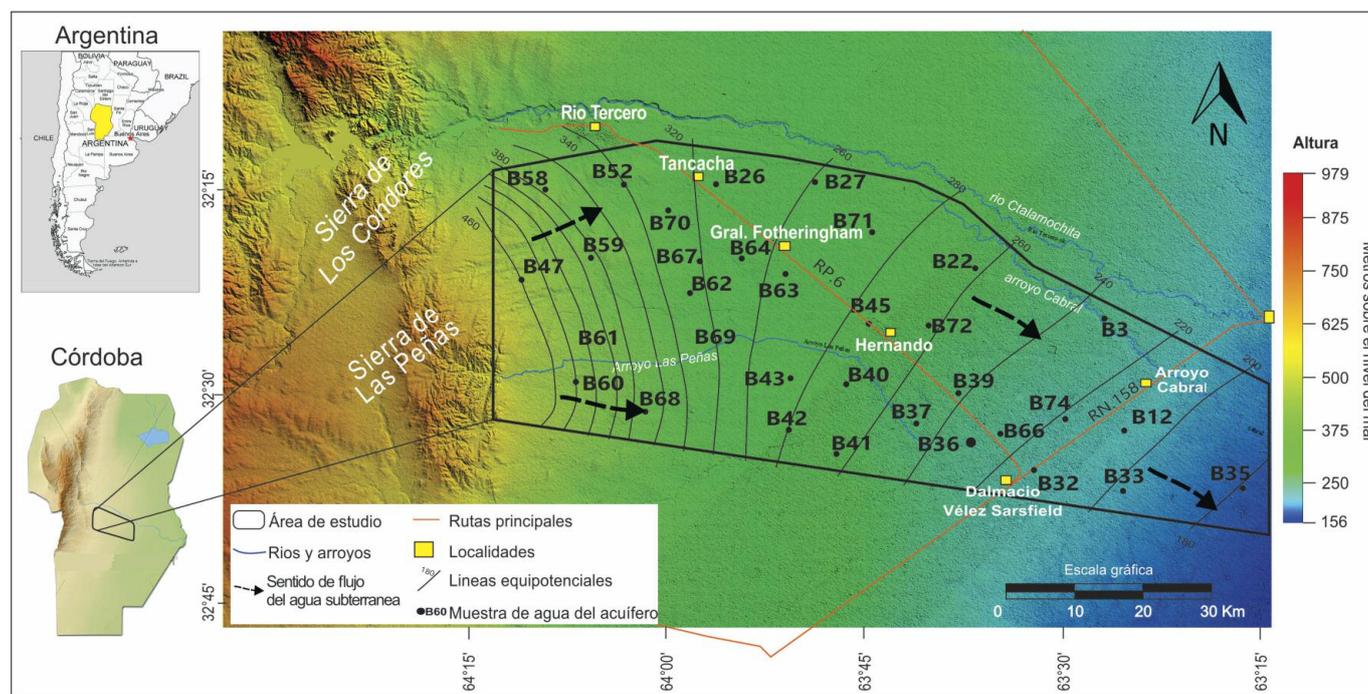
De estos dos tipos de acuíferos, el libre es el más expuesto y vulnerable a la contaminación ya que, si bien a diferente profundidad, se encuentra directamente debajo de los suelos cultivados, por lo que pueden alcanzarlo diferentes compuestos químicos que pueden degradarlo. Esto se debe a que luego de la infiltración del agua de lluvia desde la superficie, ésta incorpora contaminantes del suelo y sigue su lento viaje por gravedad percolando hasta llegar al acuífero en el que se trasladan lentamente a diferentes distancias, hasta que se degradan de distintas formas o se diluyen en el flujo de agua. Por ende, encontrar acuíferos que posean buena calidad de agua para los fines que se requieran (consumo humano, riego agrícola o ganadería) es de vital importancia para los grupos humanos.

## Cosecharás lo que siembras

La agricultura y la ganadería son las principales actividades desarrolladas en la provincia de Córdoba y los acuíferos son el recurso de agua principal para ellas. La agricultura produce un tipo de contaminación más difusa (no está concentrada en un punto), ya que se desarrolla en

áreas extensas, a diferencia de la ganadería (especialmente los feedlots) que genera, en sitios muy puntuales, un tipo de contaminación más concentrada, con alta carga contaminante en un sitio

El sistema agrícola actual se basa en el uso generalizado de semillas genéticamente modificadas para ser resistentes a herbicidas, y a la aplicación de grandes cantidades de fertilizantes. El cultivo predominante por excelencia y con el que comenzó el sistema de siembra directa y la gran expansión agrícola en Argentina es la soja RR resistente a glifosato, que es un ingrediente activo de una gran variedad de herbicidas usados para controlar el crecimiento de malezas de hoja ancha y gramíneas. Este sistema fue acompañado por una notable expansión de la frontera agrícola y un incremento del área sembrada con soja en Argentina, pasando de 960 hectáreas en los años 60, hasta 16 millones en 2020 según las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, FAO. En la provincia de Córdoba la soja es el cultivo dominante, con más del 66% del total. En este contexto, lo que ha ocurrido es que gradualmente se fueron incrementando las áreas con acuíferos contaminados por la llegada



**Figura 2.** Mapa de ubicación del área de estudio, donde se observa el relieve en diferentes colores según su altitud con respecto al nivel del mar. Las flechas indican el sentido de flujo del agua subterránea y los círculos negros la localización de las muestras de agua del acuífero libre, tomadas para analizar herbicidas.

de fertilizantes y plaguicidas. El uso y abuso de glifosato reviste una gran repercusión social, existiendo países donde su uso incluso ha sido prohibido (Francia, Bélgica, Italia, República Checa, Dinamarca, Portugal y los Países Bajos, entre otros) por su posible efecto cancerígeno.

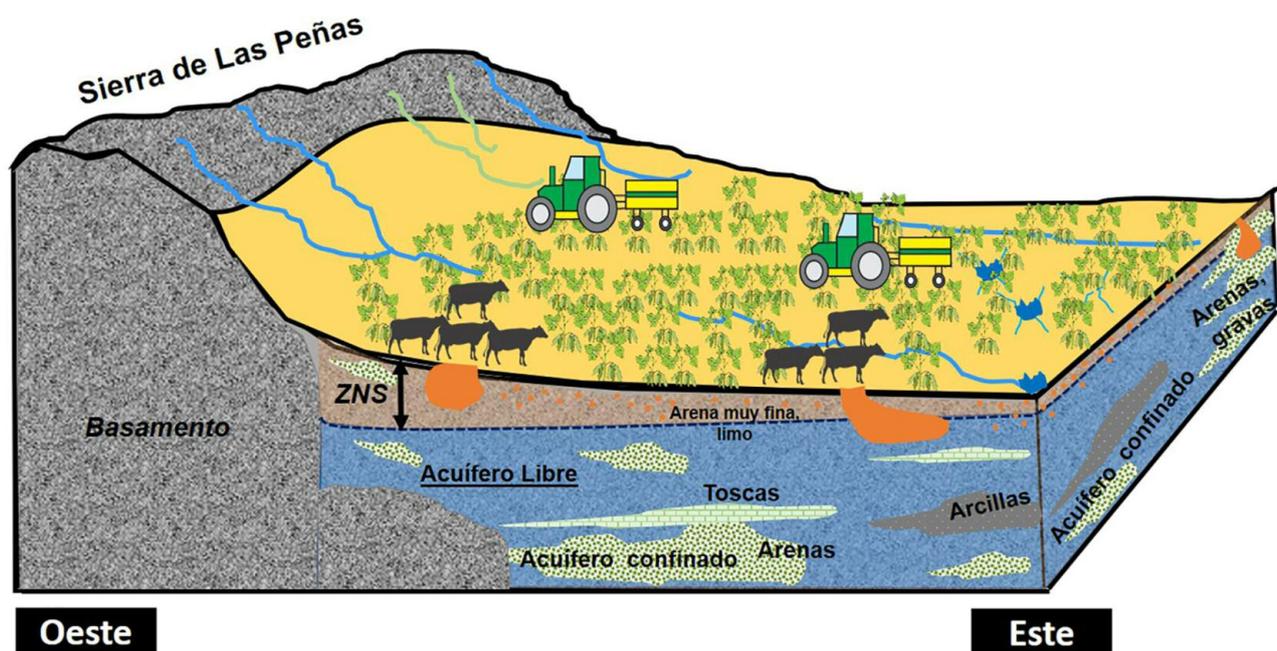
## Las diferencias hacen la diferencia

En la llanura oriental de la Sierra de Las Peñas (la sección más austral de las Sierra Chicas de Córdoba, Figura 2) estudiamos las características del sistema natural y los diferentes aspectos del sistema de labranza y uso de agroquímicos que afectan la llegada de contaminantes al acuífero libre. También analizamos si existen diferencias con respecto a las aguas superficiales, que están más expuestas a la contaminación.

En el área de estudio pudimos definir zonas con importantes diferencias geológicas (sedimentos, relieve, etc). Todos estos factores en diferente grado condicionan la composición geoquímica natural del agua, la cantidad de agua que infiltra alimentando al acuífero y también el transporte de contaminantes a las aguas subterráneas (Figura 3).

Uno de los principales factores que define la llegada de los contaminantes al acuífero libre es la profundidad del nivel freático o nivel superior del acuífero (Figura 3): ¡mientras más profundo es el nivel freático, mejor!... ya que existe por encima una protección natural que es la zona no saturada, donde los contaminantes pueden degradarse por diversos procesos (adhesión a partículas del terreno, oxidación, ruptura de la molécula por acción del agua, etc). En sitios donde el nivel de agua está cercano a la superficie, los contaminantes llegan más fácilmente al acuífero, ya que no alcanzan a degradarse, pudiendo afectar el agua subterránea.

**La profundidad del nivel freático es uno de los principales factores que define la llegada de los contaminantes al acuífero libre; mientras más profundo, mejor! ya que existe por encima, una protección natural donde los contaminantes pueden degradarse. En sitios donde el nivel de agua está cercano a la superficie, los contaminantes llegan más fácilmente al acuífero pudiendo afectar el agua subterránea**



**Figura 3.** Reconstrucción de la zona analizada. Se observa la gran diferencia de espesor de la Zona No Saturada: mucho mayor cerca de las sierras de Las Peñas y menor hacia la llanura, en cercanías de Dalmacio Vélez Sarsfield. Las áreas de color naranja representan contaminación puntual (por ganadería concentrada) que alcanzan al acuífero libre donde éste está cerca de la superficie. Los puntos naranja más pequeños representan contaminación difusa (por herbicidas) que alcanza al agua subterránea en la llanura oriental, pero no así donde el nivel freático es muy profundo.

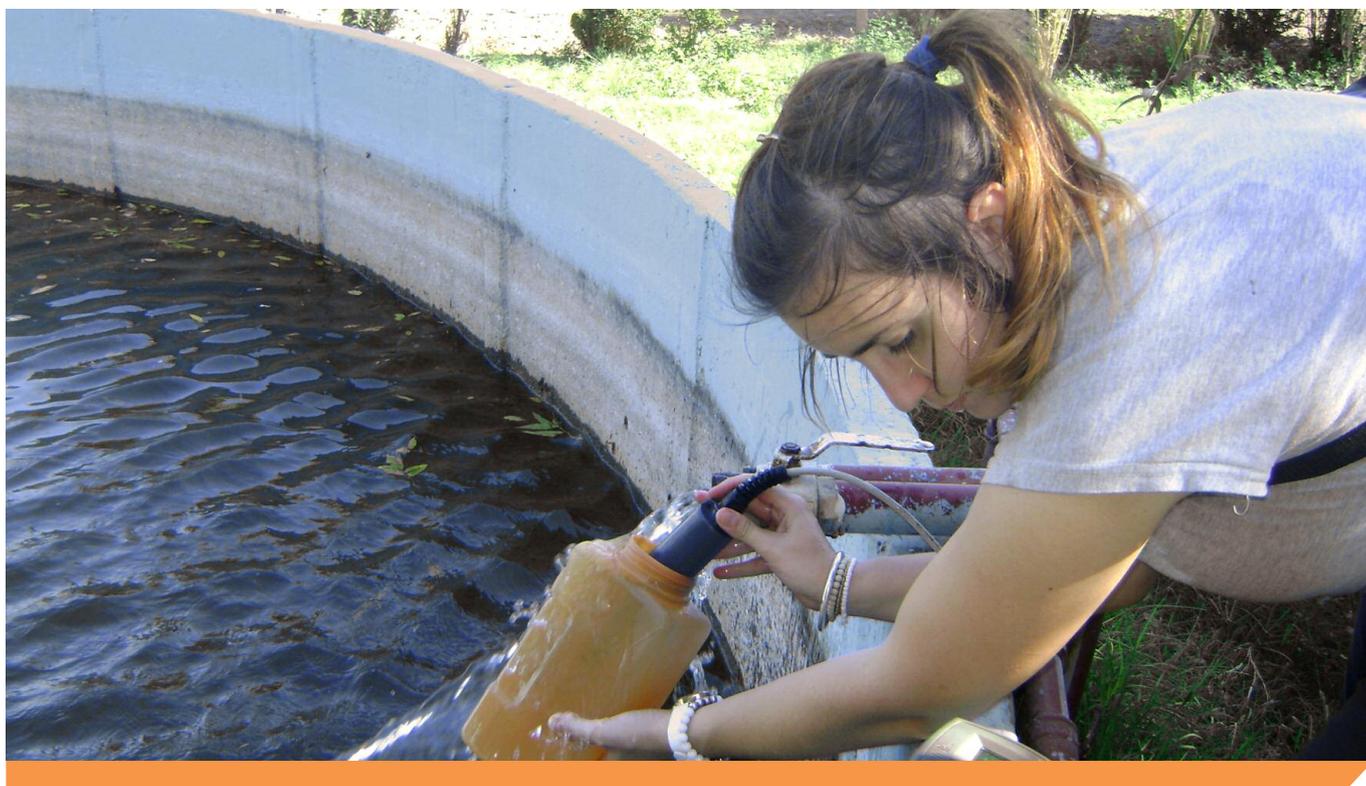
Otro factor de gran importancia es el tipo de material geológico que conforma la zona no saturada, fundamentalmente el tamaño de grano de los sedimentos, siendo mayor la infiltración en zonas donde existen arenas gruesas y gravas y menor si los sedimentos tienen granos más pequeños, como arenas muy finas y limos. Es decir, si los sedimentos son más finos, los contaminantes tardarán más en llegar a los acuíferos. Este factor es muy importante también en el propio acuífero ya que regula, junto a otros, la velocidad del agua subterránea, una variable muy importante para entender escenarios de contaminación. El agua subterránea, a diferencia de los ríos y arroyos, fluye muy lentamente. Las velocidades calculadas en esta zona fueron entre 4 y 20 centímetros por día. En los acuíferos con “esqueleto” de sedimentos gruesos la velocidad del agua es mayor, lo cual ayuda a diluir los contaminantes más rápidamente (disminuyendo su concentración). En cambio, en acuíferos con sedimentos muy finos (arenas muy finas /limos) la capacidad de dilución, por dispersión hidrodinámica es menor, por lo que el contaminante puede permanecer más tiempo en alta concentración en el agua subterránea.

Como resultados, hallamos un bajo porcentaje (15%),

de muestras de agua subterránea con herbicidas en la época de primavera, pero para el caso de aguas superficiales este porcentaje fue superior (66%) y en concentraciones mayores, sobre todo en lagunas y en canales de drenaje que poseen muy baja velocidad de flujo en áreas llanas o deprimidas. En los arroyos encontramos menor concentración de herbicidas, debido a que la corriente de agua posee más poder de dilución por la mayor velocidad de flujo, especialmente en las épocas de precipitaciones más abundantes (Figuras 4 y 5).

### Llueve sobre mojado

En Córdoba tenemos una estacionalidad muy marcada: Casi el 80 % de las lluvias se concentra en los meses de noviembre a marzo, por lo que los excesos de agua se dan en verano, primavera y otoño, mientras que los déficit hídricos predominan en invierno. Por ello, fue de interés estudiar si había diferencias entre las concentraciones de herbicidas en el agua subterránea en las épocas de primavera y la época invernal. Aquí también sumamos el análisis de Atrazina (un herbicida ampliamente usado en Córdoba) y AMPA, que es el componente de degradación del glifosato. Pudimos



**Figura 4.** Medición de la calidad de agua de una perforación. En cada perforación que capta agua del acuífero, se realiza la medición in situ (en el lugar) de parámetros físico-químicos del agua subterránea, como temperatura, pH, oxígeno disuelto y sales disueltas totales, con una sonda multiparamétrica. Luego se realiza la toma de muestras para análisis físico-químico y en frascos especiales (vidrio o polietileno) para los distintos herbicidas analizados.

observar que en la época de mayores precipitaciones, coincidente con la época de pulverización de agroquímicos, los porcentajes y la concentración de herbicidas en el agua subterránea eran mayores que en la época invernal.

Estudios más específicos utilizando modelación numérica nos brindaron información sobre el movimiento de plaguicidas hacia el acuífero, mostrando que se transportan con el flujo de agua, por microporos y muy rápidamente, por macroporos como huecos producidos por raíces o lombrices, estructura del suelo, etc. Existen otros sectores de la provincia de Córdoba, donde el mismo grupo de investigación ha encontrado más de 20 plaguicidas en el acuífero libre, e incluso trazas de algunos de ellos en un acuífero semiconfinado a 120 metros de profundidad.

## ¿Hay mal que dure cien años?

Es clave entonces la necesidad de promover la sustentabilidad del uso y manejo del recurso hídrico, incorporando el análisis de contaminantes para observar el grado de impacto en los acuíferos, lo que ayuda a definir patrones o características naturales o por actividad humana que aumenten o disminuyan el peligro de contaminación y diversos riesgos para las personas.

Los escenarios de contaminación son muy complejos y precisan del análisis de múltiples variables. En nuestro estudio se observó que los valores de herbicidas son bajos, pero efectivamente han llegado al acuífero libre y en él circulan. Por un lado, identificamos algunos condicionantes naturales tales como la profundidad de nivel freático, la litología de la zona no saturada y del acuífero, la velocidad del agua subterránea y factores climáticos. Por otro reconocimos que las variables dependientes de la actividad humana que más influyen fueron: la época de aplicación, las concentraciones de los compuestos utilizadas y los días de pulverización.

**¿Cómo podemos proteger al recurso hídrico? Estableciendo áreas protegidas para la biodiversidad, y los cursos de agua; Respetando las zonas mínimas de seguridad para las pulverizaciones y con distancia adecuada a las áreas pobladas; Realizar controles más estrictos, promover la disminución del uso de agroquímicos e incluso restringir el uso de herbicidas con probada toxicidad.**



**Figura 5.** Muestreo de atrazina (variedad de herbicida) en una laguna poco profunda, en frasco de vidrio color caramelo. Se colecta agua para realizar también análisis físico-químicos.

Hallar herbicidas en el agua subterránea implica que la aplicación durante décadas bajo el modelo agrícola imperante ha superado el potencial de degradación del suelo y la zona no saturada, lo que aumenta la probabilidad de contaminación de las aguas subterráneas, principalmente en zonas de mayor vulnerabilidad natural.

Ya es posible, en función de datos hallados por muchos investigadores, dejar de hablar de peligro (probabilidad de

que lleguen los contaminantes) sino de agua que ya ha sido impactada por la contaminación. ¿Cómo podemos proteger al recurso hídrico?: Estableciendo áreas protegidas para la biodiversidad, y los cursos de agua; Respetando las zonas mínimas de seguridad para las pulverizaciones y con distancia adecuada a las áreas pobladas; Realizar controles más estrictos, promover la disminución del uso de agroquímicos e incluso restringir el uso de herbicidas con probada toxicidad.



**Verónica Lutri,**  
Dra. en Ciencias Geológicas, Becaria posdoctoral de CONICET, Docente en la FCEFQyN, Universidad Nacional de Río Cuarto



**Mónica Blarasin,**  
Dra. en Ciencias Geológicas, Docente en la FCEFQyN, Universidad Nacional de Río Cuarto



**Edel Matteoda,**  
Dra. en Ciencias Geológicas, Docente en la FCEFQyN, Universidad Nacional de Río Cuarto

## Glosario

**Contaminante:** Es toda sustancia introducida al sistema natural por la actividad humana, cuya presencia pueda tener efectos nocivos o que impliquen molestia grave o riesgo para la salud de las personas o peligro para el ambiente en su conjunto.

**Siembra directa:** Es parte de un sistema de producción de granos con la implantación del cultivo sin labranza de suelo y con una cobertura permanente del suelo con residuos de cosecha.

**Litología:** Tipos de rocas y sedimentos (tamaño de grano, composición química, textura, composición mineralógica).

**Degradación de un contaminante:** Procesos que disminuyen las concentraciones de los contaminantes, puede ser ocasionada por bacterias y otros microorganismos y por diferentes procesos de degradación química (oxidación, reducción, deshidrohalogenación, hidrólisis) o por la exposición a la luz solar (degradación fotoquímica).

**Dispersión hidrodinámica:** Es el mecanismo por el cual se producen fenómenos de mezcla de agua contaminada con agua limpia generando dilución del soluto/contaminante al moverse en el medio poroso, disminuyendo su concentración.

## Referencias bibliográficas/lecturas sugeridas

PAGINA WEB del grupo de geohidrología UNRC: <https://geohidrounrc.blogspot.com.ar/>

Agua subterránea y ambiente. Programa de divulgación científica para la enseñanza de las ciencias Cordobensis. Mónica Blarasin y Adriana Cabrera. 1a ed. Agencia Córdoba Ciencia, 2005.

[https://drive.google.com/file/d/0B6VhLNEa7OwgcjIwVfbkc4ckk/view?resourcekey=0-1Xz0FAwzd\\_Zz3mX\\_YMJQAw](https://drive.google.com/file/d/0B6VhLNEa7OwgcjIwVfbkc4ckk/view?resourcekey=0-1Xz0FAwzd_Zz3mX_YMJQAw)

Video de divulgación: "Aguas subterráneas en Córdoba". Micro-Ciencia. Centro de Producción e Innovación en Comunicación de la Facultad de Ciencias de la Comunicación de la Universidad Nacional de Córdoba. Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba. <https://youtu.be/soh5sQ6bZDo>

Aparicio V., E. De Gerónimo, K. Hernández Guijarro, D. Pérez, R. Portocarrero y C. Vidal. 2015. "Los plaguicidas agregados al suelo y su destino en el ambiente". Ediciones INTA. 73 p. ISBN 978-987-521-665-5

# CICTERRA

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS DE LA TIERRA

## ¿Qué es el CICTERRA?

Es un centro de investigación en Ciencias de la Tierra dependiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), vinculado con la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Fue creado por resolución del CONICET el 31 de Mayo de 2007.

## ¿Qué hacemos?

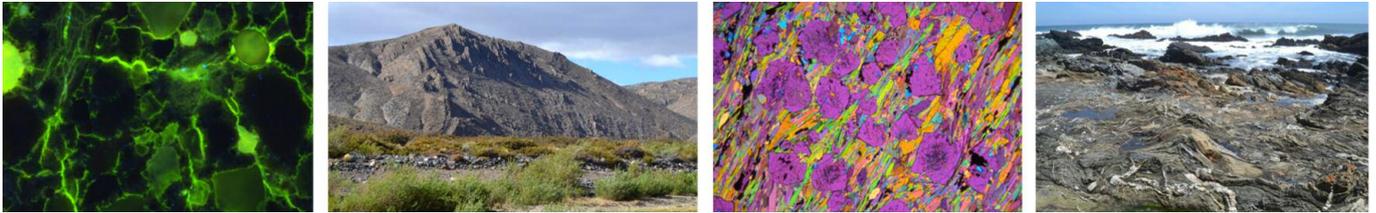
Desarrollamos proyectos de investigación en diferentes temas vinculados con las Ciencias de la Tierra en general, incluyendo Geología Endógena y Exógena, Geoquímica, Geofísica, Paleontología y Paleobiología. Realizamos docencia de grado y de posgrado, actividades de extensión, comunicación pública de la ciencia y transferencia de conocimiento. Efectuamos asesorías técnicas a entidades públicas y empresas privadas.

## ¿Quiénes somos?

Somos miembros de la Carrera del Investigador Científico y del Personal de Apoyo de CONICET, Profesores e Investigadores de la UNC, Becarios Doctorales y Posdoctorales del CONICET o FONCYT y Personal Administrativo. En la actualidad el CICTERRA cuenta con una planta de más de 100 integrantes. El Centro incluye geólogos, biólogos, químicos, geofísicos y egresados de carreras afines.

## Líneas de Investigación

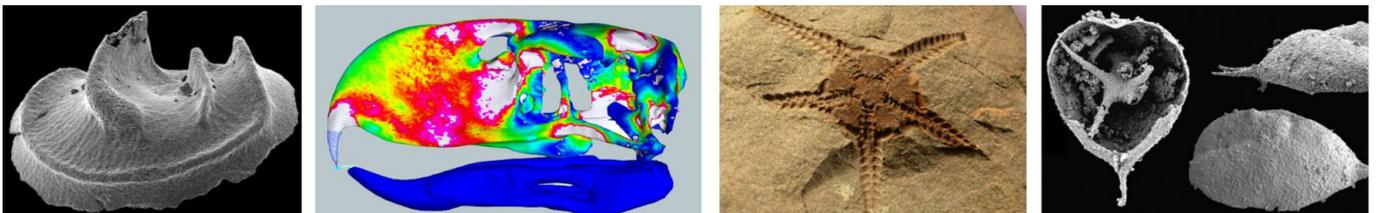
### Dinámica de la litósfera – astenósfera



### Variabilidad hidroclimática y procesos geo-ambientales



### Evolución de la diversidad biológica



Nuestro desafío consiste en comprender una amplia gama de procesos naturales que tienen lugar desde las capas más profundas del planeta hasta su superficie y desde su formación hasta el presente. Aspiramos a que nuestra experiencia y conocimiento sea un aporte al bienestar de la sociedad.