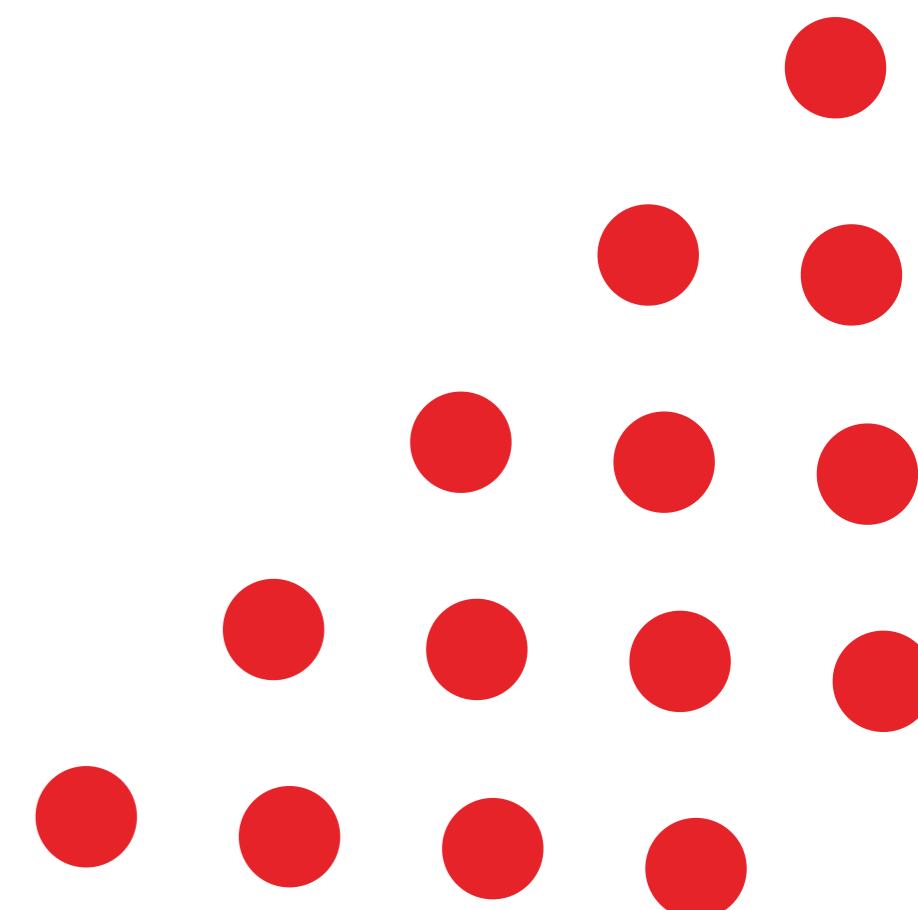


# GESTIÓN INTEGRADA DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LATINOAMÉRICA

Casos y experiencias del curso regional Gestión Integrada de Aguas Subterráneas (GIAS) 2019 – Plan Interconecta

## INSTITUCIONES PARTICIPANTES





## COMPILADORES

### Marta Paris

RALCEA – Red de América Latina de Centros de Excelencia en Gestión del Agua. Cátedra UNESCO Agua y Educación para el Desarrollo Sostenible, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas-Universidad Nacional del Litoral (FICH-UNL)

### Alberto Manganelli

CeReGAS - Centro Regional para la Gestión de Aguas Subterráneas en América Latina y el Caribe (UNESCO)

ISBN 978-9974-8794-0-9



Esta publicación cuenta con la colaboración de la Cooperación Española a través de la Agencia Española de Cooperación (AECID). El contenido de la misma es responsabilidad exclusiva de sus autores y no refleja, necesariamente, la postura de la AECID.

## ÍNDICE

- 3 Prólogo
- 4 Introducción
- 5 La temática aguas subterráneas en el programa de Formación Iberoamericano (PFI) de la Conferencia de Directores Iberoamericanos del Agua (CODIA)
- 6 La protección del agua subterránea
- 7 La gestión de acuíferos transfronterizos
- 8 Casos de estudio
- 9 1. Actualización Modelo Regional Cuenca Maipo
- 17 2. Plan de monitoreo de vigilancia para prevenir la contaminación en un sector del Sistema Acuífero Guaraní
- 24 3. Estudios para la implementación de la gestión integrada de las aguas superficiales y subterráneas en la cuenca del río Carinhanha
- 30 4. Caracterización hidrológica de la reserva natural integral y mixta Laguna de Rocha en la Cuenca del Plata
- 37 5. Acuífero Guaraní Argentina-Uruguay: aprovechamiento sustentable del recurso en los parques termales
- 46 6. Plan de gestión para la remediación de la contaminación del Acuífero Raigón en el sector oeste de Ciudad del Plata
- 52 7. Propuesta para el monitoreo y plan de gestión del acuífero ubicado en el arco seco de la cuenca del Río la Villa
- 59 8. Aprovechamiento subterráneo de la Cuenca del Pilcomayo y Cuenca del Bermejo

# PRÓLOGO

El Centro de Formación de la Cooperación Española en Montevideo, junto con el Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento (FCAS), la Conferencia de Directores Iberoamericanos del Agua (CODIA), la Red de América Latina de Centros de Conocimiento en Gestión del Agua (RALCEA), el Programa Hidrológico Intergubernamental (PHI) de UNESCO y su Centro Regional para la Gestión de Aguas Subterráneas en América Latina y el Caribe (CeReGas) y la Cátedra UNESCO Agua y Educación para el Desarrollo Sostenible, se complacen en presentar este compendio de experiencias que pretenden contribuir al conocimiento sobre la gestión integrada de las aguas subterráneas, aportando un total de ocho experiencias de cinco países (Chile, Uruguay, Brasil, Argentina y Panamá).

Esta publicación es fruto del Plan de Transferencia, Intercambio y Gestión de Conocimiento para el Desarrollo de la Cooperación Española en América Latina y el Caribe – Interconecta que, en su afán por amplificar el alcance y la difusión del intercambio de conocimientos generados en sus actividades, pone a disposición del público general parte de los contenidos tratados en la actividad realizada en el mes de noviembre de 2019 en las instalaciones del Centro de Formación de Montevideo.

Las actividades que se llevaron a cabo con las instituciones mencionadas han contribuido a fortalecer los cono-

cimientos y las redes de trabajo entre los y las técnicas y profesionales de las diferentes instituciones integradas dentro de la CODIA, así como también de organismos de gestión de recursos hídricos y el ambiente del ámbito nacional, estatal, provincial y local, gerentes/as de empresas/cooperativas de agua, entes de control, organizaciones no gubernamentales y de la sociedad civil, líderes comunitarios, profesionales de la comunicación, entre otros, que en los países de la región de América Latina y el Caribe se encuentran trabajando en la materia.

El FCAS ha materializado el compromiso adquirido por España, por un lado, para hacer efectivos los derechos humanos de acceso al agua potable y al saneamiento, y por otro lado, busca contribuir a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) acordados en la Agenda 2030, en especial al ODS 6 “Garantizar la disponibilidad y una gestión sostenible del agua y de las condiciones de saneamiento”.

Asimismo, la Conferencia de Directores del Agua, se configura como un aliado estratégico en la línea del fortalecimiento de capacidades facilitando los intercambios y la coordinación tanto institucional como privada en aspectos jurídicos, técnicos, formativos; y el Programa Hidrológico Intergubernamental (PHI) es el único programa intergubernamental del sistema de las Naciones Unidas dedicado

a la investigación sobre el agua, la gestión de los recursos hídricos y la educación y la creación de capacidades.

Agradecemos a quienes han sistematizado los casos prácticos que aquí se presentan su esfuerzo por ponerlas a disposición del público y a los compiladores, Marta Paris y Alberto Manganelli por su dedicación y coordinación.

## **Mercedes Flórez Gómez**

Directora del Centro de Formación de la Cooperación Española en Montevideo



# INTRODUCCIÓN

El tema del agua subterránea y su gestión ha sido reconocido por la CODIA (Conferencia de Directores Iberoamericanos de Agua) como relevante dentro de su programa de formación. Ello ha dado lugar a que desde el año 2015 se hayan realizado cuatro ediciones del curso *Gestión Integrada de Aguas Subterráneas (GIAS)*, incluso dando énfasis a temáticas como aguas transfronterizas o la relación de la GIAS con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

El curso se ha planteado siempre como un espacio de encuentro e intercambio de conocimientos y experiencias donde se construyen caminos que habilitan la vinculación sinérgica de las capacidades instaladas en Latinoamérica y el Caribe.

Su realización ha sido posible por la articulación de alianzas entre distintas instituciones que han dado su apoyo: la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), la Red Latinoamericana de Desarrollo de Capacidades para la Gestión Integrada del Agua (La WETnet) en asociación con Cap-Net (Red Internacional de Desarrollo de Capacidades para la Gestión Sostenible del Agua), UNESCO a través del Progra-

ma Hidrológico Intergubernamental (PHI), el Centro Regional para la Gestión de Aguas Subterráneas en América Latina y el Caribe (CeReGAS) y la Cátedra UNESCO Agua y Educación para el Desarrollo Sostenible y Red de América Latina de Centros de Conocimiento en Gestión del Agua (RALCEA) gracias al aporte proveniente del instrumento Facilidad de Inversión en América Latina (LAIF) de la Unión Europea, gestionados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y AECID.

En este documento se recuperan las experiencias y lecciones aprendidas a partir de casos de estudio presentados por los participantes en el curso GIAS realizado en el Centro de Formación AECID de Montevideo (Uruguay) en noviembre del año 2019. En ellos se muestran los conocimientos adquiridos en el curso en relación con la aplicación de metodologías para la protección de acuíferos y fuentes de abastecimiento, amalgamadas en planes de gestión integrada del agua subterránea para atender las particularidades de las problemáticas hídricas locales.

Se espera que estos casos de estudio sirvan para movilizar otras experiencias en nuestra región.





# LA TEMÁTICA AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL PROGRAMA DE FORMACIÓN IBEROAMERICANO (PFI) DE LA CONFERENCIA DE DIRECTORES IBEROAMERICANOS DEL AGUA (CODIA)

**Luis Reolón**

CeReGAS - Centro Regional para la Gestión de Aguas Subterráneas en América Latina y el Caribe (UNESCO)

La Conferencia de Directores Iberoamericanos del Agua (CODIA) surge como respuesta al mandato del Primer Foro Iberoamericano de Ministros de Medio Ambiente (España, 2001) con objeto de crear un foro de la región en la que participaran los principales responsables de la gestión del agua en la región latinoamericana. Uno de los cometidos principales de la Conferencia es “Desarrollar cursos y programas de formación para profesionales, personal de Administraciones públicas y cargos públicos”.

Nace así, el Programa de Formación Iberoamericano en materia de agua (PFI) de la CODIA, que se transformó rápidamente en una de las líneas de trabajo de la CODIA de mayor visibilidad y cuyo desarrollo se mantiene ininterrumpido desde que fue aprobado en 2008. Tras la celebración de más de un centenar de actividades en el marco del PFI, en 2013 se aprueba la realización de una revisión interna del mismo, con el objeto de identificar las fortalezas del programa y buscar oportunidades de mejora para los puntos más débiles.

Surge así de este proceso de reestructuración, que el agua subterránea y especialmente aquellos acuíferos transfronterizos, por su particularidad desde el punto de vista de su gobernabilidad, protección, marcos jurídicos, etc., sean incluidos como un tema relevante en el programa de for-



Video: hacer click para reproducir

mación para atender una necesidad creciente de los países miembros de la CODIA.

Finalmente, esta iniciativa se concreta en el curso denominado “*Gestión Integrada de Aguas Subterráneas (GIAS)*”, con el objetivo de promover el desarrollo de capacidades para la gestión sostenible del agua subterránea, con una visión integral que contribuya a garantizar la seguridad hídrica y la gobernabilidad.

# LA PROTECCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

## Marta Paris

RALCEA – Red de América Latina de Centros de Excelencia en Gestión del Agua. Cátedra UNESCO Agua y Educación para el Desarrollo Sostenible, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas-Universidad Nacional del Litoral (FICH-UNL)

El agua subterránea es fuente de abastecimiento en áreas rurales y pequeñas y grandes aglomeraciones urbanas, aún en aquellas regiones con aguas superficiales en abundancia. Los acuíferos juegan un papel fundamental en el bienestar del ser humano y de muchos ecosistemas acuáticos.

Sin embargo, el aumento de la demanda, la falta del conocimiento apropiado de las características geológicas e hidrogeológicas de los que derivan esquemas no racionales de extracción, la ausencia de esquemas de gobernanza o de marco legal adecuado, entre otros conducen al deterioro de la cantidad y calidad de los recursos hídricos subterráneos que muchas veces podrían ser rápidamente descriptas con la frase popular: *ojos que no ven, corazón que no siente*.

En términos prácticos, la protección de los acuíferos contra la contaminación implica restringir las prácticas actuales y futuras del uso del territorio, descarga de efluentes y vertido de residuos, estableciendo diferentes niveles de control. Estos niveles o zonas deben ser definidos en cada caso según la capacidad de atenuación natural del ambiente subterráneo y el tiempo de viaje de los contaminantes en el agua subterránea, dando lugar a matrices para el ordenamiento del uso del territorio que indiquen qué actividades son posibles y dónde. Por otra parte, la protección del volumen de las reservas de agua requiere plantear un balance prospectivo entre la disponibilidad de agua y la demanda hídrica evaluando el resultado de la simulación del comportamiento del acuífero en diferentes escenarios.



Herramientas como los mapas de vulnerabilidad, instrumentación de perímetros de protección de pozos, el inventario y caracterización de la amenaza de las actividades y uso del territorio, la modelación matemática hidrogeológica y las redes de monitoreo, no sólo son recomendables, sino que hoy día deberían formar parte de las distintas componentes de un plan de gestión sostenible del agua.



# LA GESTIÓN DE ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS

**Alberto Manganelli**

CeReGAS - Centro Regional para la Gestión de Aguas Subterráneas en América Latina y el Caribe (UNESCO)

Los Sistemas Acuíferos Transfronterizos (SATs) se han convertido en objeto de una creciente atención por parte de la comunidad internacional; sin embargo, los aspectos vinculados con la gestión y gobernanza de estos acuíferos aún se encuentra en estado incipiente.

En la mayoría de los países hay normas legales, en el ámbito nacional, regional y local para regular el uso del agua tanto superficial como subterránea. Con respecto a los recursos de aguas superficiales transfronterizas existen múltiples acuerdos en todo el mundo, mientras que respecto a los SATs todavía hay un rezago importante, siendo muy pocas las herramientas existentes para la gestión coordinada o compartida entre los países.

Según Haas (1992, en De Souza et. al. 2014), las incertidumbres y la complejidad de los problemas sobre los que se requieren decisiones hacen que la coordinación internacional sea difícil, siendo aún más difícil cuando los problemas técnicos están involucrados y los encargados de tomar decisiones no están familiarizados con ellos.

La falta de datos confiables y sistematizados, sumado a que la necesidad de información para realizar una gestión eficaz de los SATs es grande, diversificada, costosa y lleva tiempo obtenerla, generan como consecuencia la ausencia de la gestión compartida de los acuíferos transfronterizos.

Según Kettelhut et. al (2010), cuando se trata de SATs con grandes áreas, es muy difícil una gestión integrada con el objetivo de minimizar las posibles consecuencias negativas del uso del agua entre los países. Este problema está directamente relacionado con la incertidumbre de, si una intervención realizada en un país podría tener una consecuencia negativa en otro país, y si esto ocurre, cuánto tiempo llevará en manifestarse. Como la velocidad del flujo del agua subterránea, en la mayoría de los casos, es lenta, el tiempo para que una intervención realizada en un punto del SAT pudiera causar un posible efecto en otro punto distante podría ser muy largo y tomar cientos o miles de años.

Frente a esta realidad y con el fin de sistematizar experiencias, difundir el conocimiento ya generado y mejorarlo, el Programa UNESCO-OEA ISARM Américas, tuvo como objetivo hacer un inventario de los SATs de la región, profundizar el conocimiento existente sobre los mismos y proporcionar datos y conocimientos a partir de las contribuciones de los representantes de los países. Este programa resultó muy exitoso y produjo 4 libros que son la referencia para el conocimiento de los SATs en las Américas<sup>1</sup>. En el presente se está trabajando en la actualización del inventario de los SATs en la región americana bajo una nueva etapa del programa ISARM Américas.

## Referencias

De Souza, Matilde, Pereira Silva, Carla e Mendes Barbosa, Luciana (2014). Governança e Difusão de Normas para a Gestão de Aquíferos Compartilhados: O Papel do ISARM. Contexto Internacional (PUC) Vol. 36 Nº 1 – jan/jun 2014. p. 261-289

Kettelhut, J.T. S.; Ferreira, A. N. P.; and Lima, C. F. (2010). Proposal Methodology for Establishing Limit Distances from Country Boundaries for the Management of Transboundary Aquifer Systems. UNESCO-IAH-UNEP Conference, Paris, 6-8 December 2010

<sup>1</sup> <https://isarm-americas.org/serie-isarm-americas/>



A photograph of a cave interior. The foreground is a rocky floor with various sized stones and pebbles. The background is a dark, cavernous space with a textured rock wall. The text "CASOS DE ESTUDIO" is centered in the middle of the image.

## CASOS DE ESTUDIO



# 1. ACTUALIZACIÓN MODELO REGIONAL CUENCA MAIPO

## AUTOR

**Carlos Berroeta Bustos**

Coordinador Regional PHI Grupo Aguas Urbanas, Chile.

## RESUMEN

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático ha señalado a Chile como un país altamente vulnerable frente al fenómeno de cambio climático lo que provocará entre otros efectos, una mayor cantidad de eventos extremos, sequías más prolongadas e inundaciones más recurrentes.

En la actualidad Chile ya está viviendo una de las mayores sequías desde que se tiene registros, con impactos en gran parte del territorio nacional, situación que repercute enormemente en su desarrollo dada la fuerte dependencia que tienen las principales actividades socioeconómicas del país al clima y principalmente a la disponibilidad hídrica.

En la Región Metropolitana (RM) de Chile, aportante del 40% del PIB nacional, los recursos hídricos provienen de ríos, esteros y aguas subterráneas circunscritas en la cuenca del río Maipo, coincidente con los límites de la RM. La Seguridad Hídrica en esta cuenca se ve amenazada por esta sequía lo que obliga a impulsar iniciativas para lograr una gestión eficiente y sustentable del recurso. Se considera que el contar con un modelo integrado de los recursos hídricos de la cuenca, superficial subterráneo, se hace absolutamente necesario para lograr predecir su comportamiento frente a distintas condiciones de explotación.



Video: hacer click para reproducir



## CUENCA MAIPO

La cuenca del río Maipo se encuentra situada en la zona central de Chile, entre  $32^{\circ} 55' - 34^{\circ} 15'$  de latitud Sur y  $69^{\circ} 46' - 71^{\circ} 43'$  de longitud Oeste, siendo prácticamente coincidente en sus límites con la región Metropolitana de Santiago, en donde está radicada la capital del país, abarcando una superficie levemente superior a los  $15.000 \text{ km}^2$  (Figura 1).

La cuenca presenta un clima mediterráneo semiárido, con precipitaciones concentradas en los meses de invierno y temperaturas máximas en los meses de verano. En relación con la precipitación en la cuenca, ésta es altamente variable y, de acuerdo con el historial de los últimos años y proyecciones de efectos del cambio climático, existe una fuerte tendencia a la baja. A la inversa, la proyección de temperaturas medias para los próximos años tiene una tendencia al alza.

El río Maipo, que da lugar a la cuenca del mismo nombre, nace en las laderas del volcán Maipo a  $5.523 \text{ m.s.n.m.}$  y recorre una longitud de  $250 \text{ kilómetros}$  hasta desembocar en el Océano Pacífico, región de Valparaíso. En su origen en la cordillera recibe los aportes de los ríos Volcán, Yeso y Colorado, siendo este último el de mayor importancia en esta zona. El caudal medio anual alcanza a los  $108 \text{ m}^3/\text{s}$ .

En su zona media su principal afluente es el río Mapocho de régimen nivo-pluvial, el cual nace en el cerro El Plomo en la unión de los ríos San Francisco y Molina en la localidad de la Ermita en Lo Barnechea recorriendo una longitud de  $110 \text{ km}$  cruzando la ciudad de Santiago para desembocar en el río Maipo al poniente de la capital. Su caudal medio alcanza a los  $6,4 \text{ m}^3/\text{s}$  y la superficie de su cuenca es de  $4.230 \text{ Km}^2$ .

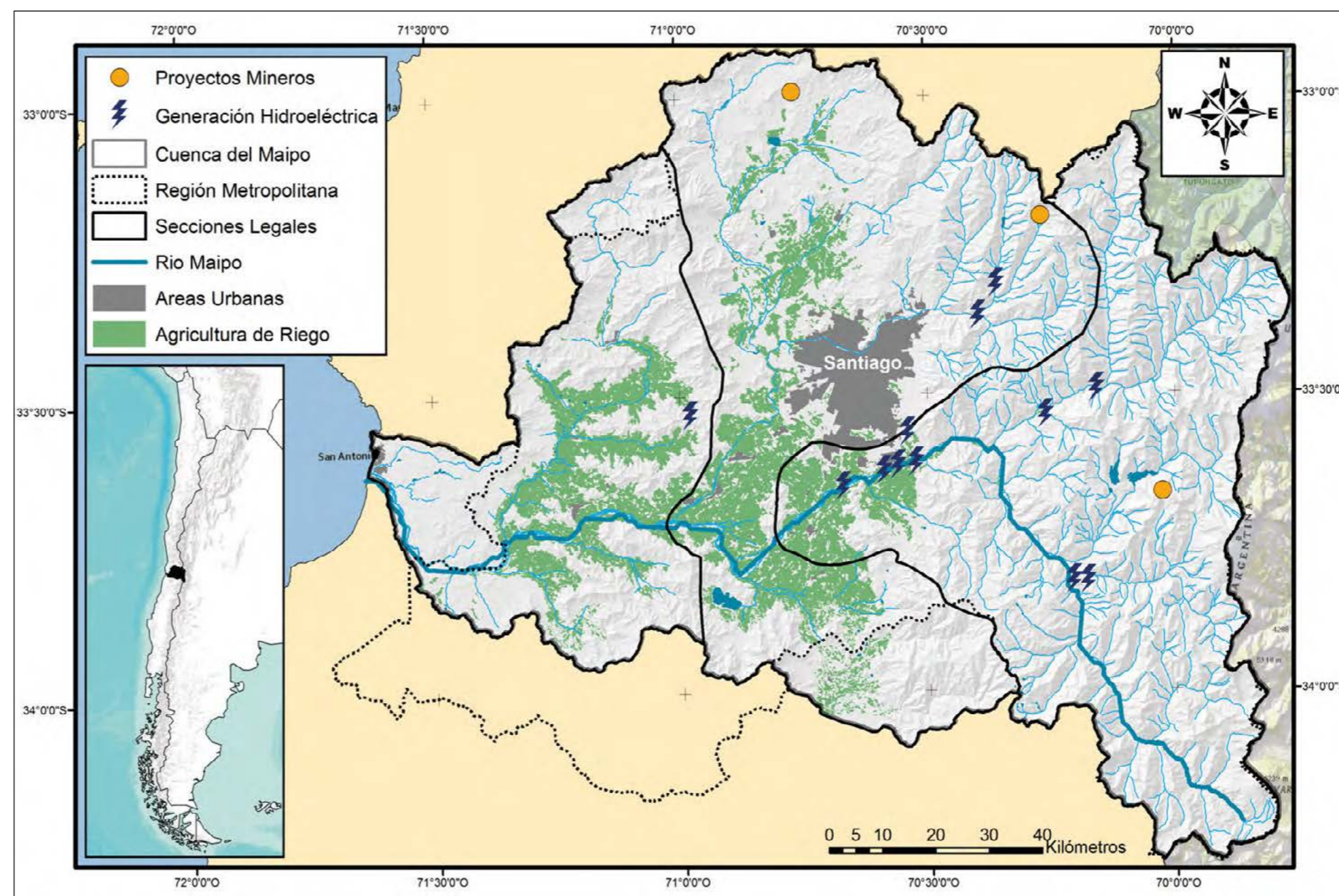


FIGURA 1: Ubicación de la cuenca del río Maipo. Fuente: Proyecto MAPA.



## CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA DEL MAIPO

**GEOMORFOLOGÍA:** aun cuando en la cuenca del Maipo se han distinguido cuatro unidades morfoestructurales mayores diferentes: Cordillera de los Andes-depresión intermedia-Cordillera de la Costa y planicie costera, a continuación, se caracterizan las tres primeras por ser en ellas en donde se desarrolla el caso de estudio.

**La Cordillera de los Andes** es un imponente macizo cordón montañoso joven, con volcanes extinguidos, activos e inactivos. Alcanza alturas sobre los 6.000 m y en ella se dispone la cabecera de la hoya del Maipo.

**La Depresión Intermedia** constituye un plano suavemente inclinado hacia el oeste y hacia el sur, excepto en su extremo meridional donde escurre el Estero llamado Angostura. Está limitada hacia el norte por el Cordón de Chacabuco y hacia el Sur por los cerros de Angostura de Paine.

**La Cordillera de la Costa** por su parte, afloran principalmente rocas intrusivas, cuya edad estimada fluctúa entre el Paleozoico y el Cretácico.

**GEOLOGÍA:** en la Región Metropolitana (Figura 2, destacado en rojo) es posible identificar las siguientes unidades geológicas:

**Depósitos no consolidados:** en la Cordillera de la Costa y la Cordillera Principal se desarrollan principalmente depósitos coluviales. En la Depresión Central se encuentran depósitos aluviales de los ríos Maipo y Mapocho que cubren una gran extensión en la zona de Santiago.

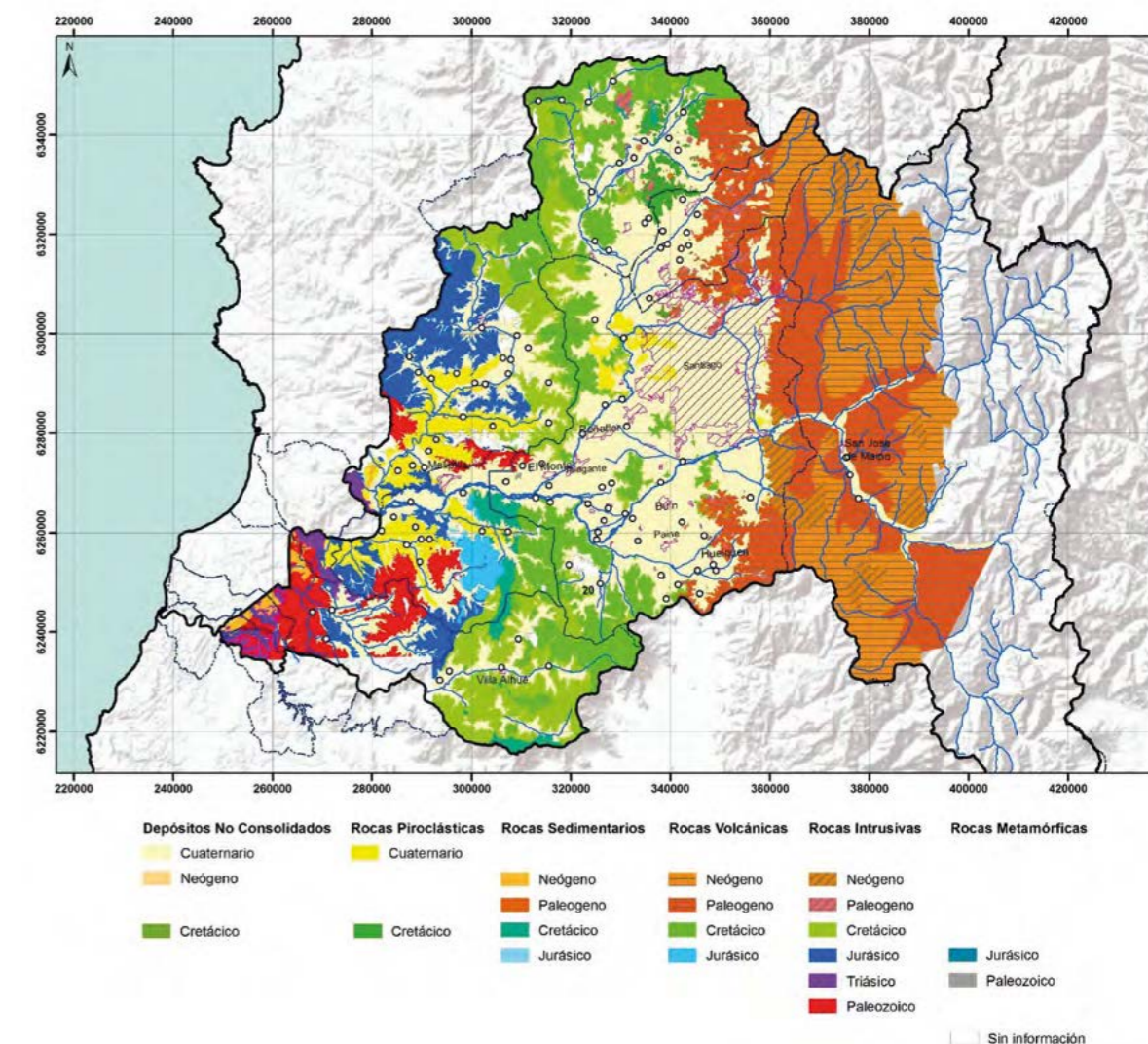
**Rocas estratificadas:** en la Cordillera de la Costa se encuentran rocas estratificadas, sedimentarias y volcano-sedimentarias de edades neógenas, cretácicas y jurásicas.

**Rocas intrusivas:** generalmente en la Región se disponen en bandas Norte-Sur con edades más antiguas al Oeste y que van disminuyendo su edad hacia el Este.

FIGURA 2: Geomorfología de la Cuenca en la Región Metropolitana  
Fuente: Estudio DGA SIT N° 390 Modificado de Fock, 2005.



FIGURA 3: Mapa geológico de la Región Metropolitana  
Fuente: Estudio DGA SIT N° 390.





**HIDROGEOLOGÍA:** en la Región Metropolitana se distinguen los sistemas y sectores acuíferos que se señalan en Tabla y Figura siguientes.

El sistema **Chacabuco** tiene una extensión de 1.356 km<sup>2</sup> comprendiendo las cuencas hidrográficas de los Esteros Montenegro, Tiltil, Polpaico y Lampa por el oeste y la cuenca conformada por el Estero El Cobre, Quilapilún y Chacabuco por el este.

El sistema **Colina** tiene una extensión de 905 km<sup>2</sup>, y se encuentra entre los sistemas Chacabuco por el norte y Maipo Mapocho por el sur, comprendiendo básicamente la cuenca hidrográfica del Estero Colina.

El sistema **Maipo-Mapocho**, con una superficie de 3,090 km<sup>2</sup> conforma uno de los principales reservorios subterráneos del país, esto tanto por su extensión y volumen almacenado como por su situación geográfica (alberga a Santiago).

En los sistemas Chacabuco, Colina y Maipo Mapocho se identifican tres subsistemas diferenciables entre sí. El subsistema superior se reconoce como de poco espesor y en general no funciona como acuífero debido a que se encuentra prácticamente seco en la mayor parte de su extensión. El intermedio corresponde a un acuífero potente, desde donde se extrae la mayor parte de los derechos de uso y en donde

se ubican la mayor parte de los sondeos en explotación. El subsistema inferior se identifica como uno de baja potencia. En cuanto a la profundidad del basamento rocoso, éste alcanza en general entre los 100 y 300 m de profundidad, con valores máximos que llegan hasta los 600 m. El rango de permeabilidades varía entre  $1.0 \times 10^{-6}$  –  $5.0 \times 10^{-3}$  m/s,

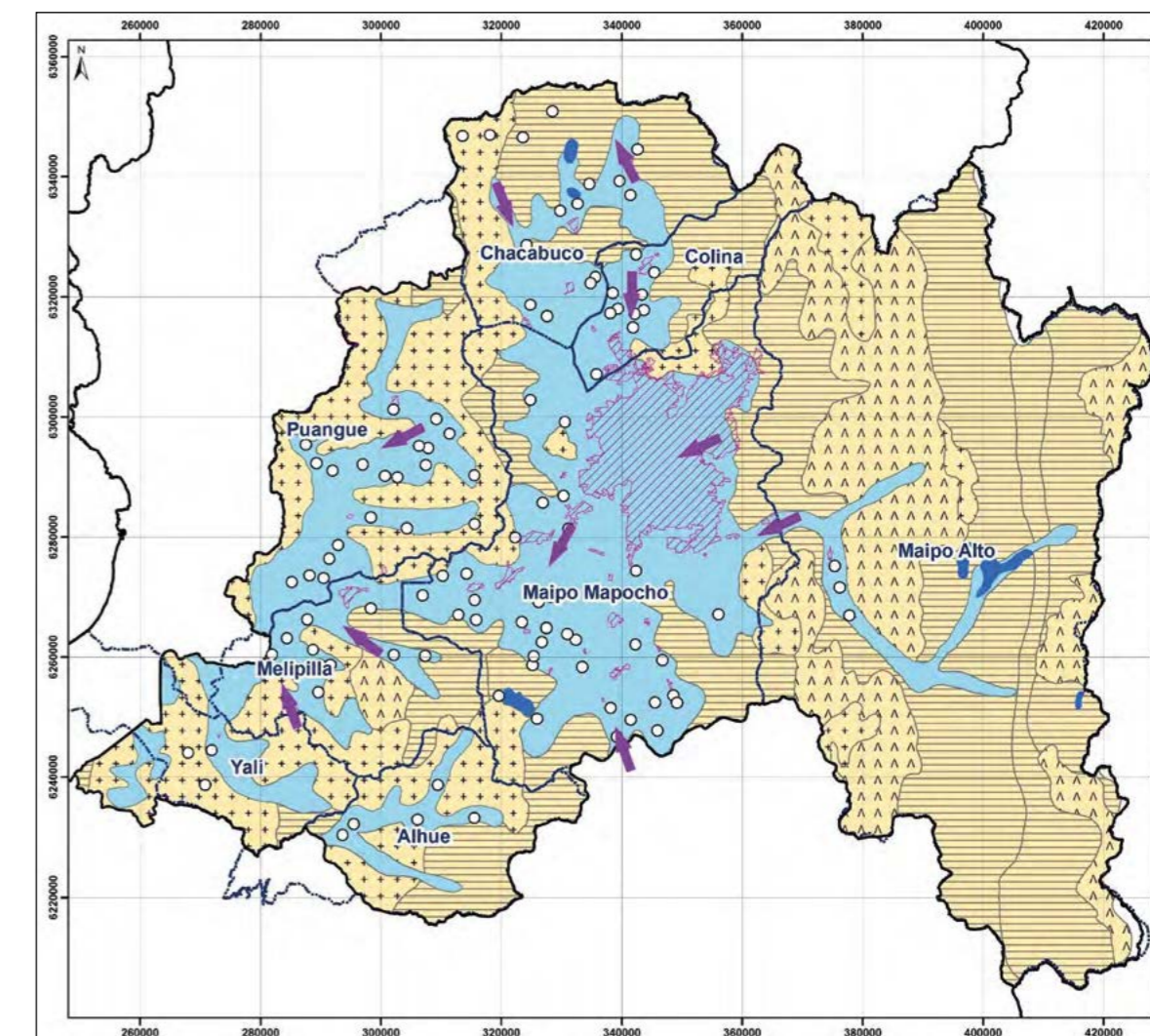
El sistema **Puangue** corresponde al sistema septentrional ubicado por debajo de la cuenca del Estero Puangue, al norponiente del sistema Maipo Mapocho y comprende una extensión de 1.540 km<sup>2</sup>.

El sistema **Melipilla** corresponde al sistema ubicado en la zona sur del sistema Puangue y tiene una extensión de 960 km<sup>2</sup>.

En los sistemas Puangue y Melipilla se identifican tres subsistemas diferenciables entre sí. La roca basal varía entre 60 y 200 m y las permeabilidades en  $1.0 \times 10^{-2}$  y  $1.0 \times 10^{-5}$  m/s.

Finalmente, se incluye el sector acuífero **Codegua** ubicado en la sexta región del país, colindante al sur de la RM, el cual alimenta subterráneamente al sistema Maipo Mapocho. En este acuífero se identifican dos subsistemas y sus permeabilidades fluctúan entre  $1.0 \times 10^{-5}$  y  $8.0 \times 10^{-4}$  m/s para el superior y entre  $7.0 \times 10^{-6}$  y  $2.0 \times 10^{-5}$  m/s para el inferior.

FIGURA 4: Acuíferos de la cuenca en región Metropolitana  
Fuente: Estudio DGA SDT N° 133.



Sistemas Cuenca Río Maipo	Sector acuífero
Sistema Chacabuco	Til Til
	Polpaico - Chacabuco
	Lampa
Colina	Colina Inferior
	Colina Sur
	Santiago Norte
	Chicureo
	Colina Superior
Maipo Mapocho	Las Gualtatas
	Lo Barnechea
	Vitacura
	Santiago Central
	Santiago Sur
Puangue	Puangue Alto
	Puangue Medio
	Puangue Bajo
	Estero La Higuera
Melipilla	Melipilla
	Estero Cholqui
	Estero Popeta
Ulmén	Ulmén
Sistemas Cuenca Río Rapel	Sector acuífero
Sistema Alhué	Estero Alhué
Sistemas Cuenca Río Yali	Sector acuífero
Sistema Yali	Estero Loica
	San Pedro
	Yali bajo El Prado



## NECESIDAD DE MAYOR CONOCIMIENTO PARA UNA EFICIENTE GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Aun cuando la Región Metropolitana, coincidente en sus límites con la cuenca del Maipo, corresponde a la región más pequeña del país, al albergar a la ciudad de Santiago y concentrar a más del 40% de la población nacional, más de 17 millones de habitantes según cifras del Censo 2017, ejerce una creciente y constante demanda por los recursos hídricos. El aporte al Producto Interno Bruto de la región supera el 40%.

Durante la década de 2010 Chile ha enfrentado una sequía que se ha extendido principalmente entre las regiones de Coquimbo y La Araucanía, cubriendo toda la zona central del país y parte de las zonas del norte chico y del sur. El nivel de precipitaciones ha sido en toda la década inferior al promedio histórico, llegando en la R. Metropolitana el año 2019 a ser el segundo con menos precipitaciones desde el año 1950.

La disminución de precipitaciones ha provocado una merma en los caudales de ríos y esteros en la cuenca lo cual ha incidido en los niveles de algunos sectores acuíferos de la región metropolitana cuyas recargas provienen directamente de sus lechos o de la red de canales de riego que se derivan de ellos.

La disminución de la disponibilidad del recurso afecta las necesidades de los distintos actores existentes en la cuenca cuya demanda promedio según el Atlas del Agua (DGA, 2016) es de 68% del sector agropecuario, 22,6% del

sector agua potable, un 8,6% para el sector industrial, un 0,7% para la minería y un 0,1 % para actividades recreativas y turísticas. También existen centrales hidroeléctricas de pasada que requieren agua, pero sin llegar a consumirla (usos no consuntivos).

A su vez, con la disminución de agua superficial disponible se incrementa la presión de extracción desde los sectores acuíferos. Es el caso de la empresa Aguas Andinas, abastecedora de agua potable del 95 % de la población de la región Metropolitana, la que, entre las cinco medidas adoptadas para enfrentar la sequía, ha considerado la construcción y habilitación de nuevos sondajes y la profundización de los existentes.

En la perspectiva de la sustentabilidad y desarrollo de las distintas actividades que se llevan a cabo en la cuenca, en un contexto de cambio climático y sequías recurrentes, es necesario que los distintos sectores productivos, la población y otros intereses presentes en la zona logren un uso armónico y eficiente de los recursos hídricos para lo cual necesariamente se requiere un conocimiento del recurso, en cantidad y calidad.

A diferencia de las aguas superficiales, posiblemente debido a que son visibles y por tanto más fáciles de monitorear, el conocimiento del recurso subterráneo es mucho menor. Para promover ese uso armónico por parte de los actores, no solo en la cuenca del Maipo sino que, en todas las cuencas del país, en la actualidad se hace necesario incorporar en los estudios el análisis conjunto del recurso superficial y subterráneo, en donde los modelos hidrogeológicos juegan un rol fundamental.

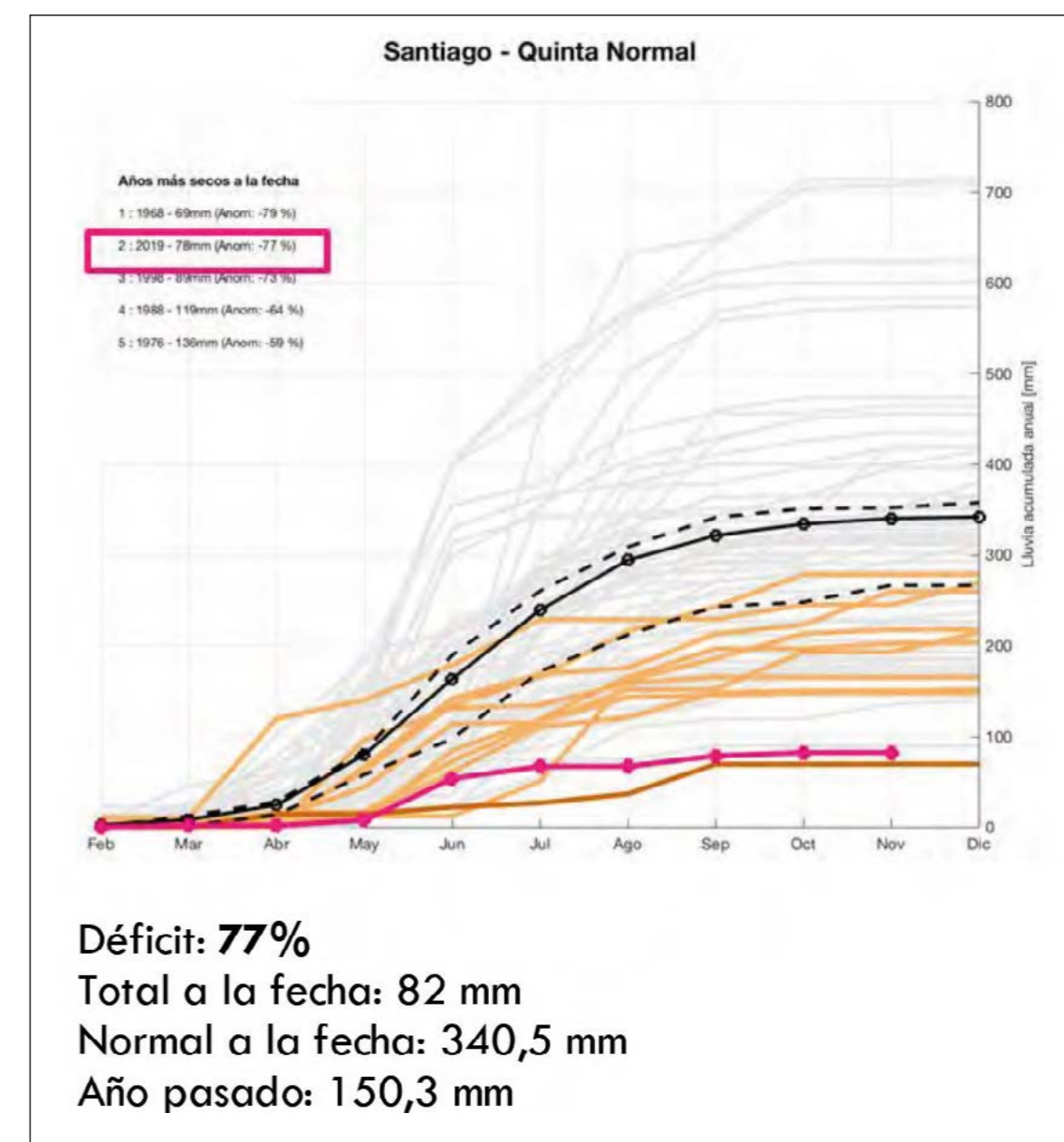


FIGURA 5: Precipitación acumulada, año 2019 (Nov). Fuente: DMC año 2019 (Nov).



## MODELO REGIONAL

A fines de los años 90 la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas, entidad que tiene a su cargo la regulación y administración del recurso en cuanto a su disponibilidad y calidad, contrató la elaboración de una herramienta basada en modelación que permitiese simular de manera integral los recursos superficiales y subterráneos de las cuencas de los ríos Maipo y Mapocho. Se desarrollaron dos Modelos Numéricos independientes, uno para describir el sistema superficial (Modelo Hidrológico) y otro para el sistema subterráneo (Modelo Hidrogeológico), ambos relacionándose entre sí a través de los aportes (recarga) de la hidrología superficial al medio subterráneo.

Ambos modelos comprenden el denominado “Modelo de Simulación Hidrológico Operacional de la Cuenca Maipo-Mapocho”, en adelante “Modelo Regional”, cuyo dominio corresponde al interfluvio de los ríos Mapocho y Maipo incluyendo los esteros Lampa y Colina por el norte y el río Angostura por el sur.

Con el paso de los años, el Modelo Regional, no fue actualizado como un todo, efectuándose más bien, diversos ajustes y actualizaciones parciales, como el paso de MOS a MAGIC en el ámbito superficial o modificaciones principalmente al modelo Maipo-Mapocho (el más importante de los cuatro modelos hidrogeológicos) en el ámbito subterráneo, notándose una creciente desconexión de la modelación superficial y subterránea al operarse los modelos normalmente en forma separada, situación que ha implicado limitaciones para el uso integrado de la herramienta en la actualidad.

Transcurrido un tiempo apreciable desde la elaboración del Modelo Regional, existiendo modificaciones en las

condiciones hidrológicas producto de la sequía que afecta al país a partir del año 2010 como así también, una creciente demanda de explotación del recurso hídrico subterráneo, se hace necesario, para lograr un uso sustentable del recurso, disponer de una herramienta de simulación que dé respuestas adecuadas a la realidad actual y con una operatividad acorde a los sistemas informáticos vigentes. Para tal efecto la DGA en conjunto con algunos actores de la cuenca promovieron llevar adelante una “Actualización del Modelo Regional Cuenca Maipo-Mapocho”, actualización que se realizaría considerando dos etapas.

- Un “Diagnóstico del Modelo Regional”: Básicamente consiste en el análisis de su funcionamiento para verificar si está dando respuestas adecuadas a la realidad actual como también, de si su operatividad está acorde a los sistemas informáticos vigentes.
- La “Actualización del Modelo Regional”: Conseguir una herramienta que responda de buena forma a los requerimientos actuales y futuros de la gestión del recurso, que sea validada por la Autoridad y sea el referente para todos los actores de la cuenca. Este nuevo modelo debe incluir información actualizada y una cosa relevante, que posea una interfaz que permita su actualización y operación de forma simplificada.

Resultados y Recomendaciones del “Diagnóstico del Modelo Regional”: La etapa de Diagnóstico se ha llevado a cabo con el análisis en profundidad de los modelos superficial y subterráneo que conforman el Modelo Regional existente lo que redundó en una serie de recomendaciones de mejora tanto al modelo superficial como al subterráneo. Asimismo, luego de analizar los modelos computacionales disponibles en la actualidad se tiene una proposición de cuales utilizar en la etapa siguiente de Actualización.

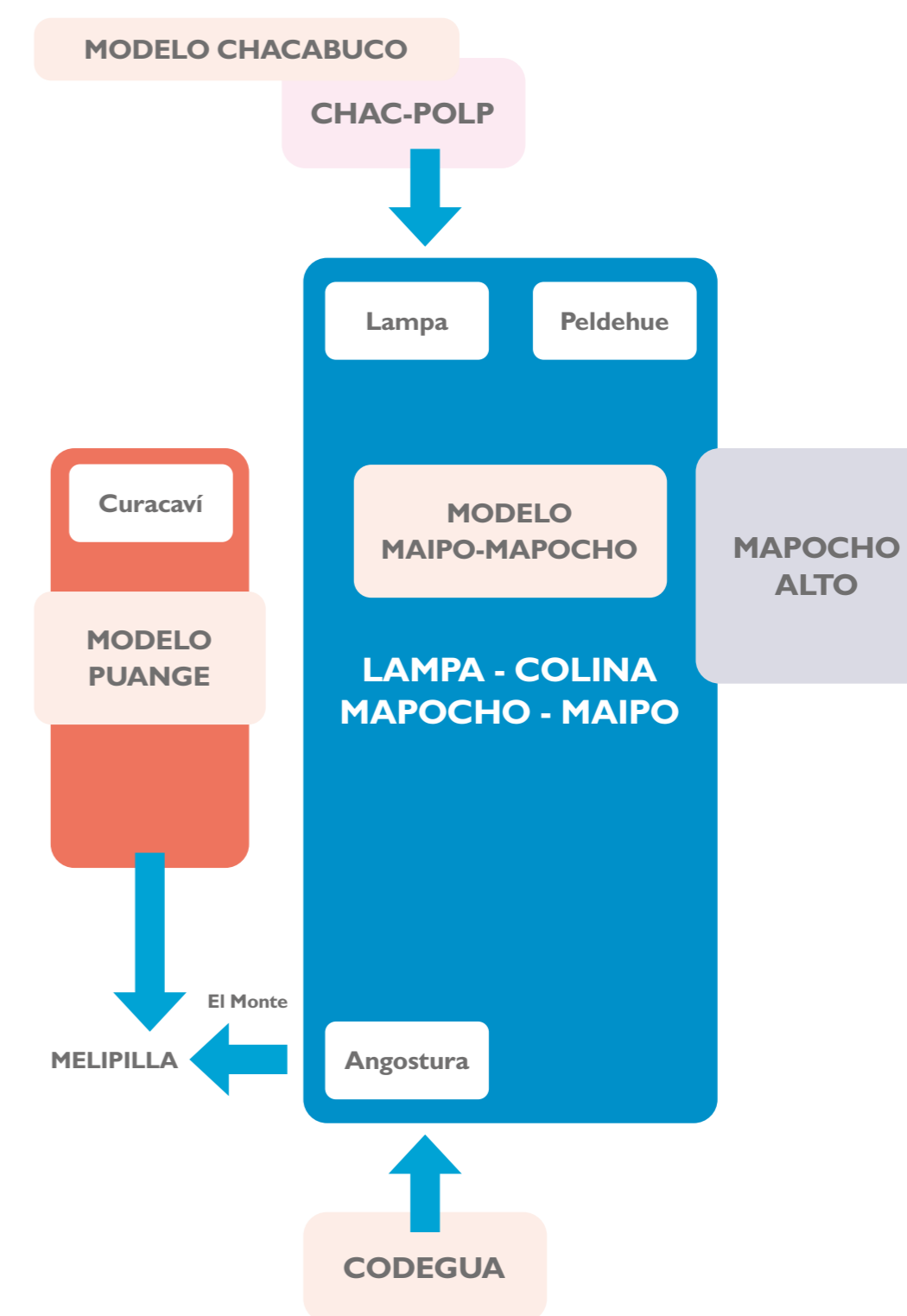


FIGURA 6: Relación entre modelos hidrogeológicos. Fuente: AC Ing. Consultores Ltda.



A continuación, se detallan algunas de las recomendaciones del “Diagnóstico, principalmente las correspondientes a la modelación hidrogeológica, modelo conceptual y modelo numérico, materia base del presente caso de estudio.

Geometría de los acuíferos: su representación se hizo a través de la herramienta de modelación numérica Visual MODFLOW mediante la realización de los cuatro modelos numéricos siguientes y que se esquematizan de la manera que se señala en la figura

- Modelo Chacabuco considera los sectores acuíferos de los Sistemas Chacabuco y Colina
- Modelo Maipo Mapocho
- Modelo Codegua
- Modelo Puangue

En cuanto a su representación vertical, en los modelos Chacabuco y Maipo Mapocho, ambos modelos se realizaron con un solo subsistema recomendándose en una actualización la consideración de los tres hidrogeológicamente identificados. Los otros dos modelos, Puangue y Codegua fueron representados sus subsistemas en base a los resultados mostrados por la hidrogeología del sector, vale decir, dos y tres respectivamente.

Adicionalmente, hoy en día se cuenta con más información y nuevos estudios desarrollados en la cuenca lo que permitirá actualizar la geometría del acuífero tanto areal como verticalmente, utilizando la información de perfiles gravimétricos, TEM, nanoTEM, prospecciones sísmicas y cualquier otra metodología geofísica desarrollada durante los últimos años.

Condiciones de borde: De las cuatro condiciones de borde de entrada consideradas en el modelo Maipo – Mapocho, existen dos que deben ser analizadas en detalle, las cuales

se encuentran en directa relación con el modelo Chacabuco. Según el conocimiento de la cuenca y los modelos revisados, la unificación de los modelos Maipo –Mapocho y Chacabuco permitiría representar de una manera más adecuada la complejidad intrínseca de ambos sistemas.

Modelos computacionales: Respecto a la utilización de modelos computacionales, se considera que Visual MODFLOW es la herramienta más adecuada para la simulación subterránea de una cuenca completa, de dimensiones y complejidad similares a la cuenca Maipo. Ello se sustenta en mayor medida dado que para el modelo superficial se recomienda analizar la factibilidad de utilizar WEAP, cuya mayor ventaja radica en que no es necesario manejar las series de recarga en forma separada al MODFLOW. Con ello se cumpliría además una de las condiciones base previstas para una futura actualización del Modelo Regional como es el acople del modelo superficial con el modelo subterráneo dado que ambos sistemas están estrechamente vinculados y deben ser gestionados como un único recurso tanto en cantidad como en calidad.

## CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA DEL MAIPO

Al realizar un Plan de Gestión de una cuenca resulta necesario considerar que existe un conjunto de interrelaciones entre los distintos componentes del ciclo hidrológico cuyos efectos se manifiestan en forma distinta, pero aumentan en la medida que la intensidad de uso crece. Dichas interrelaciones y sus variaciones producto de efectos derivados de otros factores, cambio climático, por ejemplo, constituyen el principal insumo en el cual la “Gestión Integrada de Recursos Hídricos” debe hacerse cargo.

El Plan de Gestión para la cuenca del Maipo está pensado en esa línea. El tener un Modelo Regional Actualizado es un

paso, importante pero no suficiente. Los Planes de Gestión para la GIRH tienen como misión fundamental delinear una acción coordinada entre el sector público, en su rol normativo y controlador, junto a todos los actores de la cuenca.

Hoy en día el gran desafío es materializar la “Actualización del Modelo Regional”, no obstante, ya se visualizan las etapas siguientes de un gran Plan de Gestión para la cuenca del Maipo el cual debiese considerar actividades tales como:

- Gestión de la Calidad: Incorporación de la calidad en el Modelo Regional
- Gestión de la Información: Plataforma actualizada con la información relevante de la cuenca
- Gestión de Riesgos: Sequía, aluviones
- Plan de Conservación: Protección de los cuerpos de agua
- Cultura de Agua: Comunicación y sensibilización

Solo terminar diciendo que Implementar la GIRH no resulta de una decisión inmediata o por “decreto”, más bien corresponde a un proceso que se va desarrollando en forma gradual en la medida que los distintos actores de una cuenca internalizan esta necesidad.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

*Informe de Zonificación Hidrogeológica para las Regiones Metropolitana y V: Departamento de Administración de Recursos Hídricos.* DGA-MOP mayo 2002 (SDT 133).

*Inventario de Cuenclas, Subcuenclas y Subsubcuenclas de Chile: División de Estudios y Planificación.* DGA-MOP Diciembre 2014 (SDT 364).

*Metodología para la Delimitación y Sectorización de Acuíferos a Nivel Nacional.* GCF Ingenieros Ltda. Octubre 2014.

*Diagnóstico de Calidad de Aguas Subterráneas en la RM-Complementario Diagnóstico Plan Maestro de Recursos Hídricos RM de Santiago.* SGA S.A. julio 2016.

*Reglamento sobre Normas de Exploración y Explotación de Aguas Subterráneas.* DGA-MOP febrero 2014.

*Maipo Adaptación-Proyecto MAPA: Vulnerabilidad y Adaptación a la Variabilidad y al cambio Climático en la Cuenca del Río Maipo en Chile Central.* Centro de Cambio Global U Católica 2015-2017.

*Escenarios Hídricos 2030: Transición Hídrica – El Futuro del Agua en Chile.* Fundación Chile 2018.

*Diagnóstico Modelo Cuenca Maipo con Énfasis en Recarga Artificial.* AC Ingenieros Consultores Ltda. Junio 2014.

*Condiciones Climáticas, Monitoreo de El Niño/La Niña, Pronóstico Subestacional y Estacional. Pronóstico para Diciembre 2019-Enero y Febrero 2020. Precipitación Acumulada Anual (Nov. 2019)* Dirección Meteorológica de Chile-DMC.



Imagen: Río Mapocho - Aguas Andinas



## 2. PLAN DE MONITOREO DE VIGILANCIA PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN EN UN SECTOR DEL SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ (TACUAREMBÓ, URUGUAY)

### AUTORA

**María José del Campo**

maria.delcampo@mvtoma.gub.uy

Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA),  
MVOTMA, Uruguay

### RESUMEN

En el presente trabajo, se plantea un Plan de Monitoreo de las Aguas Subterráneas, para prevenir la contaminación local del Sistema Acuífero Guaraní (SAG).

En las cercanías de la ciudad de Tacuarembó, que corresponde a la zona aflorante del acuífero, se ubica una industria que cuenta con un sistema lagunar para el tratamiento de sus efluentes. El Plan de Monitoreo tiene como metas, evaluar la situación de impermeabilización de dichas lagunas. En caso de detectar infiltración desde las mismas, se deberían plantear las actividades necesarias para remediar el sitio, y en caso de que se constate que no hay infiltración, se propondría un plan de monitoreo de vigilancia, para prevenir la contaminación del Sistema Acuífero Guaraní ante una eventual falla de la impermeabilización.

Considerando las características del caso de estudio y las metas propuestas, el plan de gestión que se propone, se encuentra restringido a una escala local con horizonte de tiempo de corto y mediano plazo.



Video: hacer click para reproducir



## UBICACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El sistema lagunar en estudio se encuentra en las cercanías de la ciudad de Tacuarembó, en el departamento homónimo en Uruguay. El área de estudio se encuentra sobre la zona aflorante del Sistema Acuífero Guaraní, y en la Cuenca Hidrográfica del Río Tacuarembó, que pertenece a la Cuenca del Río Negro.

## PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS:

El Sistema Acuífero Guaraní (SAG) es el cuerpo hídrico subterráneo transfronterizo más extenso de Sudamérica, ocupa un área de 1.087.879 km<sup>2</sup>, abarcando partes de Brasil, Paraguay, Argentina y Uruguay (Fig. 2).

Fue definido como un conjunto de rocas sedimentarias que fueron depositadas en la era mesozoica, con edades entre 200 y 132 millones de años. Está limitado estratigráficamente en su base por una discordancia regional permo-eo-triásica (250 millones de años) y en el tope por los derrames basálticos de la Formación Arapey de edad aproximada 145- 130 millones de años. (CeReGAS, 2016)

En Uruguay, el SAG está conformado por las formaciones Rivera y Tacuarembó y en algunos sectores está cubierto en su superficie por los basaltos de la formación Arapey. En su base, se apoya sobre las areniscas de las formaciones Buena Vista o Yaguarí, con las que tiene conexión hidráulica. Las areniscas se profundizan de este a oeste, alcanzando en la zona de Salto su mayor profundidad (1.000 m). (CeReGAS, 2016).

Tal como se observa en la Figura 3, el flujo regional es aproximadamente de Este a Oeste desde la zona aflorante (recarga) hacia la zona profunda (litoral oeste).



Figura 1: a la izquierda mapa del Uruguay, a la derecha un zoom, con círculo rojo se indica la ubicación de la industria.



Figura 2: límites del SAG.



El comportamiento del Acuífero Guaraní difiere en función del área considerada según el acuífero se encuentre confinado o aflorante. Pero también en el área aflorante tiene distinto comportamiento que en términos groseros se distingue en la zona de Rivera y en la de Tacuarembó. En la primera se encuentran la formación Rivera y la formación Tacuarembó, las areniscas sedimentarias alcanzan su máximo espesor, el acuífero tiene características de semiconfinado (CeReGAS, 2016).

En las ciudades de Artigas y Rivera, el SAG constituye la principal fuente de abastecimiento público de agua potable; y como es de esperar, los pozos más productivos corresponden a los que captan agua de ambas formaciones (CeReGAS, 2016).

En cambio, en la zona de Tacuarembó solo se encuentra la formación Tacuarembó, con menor productividad dado que las areniscas presentan materiales finos y muy finos, que confieren baja permeabilidad (CeReGAS, 2016). Las perforaciones del lugar, para uso doméstico, tienen una profundidad aproximada de 40 a 45 m con caudales en el entorno de 5 m<sup>3</sup>/h. En esta zona, el SAG, se comporta como acuífero libre y, por lo tanto, el flujo subterráneo, si bien sigue la tendencia general de este a oeste, a escala local está influenciado por las diferencias topográficas propias del terreno. Dado que en esta zona el acuífero presenta menor potencial, el abastecimiento público de agua es casi exclusivamente en base a agua superficial (DINAMA, 2009).

En relación con la hidroquímica, en el departamento de Tacuarembó, el agua es caracterizada como bicarbonatada cálcica (CeReGAS, 2016).

## DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

En las cercanías de la ciudad de Tacuarembó existe una industria cárnica y tal como es sabido, este rubro genera efluentes con alto contenido de materia orgánica (DBO), grasas, sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo y microorganismos patógenos.

Esta industria contaba con un sistema de tratamiento, compuesto por unidades de pretratamiento y un sistema lagunar, que permitía depurar el efluente de manera que el vertido a curso de agua cumplía con la normativa (Decreto 253/79), excepto para los parámetros de nitrógeno y fósforo. Posteriormente, la industria construyó, en una ubicación lindera, un nuevo sistema de tratamiento de efluentes, compuesto de reactores impermeabilizados, para incorporar la remoción de nitrógeno y fósforo, quedando desafectado el sistema lagunar.

El caso de estudio consiste en evaluar la impermeabilidad del sistema de tratamiento viejo, ya que las lagunas fueron construidas hace décadas, y plantear un plan de monitoreo de vigilancia, para prevenir la afectación de la calidad del agua del acuífero. Además, en función de los resultados del plan de monitoreo, evaluar la necesidad de remediar el sitio; es decir, si se observara que hay infiltración desde las lagunas, plantear acciones para retirar el líquido de las lagunas y los lodos sedimentados.

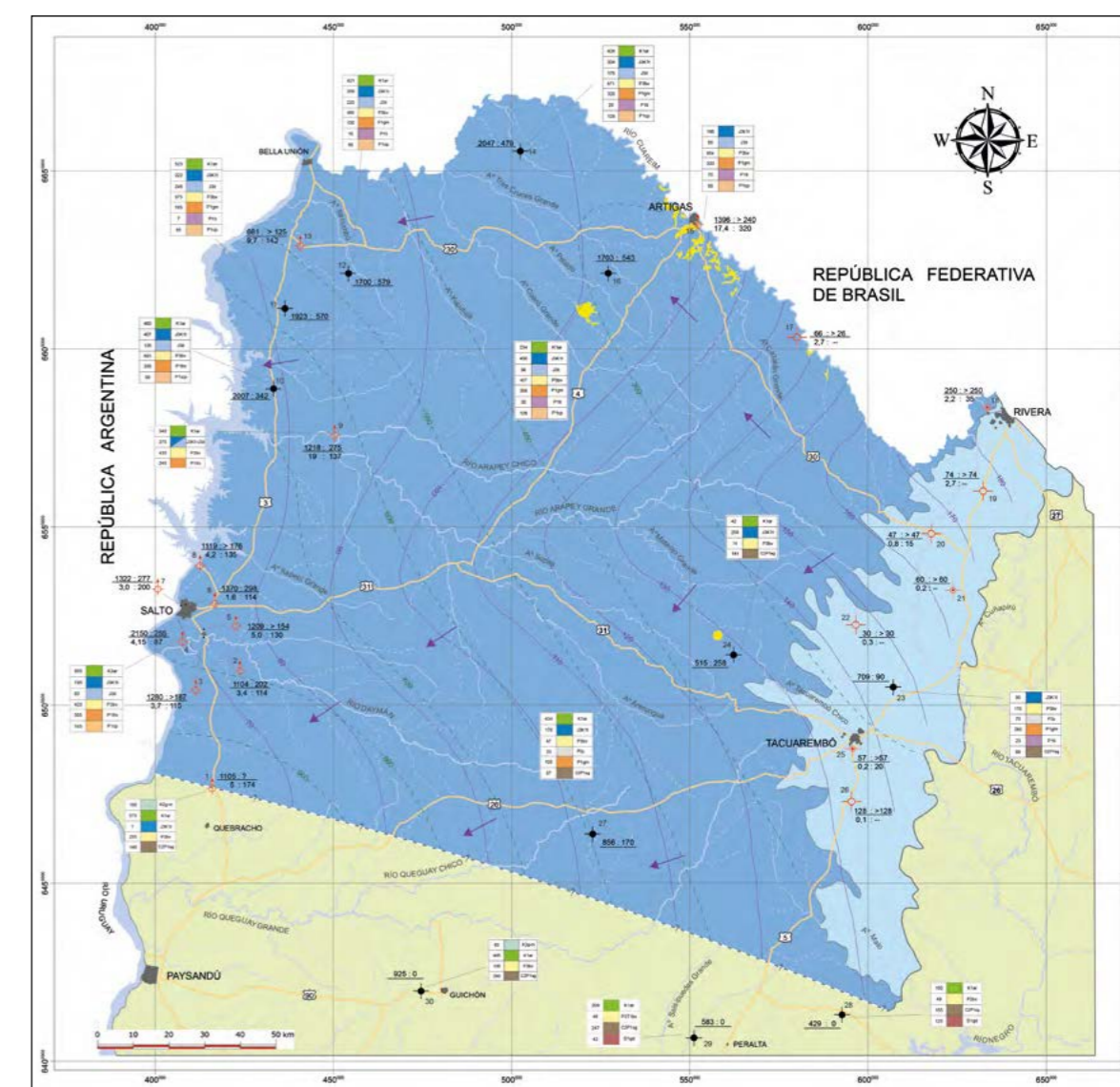


Figura 3: mapa hidrogeológico del SAG en Uruguay (DINAMIGE, 2003).



## PLAN DE GESTIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

En este apartado se pretende abordar el caso de estudio, con la sistemática propuesta en el curso “Gestión integrada de Recursos Hídricos”. Para ello se analizará y plantearán las distintas etapas que componen el Plan de Gestión, que se visualizan en la Figura 4, adaptada a los objetivos, condiciones, y escala del caso de estudio.

A continuación, se describen las etapas del Plan de gestión y se proponen las actividades a realizar en cada una de ellas:

### 1. VISIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN

Para el plan de gestión del presente caso de estudio, se define como visión, el garantizar el acceso al agua de consumo humano para las futuras generaciones, a través de la protección de la cantidad y calidad del agua del Sistema Acuífero Guaraní a nivel local.

Cabe aclarar que, en la zona de Tacuarembó, actualmente el abastecimiento de agua es de tomas superficiales; sin embargo, ante la creciente demanda en la cantidad, y las dificultades asociadas a la calidad de aguas superficiales, es conveniente prever en un mediano plazo, el abastecimiento a partir de tomas subterráneas.

### 2. DEFINICIÓN DE METAS

Para el plan de gestión en cuestión, se plantean las siguientes metas:

- i. Analizar la situación de impermeabilidad del sistema de tratamiento de efluentes antiguo: las lagunas consisten en una fuente de contaminación puntual potencial y es necesario conocer si se están generando infiltraciones al acuífero.

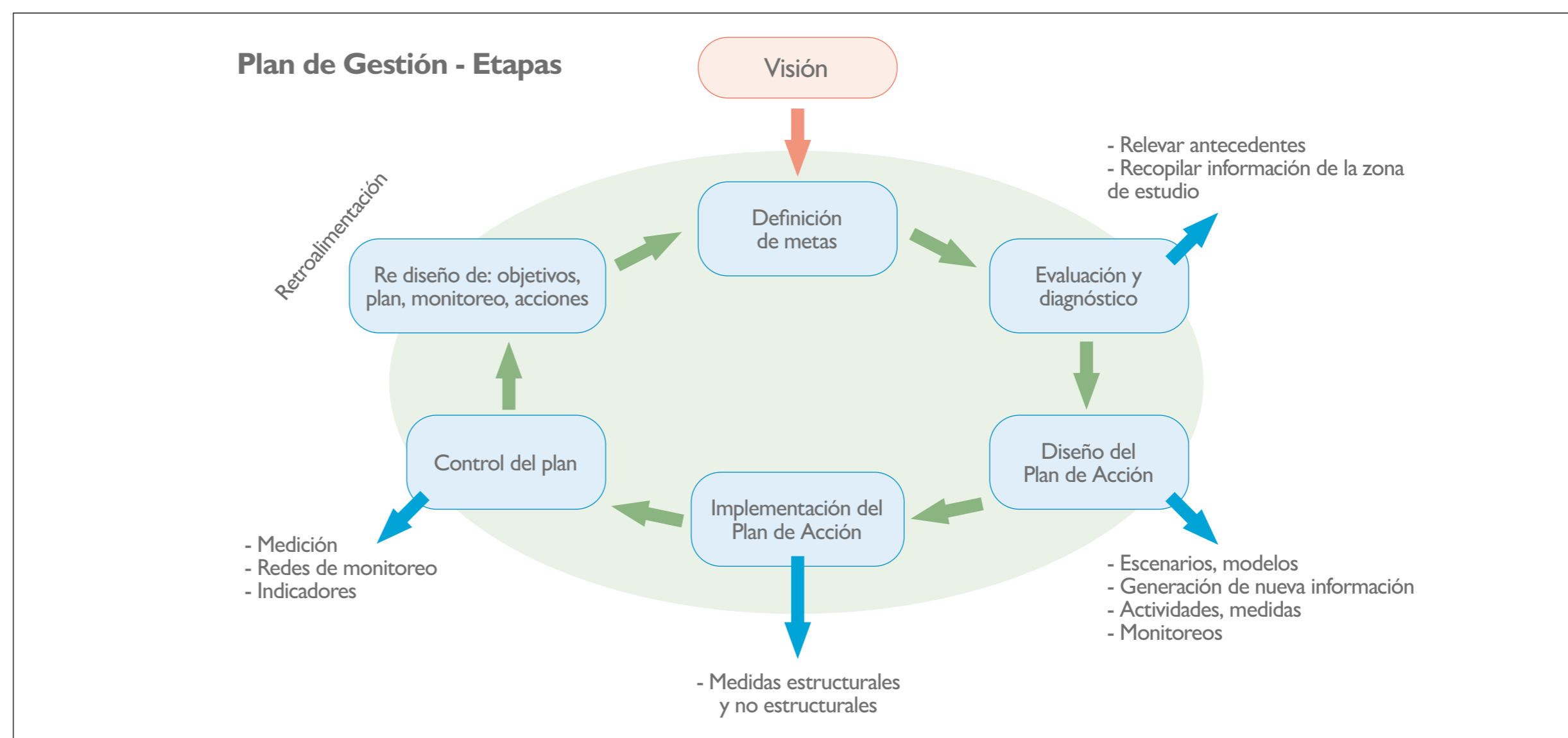


Figura 4: Etapas en el diseño de un Plan de Gestión – adaptado del Curso de Gestión Integral de Recursos Hídricos (UNESCO-AECID; Montevideo, 2019)

ii. En caso de que se detectara infiltración hacia el acuífero, plantear las acciones a corto y mediano plazo para remediar el sistema lagunar.

iii. Definir e implementar un plan de monitoreo de vigilancia, para prevenir la contaminación de la calidad de agua subterránea, para la protección del Acuífero Guaraní a nivel local.

A partir de las metas definidas, se puede observar que la actividad principal del Plan de gestión que se plantea en este trabajo consiste en la elaboración de un Plan de monitoreo de aguas subterráneas, el cual tiene una esca-

la geográfica local, y un horizonte de tiempo de corto y mediano plazo. Tal como se verá en el desarrollo del plan, las actividades que permiten cumplir la meta i. (determinar la impermeabilidad de las lagunas) consisten en un monitoreo de calidad de agua de línea base, para lo cual se plantea un plazo entre 1 y 2 años. En lo que refiere a la meta ii. ante una eventual infiltración de las lagunas, los plazos para plantear acciones también deben de ser cortos (1 año); y la meta iii. el plan de monitoreo de vigilancia puede extenderse unos 5-10 años (disminuyendo la frecuencia en función de que los resultados que se vayan obteniendo sean positivos).



### 3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN

A los efectos de determinar si hay peligro de contaminación del acuífero, debe evaluarse los siguientes dos aspectos:

1. En primer lugar, debe determinarse la amenaza de contaminación, esto implica evaluar cuán significativa es la fuente contaminante; característica que solo depende de la fuente, no depende de la ubicación de la misma, ni de los acuíferos subyacentes.

2. Por otra parte, debe evaluarse la vulnerabilidad del acuífero, la cual es una característica intrínseca del mismo. Posteriormente superponiendo ambos aspectos, se podrá determinar si hay peligro de contaminación del acuífero, que se define como la probabilidad de que el agua subterránea de un acuífero se contamine a concentraciones superiores a las referencias para agua potable, cuando una carga contaminante específica se genere en el terreno.

Para el caso en estudio, en lo que refiere a la amenaza de contaminación, el sistema lagunar contiene los mismos contaminantes que contienen los efluentes cárnicos: sólidos suspendidos, nitrógeno orgánico, amonio, nitratos, fósforo, materia orgánica y coliformes fecales.

Debe determinarse la cantidad de contaminante que eventualmente podrían infiltrar (kg/día), para lo cual se requiere conocer la concentración y la tasa de infiltración. Si bien la concentración de contaminantes de las lagunas es una característica fácil de medir, no es posible determinar directamente la tasa de infiltración del fondo y taludes de las lagunas hacia el subsuelo, ya que depende de las características constructivas, la impermeabilización de fondo y paredes, y el mantenimiento de dichas lagunas; condicio-

nes que podrían conocerse durante la construcción, pero debe recordarse que estas lagunas son muy antiguas y no se cuenta al presente con dicha información.

En lo que refiere a la vulnerabilidad local del acuífero, deben analizarse los parámetros que inciden en el transporte y las interacciones físicas y químicas de los contaminantes, en su recorrido desde la superficie del suelo hasta la zona de saturación. Para la determinación de la vulnerabilidad se utilizó el método GOD, que utiliza tres parámetros: GOD (Groundwater occurrence), modo de ocurrencia del agua subterránea o tipo de acuífero; O (Overlying lithology), litología de la zona no saturada; y D (Depth to groundwater), profundidad al agua subterránea. Se han realizado muchos estudios en la zona de trabajo, y se ha determinado mediante el método GOD que el mismo tiene una vulnerabilidad media a alta.

**En resumen, dado que la vulnerabilidad es media a alta, es imprescindible conocer si hubiera infiltración desde las lagunas para prevenir cualquier peligro de contaminación del acuífero.**

#### **Programa de monitoreo:**

Un programa de monitoreo cuenta con los siguientes puntos que deben definirse: objetivo, ubicación y características de los pozos de monitoreo; contaminantes a analizar y frecuencia de análisis, aspectos que se verán a continuación. Además, deberán tenerse en cuenta otros aspectos de los cuales no se profundizará en este trabajo, dado que se entiende que hay referencias técnicas y normas que son exigidas por la autoridad ambiental: construcción adecuada de los pozos de monitoreo, técnicas de muestreo y técnicas analíticas.



Los objetivos del Programa de monitoreo son consecutivos en el tiempo, y están claramente definidos: 1) evaluar si hay infiltración desde las lagunas y 2) monitoreo de vigilancia para prevenir cualquier falla en la impermeabilización.

En relación con los parámetros a analizar, los mismos se proponen en base a los parámetros habituales para aguas subterráneas y los adicionales que pudiera contener debido a las características del efluente industrial en cuestión: turbiedad, pH, conductividad, sodio, potasio, calcio, cloruro, sulfato, carbonato,  $\text{DBO}_5$ , DQO, sólidos suspendidos totales, amonio, nitrato, nitrito, nitrógeno total, fósforo total, fosfatos, detergentes y coliformes fecales.

Para definir la frecuencia de análisis, en función de las características descritas del acuífero (libre), y la pequeña extensión de la zona de estudio (circunscripta al entorno del sistema lagunar), se propone una frecuencia cada 3 o seis meses para el primer programa de monitoreo; y una frecuencia anual para el monitoreo de vigilancia.

El aspecto para el cual se requiere realizar un relevamiento más extenso de información, es la definición de la ubicación de los pozos de monitoreo, la cual debería realizarse conociendo la piezometría local.

Por tal motivo, y también para verificar los demás aspectos del programa de monitoreo, conviene realizar un relevamiento de la información existente:

1. Ubicación y características de los pozos de toma de agua de OSE<sup>1</sup>, de otros emprendimientos de la zona, y de los propios de la industria; que pueden ser útiles para conocer las características hidrogeológicas locales y para definir la piezometría.

2. Solicitar a OSE, la información de análisis químicos de pozos en la zona y para conocer las características químicas del agua subterránea, que puedan servir como blanco (es decir calidad de agua no afectada).

3. Considerando que circula un arroyo dentro de la zona de estudio, debe relevarse información del mismo, para lo cual se plantea la observación satelital, para determinar si es intermitente o permanente, y una salida de campo para tomar muestras y conocer la calidad del mismo con el objeto de evaluar si existe conexión hidráulica entre el acuífero y el arroyo.

#### 4. ACTORES, INTERESADOS Y RESPONSABLES DE LA EJECUCIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN

Como todo plan de gestión, es imprescindible la identificación de todas las partes interesadas y del interés de cada una en el tema en cuestión. Además, es necesaria la asignación de las responsabilidades tanto para la elaboración del plan como para su ejecución. En los casos que haya intereses contrapuestos o dispares, es imprescindible la articulación entre los actores, para lo cual deben brindarse las instancias necesarias de difusión, interacción y acuerdo.

En el presente plan de gestión, los actores directamente implicados son la industria en cuestión, y el medio ambiente en general, el cual es representado por la autoridad ambiental. Por otra parte, sería conveniente realizar un relevamiento entre los habitantes de la zona, a partir de los cuales se podría identificar nuevos intereses o recopilar información. Cabe indicar que por ser temas que requieren conocimientos específicos (geología, hidrogeología, química y análisis), la industria deberá apoyarse en técnicos que colaboren en la elaboración del plan. En resumen, el plan de gestión debe ser elaborado por la industria y los técnicos colaboradores, y debe ser acordado con la autoridad ambiental. El respon-

sable de ejecutar el plan es la industria, y el responsable de supervisar y asegurar que se realice correctamente es la autoridad ambiental.

#### 5. PLAN DE ACCIÓN

Una vez que se cuenta con el diagnóstico de la situación, se propone un Plan de acción con las actividades y plazos que se resumen a continuación:

1. **Definir el programa de monitoreo.** Luego de recopilados los antecedentes previamente mencionados, ha de concretarse el programa y construir los pozos. Esto debería realizarse en un plazo no mayor a un mes.

2. **Verificar las condiciones de la construcción de los pozos,** para asegurar que estos no sean una fuente de contaminación, y **relevar los datos hidrogeológicos** para verificar o rectificar los conocimientos sobre la hidrogeología local, retroalimentando el programa de monitoreo si corresponde y el estudio de vulnerabilidad del acuífero.

3. **Ejecución del programa de monitoreo.** El monitoreo para evaluar el estado de situación de las lagunas puede llevar como mínimo 1 año (frecuencia de muestreo cada tres meses). Luego se continuaría el plan de monitoreo de vigilancia (frecuencia de muestreo anual).

4. **Analizar y evaluar los resultados.** Para ello se compararán los resultados de los pozos, aguas abajo de la laguna con el pozo blanco (aguas arriba), y además se contrastarán con niveles de referencia de cada parámetro de normativa o guías internacionales, dado que no existe normativa nacional respecto a los estándares de calidad de aguas subterráneas. En caso de que se constatará que las lagunas no son impermeables, debe evaluarse como

<sup>1</sup> OSE – es el organismo del estado responsable del abastecimiento de agua potable a la población



mitigar este efecto; para plantear la celeridad con que se requiere tomar medidas, sería conveniente cuantificar la tasa de infiltración.

5. Paralelamente, es importante la **capacitación a los trabajadores** de la industria sobre el plan que se está ejecutando y los resultados que se van obteniendo de la aplicación del plan. También, en términos más amplios, la concientización sobre las características de la industria y el riesgo de afectación al acuífero debido a malas prácticas.

## 6. CONTROL DEL PLAN Y RETROALIMENTACIÓN

Las principales acciones de retroalimentación del plan se darían si se constatará que existe infiltración desde las lagunas.

1. El planteamiento de actividades para extraer el líquido y remover los lodos sedimentados.
2. Generar planes específicos de acción para el efluente y residuos que se generaran de la remoción.
3. Reprogramar el monitoreo en función de la nueva situación, en particular probablemente implique intensificar la frecuencia de muestreo, aumentar la cantidad de pozos o analizar nuevos parámetros, en función de los resultados.
4. Evaluar y tomar decisiones.

## RECOMENDACIONES

Considerando que el caso de estudio está restringido a escala local, y tiene un horizonte de corto y mediano plazo, este plan de acción consta de actividades sencillas, que no involucran la interacción entre varios actores con intereses contrapuestos, por lo que no requiere de recomendaciones especiales. Por otra parte, el SAG es un acuífero muy estudiado, y hay mucha información a escala regional, sin embargo, a escala local sería conveniente realizar mayores estudios y ensayos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CeReGAS, Centro Regional para la Gestión de Aguas Subterráneas en América Latina y el Caribe (2016). *El Sistema Acuífero Guaraní en Uruguay - Documento de Divulgación N°1*.

Decreto 253/79. (s.f.). *Decreto sobre la prevención de la contaminación de las aguas*. Obtenido de <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/253-1979>

DINAMA. (2009). *Informe del estado del ambiente DINAMA - MVOTMA - 2009*.

DINAMIGE. (2003). *Mapa Hidrogeológico del Acuífero Guaraní - escala 1:1.000.000*. Obtenido de [http://www.miem.gub.uy/sites/default/files/mapa\\_sistema\\_acuifero\\_guarani\\_uruguay.pdf](http://www.miem.gub.uy/sites/default/files/mapa_sistema_acuifero_guarani_uruguay.pdf)



# 3. ESTUDIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA GESTIÓN INTEGRADA DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS EN LA CUENCA DEL RÍO CARINHANHA

## AUTORAS

**Leticia Lemos de Moraes**

leticia.moraes@ana.gov.br

**Márcia Tereza Pantoja Gaspar**

marcia.gaspar@ana.gov.br

ANA, Brasil

## RESUMEN

La cuenca del río Carinhanha está ubicada en una región donde el flujo de los ríos es fuertemente dependiente del flujo basal del acuífero Urucuia. En los últimos años ha habido una disminución de los caudales de los ríos en esta cuenca y en cuencas vecinas ubicadas sobre el mismo acuífero. Aunque la causa puede ser la reducción de las precipitaciones, es probable que la expansión de la agricultura tenga también gran influencia en estos descensos, tanto por el uso de las aguas, como por la reducción de la capacidad de infiltración del suelo. La región es una gran productora de soja, algodón, maíz y café por lo que el agronegocio y la agricultura de riego sigue creciendo. Conflictos por el uso del agua ya se informaron y tienden a empeorar. El control de la situación está obstaculizada por la doble jurisdicción en la cuenca, donde Unión y los estados de Minas Gerais y Bahía adoptan diferentes criterios para autorizar el uso del agua. Por lo tanto, este proyecto tiene como objetivo la reglamentación articulada entre las instituciones involucradas para la gestión integrada de ríos y acuíferos, a partir del balance de agua integrado.



Video: hacer click para reproducir



## UBICACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

La cuenca del río Carinhanha, con un área de 17.178 km<sup>2</sup>, cubre los estados de Minas Gerais y Bahía y está ubicada en la región semiárida de Brasil (Figura 1), con precipitaciones promedio de 800 a 1200 mm concentrada en los meses de noviembre a abril. Está formada por importantes afluentes del río San Francisco, uno de los principales ríos de Brasil, y en el contexto hidrogeológico por los acuíferos Urucuia (areniscas) y Bambuí (kárstico).

Por su ubicación en más de un estado, las aguas de la cuenca tienen doble jurisdicción. Los ríos Carinhanha e Itaguari son bienes de la Unión y su regulación es responsabilidad de la Agencia Nacional de Aguas – ANA. Los afluentes de estos ríos y las aguas subterráneas son regulados por los estados de Bahía y Minas Gerais.

## PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS:

La cuenca del río Carinhanha se encuentra sobre los acuíferos Urucuia (areniscas), Bambuí (kárstico) y coberturas sedimentarias recientes (arenas). El énfasis de este estudio está en el acuífero Urucuia debido a su gran importancia para mantener el caudal de los ríos. La contribución del flujo basal del acuífero Urucuia para el río San Francisco es el 30% de su caudal promedio en el punto del embalse Sobradinho y alcanza entre 80% y 90% en el período seco (ANA, 2017). El acuífero tiene más de 100.000 km<sup>2</sup>, es predominantemente libre, formado de areniscas con espesores entre 15 y 400 metros (más profundos en la zona oeste). La profundidad del agua está entre 2 y 160 metros y el flujo ocurre de oeste a este, siguiendo el desnivel del relieve. La división de la cuenca hidrogeológica no coincide con la cuenca hidrográfica, siendo que una parte de la recarga fluye para la cuenca del río Tocantins, al oeste del divisor (Figura 2).

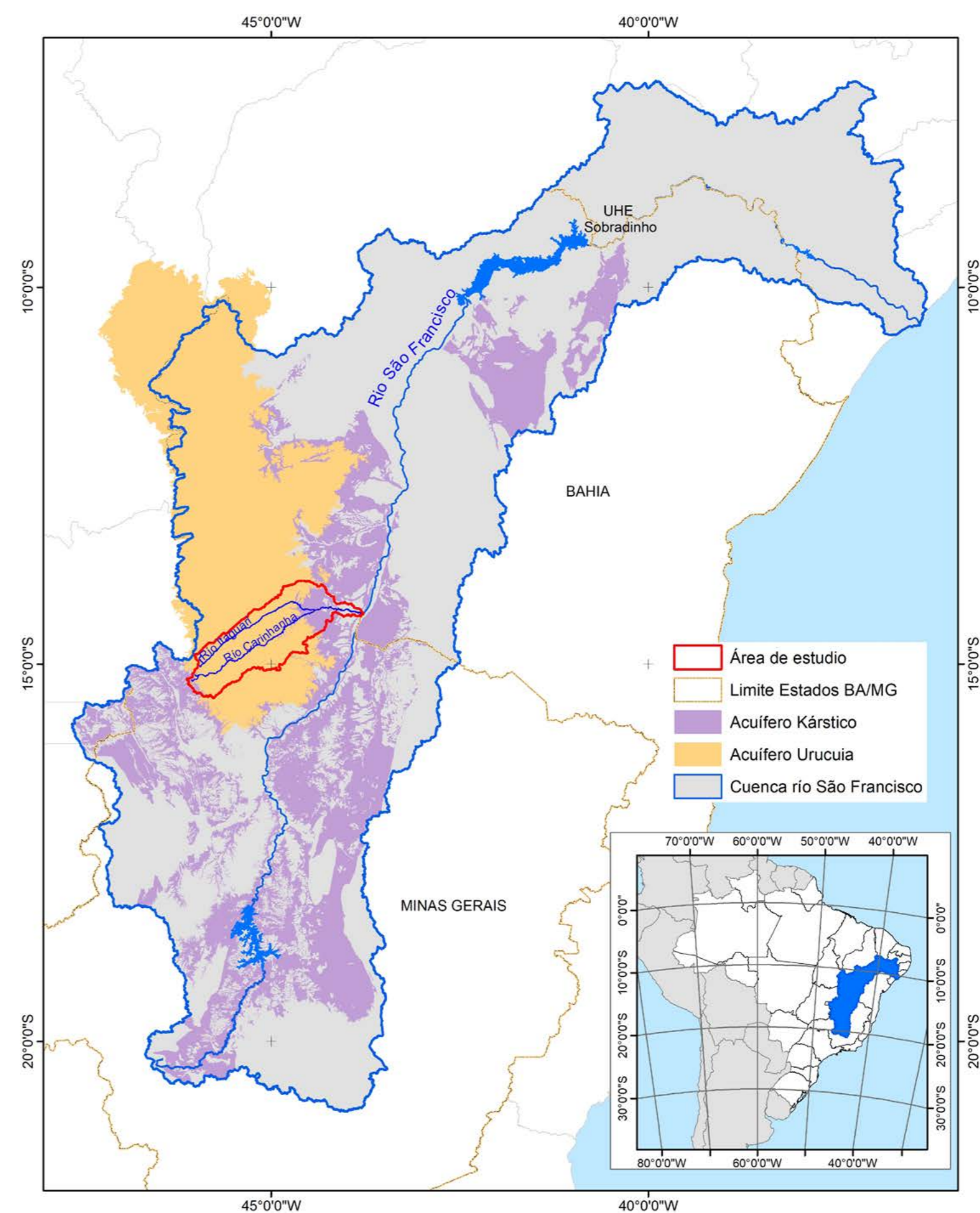


Figura 1: Ubicación del área de estudio con relación a la cuenca San Francisco, al acuífero Urucuia y los estados de Minas Gerais y Bahía. Fuente: Elaboración propia.



En la cuenca del río Carinhanha, el flujo subterráneo se dirige desde cotas potenciométricas de 800 metros hasta 550 metros. Todavía hay flujos del sureste hacia noroeste donde el agua subterránea fluye desde las áreas de meseta al curso principal del río Carinhanha. La recarga del acuífero ocurre en áreas de relieve plano y la descarga en los valles. La recarga promedio para todo el acuífero corresponde al 18,5% de la precipitación, pero en la cuenca del río Carinhanha alcanza al 28%. Los oxisoles en vegetación de Cerrado (sabana brasileña) tienen la mayor permeabilidad, con conductividad hidráulica hasta 5 veces más grande que en áreas agrícolas (Figura 3).

El acuífero Urucuia tiene excelente productividad, con pozos de caudales hasta 600 m<sup>3</sup>/h. La calidad de sus aguas es excelente, con muy bajas concentraciones iónicas y conductividad eléctrica por lo general menor que 50 µS/cm. La datación del agua por Carbono 14 resultó con una edad entre 450 y 2.840 años. La vulnerabilidad (por método GOD) es predominantemente media.

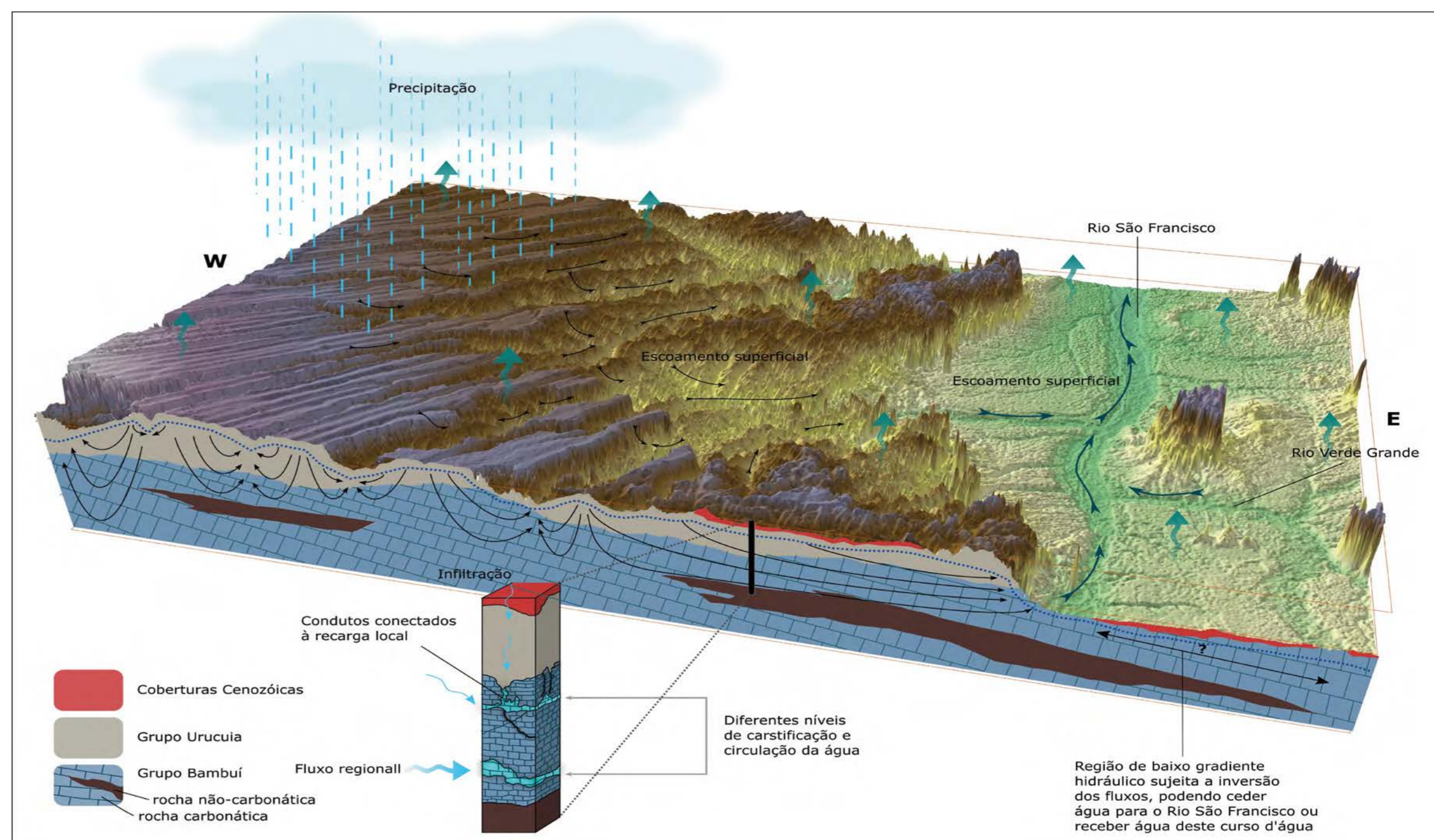
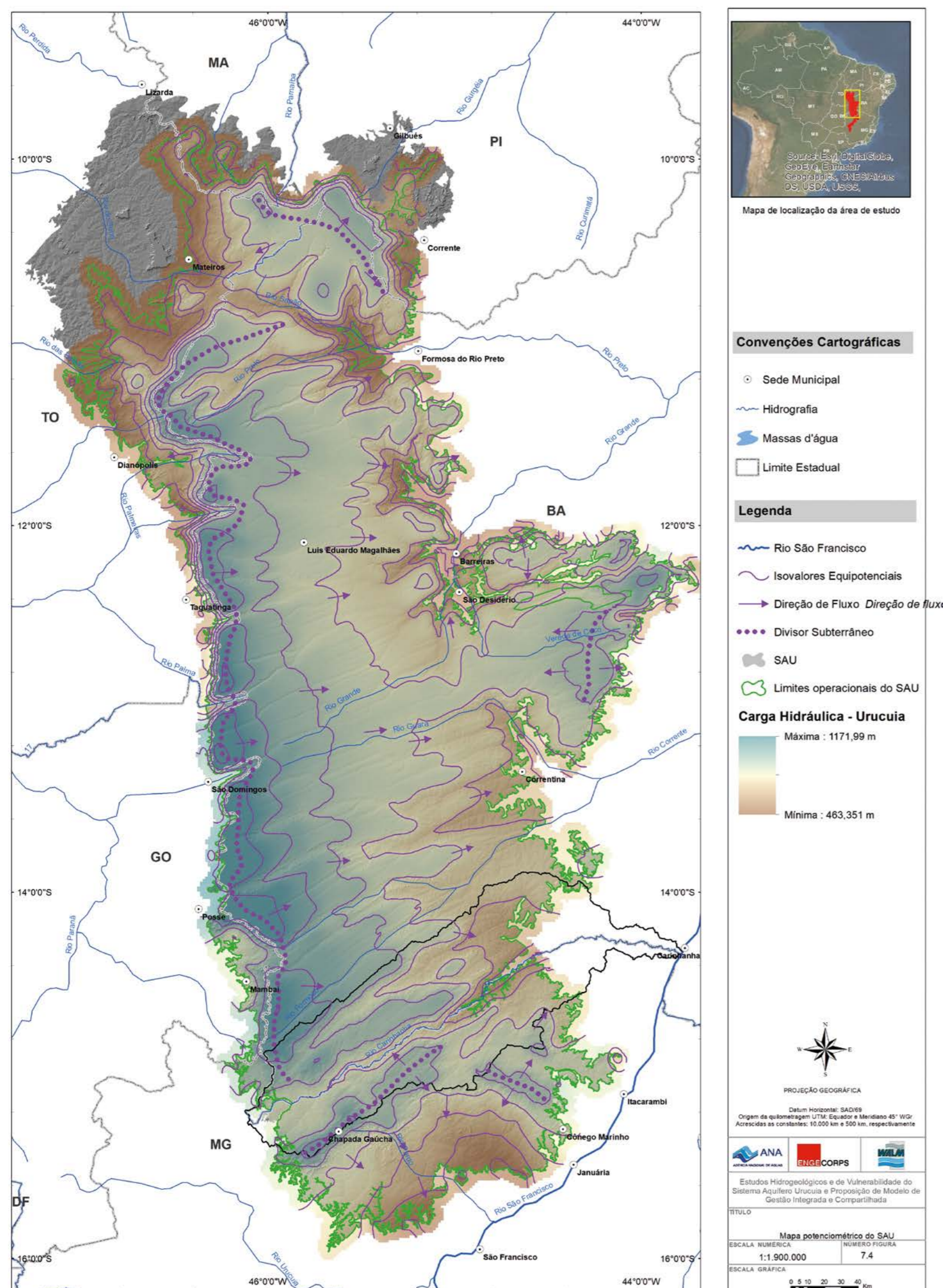


Figura 2: Bloque diagrama representando la geología, el relieve y la dirección de flujo del acuífero Urucuia. Fuente: ANA, 2018.



■ Estudios para la implementación de la gestión integrada de las aguas superficiales y subterráneas en la cuenca del río Carinhanha (Brasil)



### BREVE DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

En la región del acuífero Urucuia, se han observado hechos que causan preocupación sobre la sostenibilidad del uso actual y futuro de las aguas:

- Disminución de la precipitación en años recientes;
- Reducción de los caudales de los ríos y del flujo de base (ANA, 2017; Golçalves et al., 2018; Pousa et al., 2019) (Figura 4);
- Rápido crecimiento de la agricultura, incluyendo el regadío;
- Disminución de la conductividad hidráulica de los suelos en áreas de agricultura (ANA, 2017; Dionízio & Costa, 2019);
- Relatos de manantiales que se han secado;
- Descenso de los niveles del agua en pozos (UFV/UFRJ/AIBA, 2019; red de monitoreo RIMAS/CPRM);
- Conflictos por el uso del agua en algunas subcuencas ubicadas en contexto de acuífero Urucuia.

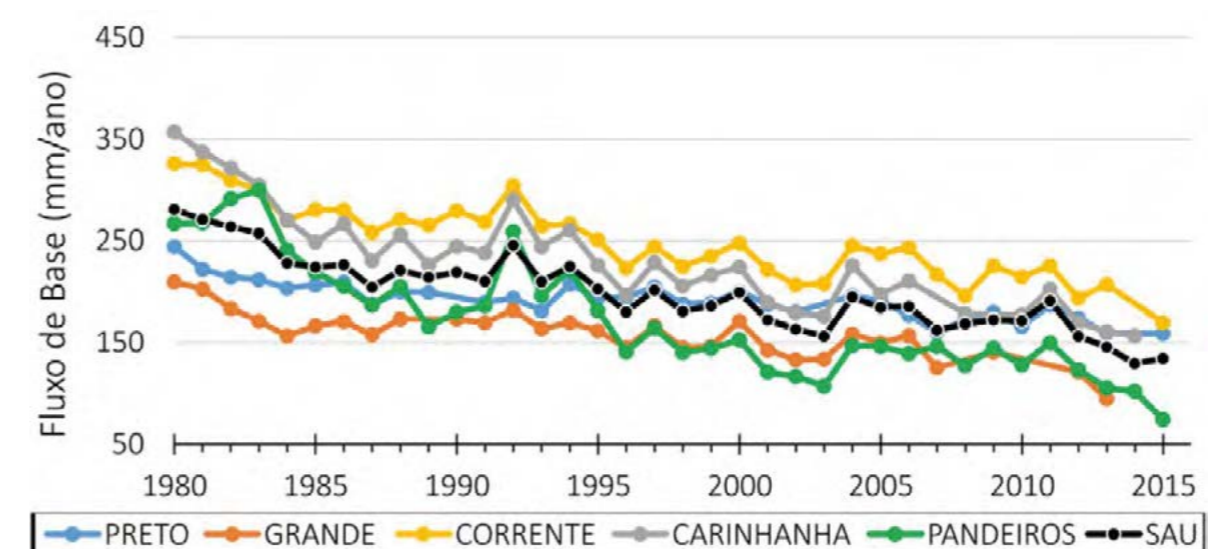


Figura 4: Reducción en flujo de base en cuencas sobre el acuífero Urucuia. Fuente: Golçalves et al, 2018.

Figura 3: Potenciometría y dirección de flujo en el acuífero Urucuia y ubicación de la cuenca Carinhanha. Fuente: ANA, 2017.



El área de la cuenca Carinhanha, en relación con las demás cuencas por encima del acuífero Urucuia, está poco ocupada por la agricultura, por lo tanto la extracción de aguas subterráneas no es muy grande. Sin embargo, la agricultura de regadío está creciendo y la disponibilidad de agua superficial se acerca al límite en algunos ríos, lo que seguramente traerá efectos sobre la demanda de agua subterránea.

En términos de gestión de recursos hídricos, la cuenca del río Carinhanha tiene como característica singular la acción de tres entidades diferentes en la gestión de los recursos hídricos: ANA que representa a la Unión cuando se trata de las aguas superficiales que cruzan más de un estado (Carinhanha y Itaguari) y las agencias de gestión de recursos hídricos de los estados de Bahía y Minas Gerais cuando se trata de los afluentes y de las aguas subterráneas. Además, para otorgar el derecho de uso de aguas superficiales se adoptan tres caudales de referencia diferentes para fines de disponibilidad: Unión adopta Q95, Bahía Q90 y Minas Gerais Q7,10. Las diferentes acciones y criterios adoptados dificultan la implementación de la gestión integrada de recursos hídricos en esta cuenca. La articulación entre las instituciones es un punto crucial para el éxito de la gestión.

### PROPUESTAS PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DEL AGUA

El Plan de Gestión tiene como objetivo principal proponer la revisión de criterios para la concesión de derechos de uso de las aguas superficiales y crear reglas para el uso de las aguas subterráneas teniendo en cuenta su importancia en el mantenimiento de las aguas superficiales. Las principales actividades para lograr el objetivo son:

- Instalar pozos de monitoreo para la medición automática de los niveles de agua. Se planea perforar e instalar 5 pozos antes de diciembre 2020;
- Hacer un balance integrado de aguas subterráneas y superficiales considerando el flujo basal como el componente integrador (la disponibilidad integrada), antes de abril 2021;
- Desarrollar un modelo matemático que permita construir escenarios de demanda y cambios climáticos, antes de julio 2021.

Para mejorar el diagnóstico actual del sistema acuífero en la cuenca Carinhanha, será necesario un registro completo de los pozos y de los usos superficiales en la cuenca, incluyendo datos o estimativas de extracción de agua, que serán utilizados para la actualización del balance hídrico. También será necesario actualizar las evaluaciones hidrológicas de acuerdo con los datos de los últimos años (a partir del 2005). Esto es porque el estudio desarrollado por ANA (2017) en toda el área del acuífero Urucuia analizó los datos hidrológicos hasta 2005 y tuvo un registro de pozos poco detallado.

Para el éxito de la gestión es necesario involucrar a los actores afectados por este tema como organismos reguladores, usuarios de agua, comités de cuenca y universidades. Muchos de estos actores son parte de un comité que acompaña el proyecto. Además, una de las actividades del proyecto son los talleres participativos para difundir los resultados a los actores locales y la comunidad en general, así como para obtener sugerencias para la gestión. Los actores más influyentes y poderosos de la región son los grandes regantes, entonces, mejorar la gobernanza de las aguas subterráneas requerirá demostrarles a ellos el riesgo de uso insostenible para sus propios negocios.

El monitoreo de niveles será la principal herramienta para evaluar la respuesta del sistema acuífero Urucuia en la cuenca Carinhanha. La Agencia Nacional de Aguas esta actualmente articulando con el Servicio Geológico Brasileño (CPRM) la inclusión de pozos de monitoreo de la red RIMAS en todo el acuífero Urucuia a la Red Hidrometeorológica Nacional (coordinada por ANA), así como los pozos que serán instalados en este proyecto. Los nuevos datos de monitoreo se pueden usar para actualizar y recalibrar el modelo matemático. A partir de los resultados, las reglas de uso definidas en el plan de gestión pueden revisarse periódicamente.

### RECOMENDACIONES

Se recomiendan algunas acciones para mitigar y controlar los riesgos de conflicto e inseguridad hídrica:

- Invertir en monitoreo hidrológico y de niveles en pozos, incluyendo el autocontrol por los grandes usuarios de agua (como condición de concesión);
- Adoptar prácticas de conservación para mejorar y favorecer la infiltración del suelo;
- Fortalecer los organismos de gestión estatales, incluyendo entrenamiento técnico en gestión de aguas subterráneas y estructuración para la supervisión del uso de las aguas;
- Implementación del cobro por el uso del agua de jurisdicción estadual (superficiales y subterráneas);
- Promover campañas de educación ambiental para usuarios de agua y la comunidad local, incluyendo el desarrollo de material educativo con el conocimiento obtenido en estos estudios



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. 2017. *Estudos Hidrogeológicos e de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucuia e Proposição de Gestão Integrada e Compartilhada. Relatório Final*. Disponible en: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=b26a6c8e-affa-4766-8cb7-ccdaaadb3453>

CPRM. *RIMAS: Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterráneas*. Disponible en: <http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/>

Dionizio, E. A., & M. H. Costa, 2019: *Influence of Land Use and Land Cover on Hydraulic and Physical Soil Properties at the Cerrado Agricultural Frontier*. Agriculture, 9, 24, doi:10.3390/agriculture9010024.

Gonçalves, R. D., Engelbrecht, B. Z., Chang, H. K. 2018. *Evolução da contribuição do Sistema Aquífero Urucuia para o Rio São Francisco, Brasil*. Revista Águas Subterráneas, v. 32, n.1, p.-1-10, 2018.

Pousa, R., Costa, M. H., Pimenta, F. M., Fontes, V. C., Brito, V. F. A., Castro, M. 2019. *Climate Change and Intense Irrigation Growth in Western Bahia, Brazil: The Urgent Need for Hydroclimatic Monitoring*. Water, 10, 933; doi:10.3390/w11050933.

UFV/UFRJ/AIBA. 2019. *Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia: Quantificação e Monitoramento da Disponibilidade dos Recursos do Aquífero Urucuia e Superficiais nas Bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha*. Relatório Técnico Final. Disponible en: <http://obahia.dea.ufv.br/maps/38/view>



# 4. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA RESERVA NATURAL INTEGRAL Y MIXTA LAGUNA DE ROCHA EN LA CUENCA DEL PLATA (ARGENTINA)

## AUTORA

**María Fernanda Lopolito**

mflopolito@gmail.com

Colaboradores: José Casado; Santiago Valdes; Ariel Humai; Valeria Petrizzi  
Instituto Nacional del Agua (INA), Subgerencia de Servicios Hidrológicos (SSH), Programa Ingeniería Sanitaria y Ambiental (PISA), Argentina.

## RESUMEN

La clasificación que se propone para la elaboración de un Inventario Nacional de Humedales (INH) es una herramienta que facilita la gestión de los humedales y la comparación entre diferentes regiones geográficas del país y del mundo. Hasta el momento, no se ha completado la clasificación de Unidades de Humedal equivalentes a las consideradas en el Nivel IV para la realización del INH de la Argentina.

El estudio que se plantea tiene por objeto la caracterización hidrológica de la Reserva Natural Integral y Mixta Laguna de Rocha, localizada en la Cuenca del Río Matanza-Riachuelo, contenida en el territorio de la Cuenca del Plata que corresponde a la República Argentina.

A fin de establecer el esquema conceptual de un humedal propuesto en el estudio, será importante establecer la metodología de cálculo de las componentes del balance hidrológico. Del mismo modo, se espera elaborar un inventario de cargas contaminantes (método POSH), caracterización de amenazas y la aplicación de metodologías de evaluación de vulnerabilidad (métodos GOD, DRASTIC, etc.) a fin de establecer el potencial efecto de las actividades económicas (industrial, agrícola, ganadera y humana) en la degradación ambiental evidenciada en el área de estudio.



Video: hacer click para reproducir



## UBICACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

La Cuenca del Plata con caudal medio anual de 22.600 m<sup>3</sup>/s, es la segunda vía fluvial más extensa de América Latina y uno de los mayores reservorios de agua dulce del planeta. Comprende las cuencas de los ríos Paraná, Paraguay, Uruguay y de La Plata, abarcando aproximadamente 3.200.000 km<sup>2</sup> de los territorios de Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay (Figura 1) (CIC).

En la Cuenca del Plata se localiza la Cuenca del Río Matanza-Riachuelo, que alberga aproximadamente 5.800.000 hab., representando el 15% de la población de Argentina en una pequeña parte de su territorio.

La Cuenca Matanza-Riachuelo (Figura 2) es la zona más urbanizada e industrializada del país, encontrándose gravemente afectada por actividades productivas de gran impacto ambiental (ACUMAR).

El área del caso de estudio que se presenta corresponde a la Reserva Natural Integral y Mixta Laguna de Rocha (Figura 3), humedal ubicado en la Provincia de Buenos Aires de 1.400 ha. de extensión, de las cuales 300 ha. corresponden a espejos de agua y sólo 630 ha. se encuentran protegidas por la Ley N° 14.488/2.012.

La Autoridad de Cuenca Matanza-Riachuelo (ACUMAR) define como áreas de protección ambiental a “aquellas que tienen norma de protección que las regula, y también a aquellas que por valores ecológicos, arqueológicos, paleontológicos, hídricos o como espacio verde de esparcimiento o recreación ciudadana, se consideran de interés para su conservación”. Así, la ACUMAR pretende consolidar el estudio y conocimiento sobre estas áreas, tendiente a conformar a mediano plazo un sistema de áreas verdes de la Cuenca Matanza Riachuelo.



Figura 1: Cuenca del Plata. Fuente: Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata (CIC) - Observatorio de la Cuenca del Plata. Disponible en: <https://cicplata.org/es/noticias/observatorio-de-la-cuenca-del-plata/>

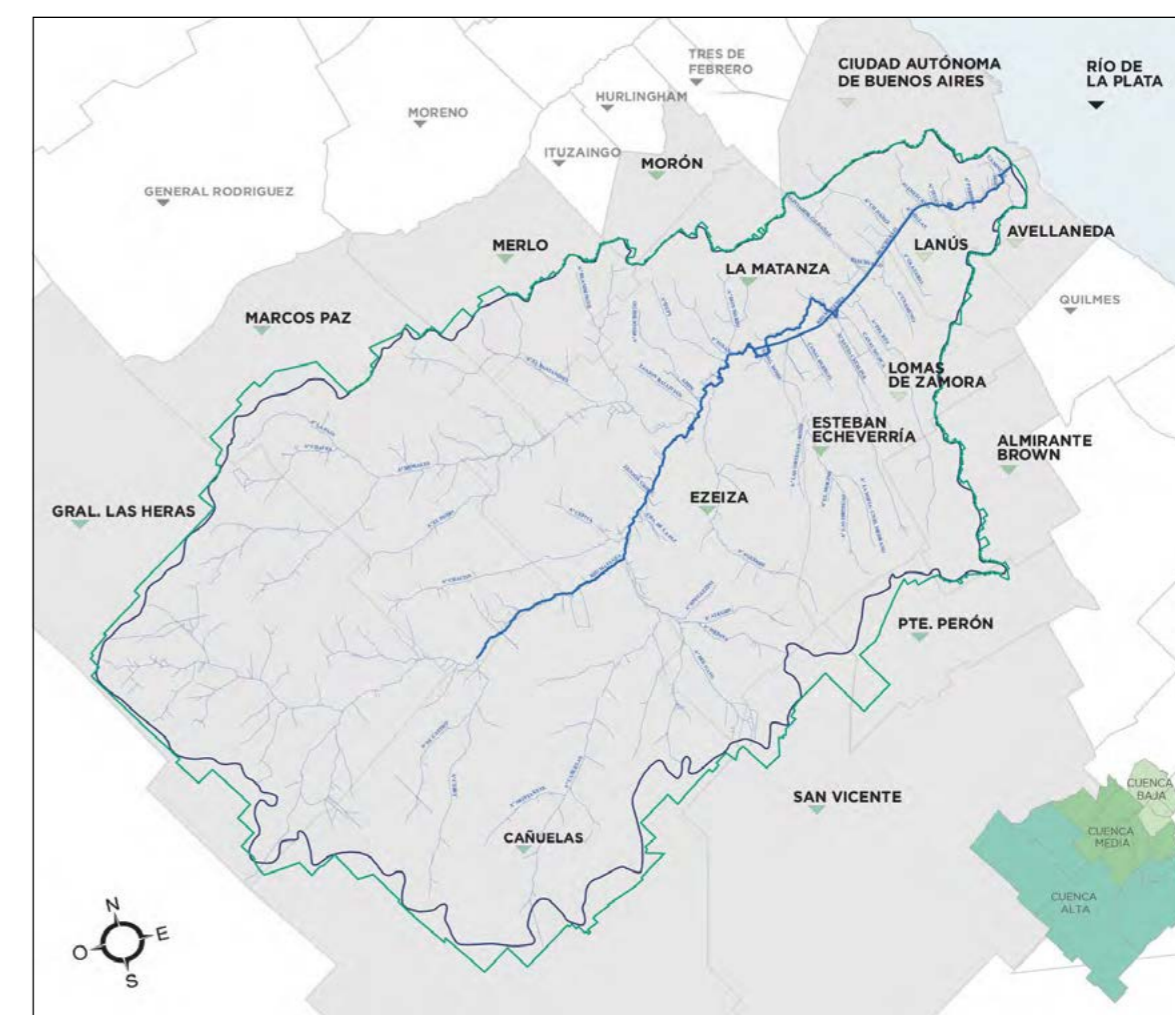


Figura 2: Cuenca Río Matanza-Riachuelo. Fuente: Recuperada de: Mapas de la Cuenca – ACUMAR (web). Disponible en: <http://www.acumar.gov.ar/caracteristicas-cuenca-matanza-riachuelo/>

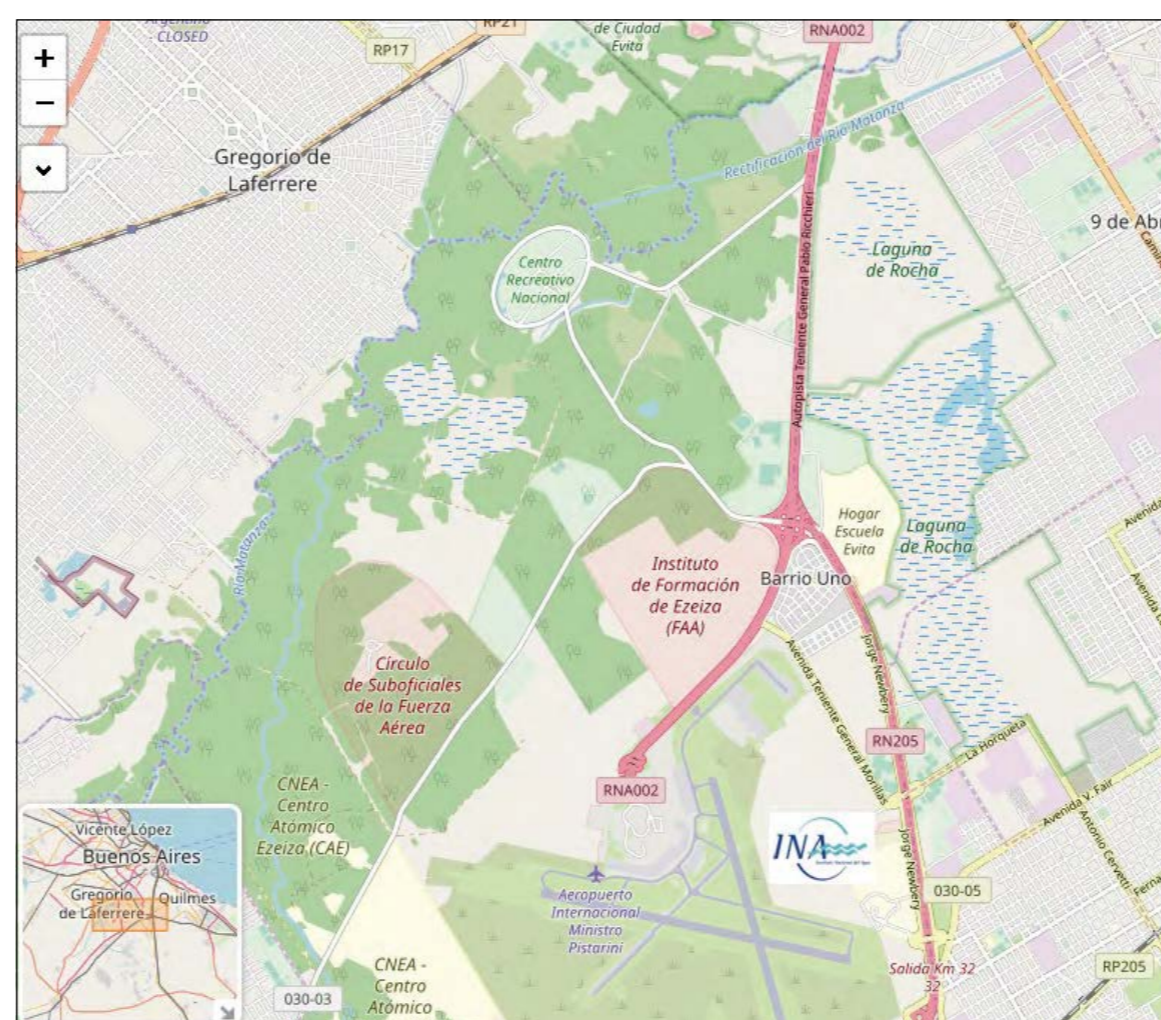


Figura 3: Reserva Natural Integral y Mixta Laguna de Rocha. a) Mapa. Elaboración propia a partir de plantilla Google Earth e información de ACUMAR. b) Foto aérea (Laguna-de-Rocha-Ph.-Natalia-Mastroscello-2000.jpg) Recuperada de: Agencia Universitaria de Noticias (AUNO) (2015) “Historia y naturaleza en la Laguna de Rocha”. Disponible en: <https://auno.org.ar/historia-y-naturaleza-en-la-laguna-de-rocha/>



## PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

La Provincia de Buenos Aires se caracteriza por ser parte de una vasta llanura que ocupa aproximadamente 270.000 km<sup>2</sup>. La Figura 4 presenta el mapa físico de la Provincia de Buenos Aires (IGN).

Dentro de los rasgos morfológicos mayores, domina la llanura en sus distintas expresiones (ondulada, alta, deprimida, marginal costera, delta) por sobre los alineamientos serranos (Tandilia y Ventania) y sus bajadas, con pendientes del orden de uno por mil, y escasa altura con respecto al nivel del mar (DiPAC).

La geomorfología de llanura condiciona que las componentes verticales tales como la infiltración y la evaporación prevalezcan sobre las horizontales como el escurrimiento superficial y subterráneo.

Desde el punto de vista hidrogeológico, las unidades acuíferas se desarrollan fundamentalmente en medio poroso, identificándose acuíferos en medio fisurado sólo en ambientes serranos.

De este modo, en medio poroso los acuíferos se disponen en capas sedimentarias horizontales o sub-horizontales, con comportamiento hidráulico libre, semi-confinado o confinado. La recarga se produce en forma directa, indirecta, autóctona o alóctona según el grado de confinamiento de los acuíferos. El área de estudio se localiza en la Subregión Hidrogeológica I o Subregión Río Paraná, la cual se extiende desde la Cuenca del Río Salado al sur y sudoeste, hacia el norte hasta al menos el meridiano 33°30' o lo bajos submeridionales, al este el Río Paraná y al oeste hasta aproximadamente el paralelo 62°30'.

La Figura 5 presenta el mapa de subregiones hidrológicas propuesto por Santa Cruz y Silva Busso (1999).

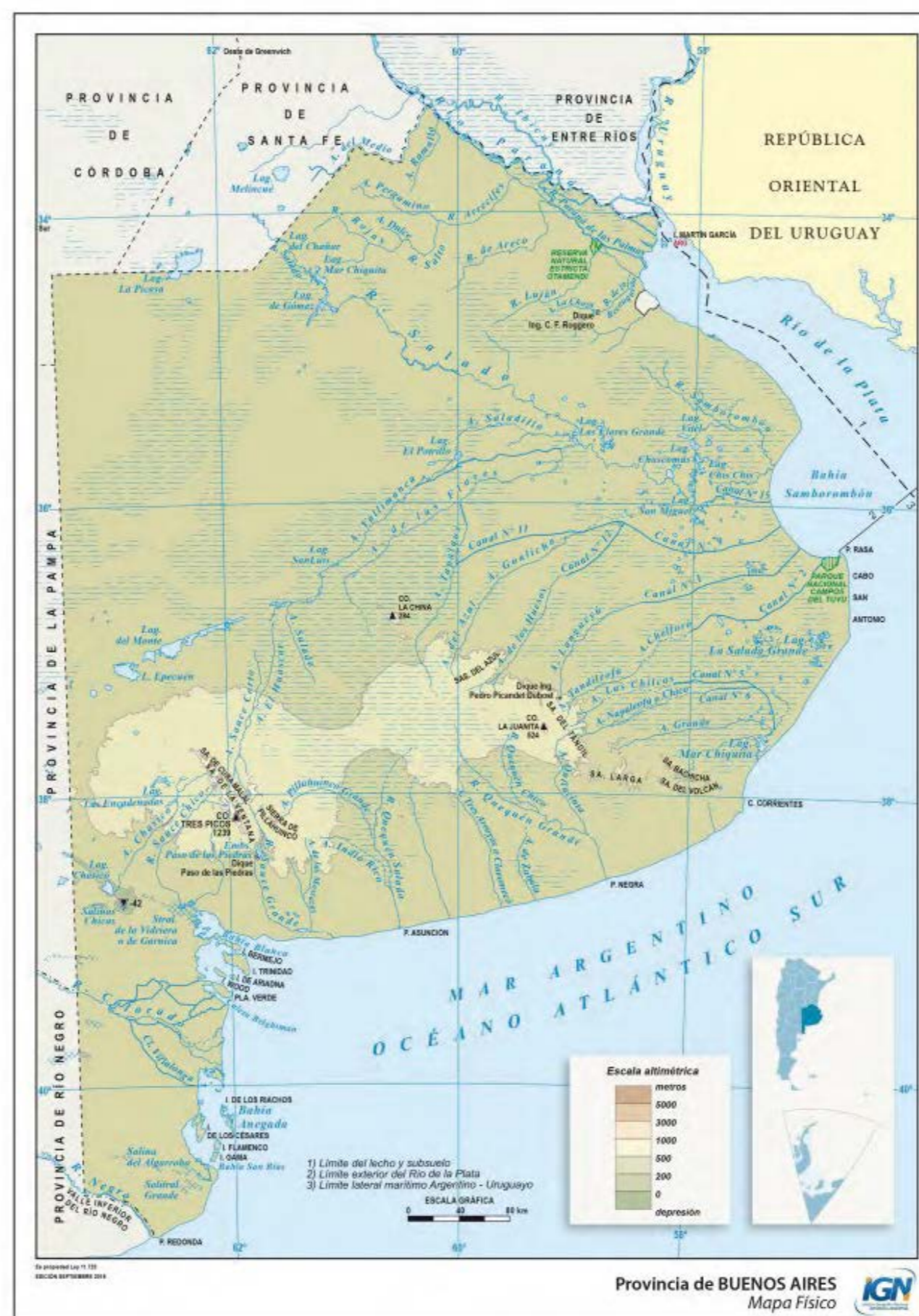


Figura 4: Mapa Físico de la Provincia de Buenos Aires. Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN) - Servicio web de mapas. Disponible en: <https://www.ign.gob.ar/AreaServicios/Descargas/MapasEscolares#nanogallery/gallery4/0/14>

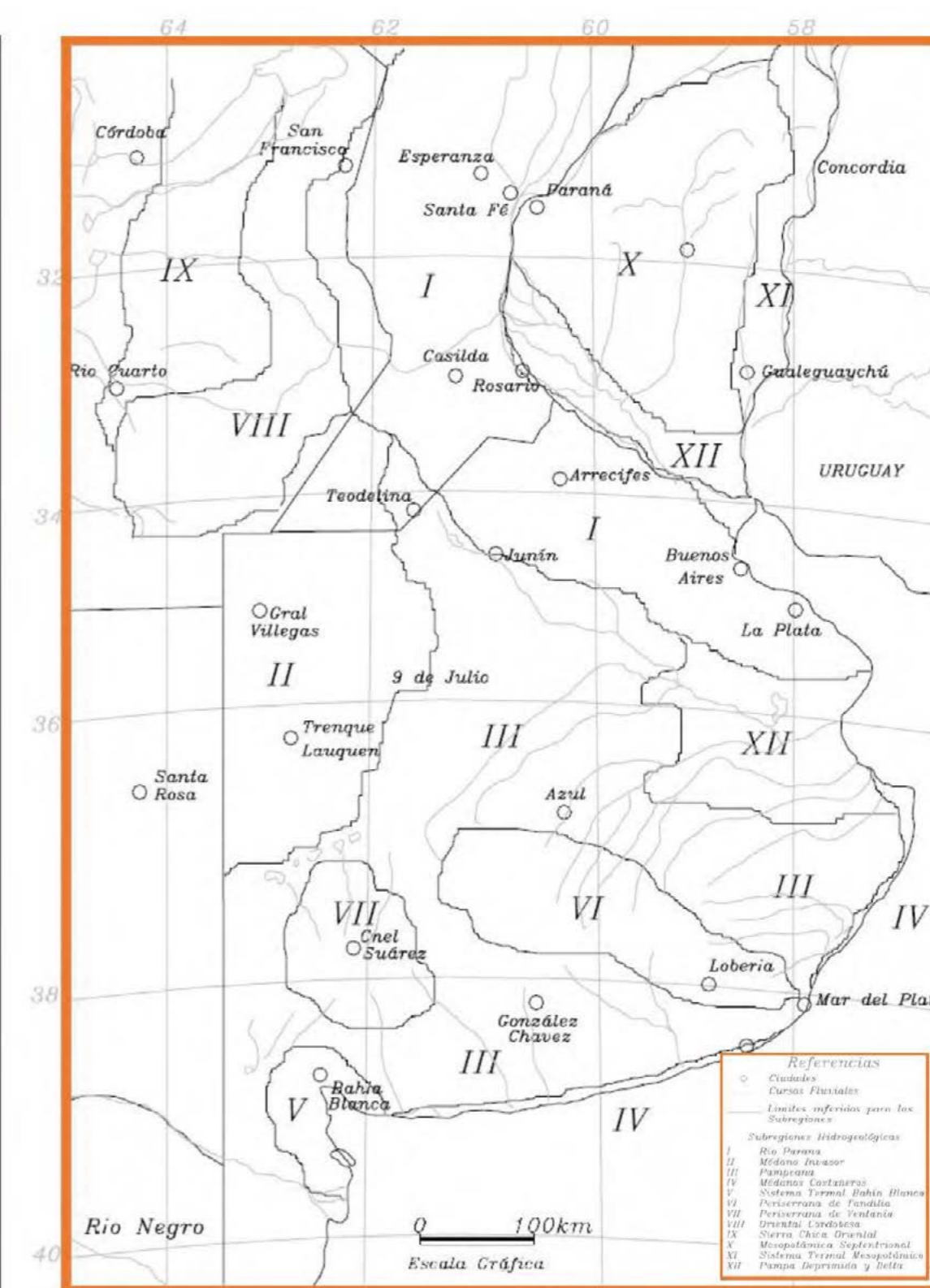


Figura 5: Mapa de Subregiones Hidrogeológicas. Fuente: Santa Cruz y Silva Busso (1999). Recuperada de: Dirección Provincial de Servicios Públicos de Agua y Cloacas (DiPAC), Ministerio de Infraestructura. Plan Estratégico de Agua y Saneamiento de la Provincia de Buenos Aires (pág. 15). Disponible en: <http://www.mosp.gba.gov.ar/sitios/agua cloaca/informacion/plan.php>



La Tabla 1 presenta los principales acuíferos de esta región, su estratigrafía e hidroestratigrafía, descritos en detalle por Santa Cruz y Silva Busso (1999).

Estratigrafía	Hidroestratigrafía	Acuíferos principales
Sedimentos Pampeanos	Epiparaneano	Acuífero Pampeano
Formación Puelches	Epiparaneano	Acuífero Puelches
Formación Paraná	Paraneano	Acuífero Paraná
Formaciones Olivos, Mariano Boedo	Hipoparaneano	Acuitardo
Basamento Cristalino	Basamento Hidrogeológico	Acuífugo

Tabla 1. Estratigrafía, hidroestratigrafía y acuíferos principales del área de estudio. Fuente: Santa Cruz y Silva Busso (1999). Recuperada de: Dirección Provincial de Servicios Públicos de Agua y Cloacas (DiPAC), Ministerio de Infraestructura. Plan Estratégico de Agua y Saneamiento de la Provincia de Buenos Aires (pág. 15). Disponible en: <http://www.mosp.gba.gov.ar/sitios/aguacloaca/informacion/plan.php>

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

La Cuenca del Plata es la cuenca hídrica argentina con mayor variedad de humedales, siendo los principales los correspondientes al Sistema del Iberá, los del Río de la Plata, Río Uruguay, Paraná, Río Paraguay, Río Iguazú y sus cataratas, el Delta Paranaense, y la Cuenca Matanza-Riachuelo (SAyDS, 2006).

Los humedales se identifican como áreas inundadas temporalmente, con afloramiento del agua subterránea, o en suelos poco permeables cubiertos por agua poco profunda. La bibliografía indica que desempeñan un papel clave, aportando numerosos beneficios para la sociedad y cumpliendo servicios derivados de las funciones de regulación de ecosistemas, tal el caso de control de inundaciones, retención de sedimentos, nutrientes y contaminantes, recarga de aguas subterráneas y depuración de las aguas. De allí la importancia de su conservación y uso sustentable propuestos por la Convención Ramsar, a la cual la Argentina adhirió por Ley 23.919/92. En este sentido, se requiere generar

conocimiento de estos ambientes implementando políticas adecuadas y definiendo herramientas metodológicas que avancen en su ubicación, delimitación, características ecológicas, funcionamiento y estado de conservación a escalas apropiadas (SAyDS, 2006).

En 2018, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable (MAyDS) solicitó la elaboración de un documento base con lineamientos conceptuales y metodológicos para la realización del Inventario Nacional de Humedales (INH), definido como un “instrumento a través del cual se brinda información actualizada georreferenciada sobre la extensión, variedad, características, funciones ecológicas, servicios ecosistémicos y estado de conservación de los humedales dentro del territorio nacional” (Kandus y Minotti, 2018).

El documento enfatiza que el régimen hidrológico, es decir la presencia de agua y su dinámica, es lo que determina la ocurrencia del humedal, y propone organizar el Inventario de Humedales de Argentina en cuatro niveles o escalas representados en la Figura 6.

En 2019 se firmó un Convenio entre ACUMAR y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) para realizar el Inventario de Humedales de la Cuenca Matanza-Riachuelo, con participación del Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (3iA) de la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM).

El estudio tiene por objeto delimitar, caracterizar y tipificar estas zonas, como herramienta para el ordenamiento ambiental y la gestión sustentable del territorio. Hasta el momento, no se ha completado la clasificación de Unidades de Humedal equivalentes a las consideradas en el Nivel IV para la realización del Inventario de Humedales de Argentina.

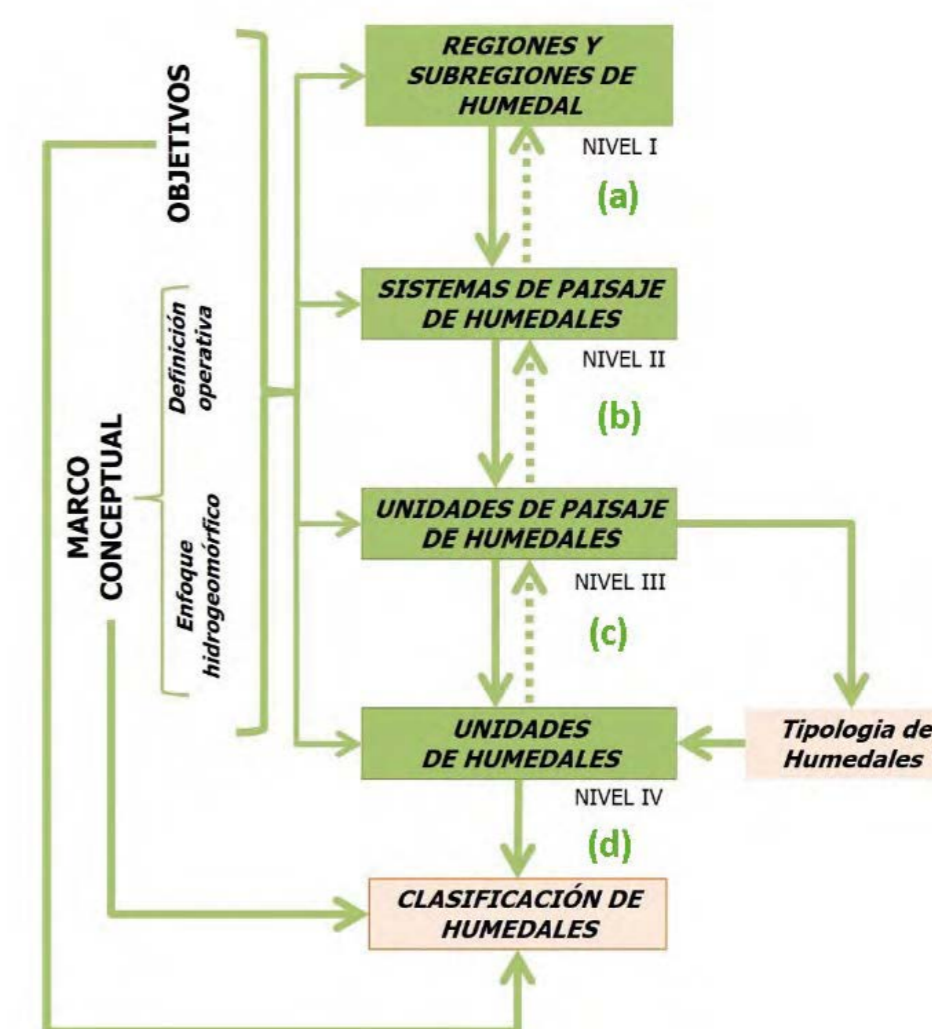


Figura 6. Niveles del INH. Fuente: (Kandus y Minotti, 2018). Recuperada de: Kandus P., Minotti P. (2018) Propuesta de un marco conceptual y lineamientos metodológicos para el Inventario Nacional de Humedales. Informe final. 3iA-UNSAM (pág. 34). Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/337944441\\_Propuesta\\_de\\_un\\_marco\\_conceptual\\_y\\_lineamientos\\_metodologicos\\_para\\_el\\_Inventario\\_Nacional\\_de\\_Humedales\\_Informe\\_Final](https://www.researchgate.net/publication/337944441_Propuesta_de_un_marco_conceptual_y_lineamientos_metodologicos_para_el_Inventario_Nacional_de_Humedales_Informe_Final)

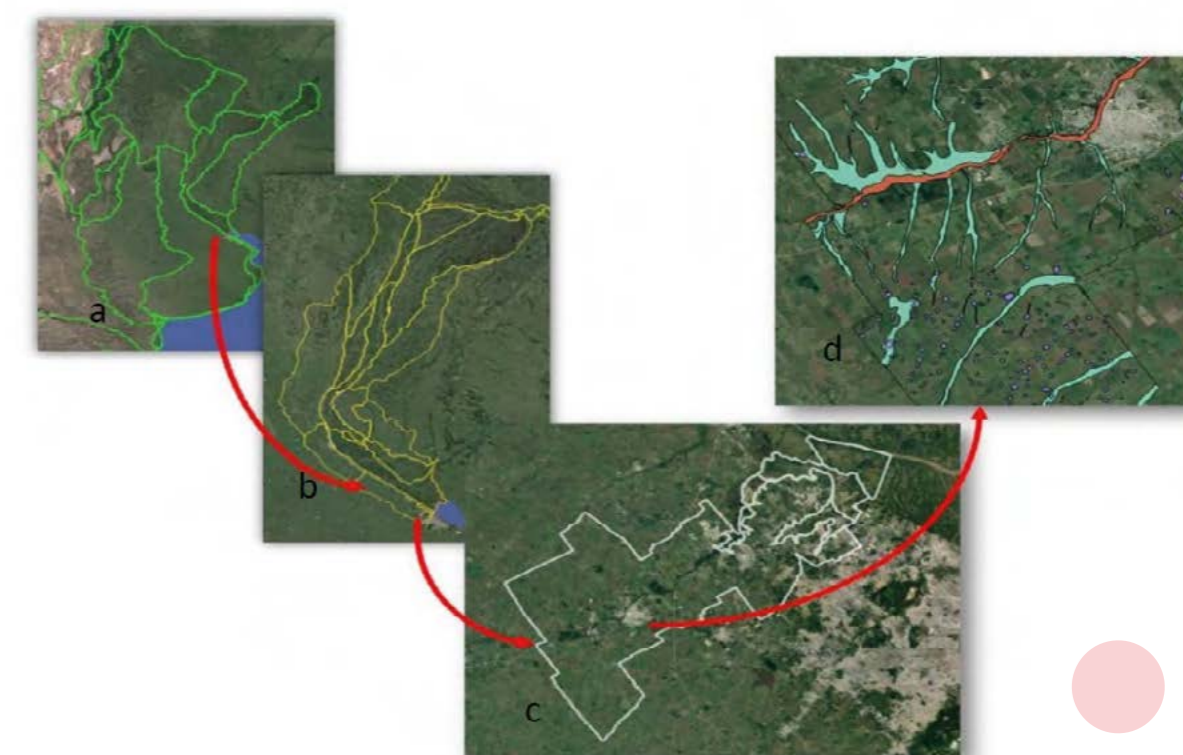


Figura 7. Escalas de análisis de los humedales en el INH. Fuente: (Kandus y Minotti, 2018). Recuperada de: Kandus P., Minotti P. (2018) Propuesta de un marco conceptual y lineamientos metodológicos para el Inventario Nacional de Humedales. Informe final. 3iA-UNSAM (pág. 36). Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/337944441\\_Propuesta\\_de\\_un\\_marco\\_conceptual\\_y\\_lineamientos\\_metodologicos\\_para\\_el\\_Inventario\\_Nacional\\_de\\_Humedales\\_Informe\\_Final](https://www.researchgate.net/publication/337944441_Propuesta_de_un_marco_conceptual_y_lineamientos_metodologicos_para_el_Inventario_Nacional_de_Humedales_Informe_Final)



## PROPUESTAS PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DEL AGUA

Según se ha descrito anteriormente, Kandus y Minotti (2018) proponen organizar el INH en cuatro niveles o escalas (Figura 6), con base en un enfoque jerárquico sobre humedales que considera la ecología regional y la ecología de paisajes, haciendo foco en la configuración espacial de los ecosistemas, sus factores genéticos, su conectividad y vinculación funcional a diferentes escalas.

En este orden de jerarquía, la clasificación de unidades de humedal equivalentes a las consideradas en el Nivel IV propuesto para el INH (escalas con detalle mayor que 1:50.000) (Figura 7), es una herramienta que facilita la gestión de los humedales y la comparación entre diferentes regiones geográficas del país y del mundo.

El documento base elaborado por Kandus y Minotti (2018), aborda la existencia del humedal, bajo un enfoque ecohidrogeomórfico, según el cual su ocurrencia está determinada por un ámbito geomorfológico particular. El régimen hidrológico de los humedales depende de las características de su emplazamiento geomorfológico en un contexto climático específico y de su localización en el paisaje, condicionando de esta manera sus características ecológicas.

El estudio que se plantea tiene por objeto la caracterización hidrológica de la Reserva Natural Integral y Mixta Laguna de Rocha, localizada en la Cuenca del Río Matanza-Riachuelo, contenida en el territorio de la Cuenca del Plata que corresponde a la República Argentina.

El Instituto Nacional del Agua (INA) ha sido convocado en el marco del acuerdo ACUMAR-CONICET para iniciar

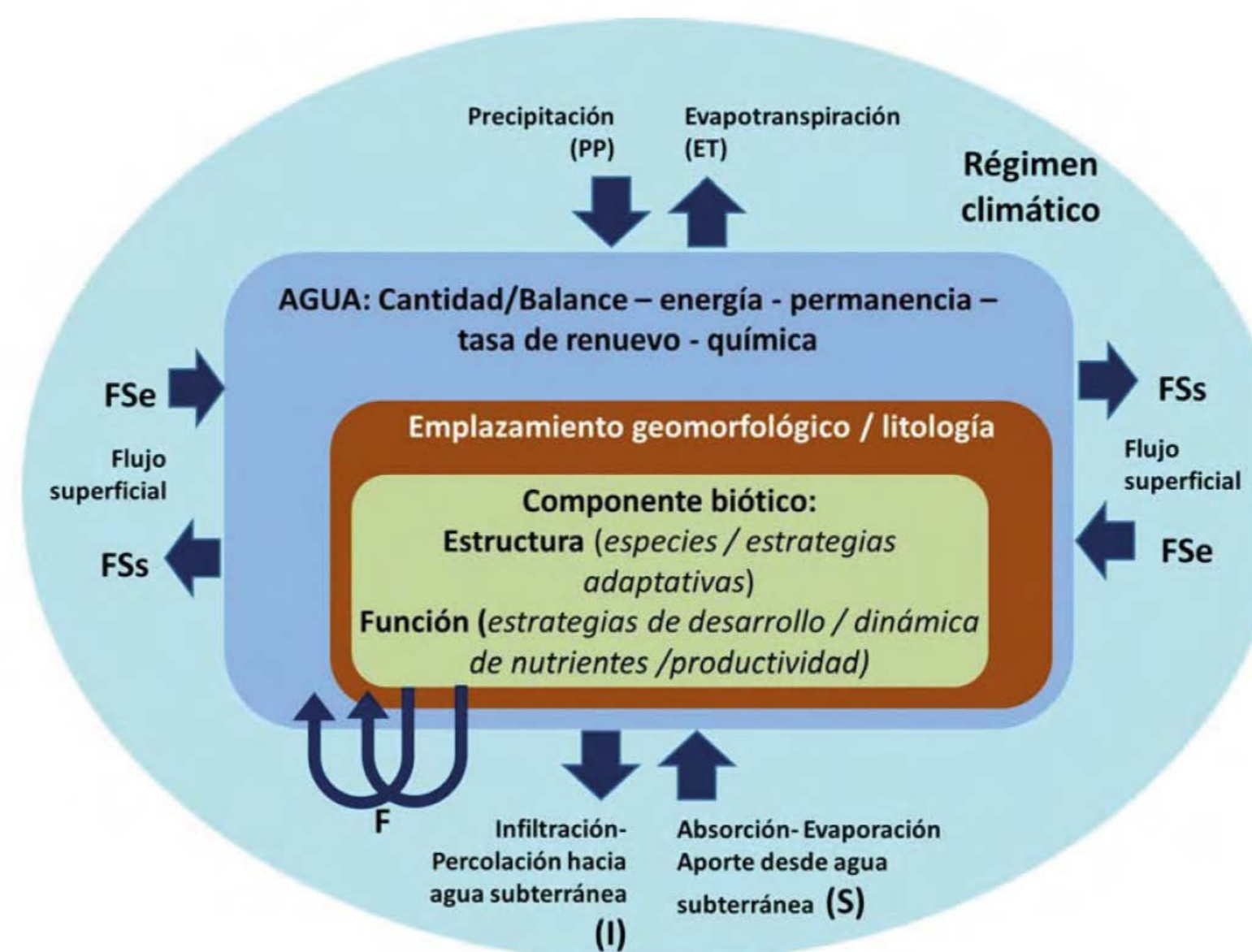


Figura 8. Esquema conceptual de un humedal. Fuente: (Kandus y Minotti, 2018). Recuperada de: Kandus P., Minotti P. (2018) Propuesta de un marco conceptual y lineamientos metodológicos para el Inventario Nacional de Humedales. Informe final. 3iA-UNSAM (pág. 26). Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/337944441\\_Propuesta\\_de\\_un\\_marco\\_conceptual\\_y\\_lineamientos\\_metodologicos\\_para\\_el\\_Inventario\\_Nacional\\_de\\_Humedales\\_Informe\\_Final](https://www.researchgate.net/publication/337944441_Propuesta_de_un_marco_conceptual_y_lineamientos_metodologicos_para_el_Inventario_Nacional_de_Humedales_Informe_Final)

este proyecto en el año 2020, por lo que hasta el momento no se ha definido un plan de gestión. Las primeras acciones tendrán por objetivo evaluar la conectividad hidrológica, a través de la determinación de patrones de relieve, redes de drenaje, características geológicas y geomorfológicas en relación con la dinámica hídrica.

El diagrama de la Figura 8 pone de manifiesto la interacción del emplazamiento geomorfológico y el régimen climático como condicionantes del régimen hidrológico en términos de entradas y salidas de flujos de agua. El balance hídrico en el humedal puede ser expresado como una relación entre

el agua que ingresa por precipitación (PP), aporte desde el agua subterránea (S) y escorrentía superficial (FSe), y la que sale por evapotranspiración (ET), por infiltración/percolación hacia el agua subterránea (I) y por escorrentía superficial hacia las inmediaciones (FSs).

Estos factores afectan aspectos estructurales (biodiversidad, biomasa vegetal, tipos de suelo, etc.), del mismo modo que afectan aspectos funcionales vinculados, entre otros, a la retención de nutrientes y contaminantes, productividad, funciones hidrológicas como el almacenaje y la amortiguación de flujos de agua. Adicionalmente se espera poder



complementar a mediano plazo el balance hidrológico con aspectos de calidad de la Laguna de Rocha, tales como la composición fisicoquímica, la depuración de las aguas y la estimación de la vulnerabilidad del sistema acuífero.

Es importante mencionar que la Cuenca Matanza-Riachuelo es una cuenca emblemática de la Argentina, por su característica de jurisdicción compartida y grave condición de contaminación ambiental. En efecto, en 2004 un grupo de vecinos presentó una demanda contra el Estado Nacional, la Provincia, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y 44 empresas, reclamando la recomposición del ambiente, la creación de un fondo para financiar el saneamiento de la cuenca y un resarcimiento económico por daños y perjuicios.

Así se originó la causa “Mendoza, Beatriz Silvia y otros c/ Estado Nacional y otros s/daños y perjuicios (daños derivados de la contaminación ambiental del Río Matanza – Riachuelo)” (SAIJ, 2008).

El 8 de julio de 2008, la Corte Suprema de Justicia de la Nación dictó un fallo histórico donde se determinó quiénes son los responsables de llevar adelante las acciones

y las obras de saneamiento. El fallo obliga a ACUMAR a realizar un programa cuyos objetivos son: (1) Mejora de la calidad de vida de los habitantes de la cuenca; (2) Recomposición del ambiente en todos sus componentes (agua, aire y suelo); (3) Prevención de daños con suficiente y razonable grado de predicción.

Por otra parte, el Máximo Tribunal encomendó al Defensor del Pueblo de la Nación y a cinco Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC): Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN), Fundación Greenpeace Argentina, Centro de Estudios Legales y Sociales (CELS), Asociación Vecinos de La Boca, Asociación Ciudadana por los Derechos Humanos (ACDH) la conformación de un Cuerpo Colegiado para el control del Plan de Saneamiento y de las obligaciones y fallos establecidos en la sentencia (ACUMAR).

En este contexto resulta de importancia la gestión participativa de las autoridades municipales, provinciales y nacionales, instituciones académicas, organizaciones no gubernamentales, vecinos y vecinas interesadas en la preservación de la Reserva Natural Integral y Mixta Laguna de Rocha.

## RECOMENDACIONES

Si bien el INA aún no ha comenzado a trabajar en el Proyecto de Caracterización Hidrológica de la Reserva Natural Integral y Mixta Laguna de Rocha, se prevé a corto plazo la elaboración de un diagnóstico de los aspectos vinculados al origen del agua, descarga y cambios de nivel. En este sentido, será importante establecer la metodología de cálculo de las componentes del balance hidrológico que permitan definir el esquema conceptual del humedal propuesto en la Figura 8.

A fin de complementar el balance hidrológico con aspectos de calidad de la Laguna de Rocha, se espera a mediano plazo elaborar un inventario de cargas contaminantes (método POSH), caracterización de amenazas y la aplicación de metodologías de evaluación de vulnerabilidad (métodos GOD, DRASTIC, etc.) según los lineamientos establecidos por Foster et al. (2003), considerando las numerosas industrias instaladas, actividades agrícolas, ganaderas y asentamientos humanos, responsables de la degradación ambiental evidenciada en el área de estudio.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR). *Características de la Cuenca Matanza Riachuelo*. Recuperado de: <http://www.acumar.gob.ar/caracteristicas-cuenca-matanza-riachuelo/>

ACUMAR. *Causa Mendoza*. Recuperado de: <http://www.acumar.gob.ar/causa-mendoza/>

Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata (CIC). *Mapas de la Cuenca del Plata*. Recuperado de: <https://cicplata.org/es/mapas-de-la-cuenca/>

Dirección Provincial de Servicios Públicos de Agua y Cloacas (DiPAC), Ministerio de Infraestructura. *Plan Estratégico de Agua y Saneamiento de la Provincia de Buenos Aires*. Recuperado de: <http://www.mosp.gba.gov.ar/sitios/aguacloaca/informacion/plan.php>

Foster S., Hirata R., Gomes D., D'Elia M., Paris M. (2003) *Protección de la Calidad del Agua Subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales*. Groundwater Management Advisory Team (GW MATE), World Bank Group - Global Water Partnership. WHO-PAHO-CEPIS y UNESCO-ROSTLAC-PHI. Mundi-Prensa Libros S.A. Madrid, España.

Instituto Geográfico Nacional (IGN). Recuperado de: <https://www.ign.gob.ar>

Kandus P., Minotti P. (2018) *Propuesta de un marco conceptual y lineamientos metodológicos para el Inventario Nacional de Humedales*. Informe final. 3iA-UNSAM. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/337944441\\_Propuesta\\_de\\_un\\_marco\\_conceptual\\_y\\_lineamientos\\_metodologicos\\_para\\_el\\_Inventario\\_Nacional\\_de\\_Humedales\\_Informe\\_Final](https://www.researchgate.net/publication/337944441_Propuesta_de_un_marco_conceptual_y_lineamientos_metodologicos_para_el_Inventario_Nacional_de_Humedales_Informe_Final)

Santa Cruz J., Silva Busso A. (1999) *Escenario hidrogeológico general de los principales acuíferos de la llanura pampeana y mesopotamia meridional argentina*. Recuperado de: [http://www.insugeo.org.ar/publicaciones/docs/scg\\_13/50\\_santacruz.htm](http://www.insugeo.org.ar/publicaciones/docs/scg_13/50_santacruz.htm)

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS) (2006) *Humedales de la República Argentina*.

Sistema Argentino de Información Jurídica (SAIJ) (2008) *"Mendoza, Beatriz Silvia y otros c/ Estado Nacional y otros s/daños y perjuicios (daños derivados de la contaminación ambiental del Río Matanza – Riachuelo)"*. Recuperado de: <http://www.saij.gob.ar/corte-suprema-justicia-nacion-federal-ciudad-autonoma-buenos-aires-mendoza-beatriz-silvia-otros-estado-nacional-otros-danos-perjuicios-danos-derivados-contaminacion-ambiental-rio-matanza-riachuelo-fa08000047-2008-07-08/123456789-740-0008-0ots-eupmocsollaf>



# 5. ACUÍFERO GUARANÍ ARGENTINA-URUGUAY: APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DEL RECURSO EN LOS PARQUES TERMALES

## AUTORAS

**Ana Valentina Ribero Delgado**

aribero@mvotma.gub.uy

Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA- MVOTMA), Uruguay

**Diana Azurica Chéchile**

dazurica@mvotma.gub.uy

Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA- MVOTMA), Uruguay

**Lucía Facio Bayona**

lfacio@mvotma.gub.uy

Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA- MVOTMA), Uruguay

**Alejandra Martínez Marchesoni**

amartinez@ceregass.org

Centro Regional para la Gestión de Aguas Subterráneas en América Latina y el Caribe (CeReGAS)

## RESUMEN

Sobre el litoral del río Uruguay se desarrollan parques termales, en Argentina y Uruguay, que se abastecen de aguas provenientes del Sistema Acuífero Guaraní (SAG), hoy el acuífero transfronterizo más extenso de Sudamérica.

Si bien cada país ha generado normativas propias para la gestión del recurso, no se ha avanzado en un plan común de gestión integrada de agua subterránea, con énfasis en acuíferos transfronterizos para la explotación sustentable del agua termal, que considere el control y registro de los volúmenes de agua utilizada (riesgo de sobreexplotación), el monitoreo de calidad, la articulación de políticas y normativas conjuntas propiciando su gobernanza.



**Alejandra Martínez Marchesoni**

Centro Regional para la Gestión de Aguas Subterráneas en América Latina y el Caribe - CEREGAS

Video: hacer click para reproducir



El objetivo general de este plan es contribuir al desarrollo sustentable de la región mediante el manejo integrado de las aguas termales del SAG. Para lograr el objetivo se espera identificar actores relevantes en ambos países, para la gestión y gobernanza del recurso hídrico termal en el área, promoviendo la investigación científica-tecnológica en temas de recursos hídricos subterráneos, así como la cooperación entre los países, enfocada en la mejora de herramientas de gestión de acuíferos transfronterizos y su uso sustentable, dando cumplimiento a los objetivos de desarrollo sostenible 2030.

### UBICACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El Sistema Acuífero Guaraní (SAG) es el cuerpo hídrico subterráneo (acuífero) transfronterizo más extenso de Sudamérica. Se extiende bajo cuatro países: Brasil, Argentina, Paraguay, y Uruguay (Figura 1).

Está localizado entre los paralelos 16° y 32°S y los meridianos 47° y 60°O. El área total abarcada por los sedimentos que componen el SAG es de 1.087.879,15 km<sup>2</sup> (Gastmans et al., 2012), distribuidos en:

- Argentina, ocupando un área de 228.255,26 km<sup>2</sup>.
- Brasil, 735.917,75 km<sup>2</sup>, distribuidos por los estados de Goiás–39.367,72 km<sup>2</sup>; Mato Grosso–7.217,57 km<sup>2</sup>; Mato Grosso do Sul–189.451,38 km<sup>2</sup>; Minas Gerais–38.585,20 km<sup>2</sup>; Paraná–119.524,47 km<sup>2</sup>; Rio Grande do Sul–154.680,82 km<sup>2</sup>; Santa Catarina–44.132,12 km<sup>2</sup> y São Paulo–142.958,48 km<sup>2</sup>.
- Paraguay, con un área de 87.535,63 km<sup>2</sup>.
- Uruguay, con un área de 36.170, 51 km<sup>2</sup>.

En Uruguay, el SAG se extiende de forma diferenciada en los departamentos de Artigas, Salto y Paysandú donde el acuífero se encuentra confinado como referencia el corte S-N de la figura 6, aflorando en los departamentos de Rivera y Tacuarembó. Asimismo sobre la zona confinada a lo largo del Litoral del Río Uruguay se desarrolla el denominado corredor termal.

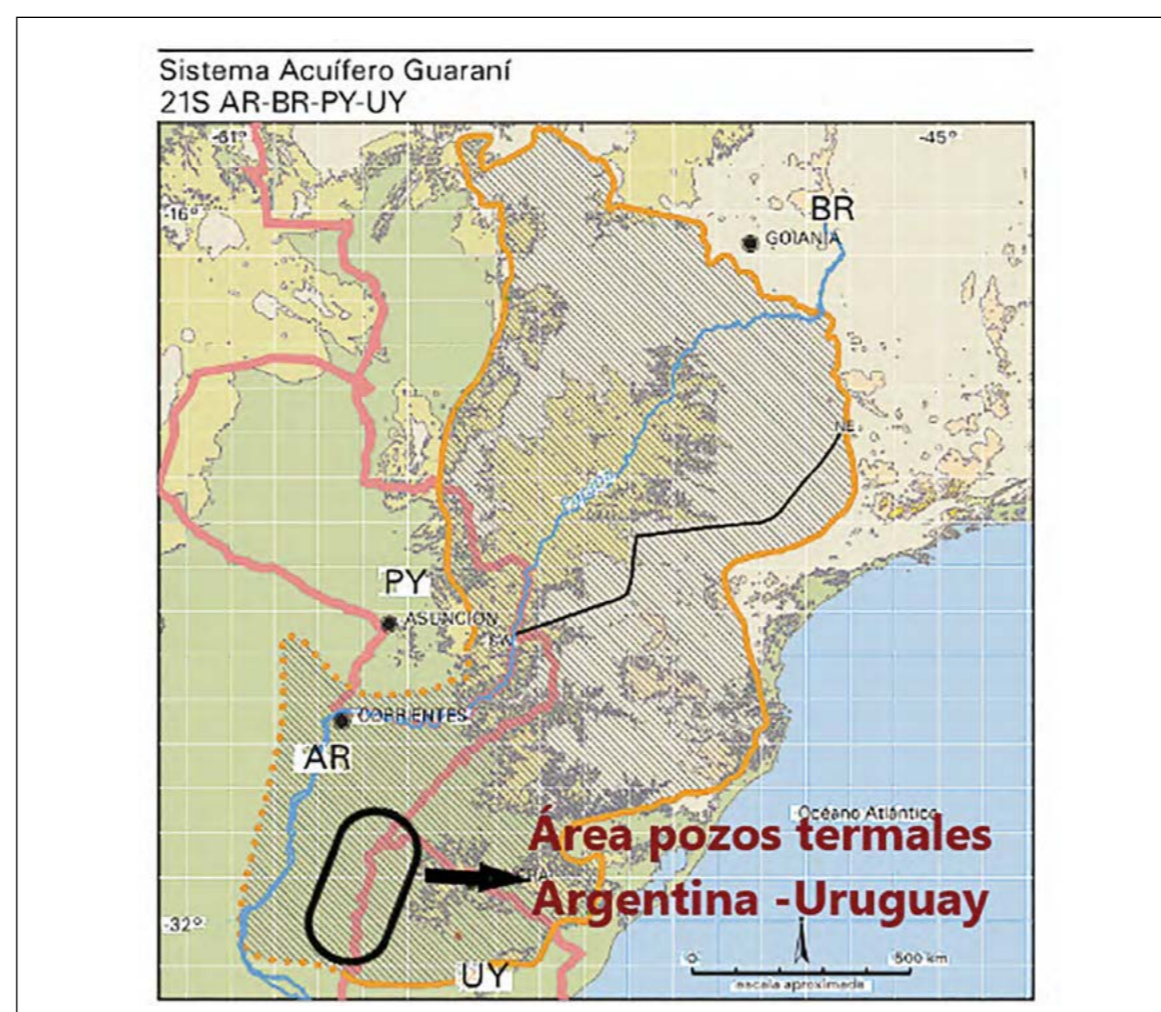


Figura 1. Deslinde del Sistema Acuífero Guaraní (SAG). Fuente: PHI-VI/Serie ISARM Américas N° 1, Sistemas acuíferos transfronterizos en las Américas (Evaluación Preliminar).

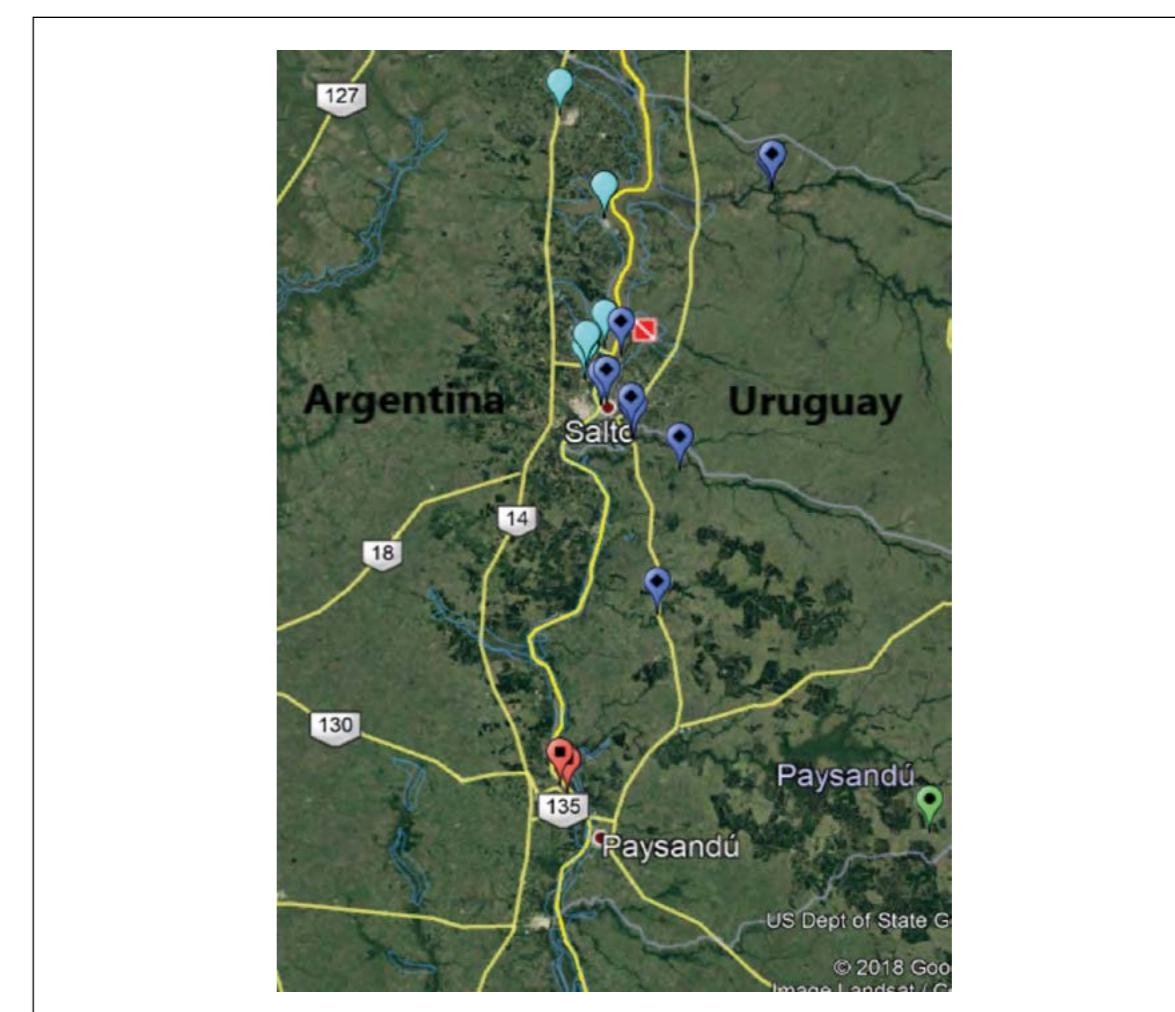


Figura 2. Localización de los pozos termales del SAG en la frontera Argentina- Uruguay. Pozos termales del SAG: Argentina color turquesa y rojo, Uruguay color azul y verde (rojo y verde no captan del SAG).



Figura 3. Termas Federación, Argentina. Fuente: www.federacion.tur.ar



Figura 4. Termas del Daymán Uruguay. Fuente: www.google.com/search?q=fotos+termas+dayman&tbm



## INTRODUCCIÓN

En Uruguay las áreas termales se localizan en el área denominada “Corredor de los Pájaros Pintados” que fue bautizada así por su significado en guaraní de la vía fluvial, e incluye a los cinco departamentos bañados por el río Uruguay: Artigas, Río Negro, Salto, Paysandú y Soriano (Figura 5). El agua termal surge del SAG.

El origen de la surgencia de las aguas termales data de los años 40-50 del siglo XX, cuando se realizó una campaña de prospección y perforación de pozos petrolíferos en el litoral norte del Uruguay, que dio como resultado la surgencia de aguas calientes. Con el tiempo, estos sitios, comenzaron a ser explotados con fines turísticos, dotándolos de distintas infraestructuras y equipamientos, generando distintos modelos de implantación territorial.

La explotación de los recursos termales en la provincia de Entre Ríos, Argentina comienza en el año 1994, con la primera exploración termal en la ciudad de Federación, que está ubicada sobre la costa del Río Uruguay.

**GEOLOGÍA:** El SAG está contenido en areniscas, confinadas por basaltos en alrededor del 90% de su superficie. Las areniscas afloran a lo largo de los bordes del acuífero, profundizándose hacia el centro de la cuenca tectónica, alcanzando espesores de 600 m y profundidades de 2200 m. Esta característica le confiere al SAG una barrera natural de rocas basálticas prácticamente impermeable. Las perforaciones que alimentan los emprendimientos termales pueden alcanzar 1.500 m de profundidad.

Geológicamente se encuentra constituido por una sucesión de rocas sedimentarias, esencialmente arenosas, silicoclásticas, con buena porosidad y permeabilidad de origen fluvial y eólicas, depositadas en el Mesozoico, representadas en Uruguay por las formaciones Rivera y Tacuarembó, descritas a continuación (Figura 6).

**Formación Rivera (Cretácico Inferior):** Definida por Ferrando et al. (1987) para reunir a las areniscas del Miembro Superior de la Formación Tacuarembó definida por Bossi et al. (1975). Esta formación se caracteriza por areniscas finas a medias, marrones a rojizas, con buena a moderada selección, fundamentalmente cuarzosas a cuarzo – feldespáticas, con líticos asociados, con estratificación cruzada de gran porte. Se interpretan como campos de dunas depositados bajo condiciones climáticas cálidas y áridas (Ferrando et al., 1987; Perea et al., 2009; Bochi do Amarante, 2017).

**Formación Tacuarembó (Jurásico Superior-Cretácico):** Litoestratigráficamente, corresponde a los términos litológicos que reúne el Miembro Inferior de la Formación Tacuarembó de Bossi et al. (1975) y Preciozzi et al. (1985). Conformada por estratos de arenitas finas, a veces muy finas a finas, cuarzosas a cuarzofeldespáticas, blanquecinas, de buena selección y escasa matriz (menos de 2%), mostrando una gran homogeneidad granulométrica y composicional. Ocasionalmente, se suceden intercalaciones de bancos de areniscas masivas muy finas a medias y pelitas, con tonalidades variadas, predominando las blanquecinas, rojizas y verdosas. La Formación Tacuarembó es interpretada como una sucesión de depósitos fluviales y eólicos, conformando extensas planicies arenosas



Figura 5- Deslinde del Corredor de los Pájaros Pintados (curva rojo), límite del SAG (curva azul) e identificación de los parques termales en Uruguay.



rasas asociadas a canales efímeros y/o permanentes (Bochi de Amarante, 2017). Estas planicies fluviales aparecen interdigitadas a depósitos eólicos, fundamentalmente sábanas de arena (sand sheet) y subordinadamente dunas e interdunas húmedas (Perea et al., 2009).

**HIDROGEOLOGÍA:** Las propiedades físicas del SAG le confieren características que por su notable extensión y continuidad en el subsuelo, lo hacen un vasto reservorio de agua, sin embargo su magnitud no es aún conocida con precisión, por lo que es complejo cuantificar el impacto de la explotación actual del mismo. Este es un tema sensible debido a que se trata de un recurso compartido por cuatro países (Gómez 2007).

El SAG se desarrolla a profundidades variables, con un espesor promedio de 250 m con variaciones que oscilan desde los < 50 ma > 600 m, presentando valores de permeabilidad relativamente alta ( $K_h$  de 5-10 m/d) y una transmisividad media estimada en 300 m<sup>2</sup>/d (Foster et al., 2009).

Respecto al uso de las aguas termales surgen distintas problemáticas tanto en Argentina como en Uruguay. En Uruguay, si bien, la Ley de Política Nacional de Aguas y el Plan Nacional de Aguas prevén la elaboración de un Plan de Gestión para el SAG; y existen diferentes normativas como el decreto 214/00 “*Estudio, extracción y uso de Acuífero Infrabasáltico Guaraní*”, la Resolución del Poder Ejecutivo 769/2001 creación de la Junta Asesora del Acuífero Infrabasáltico Guaraní, decreto 183/13 que crea la Comisión de SAG, bajo la órbita del Consejo Regional de Recursos Hídricos para la Cuenca del Río Uruguay en la actualidad no existe una normativa integrada para la explotación del recurso.

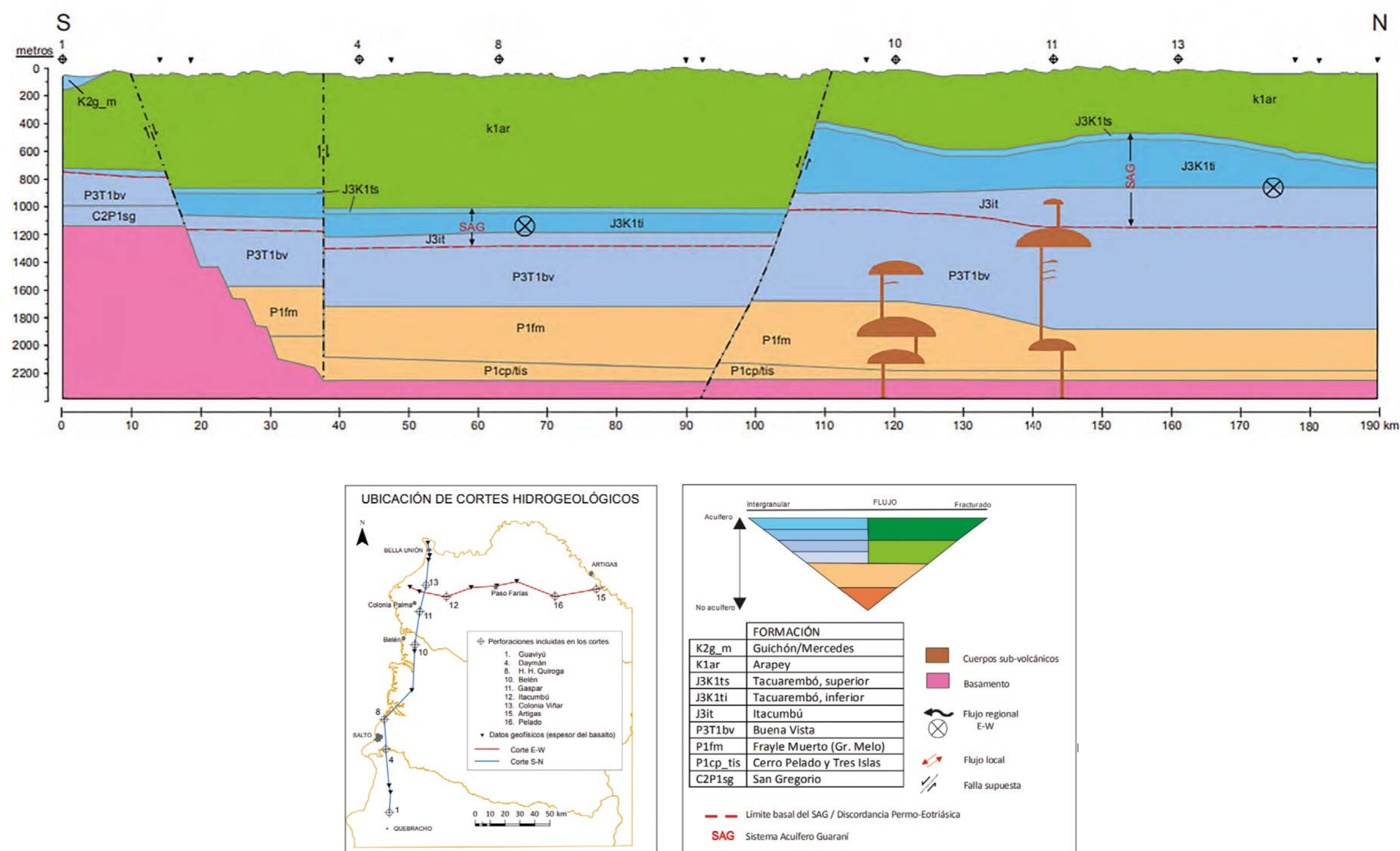


Figura 6. Cortes geológicos e Hidrogeológicos esquemáticos del SAG en Uruguay. (DINAMIGE - MIEM, 2017).



En general en los complejos termales, no se realiza reciclado de las aguas provenientes de piscinas (termales y de agua fría) ni su tratamiento previo al vertido a cursos de agua. No se cuenta con tratamiento y disposición final (segura) de las aguas grises y negras provenientes de la actividad urbana y turística de los parques termales (Quintana, 2015). No se realiza un seguimiento y control periódico de la calidad físico-química de las aguas del SAG que se explotan.

En Argentina: Ley N° 9678 de la Provincia de Entre Ríos (año 2006) por la cual se estableció el Marco Regulatorio del manejo de los recursos termales de la provincia de Entre Ríos, y se creó la autoridad de aplicación, el denominado Ente Regulador de los Recursos Termales de la Provincia de Entre Ríos (E.R.R.T.E.R.). Debe sumarse también una ley correctiva, la N° 9714, que fuera promulgada el 12 Julio de 2006, por la que se concibió el Fondo para la Conservación del Recurso Termal, el Agua, el Suelo y el Ambiente.

En el año 2012 Argentina y Uruguay ratificaron el Acuerdo Acuífero Guaraní del año 2010. En el marco del Acuerdo encontramos como relevante el compromiso en relación a: la promoción de la gestión, el monitoreo y el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos, la promoción de la conservación y la protección ambiental, la realización de las actividades u obras de aprovechamiento y explotación del recurso hídrico del Sistema Acuífero Guaraní, adoptando todas las medidas necesarias para evitar que se causen perjuicios.

Pais/Nombre	Pozos Termales /coordenadas	Características físicas (profundidad, caudal, temperatura del agua, año construcción)	Hidrogeoquímica del agua
Uruguay/Almirón	Pozo Guichón 32°21'31.89"S 57°16'10.48"O	921m/ 70 m³/h 34°C	No capta del SAG
Uruguay/Guaviyú	Pozo Guaviyú 31°50'30.88"S 57°53'12.04"O	1109 m/120 m³/h / 39°C (1957 ANCAP)	Bicarbonatadas sódicas potásicas
Uruguay/San Nicanor		1104 m (pozo privado)	Bicarbonatadas sódicas potásicas
Uruguay/Daymán	- Pozo Daymán 31°27'29.36"S 57°54'31.14"O - Pozo Agua Clara 31°27'27.40"S 57°54'17.88"O - Posada del Siglo XIX 31°26'23.06"S 57°54'31.78"O	1405 m 180 m³/h (1957) 46°C  1280m 150m³/h 45,5°C (pozo privado)  1209 m 190m³/h 46,5°C pozo privado	Bicarbonatadas sódicas potásicas  Bicarbonatadas sódicas potásicas  Bicarbonatadas sódicas potásicas
Uruguay/Salto Grande	Pozo Salto Grande 31°16'31.55"S 57°54'59.09"O	1295m/ 45°C (pozo privado)	s/d
Uruguay/Arapey	- Arapey 30°56'55.62"S 57°31'7.36"O - Arapey 2 30°56'50.52"S 57°31'22.61"O - Altos del Arapey 30°56'30.22"S 57°30'53.80"O	1400 m 38°C 320 m³/h  1494 170m³/h (2012)  Pozo privado	Bicarbonatadas cálcica y/o magnésicas  Bicarbonatadas cálcica y/o magnésicas  Bicarbonatadas cálcica y/o magnésicas
Uruguay/Pozo OSE Salto	31°22'35.57"S 57°57'43.37"O	OSE (no se explota)	s/d
Uruguay/Club de Remeros Salto	31°22'47.29"S 57°58'33.44"O	Pozo privado	Clorurada y o sulfatadas sódicas/potásicas
Argentina/Chajarí 1	30°44'46.43"S 58° 0'46.16"O	811,00 m/ 300 m³/h/ penetración en SAG 145,00 m/surgente	Cloruradas sódicas
Argentina/ Federación 1	30°58'39.00"S 57°55'38.82"O	1260,00 m/ 300 m³/h/penetración en SAG 388,00 m	Cloruradas sódicas
Argentina/ Concordia 1	31°17'47.51"S 58° 0'12.11"O	1170,00 m/ 272 m³ /h/penetración en SAG 198 m (proyecto piloto)	Cloruradas sódicas
Argentina/ Concordia 2	31°19'15.88"S 58° 0'34.74"O	1142,00 m/ 150 m³ /h /surgente/penetración en SAG 127,00 m	Cloruradas sódicas
Argentina/ Concordia 3	31°15'15.00"S 57°57'17.00"O	s/d	Cloruradas sódicas
Argentina/ San José	32°11'29.55"S 58° 9'51.04"O	885,00/ 12 m³/h /penetración en SAG 63,00 m	Cloruradas sódicas
Argentina/ Colón 1	32°12'34.65"S 58° 8'51.35"O	1502,00 m/ 145 m³/h	Cloruradas sódicas

Tabla 1. Pozos termales en el SAG.



## BREVE DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

En la zona confinada, sobre el litoral del río Uruguay los pozos infrabasálticos termales (Figura 2 y Tabla 1) presentan características propias, debido a la profundidad de almacenamiento, el agua alcanza temperaturas de 40-48 °C y caudales de surgencia en torno de los 200 m<sup>3</sup>/h. Se utilizan con fines recreativos (turismo termal), siendo éste el principal uso y la principal actividad turística de la zona (Tabla 2).

Respecto al uso de las aguas termales surgen distintas problemáticas tanto en Argentina como en Uruguay. En Uruguay, si bien, la Ley de Política Nacional de Aguas y el Plan Nacional de Aguas prevén la elaboración de un Plan de Gestión para el SAG; y existen diferentes normativas como el decreto 214/00 “Estudio, extracción y uso de Acuífero Infrabasáltico Guaraní”, la Resolución del Poder Ejecutivo 769/2001 creación de la Junta Asesora del Acuífero Infrabasáltico Guaraní, decreto 183/13 que crea la Comisión de SAG, bajo la órbita del Consejo Regional de Recursos Hídricos para la Cuenca del Río Uruguay en la actualidad no existe una normativa integrada para la explotación del recurso.

En general en los complejos termales, no se realiza reciclado de las aguas provenientes de piscinas (termales y de agua fría) ni su tratamiento previo al vertido a cursos de agua. No se cuenta con tratamiento y disposición final (segura) de las aguas grises y negras provenientes de la actividad urbana y turística de los parques termales (Quintana, 2015). No se realiza un seguimiento y control periódico de la calidad físico-química de las aguas del SAG que se explotan.

En Argentina: Ley N° 9678 de la Provincia de Entre Ríos (año 2006) por la cual se estableció el Marco Regulatorio del manejo de los recursos termales de la provincia de Entre Ríos, y se creó la autoridad de aplicación, el denominado Ente Regulador de los Recursos Termales de la Provincia de Entre Ríos (E.R.R.T.E.R.). Debe sumarse también una ley correctiva, la N° 9714, que fuera promulgada el 12 Julio de 2006, por la que se concibió el Fondo para la Conservación del Recurso Termal, el Agua, el Suelo y el Ambiente.

En el año 2012 Argentina y Uruguay ratificaron el Acuerdo Acuífero Guaraní del año 2010. En el marco del Acuerdo encontramos como relevante el compromiso en relación a: la promoción de la gestión, el monitoreo y el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos, la promoción de la conservación y la protección ambiental, la realización de las actividades u obras de aprovechamiento y explotación del recurso hídrico del Sistema Acuífero Guaraní, adoptando todas las medidas necesarias para evitar que se causen perjuicios.

Año	Turistas	Ingresos en U\$S	% en relación al total turistas receptivos en el país	% de ingresos por turismo receptivo en relación al total país
2019*	422.469	104.001.022	17,9%	7,6%
2018*	637.639	171.696.447	16,43%	7,5%
2017*	670.135	175.000.000	17%	7,5%
2008**	185.566	35.685.000	9,04%	3,5
Incremento entre los años 2008-2018	343%	481%	175%	214%

Tabla 2- Turismo receptivo litoral termal Uruguay, años 2019, 2018, 2017 y 2008.

\* <https://catalogodatos.gub.uy/dataset/encuesta-de-turismo-receptivo> \*\*Asistencia técnica para la reingeniería de los servicios municipales de turismo de Salto y Paysandú. Los datos del año 2019 corresponden a los tres primeros trimestres.



## GESTIÓN INTEGRADA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

**PROBLEMÁTICA IDENTIFICADA:** Cada país ha generado normativa propia para la gestión del recurso. Si bien Uruguay cuenta con registros de los volúmenes extraídos desde la aprobación del Acuerdo Acuífero Guaraní en el año 2010, no se ha avanzado en un plan común de gestión integrada específico para la explotación sustentable del agua termal. Es necesario contar con el control y registro de los volúmenes de agua utilizada (riesgo de sobreexplotación), el monitoreo de calidad y profundizar la articulación de políticas y normativas conjuntas entre Argentina y Uruguay propiciando su gobernanza a partir del conocimiento generado que incluye la ubicación de las obras de captación, sus características geológicas, hidrogeológicas y físicas.

**OBJETIVO:** El objetivo general de este plan es contribuir al desarrollo sustentable de la región mediante el manejo integrado de las aguas termales del SAG.

La ley N° 18.610 de la Política Nacional de Aguas de Uruguay identifica como un instrumento clave para su implementación la planificación a nivel nacional, regional y local ejercida mediante planes que contengan los lineamientos generales de la actuación pública y privada en materia de aguas. El Plan de Gestión del SAG se encuentra enmarcado en el Plan Nacional de Aguas como instrumento para el desarrollo sustentable de la región, teniendo que articularse con las demás políticas departamentales, regionales y nacionales (ambiente, ordenamiento territorial, cambio climático, entre otras), así como sectoriales (sector productivo, turismo, emprendimientos especiales, etc.).

El plan será un documento político-técnico que pretende contribuir a explicitar objetivos y actividades para orientar, con el mayor fundamento posible, las acciones a realizar por los distintos actores públicos y privados en relación con la gestión integrada del agua (por ejemplo, la importancia del factor turismo, Tabla 2). En este marco se entiende por gestión integrada del agua el proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales<sup>1</sup>. En tal sentido este plan será una herramienta que debe necesariamente contribuir al desarrollo sustentable de la región, siendo flexible y dinámico, ordenando y articulando las acciones cuya ejecución en gran medida ya está en marcha, con proyectos a desarrollar en el corto y mediano plazo, aplicando una lógica de manejo adaptativo.

**METAS, DIAGNÓSTICO:** Construcción de mapa de actores, Identificación de actores, relevancia y su capacidad de toma de decisiones en las distintas escalas e intereses político-económico. Se estima alcanzar esta meta en un plazo de dos años. A largo plazo (cinco años) se plantean otras metas como: la elaboración de normativa conjunta unificada, implementación de sistema de monitoreo, planes de educación para el agua, etc.

El relevamiento de instituciones involucradas en la administración, uso y gestión del recurso, instituciones vinculadas al turismo, gobiernos nacionales, y locales, organismos internacionales especializados, usuarios, organismos binacionales, organismos no gubernamentales, instituciones acadé-

micas y educativas, sociedad civil, permitirá definir cuáles serían los actores involucrados en la gobernanza del recurso hídrico subterráneo fortaleciendo el diagnóstico.

En el año 2013 se creó en Uruguay a través de un Decreto del Poder Ejecutivo la Comisión del SAG. El principal cometido es dar sustentabilidad a la gestión local de los recursos naturales y administrar los potenciales conflictos por su uso (Art.29 Ley 18610), sesionando por primera vez el 21 de noviembre de 2013, e integrada de forma tripartita (gobierno, sociedad civil y usuarios). Desde su creación ha sesionado en cinco oportunidades, de las cuales en dos existió participación desde Argentina. Este ámbito debería ser el articulador del plan de gestión propuesto.

<sup>1</sup> Comité de Asesoramiento Técnico de GWP (GWP Technical Advisory Committee, 2000)



**HERRAMIENTAS APLICABLES:** En primera instancia se deberían caracterizar las posibles amenazas de contaminación, involucrando escenarios de explotación, el efecto de la variabilidad y cambio climático y el peligro de contaminación a otros cuerpos de agua (subterráneos y superficiales).

Esta caracterización permitiría evaluar el grado de riesgo a contaminar los cursos superficiales como los acuíferos menores someros en el área (en el caso de Uruguay, es el Acuífero Salto y para Argentina Salto Chico). El Acuífero Salto/Salto Chico está constituido por areniscas finas a muy finas y gravas de sedimentación fluvial, de gran extensión y caudales medios (7 m<sup>3</sup>/h), utilizado principalmente para la agricultura y consumo humano, con calidad óptima según la norma UNIT 883:2008, motivo fundamental para su cuidado y protección.

Una vez identificada la amenaza y teniendo como base los mapas de vulnerabilidad del acuífero disponibles, se podría aplicar el método POSH (una clasificación de fuentes potencialmente contaminantes que considera: el origen de la actividad o del contaminante y la carga hidráulica asociada, inferida por la cantidad de agua utilizada o disponible, Foster et al (2001)). Éste método toma los datos más importantes: la localización de la actividad, tipo de actividad y tamaño (definido a través del área ocupada, el número de funcionarios y/o su producción) y el uso o disponibilidad

de agua. Como resultado se esperaría un mapa donde queden definidas las áreas con niveles de acción prioritarios para el control de la contaminación de agua subterránea, así como en las aguas superficiales.

**RECOMENDACIONES:** Identificar actores relevantes para ambos países, en la gestión y gobernanza del recurso hídrico termal del SAG en el área propuesta.

Promover la investigación científica y tecnológica en temas de recursos hídricos subterráneos, así como la cooperación entre los países, enfocada en la mejora de herramientas de gestión de acuíferos transfronterizos y su uso sustentable.

Concretar el Plan de gestión sostenible para la explotación y aprovechamiento de las aguas termales del SAG con fines turísticos y medicinales, en Argentina y Uruguay, en el marco de los Objetivos de desarrollo sostenible (ODS) 6, 8 y 11; (ODS 6 – Agua limpia y saneamiento: garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos; ODS 8 – Trabajo decente y crecimiento económico: promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos; ODS 11- Ciudades y comunidades sostenibles: lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles).



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bochi do Amarante, F. 2017. *Arquitetura de facies e evolução estratigráfica da Formação Tacuarembó, Bacia Norte-UY*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 40 p.

Bossi, J., Ferrando, L., Elizalde, G., Morales, H., Ledesma, J., Carballo, E., Ford, I. y Montaña, J. 1975. *Carta Geológica del Uruguay a escala 1:1.000.000*. Dirección de Suelos y Fertilizantes (MGAP), Montevideo, 32 pp.

Ferrando, L., Andreis, R.R. y Montaña, J. 1987. *Estratigrafía del Triásico-Jurásico uruguayo en la Cuenca de Paraná*. Actas III Simposio Sul-Brasileiro de Geología, Curitiba. SBG, 1: 373-378.

Foster, S., Hirata, R., Vidal, A., Schmidt, G. y Garduño, H. 2009. *La Iniciativa del Acuífero Guaraní – Hacia la Gestión Realista del Agua Subterránea en un Contexto Transfronterizo. Gestión Sustentable del Agua Subterránea Lecciones de la Práctica. WG Mate – The World Bank* (acceso: file:///C:/Users/Usuario/Desktop/transboundary.-groundwater-managementissues-For-guarani-aquifer-368-spanish.pdf).

Foster, S.; Hirata, R.; Gomes, D.; D'Elia, M.; Paris, M. *Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies*. World Bank, GWMATE. Washington, 101p, 2001.

Gastmans, D., Veroslavsky, G., Chang, H.K, Caetano-Chang, M.R. y Nogueira Pressinotti, M.M. 2012. *Modelo hidrogeológico conceptual del Sistema Acuífero Guaraní (SAG): una herramienta para la gestión*. Boletín Geológico y Minero, 123 (3): 249-265.

Gómez, A.A. 2007. *Análisis del comportamiento hidrológico subterráneo de las formaciones Tacuarembó - Arapey del Sistema Acuífero Guaraní, en el norte de Uruguay*. Tesis de Magister en Ingeniería de los Recursos Hídricos. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina, 149p.

Perea, D., Soto, M., Veroslavsky, G., Martínez, M. y Ubilla, M. 2009. *A Late Jurassic fossil assemblage in Gondwana: Biostratigraphy and correlations of the Tacuarembó Formation, Parana Basin, Uruguay*. Journal of South American Earth Sciences, 28: 168-179.

Preciozzi, F. Spoturno J., Heinzen, W y Rossi, P. 1985. *Memoria Explicativa de la Carta Geológica del Uruguay a escala 1:500.000*. DINAMIGE-MIEM. Montevideo, 90pp., 2 figs., 1 mapa.

Quintana, C. 2015, *Informe Termas, estado de situación y líneas de trabajo*. Ministerio de Turismo Uruguay.

## PAGINAS WEB

<https://www.entrerios.gov.ar/termas/>  
(Ente Regulador de los Recursos Termales de la Provincia de Entre Ríos)

<https://www.ceregas.org/publicaciones-de-ceregas/>  
(Centro Regional para la Gestión de Aguas Subterráneas, publicaciones)

<http://www.mvotma.gub.uy/politica-nacional-de-aguas>  
(Dirección Nacional de Aguas, Plan Nacional de Aguas y normativa)



# 6. PLAN DE GESTIÓN PARA LA REMEDIACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO RAIGÓN EN EL SECTOR OESTE DE CIUDAD DEL PLATA, DEPARTAMENTO DE SAN JOSÉ, URUGUAY.

## AUTORA

**Ana Clara Pereira**

anaclara.pereira@gmail.com

Dirección Nacional de Medio Ambiente del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.

## RESUMEN

La problemática planteada en el caso de estudio es la contaminación del acuífero Raigón a nivel local con percloroetileno (PERC) en la porción oeste de la localidad de Ciudad del Plata, en las cercanías de donde se encuentran ubicados los principales pozos de aporte de agua subterránea para el abastecimiento de dicha localidad.

El objetivo principal de la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA) es el control y seguimiento de la aplicación del plan de remediación de manera de garantizar la calidad del agua subterránea. El resultado del seguimiento de la aplicación de dicho plan de remediación, hasta el momento, permite concluir que éste está siendo satisfactorio pero debe continuar a largo plazo.

La principal recomendación o lección aprendida a partir de este caso es que debe fortalecerse la gobernanza del agua subterránea en el país. Para este caso y para otros donde las industrias están ubicadas en zonas de riesgo por la alta vulnerabilidad del acuífero deberán fortalecerse por parte del Estado y las propias industrias los controles de la calidad del agua subterránea de manera de tener una detección temprano de fugas o filtraciones.



**Ana Clara Pereira Bertolotti**  
Dirección Nacional de Medioambiente - DINAMA  
(Uruguay)

Video: hacer click para reproducir



## UBICACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El área del caso de estudio se encuentra ubicada en la localidad de Ciudad del Plata del departamento de San José, a 32 kilómetros de Montevideo hacia el oeste. Esta localidad es considerada dentro del área metropolitana y allí se desarrollan actividades industriales, explotación de áridos para la construcción y eco-turismo (Figuras 1, 2, 3 y 4).

## PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

El Sistema Acuífero Raigón (SAR) abarca una superficie de 1.800 km<sup>2</sup>. El sistema hidráulico se encuentra en la cima de parte de la fosa tectónica del río Santa Lucía, alcanzado espesores de hasta aproximadamente 80 m.

El SAR se extiende desde el Río Santa Lucía hacia el oeste por la costa del Río de la Plata hasta el Arroyo Pavón. El límite norte es, aproximadamente, la ruta N° 11 que pasa por las localidades de Villa Rodríguez y Santa Lucía (Figura 5).

El medio acuífero está compuesto por arenas y gravas que se intercalan con episodios casi siempre delgados de arcillas, que pueden actuar en ciertos casos como confinantes o semi-confinantes. Se trata de un sistema hidráulico mixto: libre, semi-confinado, o confinado. La respuesta general del acuífero a las precipitaciones muestra un comportamiento de acuífero libre.

En lo que refiere al contacto geológico y geotectónico regional, el SAR se vincula al sistema estructural del graben o fosa del Santa Lucía, que es conocida por la ejecución de perforaciones profundas en la década del 50 y trabajos de Jones efectuados en 1956. De acuerdo con los antecedentes geológicos, la implantación estructural de esta cubeta se operó a partir del Jurásico Superior y está genéticamente relacionada a los procesos de fragmentación del continente de Gondwana y a la apertura del Océano Atlántico durante sus etapas subsiguientes.

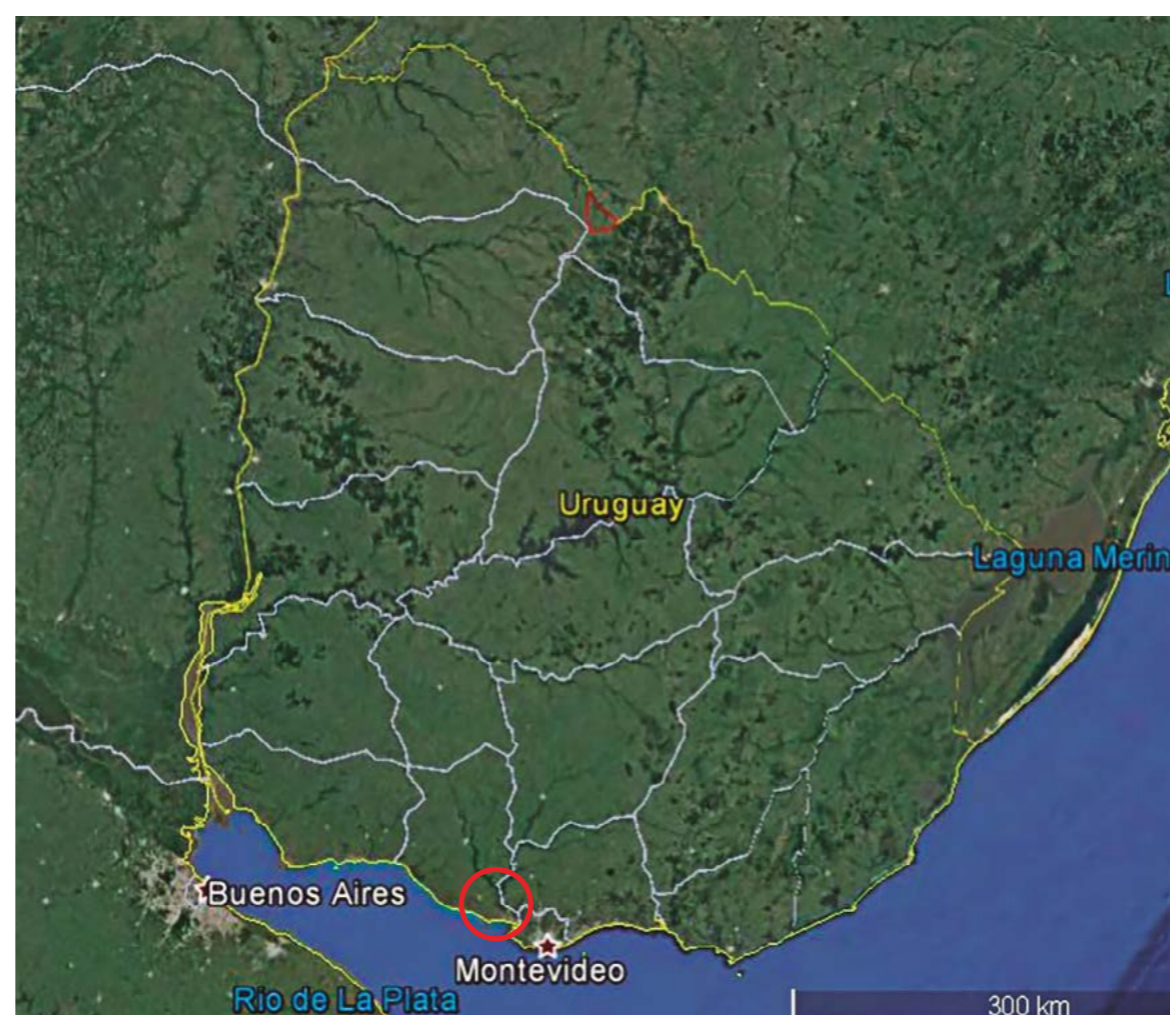


Figura 1. Mapa de Uruguay identificando el área del caso.



Figura 2. Areneras de Ciudad del Plata. Fuente propia.



Figura 3. Área del caso de estudio y su entorno.



Figura 4. Humedales del Río Santa Lucía.



El SAR tiene como base las formaciones Camacho o Fray Bentos y como techo las formaciones Libertad o Dolores, cuando estas existen (Figura 6).

Los estudios geológicos y la investigación hidrogeológica han permitido identificar a la Formación Chuy como vinculada a este sistema.

Este conjunto sedimentario, compuesto por estratos arenosos a gravillosos, con intercalaciones de niveles arcillosos hace que el acuífero así conformado se comporte como un sistema multicapas, interrelacionadas a su vez entre sí. Respecto a la hidrogeoquímica, en la región existen dos tipos de acuíferos química e isotópicamente bien diferenciados, que son los acuíferos Raigón y Chuy. Aunque ambos son bicarbonatados sódicos son claramente distintos en la concentración iónica y en la composición isotópica, con mayor concentración iónica en el acuífero Raigón.

En lo que refiere al volumen anual de infiltración profunda (recarga), el promedio anual estimado es del orden de 255,9 mm/año lo que equivale a 461 mm<sup>3</sup>/año (461 millones de metros cúbicos por año).

Para los años más lluviosos (como el 1993), la recarga es del orden de los 573,6 mm/año o sea 1.032 mm<sup>3</sup>/año. Fuente: Gestión Sostenible del Acuífero Raigón, Uruguay, Proyecto Regional de Cooperación Técnica RLA/8/031.

Para el caso de estudio que se presentará a continuación, se realizaron relevamientos de los predios vecinos incluyendo mediciones de niveles estáticos, observándose que en la zona hay 2 niveles de aporte: uno en el entorno de los 13 metros y otro desde los 24 a 30 metros. Para el caso del primer nivel de aporte, los vecinos indicaron que los pozos brocales (excavados a mano) se han secado.

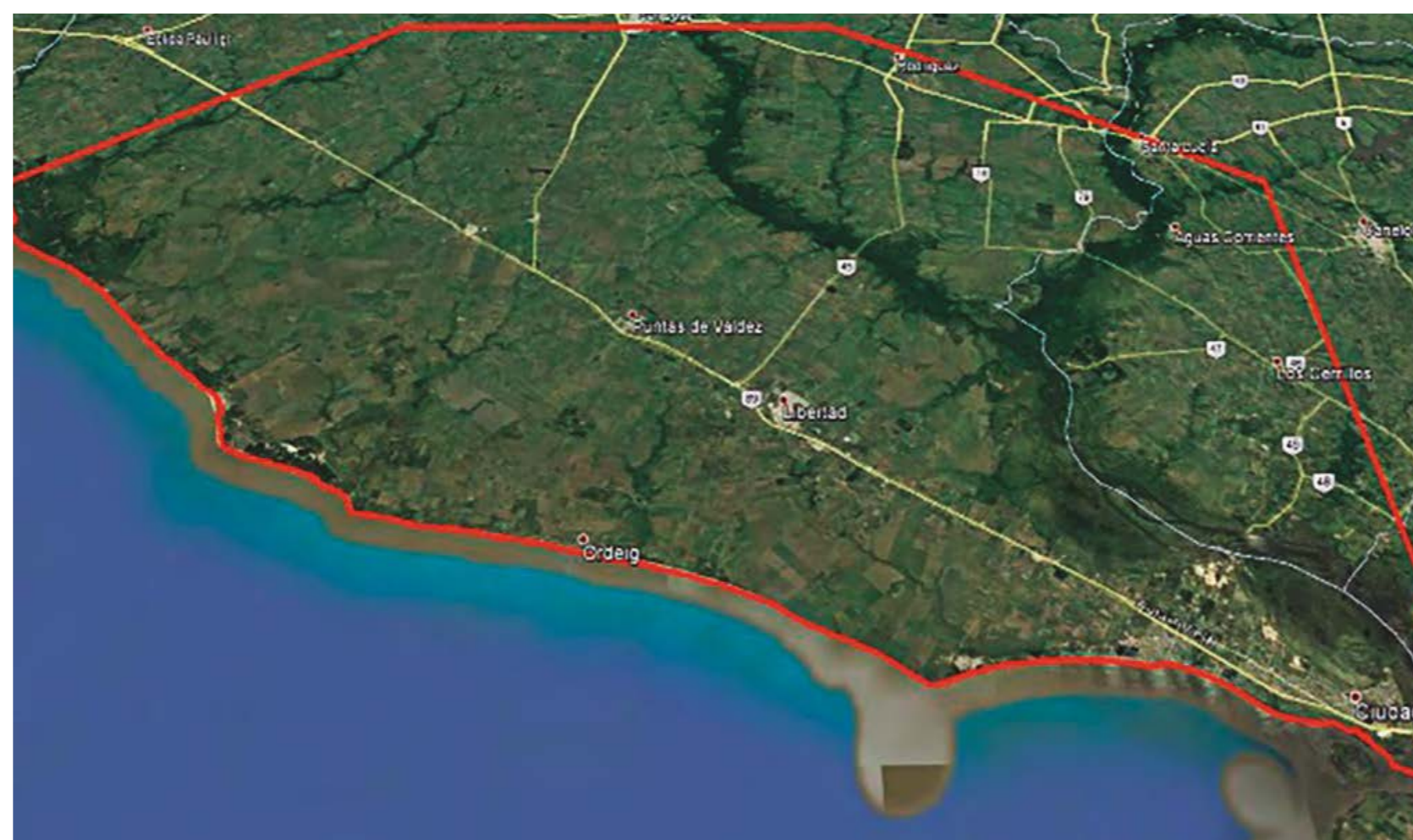


Figura 5. Extensión del acuífero Raigón.

CRONOLOGÍA				LITOESTRATIGRAFÍA			
EÓN	ERA	PERIODO	EPOCA	EDAD	UNIDADES	LITOLOGÍA	
				Ma			
FANEROZOICO	CENOZOICO	CUATROSOLO	Holoceno	1.75	Actual		
			Pleistoceno		Fm. Villa Soriano		
			Fm. Dolores Fm. Libertad				
		NEÓGENO	Plioceno	5.30	Fm. Raigón		
			Mioceno		Fm. Camacho		
		PALEÓGENO	OLIGOCENO		23.5		Fm. Fray Bentos
			Eoceno	53			
			Paleoceno		65		

Figura 6. Perfil estratigráfico Fuente: Gerardo Verovlasky, Martín Ubilla, Sergio Martínez (2004)



### BREVE DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

El caso de estudio es la contaminación del acuífero a nivel local con percloroetileno (PERC) en la porción oeste de la localidad de Ciudad del Plata. En este caso cobra importancia la remediación del acuífero por varios motivos:

1. por ser una localidad sensible con el tema de la disponibilidad de agua potable dado que hasta hace pocos años el agua que proveían los pozos, no satisfacía la demanda en verano lo que llevaba a conflictos sociales.
2. la red de pozos para abastecimiento público con mayores caudales se encuentra muy cercana al punto de contaminación.
3. la población en el entorno de la zona de contaminación no cuenta con conexión al agua potable por lo que utiliza agua de pozo propio para uso doméstico, agropecuario e industrial.

A continuación, se presenta un resumen de lo ocurrido:

1. en setiembre de 2017 la empresa que abastece de agua potable a todo Uruguay, Obras Sanitarias del Estado (OSE) detecta en uno de sus monitoreos de rutina valores de PERC por encima de los  $40 \mu\text{g/l}$ , valor de referencia que establece la Organización Mundial de la Salud (OMS) para consumo humano, en un pozo de 900 metros de una industria que se dedica al curtido de cueros. Cabe aclarar que OSE no brindó agua a la población con PERC dado que el agua de los pozos pasa por un sistema de tanque de recalque donde se mezcla con agua de varios pozos y se vuelve a medir la concentración de PERC, además de que este compuesto orgánico se volatiliza.

2. OSE pone en conocimiento a la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA) de la situación para que tome acciones en el rol de organismo de control a las industrias. Inmediatamente se realiza el monitoreo de la calidad del agua en los pozos de la industria, además de realizarse las comunicaciones pertinentes a otros ministerios involucrados (salud y trabajo). Los valores de PERC en los pozos 2 y 4 de la empresa era del orden de  $1.000 \mu\text{g/l}$ .
3. Una vez conocidos estos resultados comienzan a llevarse adelante 2 líneas de trabajo:
  - con la industria en la identificación y posterior eliminación de la fuente de contaminación como acción inmediata y posteriormente en la aplicación de un plan de remediación.
  - con los vecinos para relevar quienes tenían pozos de agua, su uso y la toma de muestras para conocer si estaban contaminados. No se detectó PERC en ninguno de los pozos de los vecinos (por encima del límite de detección  $<10 \mu\text{g/l}$ ).
4. se detectó que la fuente de la contaminación era una antigua cámara subterránea que contenía PERC que ya estaba fuera de línea hacía muchos años donde había dicho producto y la impermeabilización se había deteriorado y por ende liberado al suelo. Conjuntamente, se realizaron video-inspecciones en los pozos de la industria para conocer sus perfiles constructivos y niveles de aporte, además se construyó un nuevo pozo (pozo 5) para la verificación de la geología. Esto último fue porque de la video inspección surgieron 2 niveles de aporte y el perfil constructivo del pozo de OSE informaba de un único nivel de aporte a las mismas profundidades donde habían 2 en los pozos de la empresa.





## PROPUESTAS PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DEL AGUA

Para el caso de estudio de la contaminación del acuífero a nivel local con percloroetileno (PERC) en la porción oeste de la localidad de Ciudad del Plata, se cuenta con el conocimiento de las características del acuífero incluyendo las líneas de flujo inducidas por los caudales bombeados por la empresa con la purga continua y OSE con sus pozos de abastecimiento, todo esto permite contener la pluma de la contaminación controlada.

Por otro lado, se ha implementado un sistema de "lavado" de los sedimentos del primer nivel de arenas bajo la cámara que contenía PERC, este sistema funciona mediante la inyección de 500 a 1.000 litros de agua en la cámara, la cual cuenta con agujeros realizados en el piso, y la recuperación por 2 pozos de 12 metros de profundidad construidos a cada lado de la cámara.

Mediante la aplicación de todas estas acciones se ha logrado que la contaminación no alcance a los pozos vecinos y que las concentraciones de PERC en los pozos de la empresa comience a descender. Si bien este proceso de remediación y seguimiento no ha sido planteado como un plan de gestión, se ha llevado adelante sin saber que lo era.

Si enmarcamos el caso como un plan de gestión, el objetivo principal de DINAMA es el control y seguimiento de la aplicación del plan de remediación de manera de garantizar la calidad del agua subterránea.

La meta a largo plazo es que la aplicación del plan de remediación permita que la concentración de PERC en el acuífero sea del orden de los 40µg/l, esto va a llevar muchos

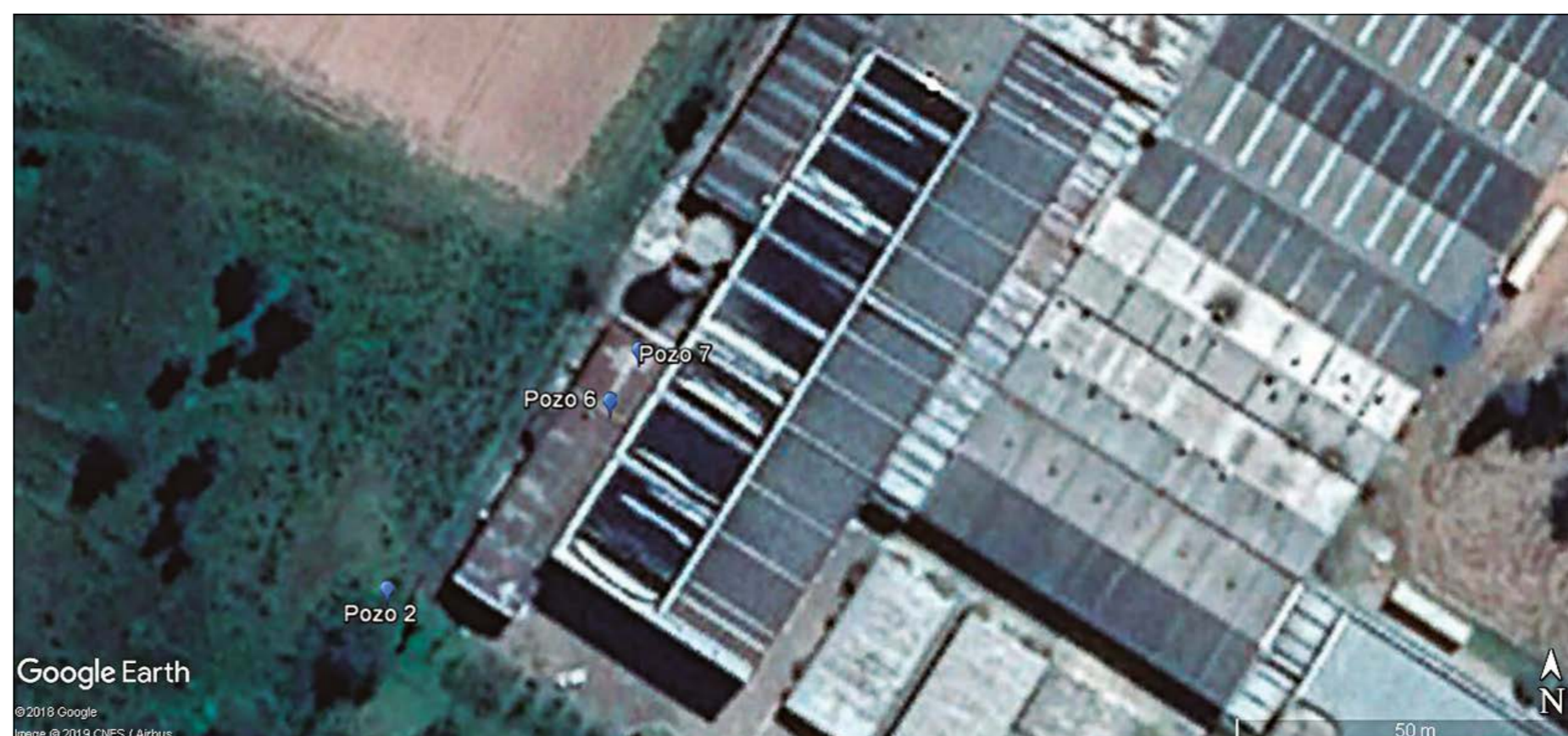


Figura 8a. Ubicación de los pozos para el sistema de lavado de sedimentos.

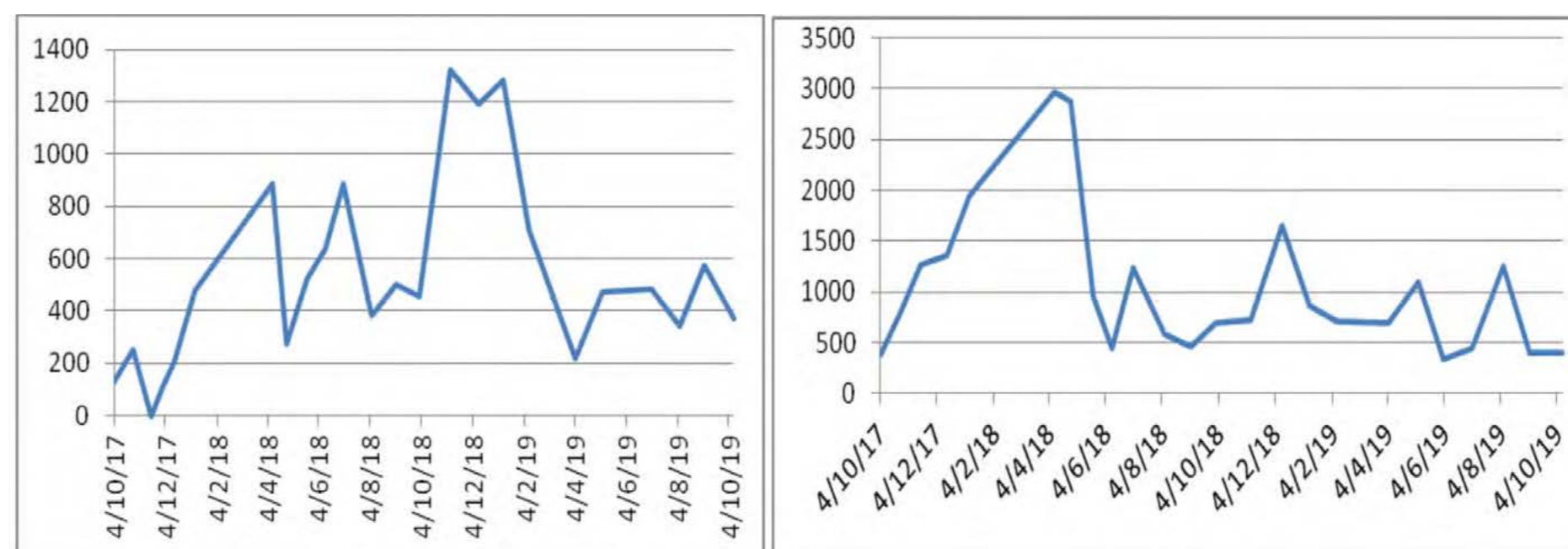


Figura 8b. Concentración de PERC en los pozos 2 y 4 de la industria.



años por lo que la meta a más corto plazo sería que en un plazo de 2 años los valores de PERC estén en el orden de los 1.000µg/l, en caso de no ser así, debería reevaluarse el método de remediación planteado.

Según los valores indicados en las gráficas (Fig. 8) el método está dando resultado y el factor que debe controlarse es la aplicación de riego a cultivos del vecino lindero para evitar la modificación de las líneas de flujo.

Esta remediación ha sido exigida por DINAMA en el marco de la Ley General de Protección del Ambiente, el plan de gestión tiene como actores relevantes a la población del área de influencia, a OSE y a la industria generadora de la contaminación.

Es clave para la mejora de la gobernanza que se profundice en la concientización del registro de los pozos de agua, más allá de su uso, además de establecer perímetros de protección en los pozos de OSE sobre todo en acuíferos porosos y libres y reforzar en los estudios de evaluación de impacto ambiental de las industrias o proyectos, la evaluación de los acuíferos a nivel local, principalmente su vulnerabilidad o posible impacto negativo que la industria pueda traer.

#### RECOMENDACIONES:

1. Mantener el plan de remediación y los controles de concentración de PERC en todos los pozos de la zona definida como de influencia.
2. Trabajar en la mejora de la gobernanza, principalmente en los perímetros de protección de los pozos de OSE.
3. Concientizar a la población de la importancia del registro de los pozos haciendo hincapié en los derechos sobre el uso del agua.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Jones, G (1956). *Memoria descriptiva explicativa y mapa geológico de la región oriental del Departamento de Canelones*. Instituto Geológico Uruguay (Montevideo). Boletín 34: 1-193.

Bossi, J. y Navarro.R (1988). *Geología del Uruguay (Tomo II)*.

De Santa Ana H., Goso C., Muzzio R, Oyhantcabal P., Veroslavsky G.; Bacía do Santa Lucía (Uruguay). *Evolução tectónica e sedimentar (1992)*. Actas Revista Brasileira de Geología.

Gerardo Verovlasky, Martín Ubilla, Sergio Martínez (2004) *Cuencas Sedimentarias del Uruguay – Cenozoico*, Dirac División Relaciones y Actividades Culturales de Facultad de Ciencias, Universidad de la República, 2004.

Proyecto Regional del Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA): RLA/8/031 (2001). *“Manejo Integrado y Sostenible de los Recursos Hídricos Subterráneas en América Latina”*. Gestión Sostenible del Acuífero Raigón Uruguay.



# 7. PROPUESTA PARA EL MONITOREO Y PLAN DE GESTIÓN DEL ACUÍFERO UBICADO EN EL ARCO SECO EN LA CUENCA DEL RÍO LA VILLA, HERRERA-LOS SANTOS, PANAMÁ.

## AUTORA

**María Belén Rodríguez de León**

amrodriguez@hidromet.com.pa

Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A.

## RESUMEN

Debido a que se desconoce la cantidad de acuíferos existentes en Panamá (nacionales y transfronterizos), y estos no han sido identificados ni delimitados en cuanto a cantidad, calidad y rendimiento del recurso no existe un Plan de Gestión Integrada de las Aguas Subterráneas actualmente. Las aguas subterráneas del acuífero en el Arco Seco han sido explotadas sin un plan de gestión y en ausencia de gobernanza, mediante una forma empírica y desordenada sin garantizar la sostenibilidad del recurso, ante amenazas como contaminación y sobreexplotación.

Muchas de las poblaciones de la Península de Azuero, que se encuentran ubicadas dentro de las Formaciones del Grupo Macaracas, se abastecen de aguas subterráneas debido a la escasez de aguas superficiales, por lo prolongado de la estación seca en esta región.

Para solucionar la problemática se requiere de la instalación de una red de monitoreo de pozos continua en el tiempo para evaluar tanto la calidad como la cantidad del recurso sobre todo para estas comunidades que su única fuente de agua dulce es un pozo y establecer un plan de gestión integrada de aguas subterráneas.



Video: hacer click para reproducir



**María Belén Rodríguez de León**

**ETESA - Empresa de Transmisión Eléctrica - Dirección de Hidrometeorología (Panamá)**



## UBICACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

Panamá tiene una superficie de 75.520 km<sup>2</sup> y se ubica al sureste de América Central, entre los 7°12'07" y 9°38'46" de latitud norte, y entre los 77° 09' 24" y 83° 03' 07" de longitud occidental. Limita al Norte con el Mar Caribe, al Sur, con el Océano Pacífico, al Este, con la República de Colombia, y al Oeste, con la República de Costa Rica. Posee 52 Cuencas Hidrográficas, 34 hacia la vertiente del Pacífico y 18 hacia la vertiente del Caribe.

La Cuenca en estudio Fig. 1, es la Cuenca 128 del Río La Villa, se localiza en la vertiente del Pacífico correspondiente Península de Azuero, situándose a unos 250 km al suroeste de la ciudad de Panamá. La cuenca comprende dos provincias: Herrera (56% del territorio) y Los Santos (44% del territorio) y forma parte del llamado Arco Seco de Panamá, reconocido como el área crítica del país, sujeta a sequías, degradación de suelos y recursos hídricos. La fig. 2, muestra la Cuenca 128 en estudio, la cual posee como afluente principal el Río La Villa.

## PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO

### RELIEVE:

Geomorfológicamente la cuenca está representada por la presencia de un amplio sector de tierras bajas (llanuras), planicies litorales y tierras con colinas suaves que muestran signos de avanzados procesos de erosión y efecto de actividades agrícolas. La elevación media es de 100 m y como resultado de malas prácticas de deforestación y quema de terreno de pastos cada año, han acelerado el proceso de erosión del sitio.

### ELEVACIONES:

- Parte Baja de 0 a 80 metros
- Parte Media de 80 a 300 metros
- Parte Alta de 300 a 957 metros



Figura 1. Mapa de Cuenas Hidrográficas de la República de Panamá. Fuente: Empresa de Transmisión Eléctrica. Gerencia de Hidrometeorología. Disponible en: [http://www.hidromet.com.pa/Mapas/Mapa\\_Cuencas\\_Hidrograficas\\_Panamá.pdf](http://www.hidromet.com.pa/Mapas/Mapa_Cuencas_Hidrograficas_Panamá.pdf) (visitado en abril de 2020).



Figura 2. Cuenca 128 del Río La Villa. Fuente: <https://core.ac.uk/download/pdf/223061939.pdf> (visitado en junio de 2020).



**CLIMA:**

se identifica un clima tropical de sabana con las siguientes características: precipitación anual oscila entre 2.000 y 4.000mm con estación seca prolongada.

**LITOLOGÍA:**

el conjunto litológico de la Cuenca 128 del Río la Villa, presenta rocas asociadas a la actividad volcánica de la península de Azuero, según el Mapa Geológico de la República de Panamá escala 1:250.000, en la cuenca afloran rocas de origen ígneo (plutónicas y volcánicas) y sedimentario, cuyas edades de formación comprenden desde el periodo Secundario al Cuaternario.

El Complejo Ígneo Básico aflora dentro de la Península de Azuero, las rocas básicas y ultrabásicas, las cuales afloran en la parte suroccidental de las Penínsulas de Azuero y de Soná, son consideradas como las rocas más antiguas de la República de Panamá, ver fig.4. Se trata de volcanitas básicas y rocas ultrabásicas: lavas basálticas, picritas, gabros, diabasas, y esquistos verdes con cloritas y anfíbol, las cuales se encuentran en ciertos puntos con un ligero metamorfismo. Las lavas presentan frecuentemente estructuras en "almohadilla", indicativas de un emplazamiento en ambiente submarino.

**SUELOS:**

las tierras bajas de la vertiente del Pacífico poseen alfisoles, dados los totales pluviométricos moderados y la intensidad de la estación seca y suelos inceptisoles, con características morfológicas, físicas-químicas y mineralógicas que varían según el material sobre el cual se han desarrollado.



Figura 3. Clasificación de regiones altas, medias y bajas de la Cuenca 128. Fuente: <https://core.ac.uk/download/pdf/223061939.pdf> (visitado en junio de 2020).

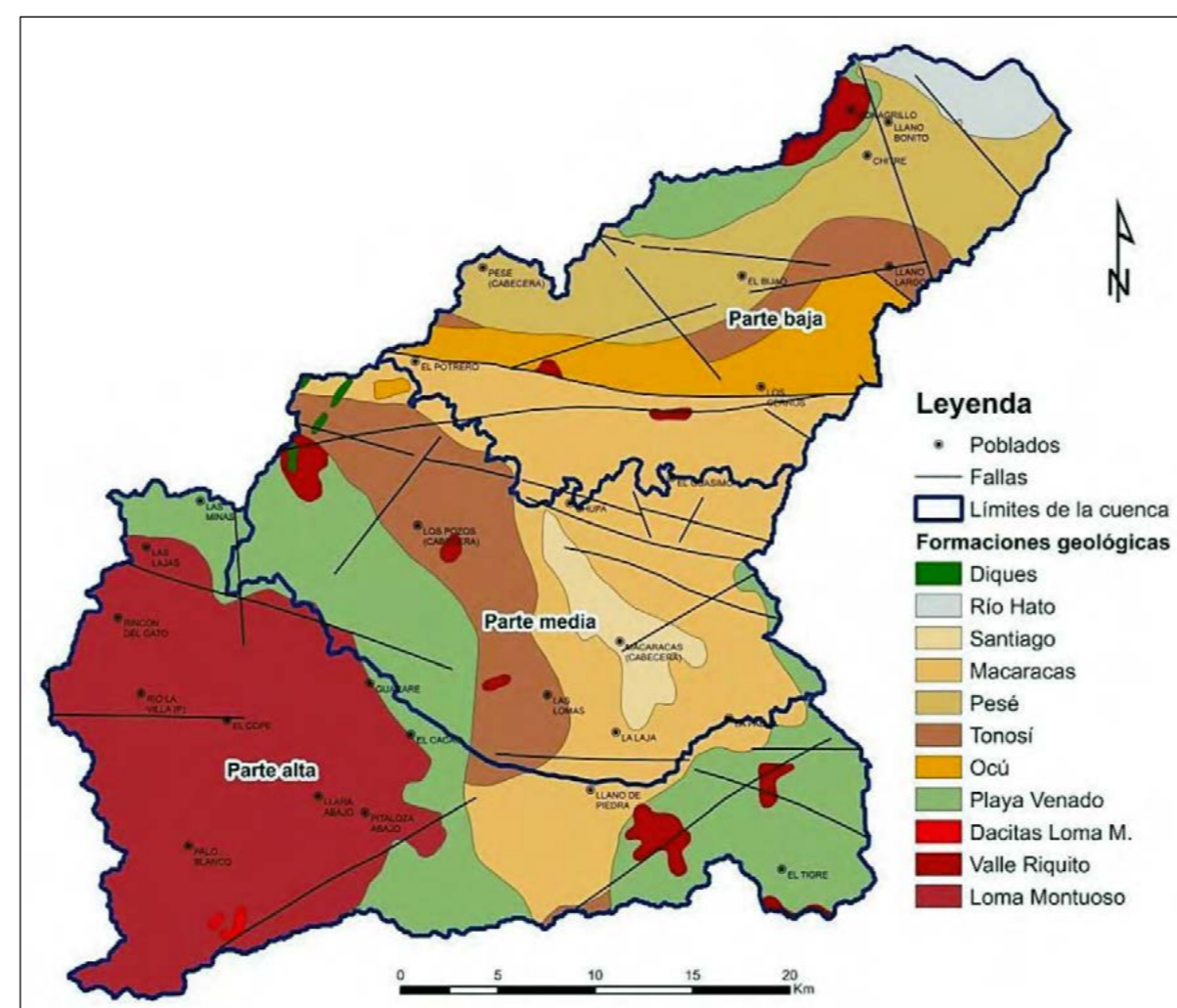


Figura 4. Mapa geológico de la Cuenca 128. Fuente: <https://core.ac.uk/download/pdf/223061939.pdf>. Visitado en junio de 2020.



### AGUAS SUBTERRÁNEAS:

actualmente se cuenta con un mapa hidrogeológico producto de la realización de un estudio de investigación regional sobre la hidrogeología del país, dando como resultado la elaboración del Mapa Hidrogeológico de Panamá (Esc 1:1.000.000), por un equipo interinstitucional auspiciado por la UNESCO y coordinado por el antiguo Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE) cuyas funciones fueron asumidas por la actual ETESA en el año 1997.

Este mapa ofrece una visión general y resumida de los recursos hídricos. Donde se subdivide a los acuíferos en 3 grupos. El acuífero del Río La Villa pertenece al Grupo B y C, según este Mapa con una producción estimada de 3 a 10m<sup>3</sup>/h (colores verdes y chocolate).

En la fig. 5, destaca la participación de Panamá en la elaboración del "Mapa Hidrogeológico del Istmo Centroamericano y México" se estableció en el taller coordinado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO); en el ámbito nacional este trabajo fue coordinado por el Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE), ahora ETESA(1997).

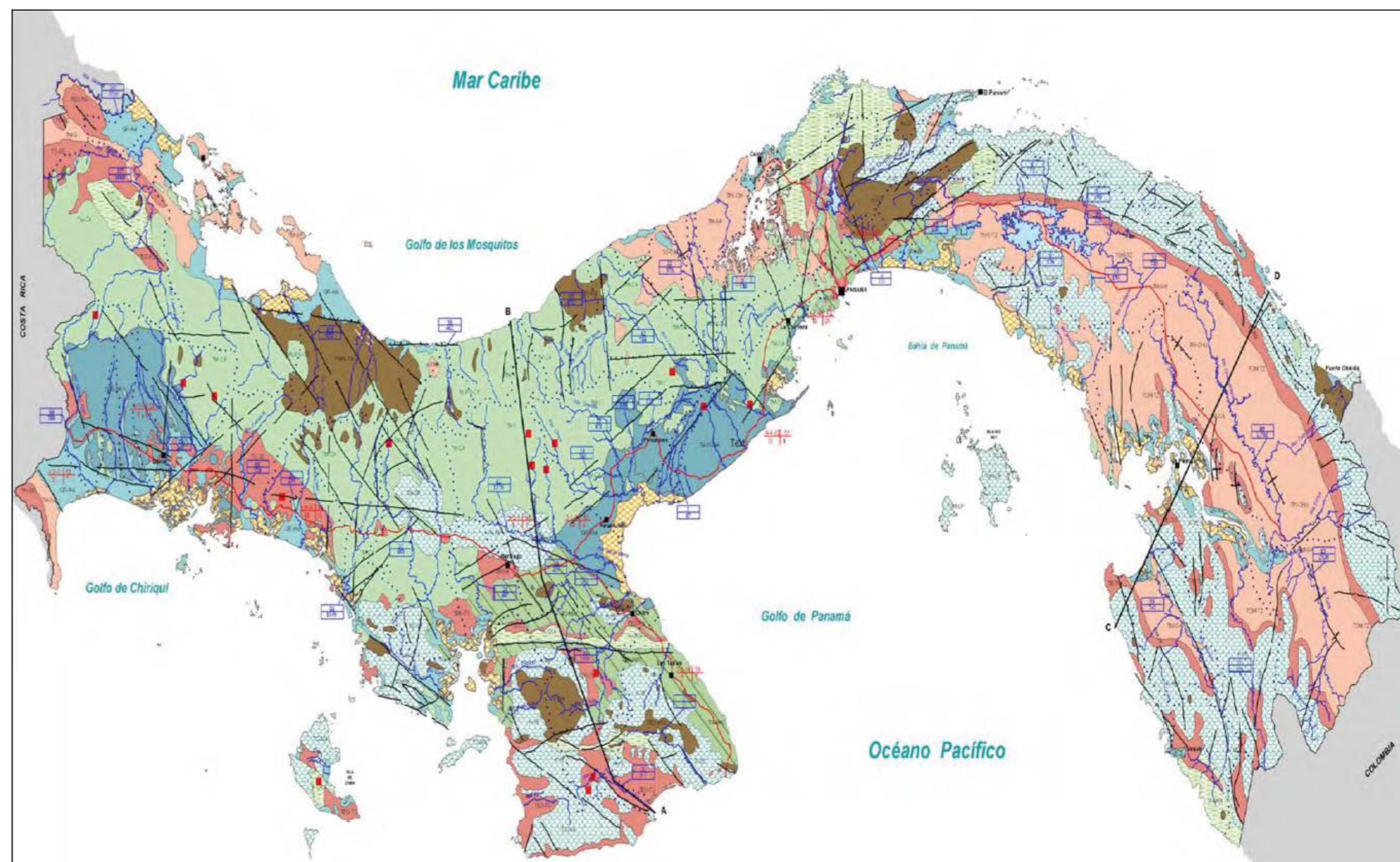


Figura 5. Mapa Hidrogeológico de la República de Panamá. Fuente: Empresa de Transmisión Eléctrica. Gerencia de Hidrometeorología. Disponible en: [http://www.hidromet.com.pa/Mapas/Mapa\\_Hidrogeologico\\_Panama.pdf](http://www.hidromet.com.pa/Mapas/Mapa_Hidrogeologico_Panama.pdf) (visitado en abril de 2020).



## DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

En las Provincias de Los Santos y Herrera donde se ubica la Cuenca 128 del Río La Villa (cuenca de estudio) se tiene alrededor de 1.587 pozos perforados por distintas instituciones y el sector privado, sin tomar en cuenta los pozos ilegales. Existen gran cantidad de pozos georeferenciados que no aportan información técnica como profundidad, formaciones geológicas y producción, entre otras.

Muchas comunidades de la Península de Azuero, que se encuentran ubicadas dentro de las Formaciones del Grupo Macaracas, se abastecen de aguas subterráneas debido a la escasez de aguas superficiales, por lo prolongado de la estación seca en esta región, ver Fig. 6.

Para solucionar la problemática se requiere de la instalación de una red de monitoreo de pozos continua en el tiempo para evaluar tanto la calidad como la cantidad del recurso sobre todo para estas comunidades que su única fuente de agua dulce es un pozo y establecer un plan de gestión integrada de aguas subterráneas.

En Panamá no existe un Plan de Gestión de Aguas subterráneas ni una gobernanza que permita asegurar la disponibilidad del agua en adecuada calidad y cantidad para todos los usuarios y abastecer las crecientes necesidades de agua potable para la población de estas comunidades que dependen del agua subterránea.

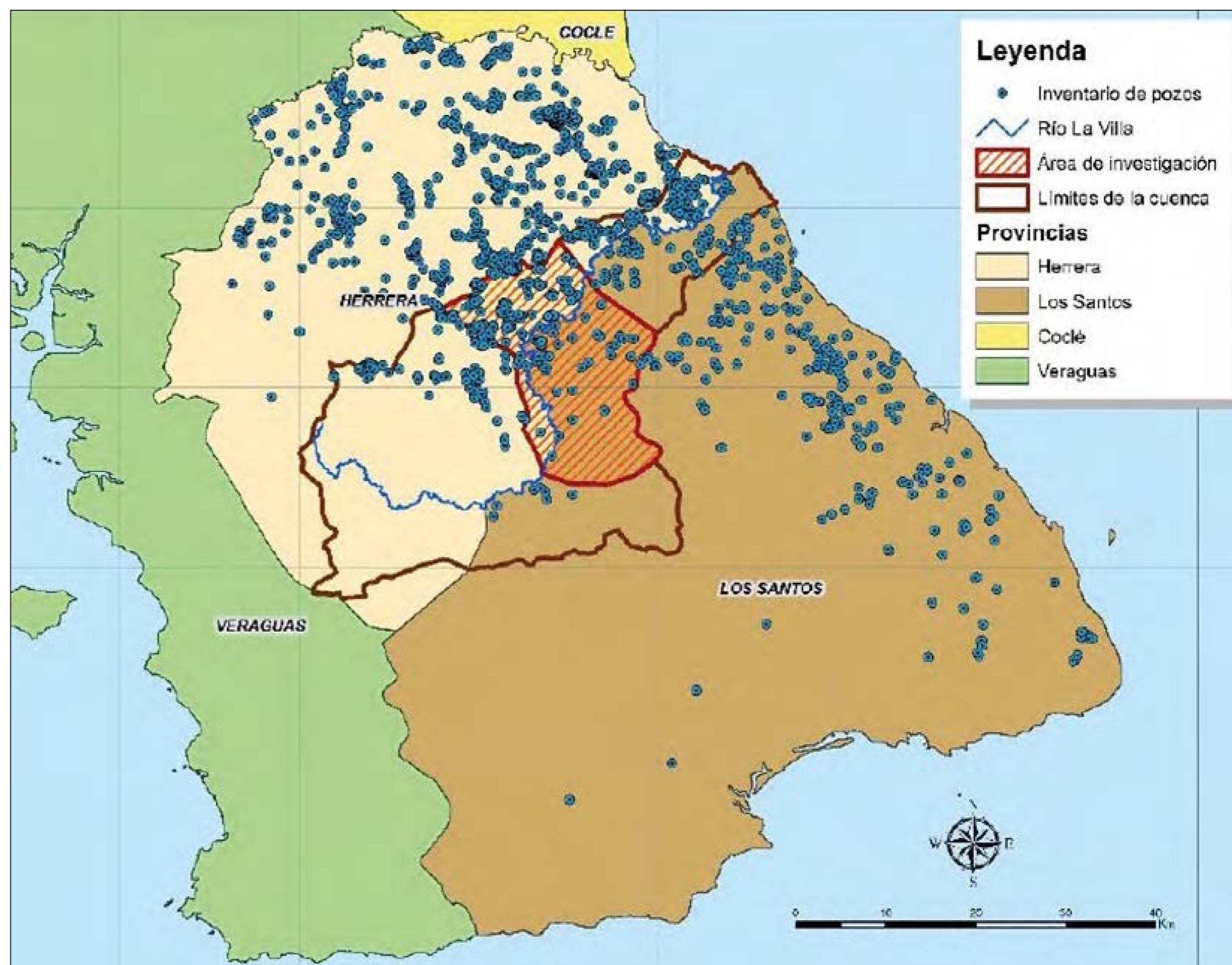


Figura 6. Mapa de localización de pozos con su rendimiento en el área de investigación (Ramírez, 2018).



## PROPUESTAS PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DEL AGUA

### 1. PROBLEMÁTICA Y ANTECEDENTES

En la Cuenca 128 del Río La Villa, existe un acuífero confinado del cual muchas comunidades se abastecen sobre todo en época seca, al ser el Arco Seco la región donde menos precipita en Panamá, denota escasez de agua con la demanda de agricultura y agua doméstica para la época seca. Entre las Provincias de Los Santos y Herrera se tiene alrededor de 1.587 pozos perforados por distintas instituciones y el sector privado, sin tomar en cuenta los pozos ilegales. Existen gran cantidad de pozos georeferenciados que no aportan información técnica como profundidad, formaciones geológicas y producción, entre otras. Debido al mal manejo y desordenada extracción del recurso hídrico se puede estar atentando contra la calidad y cantidad del mismo.

El Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales de Panamá (IDAAN), responsable de la dotación de agua potable para comunidades mayores a 1.500 habitantes, creó en la década de 1970 el Departamento de Fuentes Subterráneas, con sede en la Ciudad de Chitré, ubicada en el corazón del Arco Seco Panameño, la zona del país con menor cantidad de lluvia. Desde entonces, el IDAAN ha perforado pozos en todo el país, para dotar agua para consumo humano. Con esta experiencia se han recopilado muestras de perforación con las que se han hecho registros litológicos de la gran mayoría de los pozos perforados y los geólogos del IDAAN han mejorado su entendimiento de la hidrogeología del país.

A la fecha, hay cuatro investigaciones regionales de la hidrogeología del país; la primera fue en 1997, desarrollada por el Ministerio de Desarrollo Agropecuario, quien contrató a la empresa Israelí TAHAL para un estudio integral

de sistemas de riego en el Arco Seco; dicho estudio incluyó el mapeo del acuífero superficial del Arco Seco. La segunda fue la Elaboración del Mapa Hidrogeológico de Panamá (Escala 1:1.000.000) por un equipo interinstitucional, auspiciado por la UNESCO y coordinado por el Antiguo Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE), cuyas funciones fueron asumidas por la actual ETESA en el año 1997. La tercera fue contratada en el 2003 por el Ministerio de Salud, con la empresa consultora Nómadas de Centroamérica y Panamá, que desarrolló mapas hidrogeológicos de las Provincias de Chiriquí, Bocas del Toro y Panamá.

La cuarta investigación fue contratada por el Ministerio de Ambiente (antigua ANAM) en el 2010 con la misma empresa consultora, para el estudio hidrogeológico del Arco Seco; en ese estudio se hicieron más de 100 Sondeos Eléctricos Verticales con profundidades de investigación hasta de 300 metros, que permitieron plantear la hipótesis de un acuífero confinado en el Arco Seco a profundidades mayores que la profundidad típica usada en la zona, donde prácticamente todos los pozos existentes están perforados a profundidades menores de 50 m de profundidad, sobreplotando así el acuífero libre o freático.

En el 2015 el IDAAN empezó a implementar las técnicas de geofísica superficial (Sondeos Eléctricos Verticales y Tomografías Eléctricas) de manera sistemática, previo a las perforaciones y ha iniciado la medición periódica de niveles de aguas subterráneas en cuencas prioritarias, tales como el Río La Villa, y zonas urbanas tales como Penonomé y Chorrera. Simultáneamente, el IDAAN ha aumentado la profundidad de perforación hasta 120 m de profundidad, en la búsqueda de nuevos acuíferos, disminuyendo la presión de acuíferos freáticos sobreexplotados, tales como el existente en el Arco Seco, que tiene más de 3.000 pozos pertenecientes a diversas instituciones y al sector privado en claro proceso de reducción de su producción. La especificación de diseño y construcción de los pozos del IDAAN también

se ha revisado y ajustado a la práctica internacionalmente aceptada, respecto a diámetros, materiales y pruebas de bombeo.

El IDAAN es el mayor usuario del Agua Subterránea en el país, con una producción de 87.937 metros cúbicos por día, en el año 2013, equivalente al 5,86% de la producción de agua potable del IDAAN. Otros usuarios importantes son el Ministerio de Desarrollo Agropecuario y el Ministerio de Salud. El Sector privado es otro usuario importante, especialmente para actividades agropecuarias.

### 2. OBJETIVO DEL PLAN DE GESTIÓN

El objetivo es contribuir a la sostenibilidad de la oferta del recurso hídrico subterráneo tanto en calidad como en cantidad suficiente, y de forma participativa con las comunidades y sectores involucrados con este recurso.

### 3. META, RELACIONADA AL OBJETIVO PLANTEADO

Hacer el inventario de pozos (activos e inactivos) incluyendo estimativas de extracción, con el fin de realizar un balance hídrico (comparar recarga vs extracción).

Definir dentro de la disponibilidad hídrica subterránea un límite de extracción y monitoreo de calidad de agua.



#### 4. MEJORA DEL DIAGNÓSTICO

La medición y monitoreo continuo del recurso para poder tener una estimación medida y realizar por primera vez un balance hídrico del acuífero en mención y así poner un límite de extracción que garantice la sostenibilidad del recurso en el tiempo.

Se debe mejorar a partir de un primer mapa de vulnerabilidad. Enfocarse en los puntos críticos de extracción y sensibles a la contaminación. Estimación de la recarga proveniente del subálveo de los ríos, excedentes de riego, de precipitación y recarga urbana.

#### 5. MARCO INSTITUCIONAL Y LEGAL

Los actores más relevantes del marco institucional serían:

- **Ministerio de Ambiente (MiAmbiente)**, como entes reguladores del Agua a nivel nacional, ya que son los que deben ejercer la gobernanza y crear en Panamá el conjunto de normativas que regulen las actividades que los usuarios particulares tienen sobre el agua. Legislación y educación.
- **CONAGUA (Consejo Nacional del Agua)**, encargado de realizar el Plan Nacional de Seguridad Hídrica de Panamá.
- **Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN)** como administrador nacional del recurso de agua potable y empresas privadas de servicio de agua.
- Hidroeléctricas, ganaderos, agricultores, balnearios turísticos, (empresarios privados con fines de lucro).
- Población urbana, rural y periurbana.

#### 6. HERRAMIENTAS PARA DEFINIR LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Deben establecerse áreas de protección y delimitarlas debidamente como seguridad del recurso, aplicando los métodos de POSH y DRASTIC.

##### Recomendaciones:

- Mejorar la administración y la gestión del agua, ya que si bien el país cuenta con recursos hídricos abundantes, se identifican carencias en varias zonas geográficas.
- Es necesaria la formación del recurso humano, a todos los niveles, en el campo del desarrollo sostenible y GIRH.
- La necesidad de establecer un órgano de coordinación multisectorial e interinstitucional superior que actúe como espacio de deliberación, concertación y coordinación entre el Poder Ejecutivo y las instituciones descentralizadas. Una de las funciones de este organismo sería la actualización de la ley de agua (Decreto Ley 35 de 22 de septiembre de 1966) para que sea cónsona con la realidad presente del país.
- La necesidad de realizar un estudio para determinar la extensión y volumen de los principales acuíferos del país de manera que las perforaciones de pozos se realicen adecuadamente ya que la forma indiscriminada en que, a la fecha, se realiza esta actividad puede ser dañina a las fuentes subterráneas de agua.
- Crear un Plan de Gestión de Aguas Subterráneas en Panamá.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Espinoza, I. J. (2016). *Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica*. Panamá.

Ramírez, I. A. (2018). *Fortalecimiento de la Resiliencia de Recursos Hídricos frente al Cambio Climático en dos ciudades de la Cuenca del Río La Villa del Arco Seco de Panamá*. Panamá.



# 8. APROVECHAMIENTO SUBTERRÁNEO DE LA CUENCA DEL PILCOMAYO Y CUENCA DEL BERMEJO

## AUTOR

**Jorge Genaro Torres**

jgenarotorres@yahoo.com.ar

Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Salta,  
Republica Argentina

## RESUMEN

Las cuencas de los ríos Pilcomayo y Bermejo, poseen una complejidad litológica importante, a tal punto que se estima que por debajo existe un sistema de multi-acuíferos con el agravante de poseer calidad de agua diferentes entre sí. Estos acuíferos poseen agua salobres y salinas y en algunos casos con alto contenido de As. Las perforaciones que se encuentran en zonas ribereñas del Pilcomayo son por lo general de poca profundidad y de buena calidad de aguas, misma situación ocurre en la ribera izquierda del río Bermejo, no así sobre la margen derecha.

El plan por elaborar deberá contemplar múltiples aspectos; ambiental, social y económico. El social estará referido principalmente a resolver problemas entre las poblaciones originarias y eventualmente las poblaciones criollas. El ambiental – económico, serán las actividades que se lleven a cabo por los países involucrados, realizando las obras necesarias tendientes a evitar daños que ocurren en forma periódica y afectan a poblaciones, de los tres países. Además, regular ambientalmente las actividades en cabecera de cuenca, principalmente para evitar posibles derrames de efluentes de distintas actividades.



Video: hacer click para reproducir



La implementación del plan deberá ser en un periodo de tiempo corto y tendrá como actores y responsables a organismos gubernamentales, municipales y locales.

## INTRODUCCIÓN

Las Cuencas del río Pilcomayo y Cuenca del río Bermejo, pertenecen a la Cuenca del Plata, que drena las aguas de casi la cuarta parte del continente sudamericano hacia el Océano Atlántico ocupando parte de los territorios de Argentina, Brasil, Bolivia, Uruguay y la totalidad de Paraguay. Los principales ríos de las cuencas son afluentes del río Paraguay, el que a su vez desemboca en el río Paraná, que fluye al Atlántico a través del Río de la Plata.

### La Cuenca del río Pilcomayo

El Pilcomayo es una de las subcuencas más complejas del sistema del río de la Plata. Abarca una superficie de 272.000 km<sup>2</sup>, o sea alrededor de un 8.4 por ciento de la cuenca del río de la Plata. Esta cuenca se comparte con tres países, Argentina, Estado Plurinacional de Bolivia y Paraguay. El reservorio presenta una forma elongada, orientada en sentido noroeste-sudeste, abarcando un área de aproximadamente 6.000 km<sup>2</sup> dentro de la provincia de Salta (Figura 1). El río principal es el Pilcomayo tiene sus nacientes más australes en la zona de la Puna jujeña, en el extremo noroccidental de la República Argentina. Atraviesa todo el sistema austral de la Cordillera Oriental y Sierras Subandinas bolivianas y en las localidades de Villamontes e Ybybobo, el curso abandona el sistema serrano e ingresa a la llanura chaqueña formando, al pie de las sierras, un extenso y ancho cono fluvial.

### La Cuenca del río Bermejo

El río Bermejo nace en el cordón montañoso conocido como sierra de Santa Victoria, en el boliviano departamento de Tarija, a una altura de unos 3.600 msnm. El reservorio tiene forma de abanico con su ápice hacia occidente. Se extiende en dirección preferentemente oeste - este a noroeste - sudeste. Ocupa una superficie aproximada de 24.450 km<sup>2</sup> (Figura 2). La alta cuenca del río Bermejo se halla situada en el extremo noroeste de la Argentina y sudsudeste de Bolivia. Tiene la forma de una elipse con su eje mayor, de 430 km de largo, orientada de norte a sur (OEA, 1973). El río Bermejo abandona la alta cuenca en la junta de San Francisco, denominación dada a la confluencia de los ríos Bermejo y San Francisco (ubicada a 2 km al este de la localidad de Pichanal), desde donde ingresa en la gran Llanura Chaqueña que constituye su cuenca media e inferior.

### Cuenca del río Pilcomayo - Características

En el ambiente de llanura, el río presenta una dirección de escurrimiento preferente noroeste-sudeste, atravesando territorio paraguayo y argentino, hasta su desembocadura en el río Paraguay. En este sector, el curso se caracteriza por presentar un cauce ancho y anastomosado, con márgenes bajas e inestables, dando lugar a “salidas de cauce” en épocas de crecientes. El río Pilcomayo presenta una red de drenaje muy compleja y mal definida, formada por numerosos paleocauces, cañadas, lagunas, zonas anegadizas y un cauce mayor inestable y móvil. Debido a la escasa pendiente y al intrincado sistema de drenaje, durante las crecientes extraordinarias suelen inundarse extensas superficies.

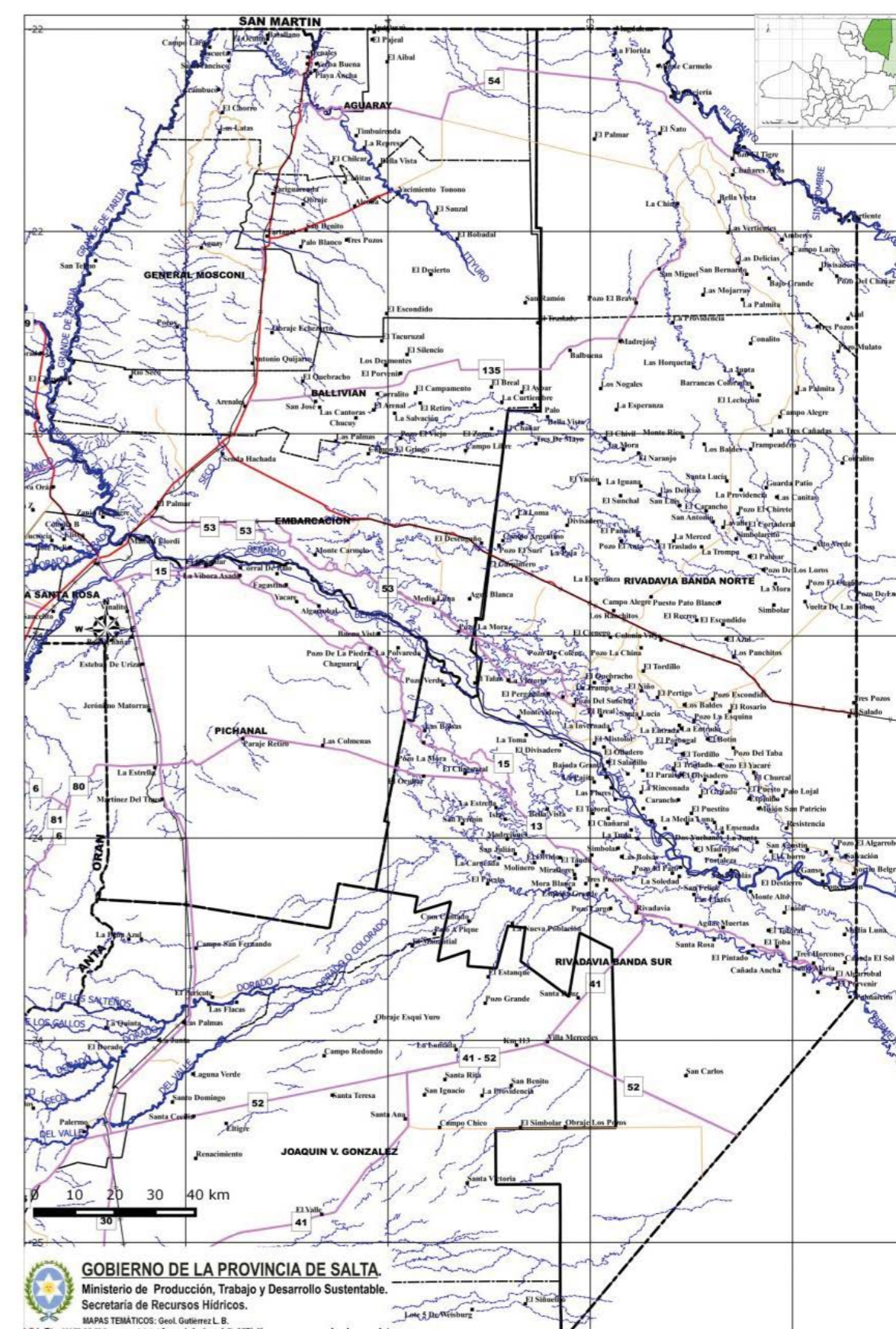


Figura 1. Fuente: Gobierno de la Provincia de Salta. Ministerio de Producción, Trabajo y Desarrollo Sustentable. Secretaría de Recursos Hídricos.



**El Complejo Pilcomayo**, incluye un acuífero libre desarrollado en sedimentos Cuaternarios y un sistema de acuíferos confinados a semi-confinados, que incluyen niveles Cuaternarios y Terciarios (García, 1989).

El espesor de los sedimentos cuaternarios que actúan como reservorio, poseen una potencia media de 30 metros. Esta cubierta sedimentaria en la zona de influencia del río Pilcomayo supera los 55-60 m. A medida que se abandona esta área, hacia el oeste y sudoeste, se produce un adelgazamiento progresivo, hasta no superar los 15-20 m. El sedimentario es de origen fluvial, depositado por el río Pilcomayo. No se excluye que, hacia los bordes del Complejo Acuífero, los depósitos que conforman el relleno moderno respondan a una génesis poligénica (fluvial – coluvial – eólica). (Brandan, E.M., A. Ocaranza, F. Moya Ruiz y V. Bercheñi, 1994). Estos sedimentos están conformados principalmente por arenas (de todos los tamaños) y limos, con intercalaciones de pequeños niveles arcillosos a limo-arcillosos que carecen de continuidad areal. Porcentualmente, las capas de arenas pueden representar desde un 50% hasta un 80% del perfil litológico.

Los pozos que se encuentran ubicados en comunidades ribereñas del río Pilcomayo, son pozos de pocas profundidades, que oscilan entre los 35 a los 60m. Por lo general son aguas de muy buena calidad y buenos caudales. Litológicamente, estos pozos en gran parte del perfil litológico son arenas de distintas granulometrías con intercalaciones de material más finos comprendidos entre limos y arcillas y estratos de poco espesor. Como se dijo, a medida que se aleja de la zona ribereña, la profundidad de los pozos existentes se hace mayor, llegando a profundidades que superan los 150 m. La calidad de las aguas se vuelve más inestable encontrando aguas salobres y salinas y en algunos casos con presencia de As.

### Cuenca del río Bermejo - Características

La superficie de la cuenca media, en la zona de estudio, es de aproximadamente 21.540 km<sup>2</sup>. Se desarrolla a partir de la confluencia de los ríos Bermejo y San Francisco en el sector sudoeste y se extiende, hacia el norte, hasta la zona de influencia del río Itiyuro-Caraparí; por el sur hasta los niveles aluviales de los ríos Dorado-Del Valle y por el este continúa en la provincia de Formosa. La red hidrográfica de este sector está constituida por los ríos Bermejo y Seco, además de cañadas, arroyos y lagunas. El río Bermejo, en la zona de llanura presenta una dirección de escurrimiento preferencial oeste-este, a noroeste-sudeste. Durante su recorrido se originan importantes pérdidas de volúmenes de agua por infiltración y desbordes

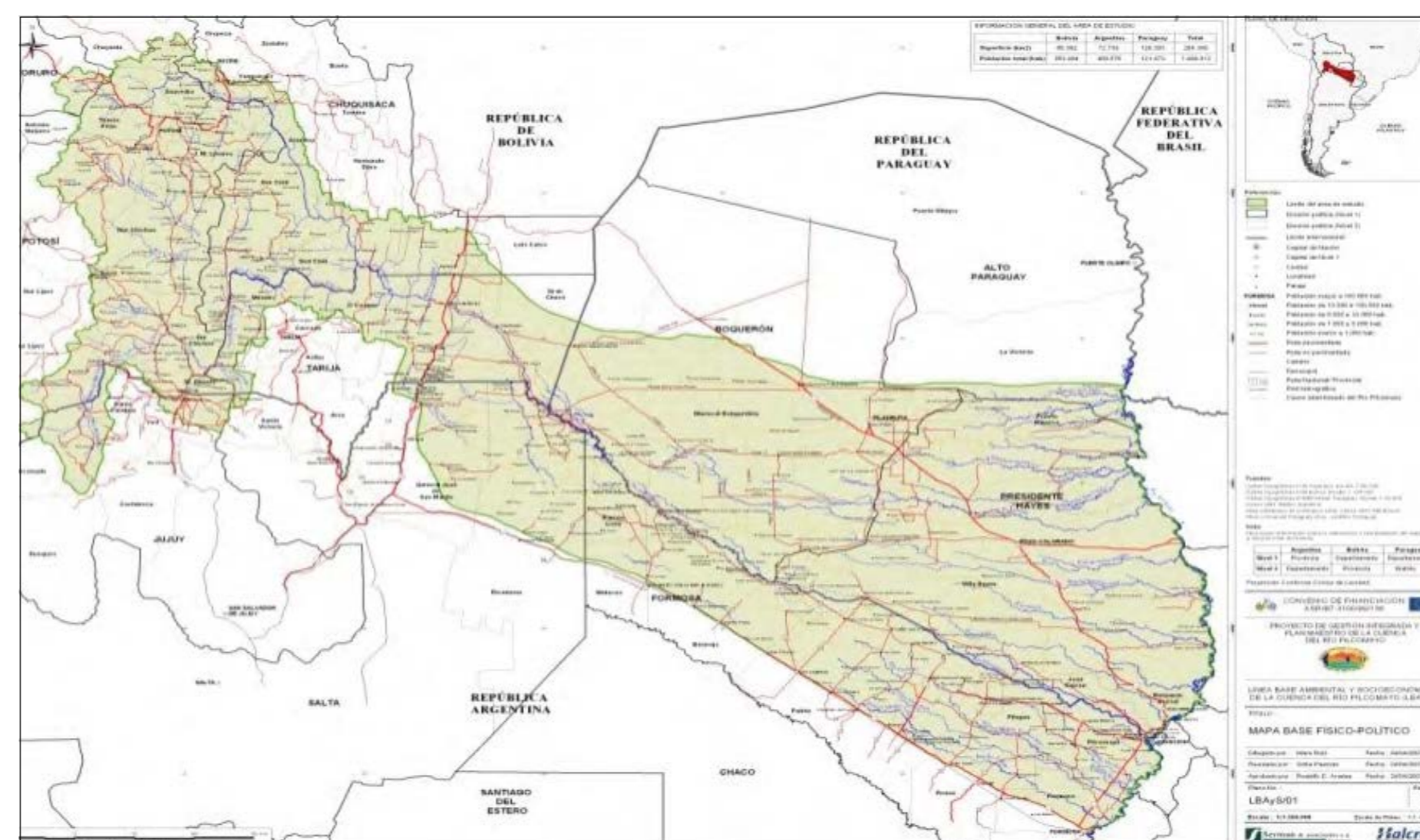


Figura 1. Fuente: Gobierno de la Provincia de Salta. Ministerio de Producción, Trabajo y Desarrollo Sustentable. Secretaría de Recursos Hídricos.



en épocas de crecidas que dan lugar a bañados y zonas de mal drenaje. Aproximadamente 90 km agua abajo de la confluencia con el río San Francisco, el río Bermejo se bifurca: hacia el norte continúa con el mismo nombre y hacia el sur, se denomina río Teuquito (García, 1989). El actual valle fluvial, entre la junta y el límite con la provincia de Formosa, presenta un amplio lecho que en algunos tramos llega a exceder los 5 km de ancho, y que se caracteriza por el desarrollo de un curso con canales anastomosados sobre un lecho arenoso a arenoso limoso. Tanto hacia el norte como hacia el sur del amplio valle del río Bermejo, se desarrollan grandes áreas de mal drenaje, pantanos, bañados y zonas anegadizas que imprimen a la cuenca características muy propias.

El **Complejo Bermejo** se desarrolla en una región tan vasta que es posible encontrar, en el ámbito local, significativas variaciones en las características hidrogeológicas. A escala regional se observa un acuífero libre más o menos continuo y un sistema de acuíferos semi-confinados a confinados, variables en potencia, facies y desarrollo areal. Litológicamente predominan potentes bancos de arenas y bancos de limos y arcillas de edad terciaria y cuaternaria. Estas secuencias por lo general responden a la morfología de paleocauces y líneas de escurrimientos naturales.

Existen marcadamente, zonas de perforaciones profundas y buena calidad de agua con caudales importantes, que se encuentran hacia el norte del río a una distancia de 15 kilómetros. Las profundidades superan los 120 m llegando a los 180 m. Las que se encuentran muy cercanas al río, son perforaciones someras de profundidades variables entre 45 a 60 m y aguas de buena calidad y caudales variables. Por lo general estos pozos abastecen a comunidades originarias o criollas y/o escuelas. La presencia de arsénico se encuentra dentro de los límites permitidos. En la margen derecha del río, la situación cambia en forma totalmente distinta. To-

das las perforaciones realizadas tienen concentraciones de sales, convirtiendo las aguas en salobres y salinas. Además, la presencia de arsénico se encuentra en casi todas las perforaciones sean someras o profundas. Se realizaron perforaciones de hasta 250 m y con resultados similares, con la finalidad de explorar y conocer el potencial hídrico.

Las conductividades en algunos parajes llegan a valores altos como por ejemplo en la Comunidad San Felipe con un valor de 12.510  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (sólidos disueltos totales 7.881 mg, dureza total 1.480 mg  $\text{CaCO}_3/\text{l}$ , cloruros 564 mgCl/l, sulfatos 4997 mg $\text{SO}_4/\text{L}$ ) (Fuentes, 1993).

En Finca Las Flores (La Unión) con un valor de 39.800  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (sólidos, disueltos totales 25.074 mg, dureza total 2.823 mg  $\text{CaCO}_3/\text{l}$ , cloruros 4.654 mgCl/l, sulfatos 13.475 mg $\text{SO}_4/\text{L}$ ).

#### **Problemas en las cuencas**

Los departamentos de San Martín y en especial el de Rivadavia; tienen características muy particulares. La llanura Chaco – Salteña, es la parte baja de la cuenca del río Pilcomayo y del río Bermejo. Ninguna de las dos cuencas tiene un plan de gestión integral del recurso hídrico.

El recurso superficial de ambos ríos fue y será de vital importancia para la subsistencia de las comunidades ribereñas, en especial para las comunidades originarias. La falta de información básica es un tema por resolver. En base a la información existente, ambas cuencas poseen un sistema de multi-acuíferos. Geomorfológicamente, existen zonas marcadamente diferentes, el ámbito fluvial ocupa gran parte del territorio y es evidenciado por la presencia de líneas de escurrimiento, la presencia de meandros abandonados, paleocauces, entre otros.

Las perforaciones ribereñas, son de pocas profundidades, en promedio 60 m y se trata de aguas de buena calidad aptas



para consumo. A, medida que se realizan a mayor distancia son de mayor profundidad las perforaciones y las aguas son de menor calidad, encontrándose aguas salobres y salinas, inclusive con la presencia de arsénico. Estas perforaciones superan los 180 m. Se realizaron pozos de exploración a profundidades de 300 m sin resultados positivos.

El abastecimiento poblacional de agua para el consumo se realiza por medio de perforaciones, y de acuerdo con la región se deben realizar obras para la potabilización, como ser la implementación de plantas de filtración, la colocación de filtros de batimiento de arsénico y cosechas de aguas.

Entre los meses de mayor precipitación estas áreas, son ocupadas casi en su totalidad por las aguas de lluvias y desbordes de ambos ríos, ocasionando múltiples problemas, que se repiten periodo tras periodos. A esta problemática, que se repite en forma continua, se le suma la realización de perforaciones en forma clandestina, sea por empresas que no se encuentran registradas para operar o por las mismas intendencias que no solo no reportan los pozos, sino que además no cuentan con personal capacitado e idóneo para llevar a cabo los trabajos necesarios. Por lo general estas empresas no realizan las operaciones necesarias para la elaboración de un diseño de perforación, no realizan electroperfilaje para la ubicación de filtros o caños ciegos. Esto trae aparejado la mezcla de acuíferos de aguas dulces y los salinos o salobres, dando como resultado un agua para consumo que no es apta, situación que se debe remediar con obras complementarias.

Naturalmente hay que destacar; que toda la llanura Chaco –Salteña tiene una complejidad en todos los aspectos, desde lo ambiental a lo social. En el aspecto ambiental, al ser una zona o área extremadamente vulnerable a las condiciones climáticas se deben tener recaudos en periodos lluviosos, ya que quedan aisladas comunidades enteras que

deben ser asistidas sanitariamente como socialmente. Por lo general son evacuados a centros precarios, a los cuales se debe proveer de agua para consumo, ya que los pozos quedan fuera de servicios. Las tierras quedan totalmente anegadas y consecuentemente ocasionan pérdidas en los pocos emprendimientos agrícola- ganaderos que algunos puestos llevan a cabo.

En la zona sur del departamento Rivadavia, cuya influencia es directa al río Bermejo, la situación es muy parecida, zonas inundables, pérdida de pozos por contaminación o falta de infraestructura. En esta cuenca ocurre, que los pozos que se perforan sobre la margen izquierda del río, si bien los caudales de explotación son mínimos, la calidad es considerada muy buena, son perforaciones de pocas profundidades, no superando los 60 m. Los perforados sobre la



Foto 1: Situación de muchas de las perforaciones existentes. Fuente: foto de autor.



margen derecha, ya sean muy cercanos al río o alejados, la mayoría poseen calidades variables, son salobres o salinas y todas con presencia de arsénico. La Foto 1 muestra el estado de una perforación en la zona. Si bien antes de iniciar una perforación, se mantiene reunión con los pobladores, esta se realiza con técnicos y no con profesionales especialistas (Foto 2).

### PROPUESTAS PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DEL AGUA

Por lo expuesto anteriormente, es necesaria la implementación de un Plan de Gestión Integral. La parte baja de la cuenca es la que mayormente sufre la problemática en toda la cuenca. En la del río Pilcomayo en sus nacientes, existen pasivos ambientales provenientes de emprendimientos mineros. En la actualidad, según estudios el recurso superficial estaría afectado con la presencia de metales pesados que afectaría en gran medida a la fauna ictícola. Los estudios específicos, aun no son concluyentes para considerar de qué modo afecta a la salud de la población. El río Pilcomayo abastece a todas las poblaciones ribereñas de los países que comparten la cuenca, se calcula que son beneficiadas 1.500.000 personas.

Uno de los grandes problemas que se enfrenta en forma periódica son los desbordes que se sufre en los periodos estivales. Para mitigar o solucionar la problemática, se trabaja juntamente con los tres países, colaborando con recursos, en especial con maquinarias que pertenecen a los tres países. Los trabajos consisten básicamente en la construcción de canales para lograr una libre circulación dentro del mismo cauce, extrayendo material sedimentario que se acumula o deposita y no permite un libre escurrimiento.

Los canales que se realizan están diseñados para proteger las localidades más vulnerables que se encuentran a la ribera de los países involucrados. En la parte argentina las loca-

lidades, Misión La Gracia, La Estrella y Misión La Paz, son las más afectadas y en Paraguay la localidad de Pozo Hondo del departamento de Boquerón. Además, desde hace tres años se realizan anillos de protección para mitigar o minimizar las inundaciones. Todas estas medidas son solo paliativas, no se integran como acciones de un plan.

Hay que recordar que la cuenca del río Pilcomayo, se encuadra dentro de lo que se denomina arreica. En la provincia de Formosa el río forma bañados que eventualmente en casos excepcionales desembocan en el río Paraguay. Existe un proyecto en esta provincia para la construcción de un canal para que el río desemboque en forma permanente.

Aparejado a este problema, otra situación a tener en consideración es el aspecto social. Las comunidades originarias,



Foto 2: Reunión con los pobladores del lugar antes de comenzar la ejecución de la perforación. Fuente: foto de autor.



son de distintas etnias y consecuentemente distintas culturas. Esta situación es muy compleja y de difícil solución. En la actualidad, lamentablemente los jefes o caciques de las misiones tienen el poder de la distribución y el manejo del agua.

La necesidad de generar un plan de gestión es necesario y urgente. Este plan deberá tener varias metas, la más importante es la de conocer los acuíferos de agua apta para consumo. Se deberá realizar muestreos sistemáticos de todos y cada uno de los acuíferos identificándolos en las perforaciones exploratorias. De esta manera se podrá realizar una modelización del acuífero y conocer el comportamiento del mismo. Además, un análisis de la litología, así de esta manera se podrá realizar un corte y una correlación del o de los acuíferos que contengan la mejor calidad de agua.

En la actualidad este perfil de correlación se puede realizar, porque la base de dato con que se cuenta es importante, con los aspectos más sobresalientes, litología, diseño de las perforaciones y profundidad, como así también la ubicación. Es de tener en cuenta que no se realizan muestreos sistemáticos, desconociendo la calidad de agua de cada acuífero productivo. El análisis, que es obligatorio realizarlo, muestra el resultado de la mezcla de todos los acuíferos en producción.

La Secretaría de Recursos Hídricos (SRH), es el organismo de aplicación de la Ley 7017, Código de Agua de la provincia, y regula el recurso agua, tanto superficial como subterráneo. Establece entre otros aspectos, la obligación de solicitar el permiso de perforación. Las empresas perforistas deben estar inscriptas en un registro y contar con un director técnico, quien tendrá a cargo la dirección de las distintas etapas de perforación.

Existen organismos nacionales gubernamentales y no gubernamentales, que trabajan en todo el departamento Rivadavia, y tienen como costumbre la de realizar perfora-

ciones para distintos destinos. Los municipios cuentan con máquinas otorgadas por el gobierno nacional, para realizar perforaciones, por lo general perforaciones someras. Lamentablemente, las máquinas son operadas por técnicos sin la preparación adecuada, obviando estudios muy necesarios, como el electroperfilaje, estudio que se necesita para el diseño adecuado de la perforación. Estas perforaciones se realizan sin el permiso correspondiente, son los denominados clandestinos. Lamentablemente los municipios, son partícipes necesarios de esta situación, juntamente con los organismos que trabajan en la zona y llevan a cabo las perforaciones. Legalmente, son infractores, la SRH, no cuenta con personal suficiente como para realizar todas las inspecciones necesarias y realizar un censo definitivo de las perforaciones y tener las herramientas necesarias para realizar un balance hídrico por cuencas.

Las dos cuencas, la del Bermejo y la del Pilcomayo, tienen idénticas problemáticas, ambas escurren por zonas llanas, con una mínima pendiente, abarcando varios kilómetros de zonas inundables en los periodos lluviosos, generando múltiples inconvenientes. El agua escurre por paleocauces, madrejones o líneas de escurrimientos naturales. El agua es aprovechada muy pocos meses en el año, debido a que no hay un plan para su almacenamiento y aprovechamiento.

Cuando ocurren las inundaciones, se repiten los mismos problemas año tras año, algunas perforaciones debido a la alta vulnerabilidad con que se cuenta, sufren ingreso de agua y llegan a contaminar los acuíferos. Por mucho tiempo el agua no es apta para consumo. Las escasas obras que se realizan quedan total o parcialmente destruidas.

El aspecto socio económico, también es uno de los más vulnerables y que se debe tener muy presente; en la realización de un Plan de Gestión a nivel de cuenca. Todas las poblaciones estables o no, quedan afectadas por las aguas que precipitan en un periodo de tiempo muy corto y gran volu-

men, además el agua que desborda, en algunos puntos de los ríos. El río Pilcomayo, con un diseño meandroso, cambia en forma permanente, ensanchando y enangostando el curso fluvial. En los últimos 10 años, se calcula que la tasa de sedimentación aumentó en forma considerable, pero no hay mediciones realizadas para conocer exactamente un valor real. Cuando ocurre esta situación, los organismos o el comité de emergencia asisten a la población, como primera medida evacuando las comunidades de los distintos parajes. Distribuyen lo elemental, como agua y comida y son atendidos sanitariamente.

Lamentablemente, no existe una política acorde a estas circunstancias, todas son actividades paliativas temporalmente, no de fondo. Además, la cultura de las poblaciones de la región, son muy difíciles de abordar y por esa razón no se avanza en políticas concretas. Como así tampoco no hay una política de aprovechamiento de los recursos y obras de infraestructura tendiente a maximizar y aprovechar el recurso para las actividades a que se dedican



Hay un ejemplo en un puesto a 45 km de la localidad de Santa Victoria Este, donde se acondicionó un madrejón realizando cinco lagunas conectadas mediante un sistema de vaso comunicante. El dueño con esta sencilla obra tiene el manejo del recurso, contando con el suficiente volumen para las actividades agrícola-ganaderas que realiza.

## RECOMENDACIONES

Para la elaboración de un Plan Integral, se deberá tener en cuenta todos los aspectos, abordados anteriormente, contemplando la problemática que hoy en día existe y por falta de decisiones gubernamentales no son implementadas. El objetivo principal es el mejor aprovechamiento del recurso agua, tanto en forma superficial, como subterránea

Por ello, el plan deberá contemplar:

- Completar los estudios de base para un firme conocimiento del comportamiento del sistema de multi-acuífero que existe en la zona.
- La realización de las perforaciones, deberán ser adecuadas a las características de la zona, tanto en forma ambiental como social, teniendo en cuenta que se deberá evitar el manejo manual de las perforaciones, mediante la colocación de paneles solares y manejo automático de bombeo de la perforación.
- Realizar obras perimetrales a todas las perforaciones, evitando de esta manera la contaminación de los acuíferos, resguardando la vida útil de las mismas.
- Lograr implementar leyes o instrumentos legales, sean provinciales o municipales, tendientes a mejorar la gobernanza y gobernabilidad del recurso.
- En lo posible, que se forme un comité local o municipal, con intervención profesional en el tema, tendiente a realizar las obras necesarias para su máximo aprovechamiento, sea ganadero o agrícola o ambos.
- Realizar un abordaje social e integral en las distintas comunidades originarias de ambas cuencas, con la posible participación de comunidades de los otros países.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

García, R. 1989: *Hidrogeología del Vhaco Boreal Salteño*. Tesis Doctoral.

Brandan, E.M., M. Brod, V. Bercheñi y R. Soler, 1993. *Proyecto de Sistematización de Información Hidrogeológica de pozos de agua subterránea y Cartografía en el Dpto. Rivadavia Banda Norte. Provincia de Salta*. Convenio Consejo Federal de Inversiones - Gobierno de la Provincia de Salta - Dirección General de Obras Sanitarias - Universidad Nacional de Salta. Informe Final. Inédito.

Brandan, E.M., A. Ocaranza, F. Moya Ruiz y V. Bercheñi, 1994. *Proyecto Sistematización de Información Hidrogeológica de Pozos de Agua y Cartografía del Departamento Rivadavia (Salta)*. Convenio de Cooperación Mutua Facultad de Ciencias Naturales - Dirección General de Obras Sanitarias. Informe Final. Inédito.

Custodio, E. y M.R. Llamas, 1983. *Hidrología Subterránea*. Editorial Omega S.A., Barcelona.

Fuertes, A. 1993. *Estudio de Fuentes de Provisión de Agua. Cuenca Pilcomayo. Localidades de Santa Victoria Este, Pozo El Tigre, Chañares Altos, Misión La Paz - Km 1, La China, Las Vertientes, Aguas Verdes, Amberes, Campo Largo y San Miguel*. Programa APAPC (Agua Potable a Pequeñas Comunidades) Consejo Federal de Inversiones - Gobierno de la Provincia de Salta. Inédito.







INSTITUCIONES PARTICIPANTES

