

CARTA HIDROGEOLÓGICA DEL SISTEMA ACUÍFERO RAIGÓN - escala 1/100.000

<p>Información General</p> <ul style="list-style-type: none"> Pozo representativo Red del Red hidrográfica Cuenca hidrográfica Pluviosidad 2016 Localidad Perímetro Ciudad 	<p>Productividad</p> <ul style="list-style-type: none"> < 2 m³/h/m 2 - 5 m³/h/m 5 - 9 m³/h/m > 9 m³/h/m 	<p>Información de Pozos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Profundidad de Pozo (m) 2 Caudal específico (m³/h/m) 3 Nivel Estático (m) 4 Nivel Límite (m) <p>Perfil geológico indicando las unidades hidrogeológicas y las espesuras en metros.</p>	<p>Información Geológica</p> <ul style="list-style-type: none"> S Cuaternario Qm Cuaternario Villa Serrana del Cuaternario Tardío Qd1 Cuaternario Tardío Qd2 Cuaternario Clásico Qf Cuaternario Inicial T Terciario Ty Región Tx Cretácico Tls Faja delgada Pp Paleozoico 	<p>Proyecto INEA FPTA 307 "Gestión ambiental del SAR"</p> <p>Julio 2017</p> <p>Cooperación técnica del Servicio de Asesoría Técnica del INIA</p>
--	--	---	--	--

GESTIÓN AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO RAIGÓN

GESTIÓN AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO RAIGÓN

FPTA - 307

Equipo de trabajo:

M. Sc. Ing. Jorge Eduardo de los Santos Gregoraschuk¹

Dr. Ing. Emilio Custodio Gimena²

Ing. Alfonso Nicolás Flaquer Barrios³

Ing. Manuel Camilo Giménez Martínez⁴

Ing. Agustín Menta Romano⁵

Ing. Claudia Bessouat Ferraris⁶

Colaboradores

Ing. Carlos Fabián Gómez Cabrera

Ing. Florencia Hastings Viñas

Bach. Ing. Javier Germán Gregorio Iannino

Bach. Geól. Santiago Ford Parodi

Ing. Eduard Batista Piera

Lic. Alfredo Barón Périz

Dra. Graciela del Socorro Herrera Zamarrón

Dr. Ing Pablo Andrés Gamazo Rusnac

^{1,3,4,5,6} Grupo de Hidrología Subterránea, Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay.

² Catedrático de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, España.

Título: Gestión Ambiental del Sistema Acuífero Raigón.

Serie: FPTA N° 78

ISBN: 978-9974-38-427-9

© 2019, INIA

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología de INIA
Andes 1365, Piso 12. Montevideo, Uruguay
<http://www.inia.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Este libro no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

Integración de la Junta Directiva

D.M.T.V., Ph.D. José Luis Repetto - Presidente

Ing. Agr., Mag. Mariana Hill - Vicepresidenta



Ing. Agr. Jaime Gomes de Freitas

Ing. Agr. Rafael Secco



Ing. Agr. Alberto Bozzo

Ing. Agr. Alejandro Henry



FONDO DE PROMOCIÓN DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

El Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (FPTA) fue instituido por el artículo 18° de la ley 16.065 (ley de creación del INIA), con el destino de financiar proyectos especiales de investigación tecnológica relativos al sector agropecuario del Uruguay, no previstos en los planes del Instituto.

El FPTA se integra con la afectación preceptiva del 10% de los recursos del INIA provenientes del financiamiento básico (adicional del 4o/oo del Impuesto a la Enajenación de Bienes Agropecuarios y contrapartida del Estado), con aportes voluntarios que efectúen los productores u otras instituciones, y con los fondos provenientes de financiamiento externo con tal fin.

EL FPTA es un instrumento para financiar la ejecución de proyectos de investigación en forma conjunta entre INIA y otras organizaciones nacionales o internacionales, y una herramienta para coordinar las políticas tecnológicas nacionales para el agro.

Los proyectos a ser financiados por el FPTA pueden surgir de propuestas presentadas por:

- a) los productores agropecuarios, beneficiarios finales de la investigación, o por sus instituciones.
- b) por instituciones nacionales o internacionales ejecutoras de la investigación, de acuerdo a temas definidos por sí o en acuerdo con INIA.
- c) por consultoras privadas, organizaciones no gubernamentales o cualquier otro organismo con capacidad para ejecutar la investigación propuesta.

En todos los casos, la Junta Directiva del INIA decide la aplicación de recursos del FPTA para financiar proyectos, de acuerdo a su potencial contribución al desarrollo del sector agropecuario nacional y del acervo científico y tecnológico relativo a la investigación agropecuaria.

El INIA a través de su Junta Directiva y de sus técnicos especializados en las diferentes áreas de investigación, asesora y facilita la presentación de proyectos a los potenciales interesados. Las políticas y procedimientos para la presentación de proyectos son fijados periódicamente y hechos públicos a través de una amplia gama de medios de comunicación.

El FPTA es un instrumento para profundizar las vinculaciones tecnológicas con instituciones públicas y privadas, a los efectos de llevar a cabo proyectos conjuntos.

De esta manera, se busca potenciar el uso de capacidades técnicas y de infraestructura instalada, lo que resulta en un mejor aprovechamiento de los recursos nacionales para resolver problemas tecnológicos del sector agropecuario.

El Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria contribuye de esta manera a la consolidación de un sistema integrado de investigación agropecuaria para el Uruguay.

A través del Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (FPTA), INIA ha financiado numerosos proyectos de investigación agropecuaria a distintas instituciones nacionales e internacionales. Muchos de estos proyectos han producido resultados que se integran a las recomendaciones tecnológicas que realiza la institución por sus medios habituales.

En esta serie de publicaciones, se han seleccionado los proyectos cuyos resultados se considera contribuyen al desarrollo del sector agropecuario nacional. Su relevancia, el potencial impacto de sus conclusiones y recomendaciones, y su aporte al conocimiento científico y tecnológico nacional e internacional, hacen necesaria la amplia difusión de estos resultados, objetivo al cual se pretende contribuir con esta publicación.

Realizador



Apoyo institucional



MVOTMA

Ministerio de Vivienda
Ordenamiento Territorial
y Medio Ambiente

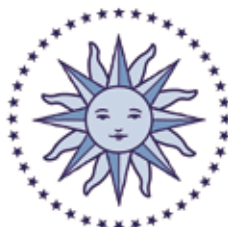
Aporte de información



Obras Sanitarias del Estado

inumet

Apoyo logístico



San José
GOBIERNO DEPARTAMENTAL

Índice general

GESTIÓN AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO RAIGÓN	11
Sobre el proyecto FPTA 307	11
INTRODUCCIÓN	11
<i>Base de datos</i>	13
<i>Ensayos de bombeo</i>	13
<i>Datos históricos de niveles estáticos</i>	14
<i>Climatología</i>	15
<i>Geología de superficie</i>	15
<i>Hidroquímica</i>	16
<i>Consumo de agua</i>	17
Desarrollo de herramientas para la gestión del SAR	18
Variables determinantes para la modelación	18
<i>Recarga</i>	18
<i>Piezometría</i>	21
<i>Modelación numérica</i>	22
Herramientas complementarias	30
<i>Mapa hidrogeológico</i>	30
<i>Carta de vulnerabilidad</i>	35
<i>Red mínima de monitoreo de niveles y control de calidad del agua</i>	38
<i>Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible</i>	39
<i>Gestión Ambiental de los recursos hídricos subterráneos</i>	39
<i>Planificación, Implantación, Verificación, Actuación, Ajuste</i>	40
<i>Norma Técnica de Construcción de Pozos Perforados para Captación de Agua Subterránea</i>	41
CONCLUSIONES	42
RECOMENDACIONES	43
AGRADECIMIENTOS	43
BIBLIOGRAFÍA	44
ANEXO	48

Equipo de trabajo

M. Sc. Ing. Jorge Eduardo de los Santos
 Gregoraschuk
 Dr. Ing. Emilio Custodio Gimena
 Ing. Alfonso Nicolás Flaquer Barrios
 Ing. Manuel Camilo Giménez Martínez
 Ing. Agustín Menta Romano
 Ing. Claudia Bessouat Ferraris

Colaboradores

Ing. Carlos Fabián Gómez Cabrera
 Ing. Florencia Hastings Viñas
 Bach. Ing. Javier Germán Gregorio Iannino
 Bach. Geól. Santiago Ford Parodi
 Ing. Eduard Batista Piera
 Lic. Alfredo Barón Périz
 Dra. Graciela del Socorro Herrera Zamarrón
 Dr. Ing Pablo Andrés Gamazo Rusnac

GESTIÓN AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO RAIGÓN

FPTA 307

Período de ejecución:

Julio 2014 - Febrero 2017

Sobre el proyecto FPTA 307

Este proyecto se realizó con fondos del programa FTPA del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), concursados en 2012. El inicio de actividades fue en julio de 2014 y el informe final se concluyó en 2018.

Se contó con el apoyo institucional de la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA) y con la colaboración mediante aporte de datos de la Dirección Nacional del Agua (DINAGUA), ambas del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA), de Obras Sanitarias del Estado (OSE), del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) y del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP). La Intendencia Departamental de San José (IDSJ) organizó los eventos de presentación pública del Proyecto.

INTRODUCCIÓN

Se denomina Formación Raigón a los sedimentos geológicos terciarios de arenas y gravas

depositados en los departamentos Montevideo, Canelones, San José y Colonia. Desde el punto de vista hidrogeológico, los diferentes estratos están conectados, formando acuíferos o sistemas acuíferos de magnitud local o regional. En el sur del departamento San José, la continuidad de los estratos, su potencia y conductividad hidráulica, sumados a la existencia de una recarga importante y a límites físicos bien definidos, constituyen las condiciones para el desarrollo del Sistema Acuífero Raigón (SAR).

El sector continuo se extiende entre el arroyo Pavón y los afloramientos de las rocas cristalinas, al oeste; el río San José y las rocas cristalinas, al norte; el arroyo de la Virgen y el río Santa Lucía, al este y el río de la Plata, al sur. Totaliza un área cercana a 2300 km² (Figura 1).

El SAR es fundamental para el abastecimiento de todas las poblaciones del departamento, las industrias, el riego, los establecimientos ganaderos, los tambos y las viviendas rurales. Desde el punto de vista conceptual, es el acuífero más estudiado, conocido y utilizado del Uruguay.

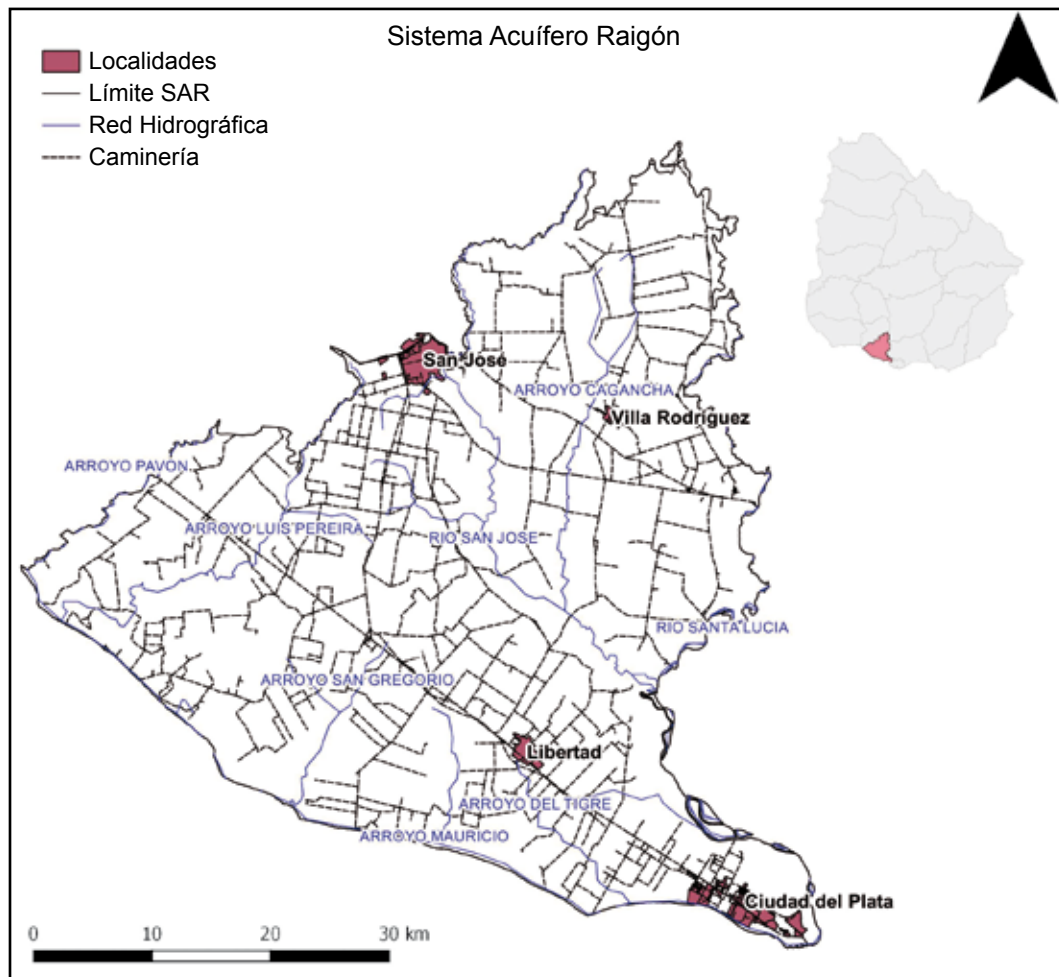


Figura 1. Ubicación del SAR

En 1985 la Dirección Nacional de Minería y Geología (DINAMIGE), con fondos de la cooperación canadiense, hizo una primera caracterización del SAR. Luego fue el MGAP para su programa PRENADER, la Facultad de Ingeniería (FING) con fondos CONICYT-BID y MVOTMA y la Dirección Nacional de Hidrografía (DNH) con aportes del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), todo entre 1990 y 2005.

El trabajo integral que aquí se describirá se realizó con la finalidad de presentar a las autoridades del agua una serie completa de herramientas que permita poner en práctica un primer plan de gestión y preservación del SAR.

La vigilancia de la calidad y la prevención del riesgo de sobreexplotación de los recursos hídricos subterráneos es una tarea que debe asumirse con

responsabilidad técnica y política, mediante una adecuada reglamentación de su uso y una gestión responsable y coordinada entre autoridades, especialistas y usuarios.

La actualización del banco de datos y la disposición del mismo de modo más amigable, la generación de mapas de consulta rápida (mapa hidrogeológico y mapas de calidad química), la selección de una red óptima y una red mínima de monitoreo de niveles de agua y calidad, la actualización del modelo matemático de flujo y la preparación del modelo matemático de transporte, la revisión de la carta de vulnerabilidad a la contaminación y los elementos de control aplicados por el estado uruguayo para la preservación y uso de sus acuíferos, son los productos resultantes de esta investigación y, a su vez, los insumos para el plan de gestión del SAR.

Base de datos

El principal banco de datos de perforaciones del país lo reúne la DINAGUA. Esta información fue puesta a disposición del proyecto. Constaba al inicio de la actividad de 467 perforaciones en el área de estudio, con información del perfil litológico del pozo, caudal y volumen de explotación autorizado, niveles estático y dinámico y ubicación de filtros o niveles de aportes.

El registro de perforaciones se había decretado pocos años atrás, y no es obligatorio para usos domésticos. Por lo tanto, el número de perforaciones registradas es mucho menor a la realmente existente, y el análisis de consistencia de sus datos implicó un proceso laborioso.

OSE colaboró con datos de perfiles litológicos y caudales de explotación en 50 perforaciones, 40 de ellas con aforos o con ensayos de bombeo.

Los bancos de datos de los proyectos anteriores aportaron 177 perforaciones más, principalmente con información litológica e hidráulica.

En la Base de Datos sólo se incluyeron perforaciones tubulares, en un número final de 131 (Figura 2). Los criterios de selección fueron los siguientes: perforaciones totalmente penetrantes, uniformidad de los datos en función de la proximidad de las perforaciones, singularidades zonales del acuífero en profundidad, áreas con mayor productividad y sectores donde el SAR presenta dos capas diferenciadas.

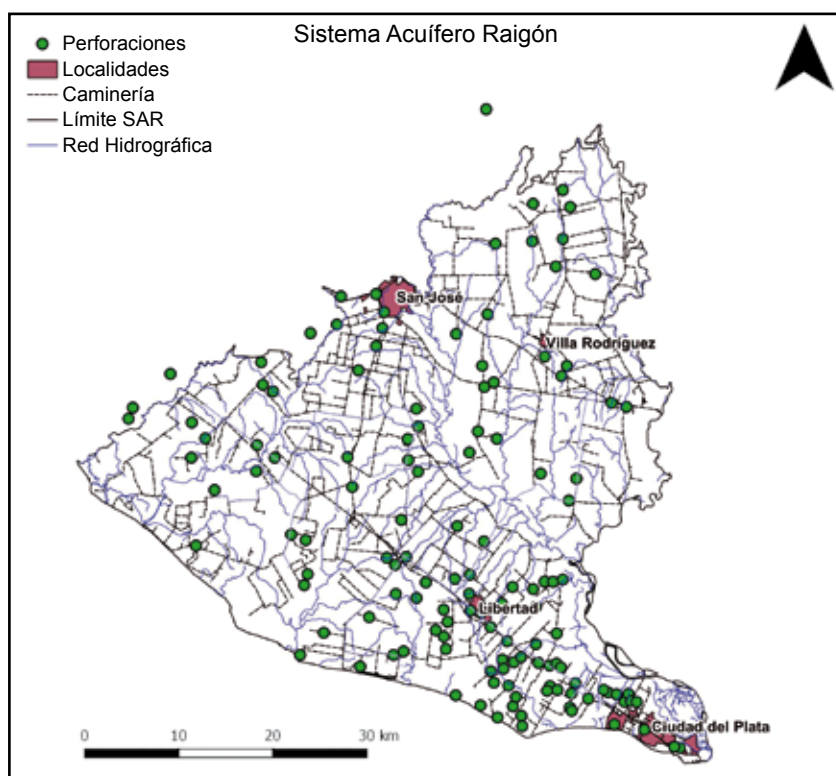


Figura 2. Base de datos de perforaciones

Ensayos de bombeo

En 1997 la Facultad de Ingeniería, en el marco del Proyecto CONICYT-BID, construyó varias perforaciones con sus pozos de observación y ejecutó ensayos de bombeo para la determinación de los parámetros hidráulicos transmisividad y coeficiente de almacenamiento, a los que se sumaron datos aportados por la OSE. La Figura 3 presenta la cobertura existente.

La transmisividad varía desde 100 m²/d hasta 2200 m²/d, prevaleciendo valores entre 300 m²/d y 1400 m²/d en toda el área del SAR. El coeficiente de almacenamiento varía entre 1.10-5 y 1.10-2.

Cabe destacar que en la zona central del acuífero, bajo la capa de arcilla de la formación Libertad, la formación Raigón presenta tres o cuatro metros de arenas y gravas secas hasta el nivel acuífero. En ese espacio se producen las oscilaciones de nivel hidráulico.

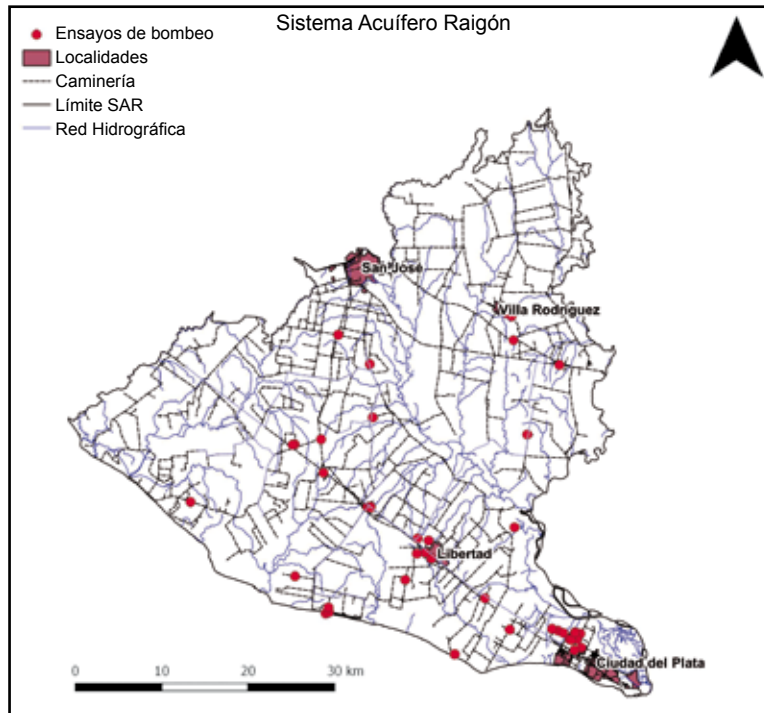


Figura 3. Datos de ensayos de bombeo

Datos históricos de niveles estáticos

Del banco de datos de la DINAMIGE se contó

con la siguiente información: 666 datos, medidos en 45 oportunidades, en 18 pozos, entre octubre de 1986 y setiembre de 2014, con un período sin datos entre 2009 y 2012 (Figura 4).

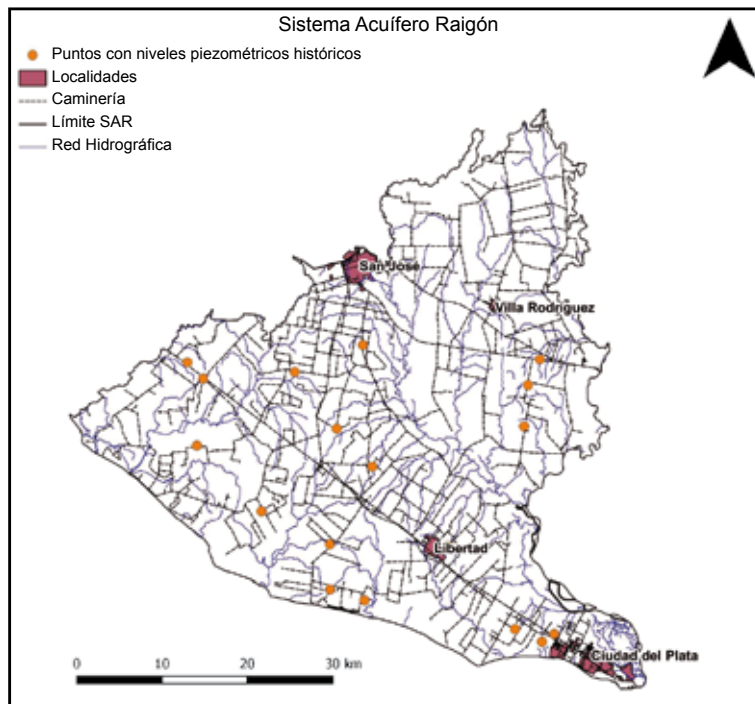


Figura 4. Datos de niveles piezométricos históricos

Climatología

El Instituto Uruguayo de Meteorología facilitó los datos de las estaciones pluviométricas que se encuentran en la cuenca y los datos climatológicos de la estación San José, agregándose luego

las medidas de la estación meteorológica Las Brujas, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA). La frecuencia de toma es diaria. La ubicación de las estaciones se muestra en la Figura 5.

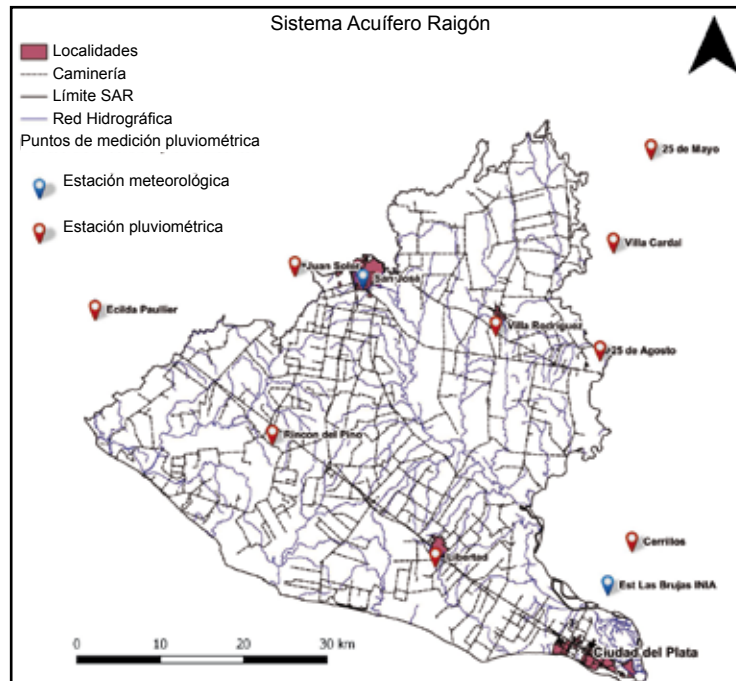


Figura 5. Datos climatológicos

Completan la información reunida los mapas de suelos, las actividades productivas en la cuenca y la hidroquímica e isotopía antecedente. El banco de datos se implementó en el sistema de información geográfico de uso libre **QGIS**.

Geología de superficie

El estudio geológico se llevó a cabo en los primeros años de trabajo del Grupo de Hidrología Subterránea de la Facultad de Ingeniería sobre el acuífero (1997-2001). La Figura 6 presenta las formaciones de cobertura y subyacentes a la formación Raigón, así como sus áreas de afloramiento.

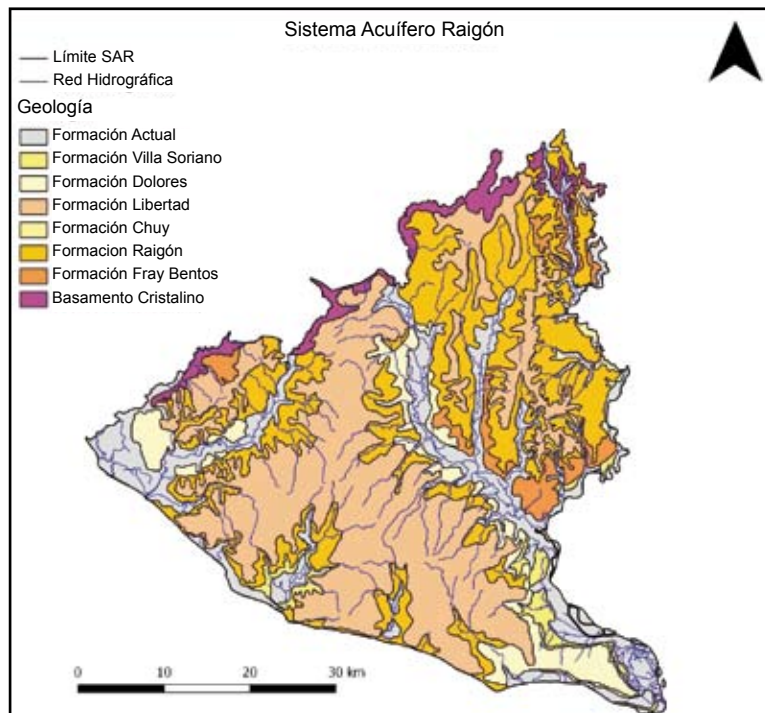


Figura 6. Geología

Hidroquímica

Los estudios integrales antecedentes se realizaron en distintas perforaciones con sus muestreos, análisis y caracterización hidroquímica. Por tal razón era primordial reunir y considerar toda la información del banco de datos, reanalizarla en su conjunto y evaluar la evolución de los iones a través

del tiempo, tomando los resultados anteriores como la base histórica y efectuando nuevos muestreos y análisis en los pozos seleccionados mediante métodos geoestadísticos de optimización para definir la red de monitoreo de niveles y calidad del agua. Los resultados se presentarán en el capítulo correspondiente al mapa hidrogeológico. La Figura 7 reúne los puntos de muestreo actual.

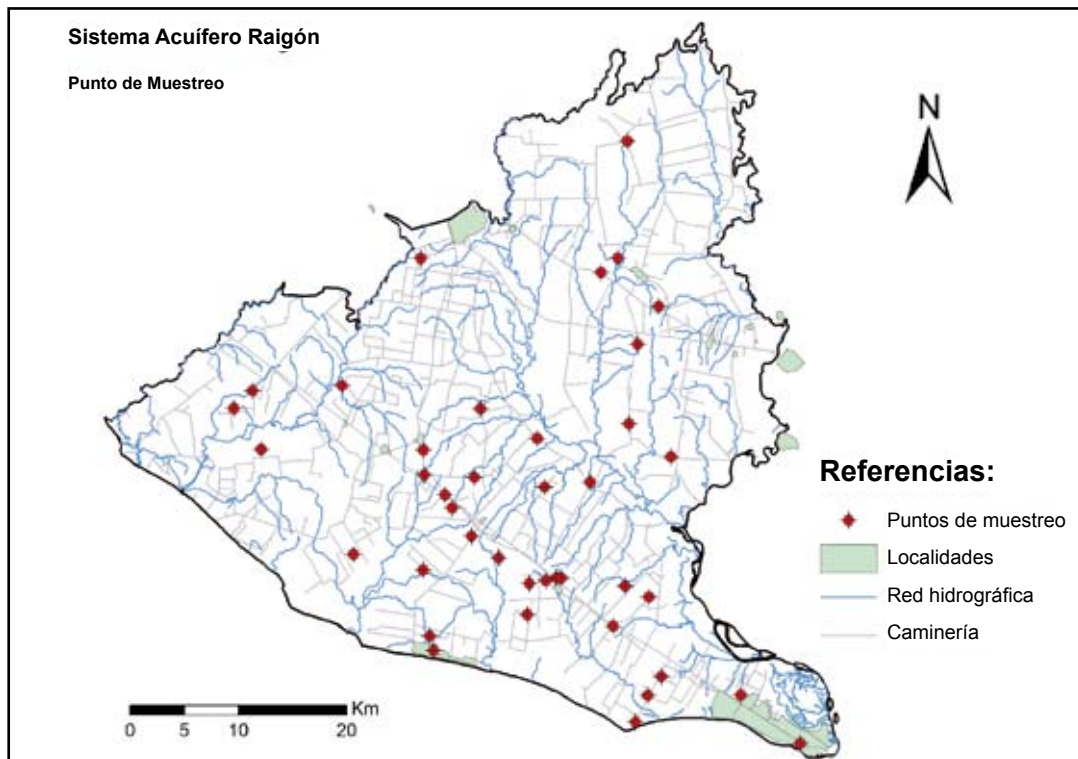


Figura 7. Puntos de muestreo hidroquímico en 2015-2016

Consumo de agua

Se estimó en 33,4 hm³/año el consumo actual

de agua del SAR. Las principales actividades consuntivas en el área de estudio se sintetizan en las Figuras 8 y 9.

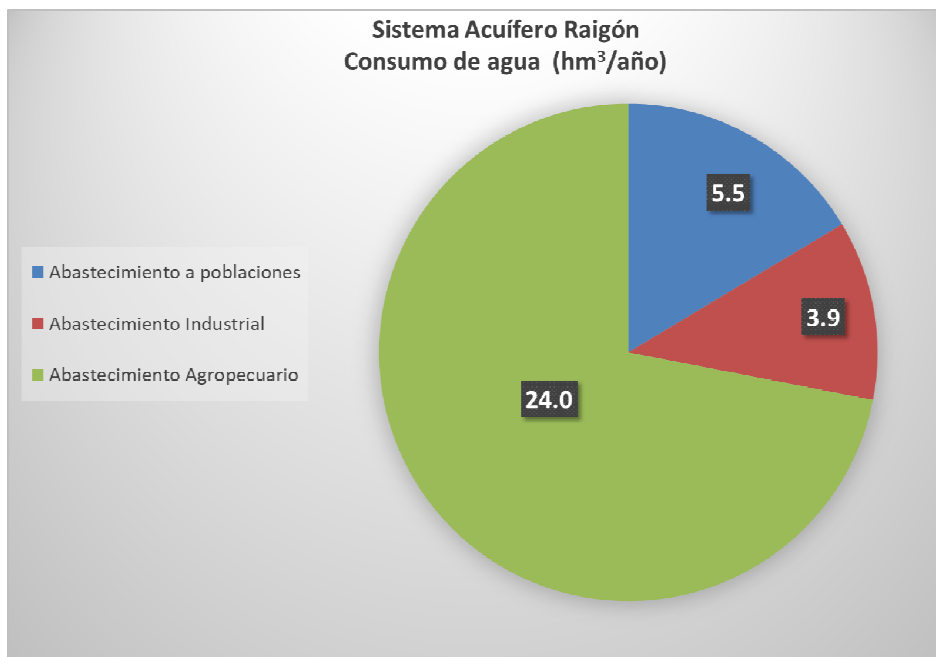


Figura 8. Distribución principal del consumo

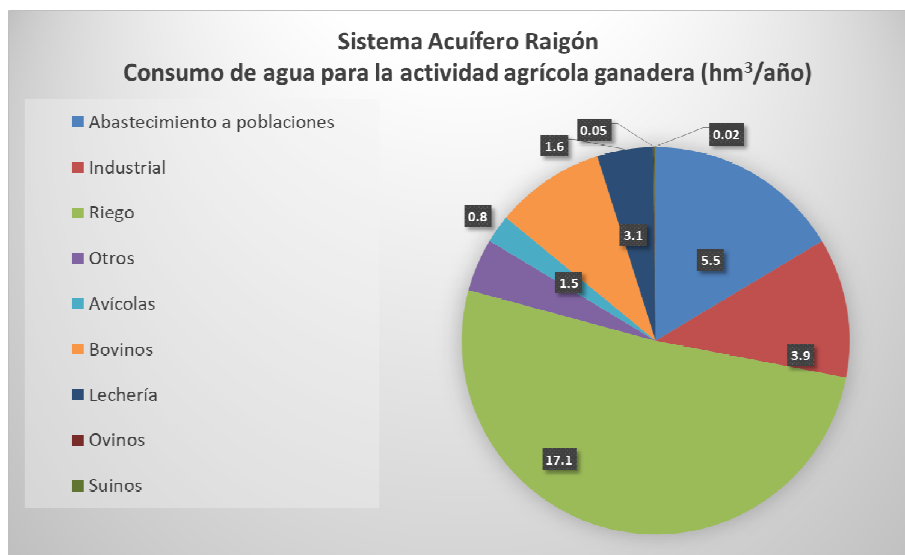


Figura 9. Distribución del consumo general y el consumo agropecuario

Desarrollo de herramientas para la gestión del SAR

El Sistema Acuífero Raigón tiene como principal atributo su fácil acceso al nivel acuífero, la buena calidad del agua para producción y los altos caudales de extracción que proporcionan la mayoría de sus perforaciones bien construidas.

De este modo, todas las actividades productivas que se fueron asentando sobre el área se sustentaron y satisficieron de agua subterránea con inversiones razonables.

A lo largo de los años, se fue reglamentando su uso y se adjudicaron permisos temporarios renovables de extracción.

El conocimiento del SAR era suficiente para una gestión primaria, pero en la actualidad la demanda se incrementó y debe ser adecuada a la recarga interanual.

Un plan de gestión basado en las características físicas, hidráulicas y ambientales del sistema es la forma correcta de implementar acciones de control.

Con el banco de datos ya definido, fue posible estudiar y determinar las variables necesarias para implementar acciones de control y uso correcto.

Así, se procuró definir la recarga de la manera más segura, por ser determinante en el uso sustentable

del agua, asegurando que será siempre mayor o igual al consumo autorizado en un breve período interanual.

La recarga tiene relación directa con los niveles hidráulicos en el acuífero y con la calidad química del recurso.

La modelación matemática permite elaborar un esquema cierto de funcionamiento del sistema, cuantificando ingresos y extracciones, proyectando el crecimiento de la demanda y restringiendo el uso en las zonas comprometidas.

La elaboración de mapas temáticos (hidrogeológico y de vulnerabilidad) complementa de modo práctico la definición de políticas adecuadas.

Variables determinantes para la modelación

Recarga

Se trabajó mediante dos modalidades para la obtención de esta decisiva variable: El balance de la deposición atmosférica de cloruros y el balance hídrico mediante software computacional específico (Visual Balan).

En el primer caso se instalaron tres estaciones de captación de agua de lluvia, al norte, centro y sur del área. Este proceso necesita de varios años de observación, por lo que sólo se pudo realizar una estimación tras el primer año de medidas,

arrojando como resultado 56 hm³, equivalente a 31mm de lluvia percolada. La cantidad resulta pequeña para las oscilaciones manifestadas por el acuífero.

En el segundo caso, el balance hídrico ejecutado a nivel del techo del acuífero tras sustraer las descargas, en promedio significó 93mm (recarga

equivalente al 9% de la precipitación), el triple que en el caso anterior.

Se ilustran los resultados para este caso. Las estaciones calibradas se escogieron de acuerdo al agua disponible en el suelo, reagrupando en tres unidades a efectos de reducir las seis presentes, de acuerdo a similitud de comportamiento: Tala-Rodríguez, Kiyú y Libertad (Figura 10).

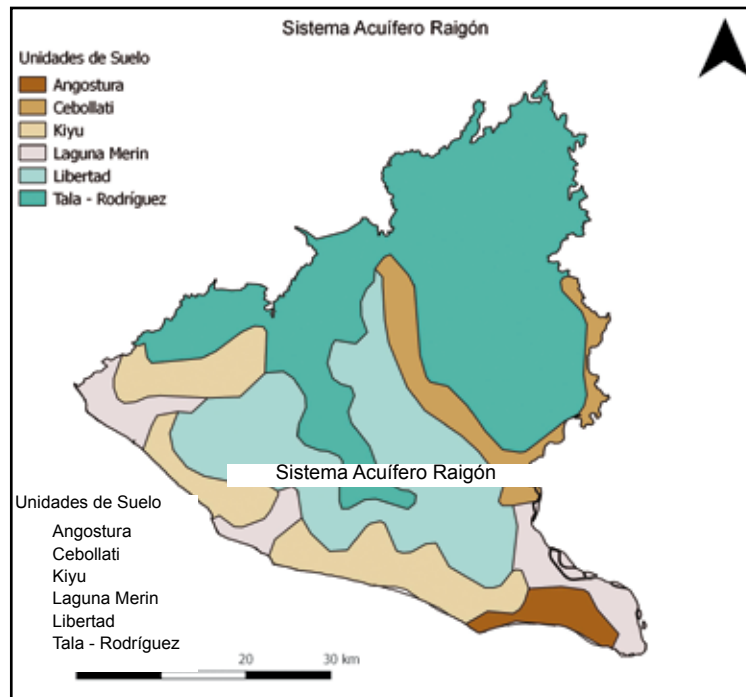


Figura 10. Agrupamiento de suelos para el balance hídrico

La Tabla 1 presenta los resultados para cada unidad.

Tabla 1. Balance hídrico por unidad de suelo

	Kiyú	Libertad	Tala-Rodríguez
Precipitación	1003	1003	1003
Evapotranspiración real	697	709	723
Escurrentía superficial	153	186	199
Flujo preferente	7	98	49
Recarga en tránsito	153	106	80
Flujo hipodérmico	17	14	17
Recarga (Promedio: 93 mm)	134	87	58
Caudal total	320	293	285

Por último, las Figuras 11, 12 y 13 muestran los ajustes entre niveles medidos y calculados en el proceso de calibración del modelo Visual Balan para cada zona.

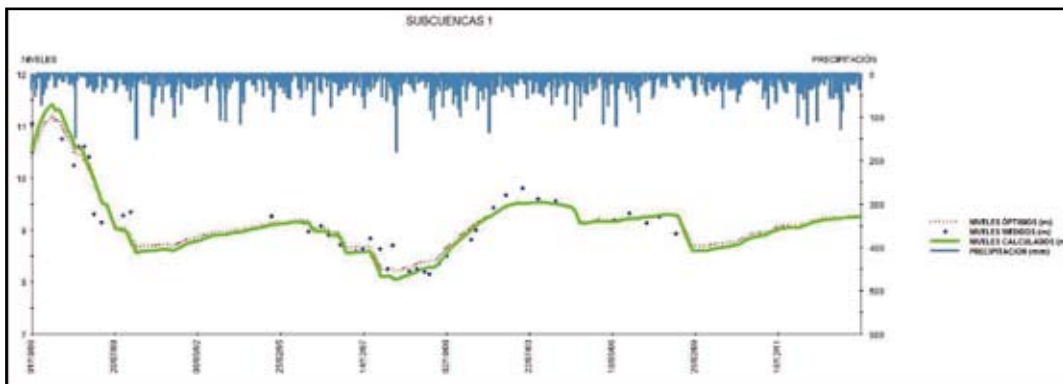


Figura 11. Niveles medidos vs calculados Suelo Kiyú

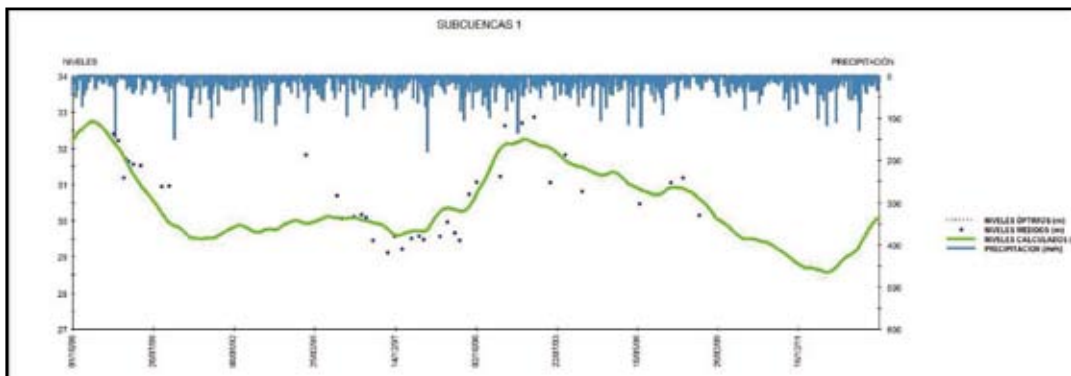


Figura 12. Niveles medidos vs calculados Suelo Libertad

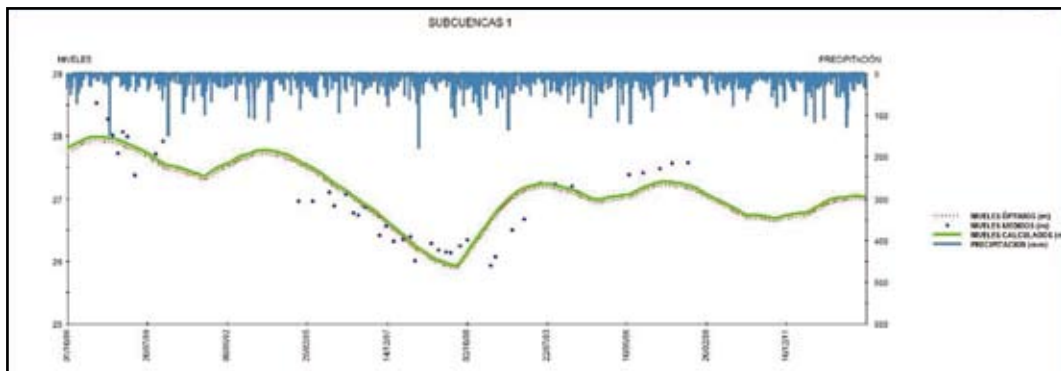


Figura13. Niveles medidos vs calculados Suelo Tala-Rodríguez

Piezometría

Los niveles de agua del Sistema Acuífero Raigón son medidos desde 1986 por la DINAMIGE con relativa regularidad, totalizando 30 años con datos de niveles piezométricos que vuelca en informes periódicos disponibles en internet. Sin embargo, la información completa no fue entregada por el Ministerio de Industria y Energía para esta investigación.

La Facultad de Ingeniería en 1999 realizó una campaña de tres días en su propia red de monitoreo, obteniendo un mapa piezométrico que se tomó como punto de partida. Con pozos de aquella red, más pozos nuevos en zonas de datos escasos, se realizaron dos mediciones, en 2015 y 2016. Los tres mapas resultantes se muestran en las Figuras 14, 15 y 16.

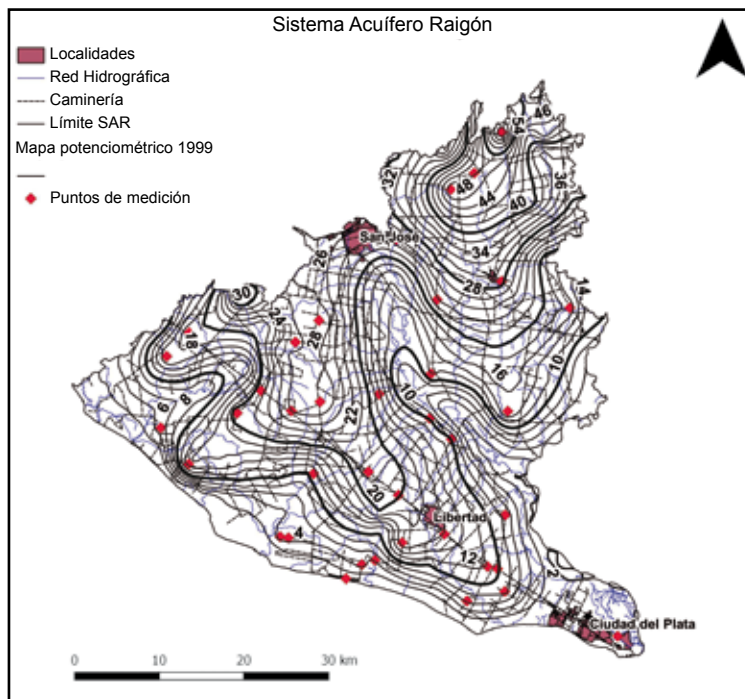


Figura 14. Mapa potenciométrico del SAR 1999

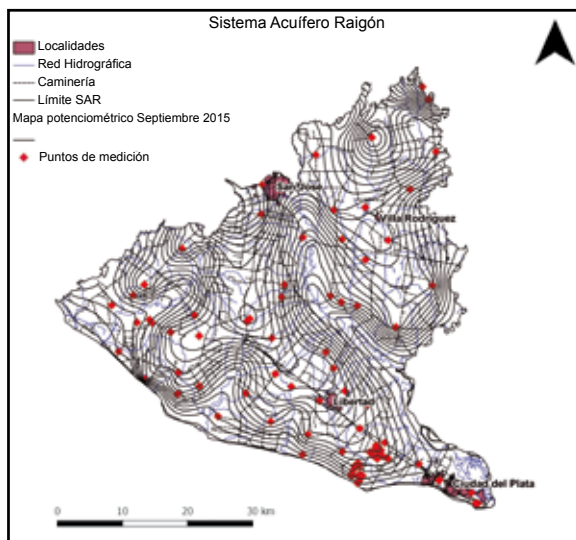


Figura 15. Mapa potenciométrico del SAR 2015

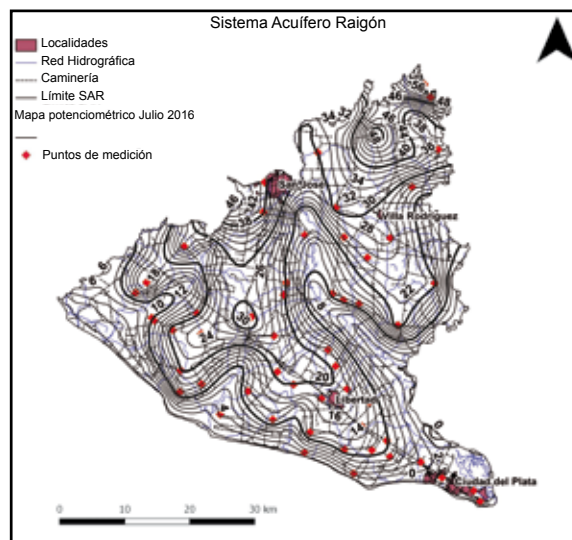


Figura 16. Mapa potenciométrico del SAR 2016

Puede observarse que la variación de los niveles hidráulicos en el acuífero son insignificantes, tanto para el lapso de 16 años (1999-2015) como para el período 2015-2016, notándose incluso un ascenso de niveles en la zona noroeste, por donde ingresa la mayor parte de la recarga. Cabe destacar que las mediciones de 2015 y 2016 se efectuaron tras la selección mediante métodos geoestadísticos de una red óptima de pozos de monitoreo, que redujo a 90 puntos la red de mediciones.

Modelación numérica

Etapa 1. Modelo conceptual

El modelo conceptual de un acuífero explica el funcionamiento y la interacción de las distintas componentes del sistema que gobiernan la dinámica de las aguas subterráneas, tales como la ubicación de zonas de recarga, la interacción con cursos de agua y las características hidráulicas e hidrogeológicas del acuífero.

La recarga se produce principalmente en los afloramientos y subafloramientos de la formación Raigón, a mitad de los flancos del domo piezométrico que se observa en la parte central. Esto es compatible con la existencia del domo, pero a su vez suaviza la zona de piezometrías altas bajo el piso de la formación, y justifica que los primeros metros del acuífero no se hallen saturados. El menor ingreso se produce por los domos y en mayor grado por los afloramientos y subafloramientos de la formación Raigón.

La descarga del sistema ocurre por los cursos de agua que drenan sus cuencas superficiales. Los arroyos interiores San Gregorio, Mauricio, Luis Pereira, del Tigre, al Sur y los arroyos Castellanos, Gregorio y Sauce, asociados al río San José, son influentes, tal como los arroyos Sauce Grande, Cagancha y Sarandí Grande. El río San José, a través de sus afluentes, recibiría el agua subterránea del SAR, asegurando su flujo base. El cierre del contorno se completa con el arroyo Pavón, el río de la Plata, el río Santa Lucía y el arroyo de la Virgen, que son sitios de descarga importantes del sistema, directamente o a través de algunos de los arroyos interiores. Los afloramientos rocosos en cercanías de la ciudad de San José, al Norte y al Oeste, terminan cerrando el sector restante.

Al Sur de San José, km 88 de la Ruta 3, el acuífero tiene un espesor mínimo entre 0,5 m y 2 m, con escaso rendimiento (2 a 5 m³/h). En cercanías de la Ruta 1 cambia rotundamente su productividad (60-80 m³/h) a partir de Villa María, donde las perforaciones producen hasta 10 m³/h.

En el estrechamiento del acuífero, coincidente con el km 34 de la Ruta 1, los sedimentos acuíferos pertenecen a la formación Chuy, que tiene continuidad hidráulica con la Formación Raigón.

La zona central y sur tienen las mejores productividades y en algunos sectores de la Ruta 11 se extraen también caudales importantes.

Los sedimentos acuíferos son continuos. La granulometría va desde arenas finas arcillosas hasta gravas limpias. En general, el espesor productivo no supera 20 m y el piso se halla siempre a menos de 100 m de la superficie del terreno.

Etapa 2. Modelo de flujo

El objetivo de la modelación del flujo subterráneo es simular, con base al conocimiento actual, el funcionamiento del acuífero, analizar distintos escenarios futuros de explotación y su incidencia en el comportamiento hidráulico del sistema modelado.

El proceso completo consta de dos etapas:

1. La calibración en régimen estacionario de los niveles piezométricos calculados con los observados en el año 2015
2. La calibración en régimen transitorio para un período de 28 años (período 1986 – 2014, de los niveles observados en 18 perforaciones pertenecientes a la red de monitoreo de la DINAMIGE).

Se utilizó el software ModelMuse, de licencia gratuita. Corresponde a la interfaz gráfica de MODFLOW-2005, desarrollado por el U.S Geological Service (USGS).

El SAR fue representado geoméricamente por una sola capa, con piso en la Fm Camacho o en la Fm Fray Bentos, y como techo se consideró el

límite superior de la Fm Raigón o la base de la Fm Libertad, según los casos que se presentaran.

Pese a que existen zonas en las que la Fm Raigón se compone de dos capas separadas por un estrato arcilloso, se optó por modelar todo el acuífero como una sola capa, debido a que el estrato inferior es el más productivo y por ende el más explotado. La mayoría de las perforaciones analizadas captan agua de ambas capas. El área se discretizó en celdas de 500 m por 500 m.

La geometría del modelo se construyó a partir de los 131 pozos con datos completos. Para la interpolación se ajustó un modelo esférico de semivariograma teórico al semivariograma experimental.

El límite sur del acuífero se modeló mediante una condición de carga constante que representa el nivel de descarga del acuífero en el río de la Plata. Para todas las celdas limitantes con la frontera sur del modelo se impuso una carga constante, variando entre las cotas 0 m. y 2 m.

Los ríos San José y Santa Lucía, los arroyos Mauricio, San Gregorio, Luis Pereyra, Pavón, Delta del Tigre, Cagancha y Carreta Quemada se definieron como condiciones de borde de carga constante. La cota de fondo de cada curso de agua, se definió en base a la información de topografía obtenida con el modelo digital de terreno, mientras que el nivel de agua se fijó entre 1 m y 2 m sobre el nivel del fondo. La Figura 17 muestra la discretización y las condiciones antedichas.

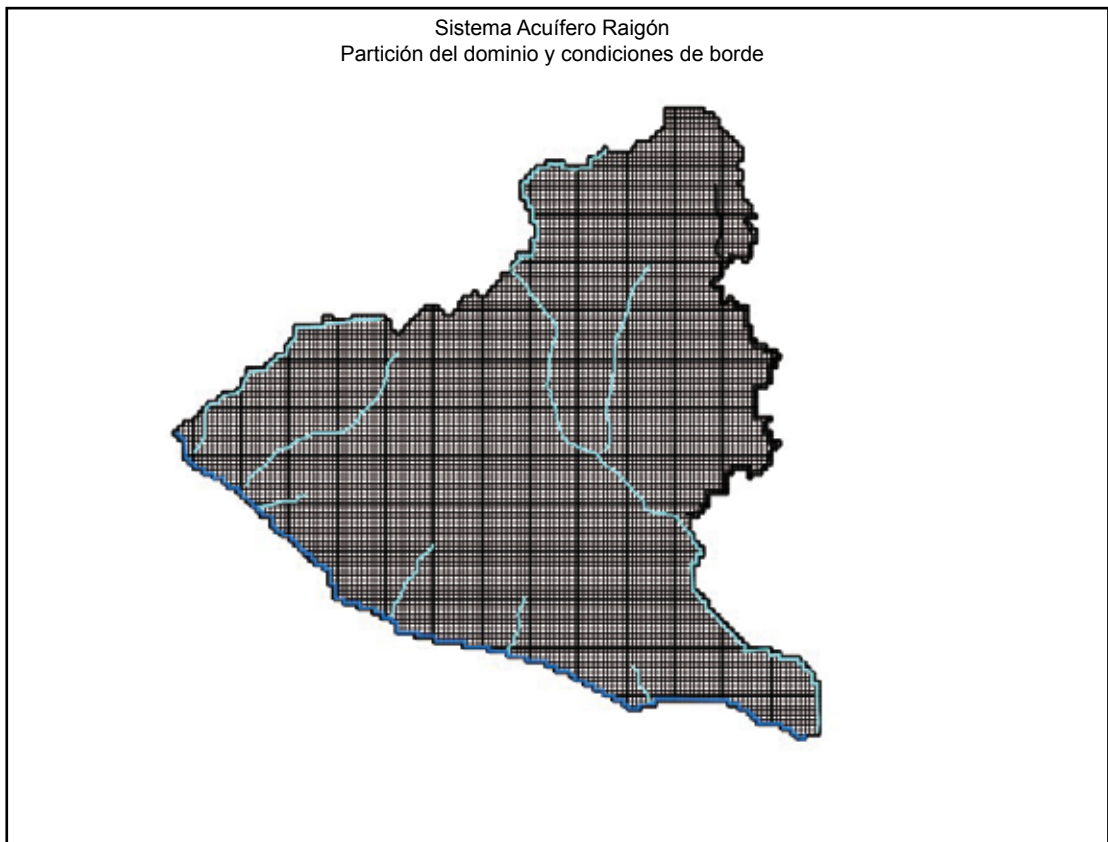


Figura 17. Discretización del dominio de modelación y condiciones de contorno

Los caudales de explotación actualizados se tomaron de los datos de la DINAGUA según los permisos

otorgados con vigencia al momento. La Figura 18 representa los caudales ingresados al modelo.

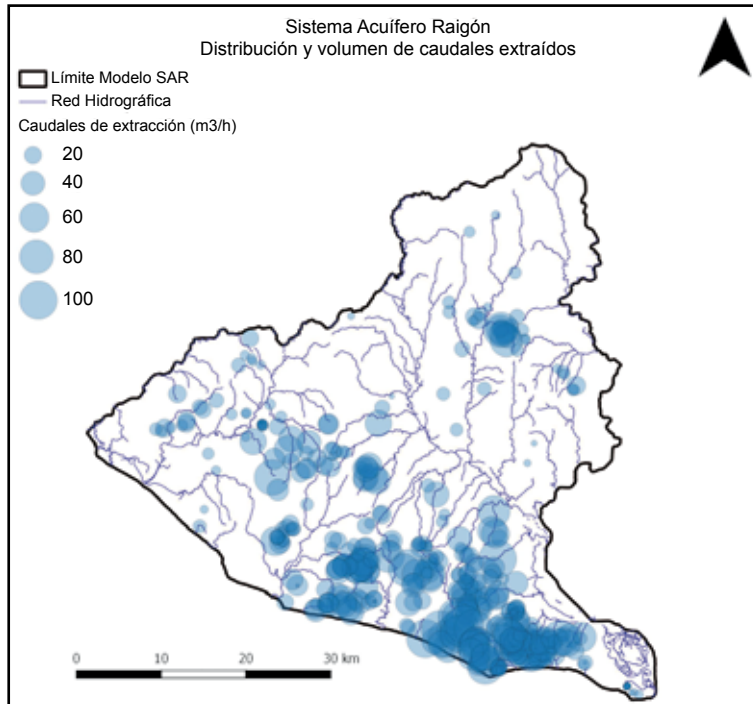


Figura 18. Permisos de extracción de agua otorgados por la DINAGUA

Los datos de conductividad hidráulica y recarga ingresados al modelo fueron los descritos en los capítulos precedentes. Los niveles piezométricos para el régimen estacionario pertenecen a los datos de las campañas 2015 y 2016.

Finalmente, se procedió a calibrar estas cargas hidráulicas medidas con las cargas hidráulicas simuladas mediante el modelo numérico en estado estacionario.

El ajuste del modelo puede verse en la Figura 19 y en la Figura 20 la piezometría simulada.

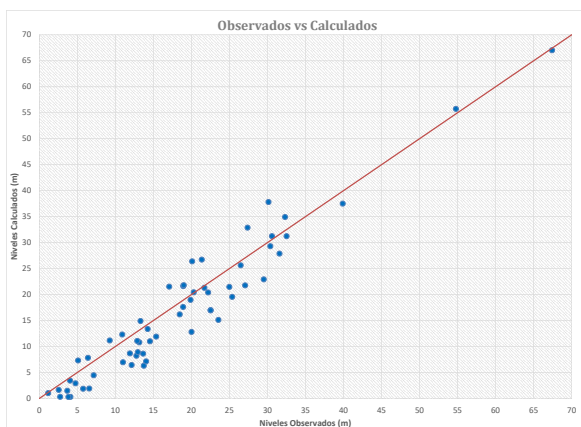


Figura 19. Niveles hidráulicos comparados

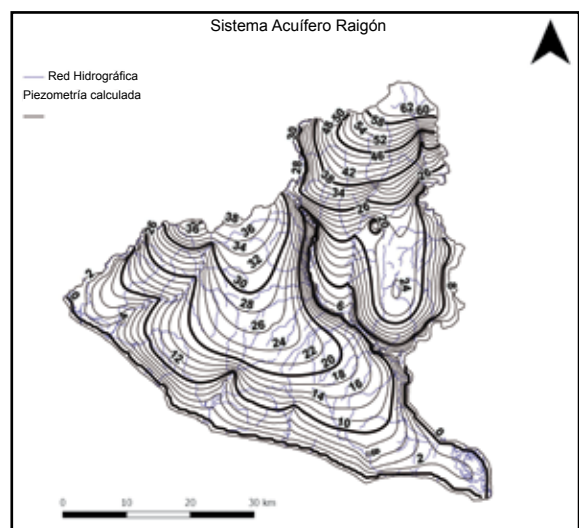


Figura 20. Piezometría simulada (Estacionario)

En el estado transitorio, se cargaron los datos del coeficiente de almacenamiento. El período de simulación se inició en 1986 y se culminó en 2013, tomando un paso de tiempo anual y modificando la distribución de la recarga, a la par que se ajustaban los coeficientes de almacenamiento y la conductividad hidráulica. La calibración en los 18 pozos representativos tuvo el ajuste que se puede observar en la Figura

21. En la Figura 22 se presenta el ajuste de los datos y la simulación para el área más productiva del SAR (San Gregorio) y en la Figura 23 la ubicación de los pozos sobre el acuífero. Con el modelo calibrado en estados estacionario y transitorio puede simularse cualquier situación a la que quiera someterse el acuífero, variando sin restricciones las demandas en cantidad, espacio y tiempo.

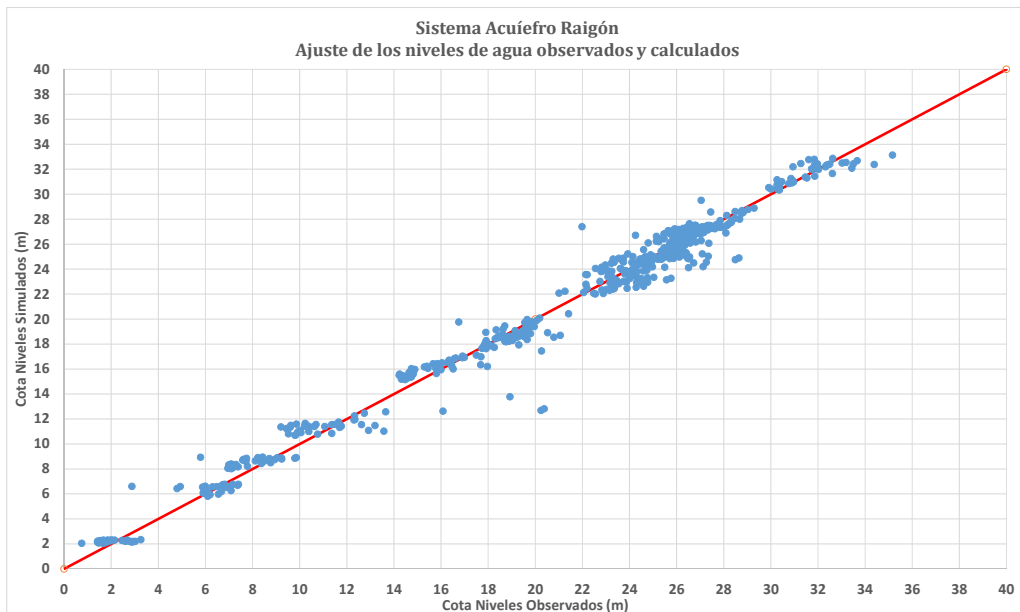


Figura 21. Niveles hidráulicos comparados (estado transitorio)

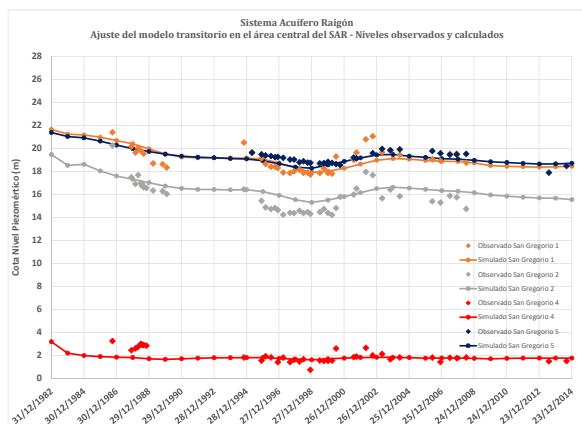


Figura 22. Área central (San Gregorio)

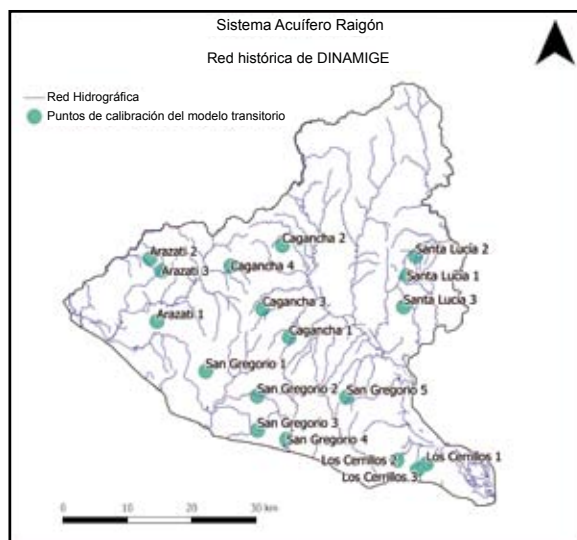


Figura 23. Pozos utilizados para la calibración

Etapa 3. Modelo de transporte

En el pasado nunca se había intentado realizar un estudio del transporte de contaminantes en el sistema acuífero. Si bien Raigón es el recurso hídrico subterráneo más solicitado en el país, el cambio de prácticas productivas que priorizó el cuidado del medio ambiente en las últimas dos décadas permitió una disminución de la incipiente contaminación antrópica que asomaba en 1990, y no hizo necesario instalar y disponer de una herramienta de prevención que merece su implementación. El ion nitrato, que a finales del siglo anterior presentaba valores puntuales de hasta 45 mg/l, en la actualidad y por el citado cambio de prácticas (especialmente en los tambos) redujo a una decena la cantidad de partes por millón de este indicador de contaminación.

Una vez calibrado el modelo de flujo en régimen estacionario, se implementó a través del paquete MT3DMS, el modelo numérico preliminar de transporte.

El ciclo del nitrógeno en los suelos agrícolas abarca un conjunto de transformaciones y procesos de transporte en el suelo que influyen en la incorporación de compuestos de nitrogenados en mayor o menor volumen al flujo subterráneo. Otros factores de incidencia dependen de las actividades desarrolladas en la superficie del terreno, la naturaleza y espesor de la zona no saturada, el régimen de pluviometría y la existencia de sistemas de riego, entre otros. En consecuencia, el proceso de transporte en el suelo y la zona no saturada, es un problema muy complejo en el que interviene un gran número de variables, que deberá ser objetivo de determinación cuidadosa en el futuro.

El objetivo en esta etapa apunta a implementar una primera y simplificada simulación del transporte de nitrato en medios porosos, acoplada al modelo de simulación de flujo ya calibrado. A partir de

los resultados del modelo y de la información disponible sobre los usos del suelo se analizarán posibles correlaciones entre el desarrollo de actividades potencialmente contaminantes y zonas con alta concentración de nitratos.

Los resultados del modelo representan una primera aproximación a la problemática y los mismos deberán ser considerados como indicadores cualitativos. Esta primera herramienta puede ser complejizada en el futuro, para definir en detalle la problemática de la introducción y transporte de contaminantes en el Sistema Acuífero Raigón.

Se obtuvo información del MGAP sobre el tipo y número de actividades productivas agrícolas y ganaderas por sección policial, como posibles generadores de las cargas de nitratos que ingresan al acuífero.

Se utilizó la información obtenida de los 40 análisis de agua efectuados en el proyecto, así como información de análisis realizados por la OSE. Sólo se consideraron los análisis representativos de la calidad de agua del acuífero, quitando aquellos que mostraban clara incidencia de fuentes puntuales de contaminación.

Los nitratos llegan al acuífero a través de la recarga. Con base en la zonificación por secciones policiales se definieron las cargas de nitrógeno (Kg/ha/año) que deben ingresar al acuífero para reproducir los valores de concentraciones promedio observados para cada zona. La Figura 24 define las secciones policiales.

Cabe mencionar que para el presente modelo no se consideraron procesos de reducción de los niveles de nitratos en el acuífero. Se asume que las concentraciones de entrada al modelo ya fueron afectadas por eventuales procesos de desnitrificación en la zona no saturada.

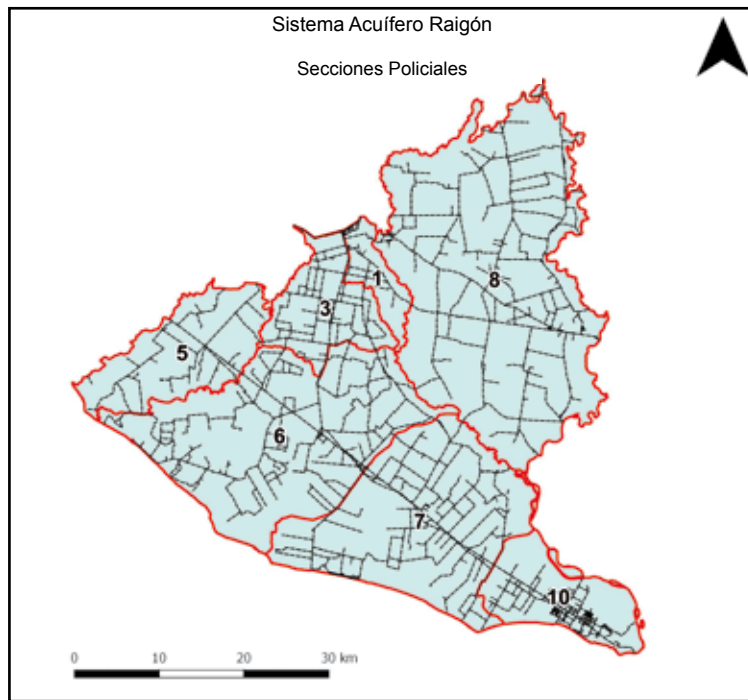


Figura 24. Secciones policiales en el acuífero Raigón (Fuente INE)

La Figura 25 muestra las concentraciones de nitratos en los pozos utilizados para la modelación. En base a las concentraciones puntuales se definen los valores de concentraciones promedio en el

acuífero para cada zona de ingreso de nitratos, definidas a partir de las secciones policiales y las áreas de recarga.

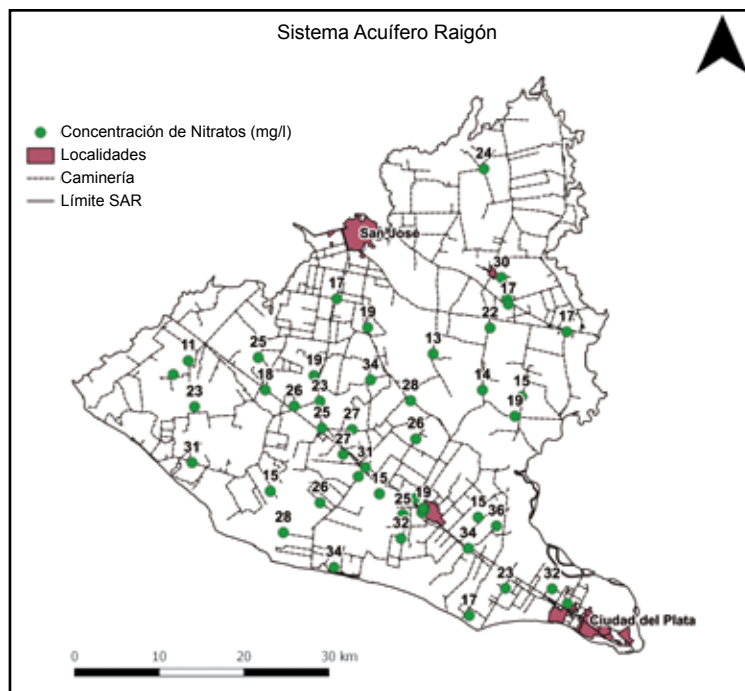


Figura 25. Concentraciones de nitratos en el acuífero

La calibración del modelo de transporte reproduce las concentraciones promedio de nitratos para cada zona definida. Variando las cargas (kg/ha/año) de nitrato aplicadas, se comparan las concentraciones

promedio simuladas con las concentraciones observadas. La Figura 26 muestra los resultados obtenidos.

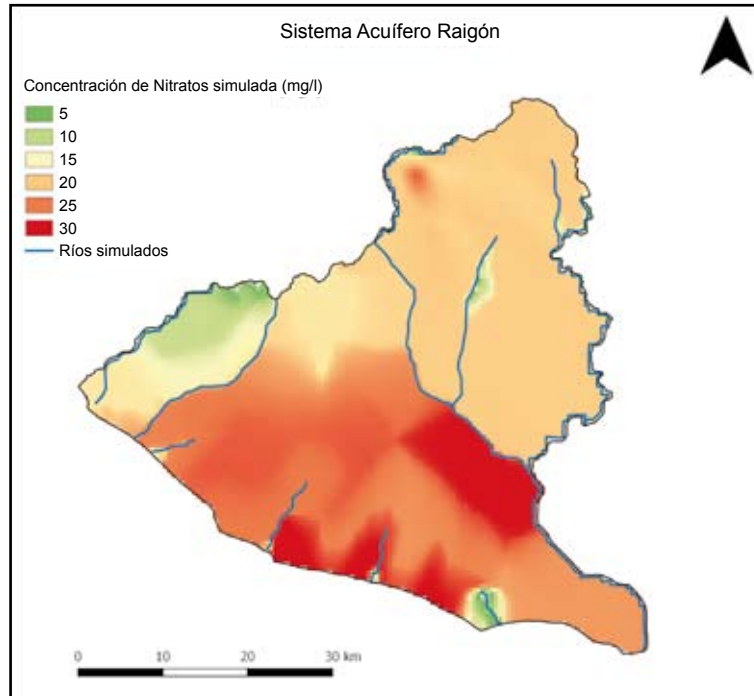


Figura 26. Concentraciones simuladas de NO₃

Los valores de concentraciones de la variable, observadas y calculadas, se presentan en la Tabla

2, y la recta de ajuste en la Figura 27.

Tabla 2. Concentraciones de NO₃ promedio en mg/l

Zona	Concentración NO ₃ simulado	Concentración NO ₃ observado	Nº Puntos
2	24.5	25.2	6
3	25.0	24.3	10
5	26.2	28.2	5
6	24.6	23.9	10
7	14.3	14.0	2
9	19.5	19.2	10
17	23.0	23.3	3
20	18.3	19.0	1
21	17.0	17.0	1

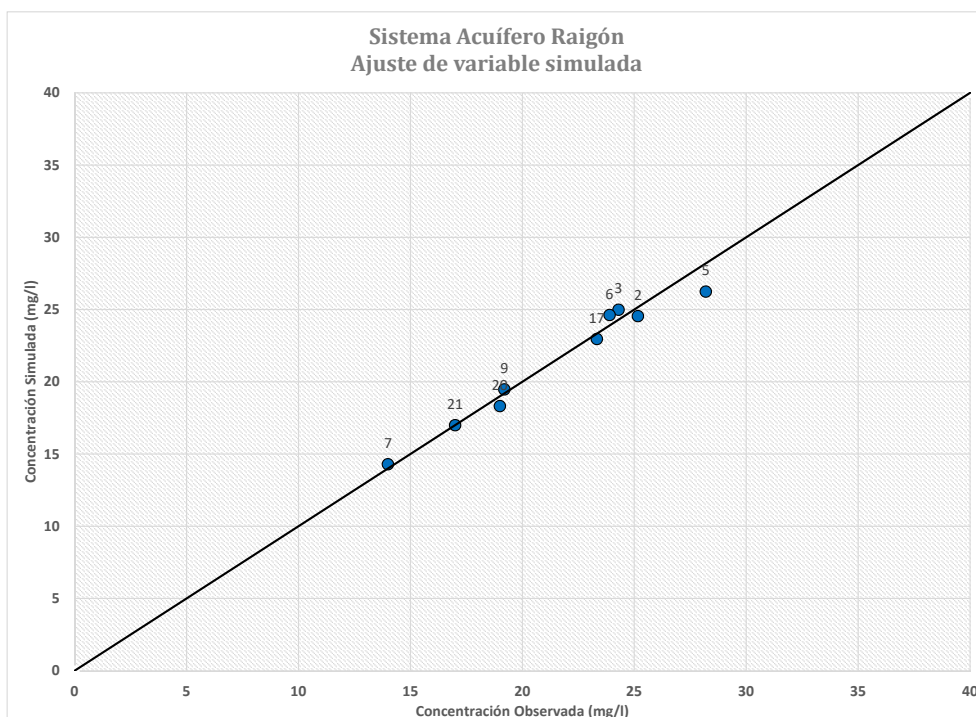


Figura 27. Ajuste de las concentraciones de NO_3 promedio simuladas y observadas por zona

El desarrollo del modelo preliminar de transporte permitió identificar una importante variación espacial del ion nitrato a escala local. Para representar correctamente el efecto de fuentes puntuales de contaminación y sus efectos sobre perforaciones concretas se deberían desarrollar modelos anidados de menor escala y de mayor resolución.

Se plantean dos posibles líneas de desarrollo: La primera asociada a mejorar el modelo de transporte actual mediante la incorporación de mayor información sobre la distribución espacial de las actividades potencialmente contaminantes y la carga efectiva de nitratos que las mismas producen. Se debería complementar con estudios para caracterizar los posibles procesos desnitrificadores que tienen lugar en el acuífero para obtener una línea de base de concentraciones para las distintas zonas del acuífero;

la segunda asociada a la implementación de modelos anidados para resolver situaciones vinculadas a la contaminación de perforaciones por fuentes puntuales, debiéndose identificar perforaciones comprometidas y las fuentes, implementando monitoreos y ensayos de campo para determinar fehacientemente los parámetros de transporte.

Herramientas complementarias

Mapa hidrogeológico

Toda la información reunida y generada en el proyecto, disponible en el banco de datos, permite definir un mapa de rendimientos del SAR en sus distintas áreas. La zona central al sur es altamente productiva, pero hay otras áreas de rendimientos dispares que deben ser caracterizadas para definir el emprendimiento de futuros desarrollos industriales o agrícolas bajo riego.

El mapa hidrogeológico es la herramienta que permite determinar en forma rápida las principales variables que hagan o no aconsejables una inversión.

Para su confección se utiliza un conjunto de datos geográficos, geológicos e hidráulicos: geología de superficie, topografía, hidrografía, geometría de las unidades geohidrológicas, funcionamiento del sistema (identificando las zonas de recarga, tránsito y descarga), productividad del acuífero y características hidroquímicas.

La Figura 28 es el mapa hidrogeológico principal escala 1:100.000. Muestra regionalmente la productividad del acuífero, dividida en

cuatro categorías: baja, regular, media y alta; además se presentan 35 perforaciones que se consideran representativas de cada región y sus características principales: profundidad del pozo, nivel estático, nivel dinámico y caudal específico, así como el perfil litológico de cada pozo, la piezometría, la presencia de la Fm. Libertad, los

principales cursos de agua en superficie y las rutas.

Presenta la información de caudales específicos de explotación esperables por región, así como las direcciones preferenciales de flujo del agua subterránea.

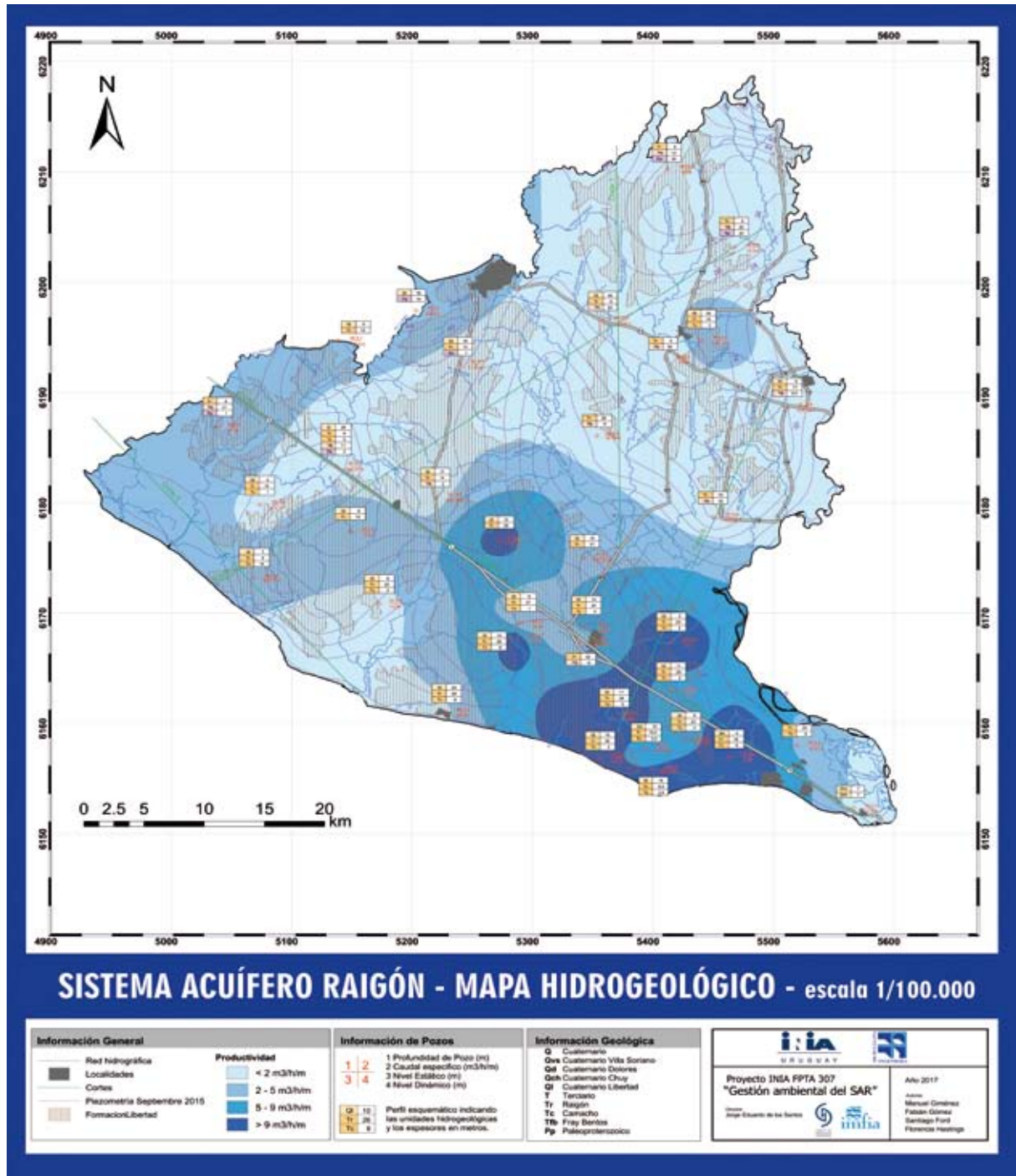


Figura 28. Mapa hidrogeológico del SAR

En el mapa general de calidad del agua y RAS 1:300000 (Figura 29) se destacan 40 perforaciones donde se muestrearon parámetros hidroquímicos en el año 2016 y 10 pozos de la OSE con información química del año 2013. En

cada punto se detallan las concentraciones de nitratos, sulfatos, arsénico, el valor de RAS para riego agrícola y las isóneas de conductividad eléctrica, interpoladas a partir de los 50 puntos con datos.

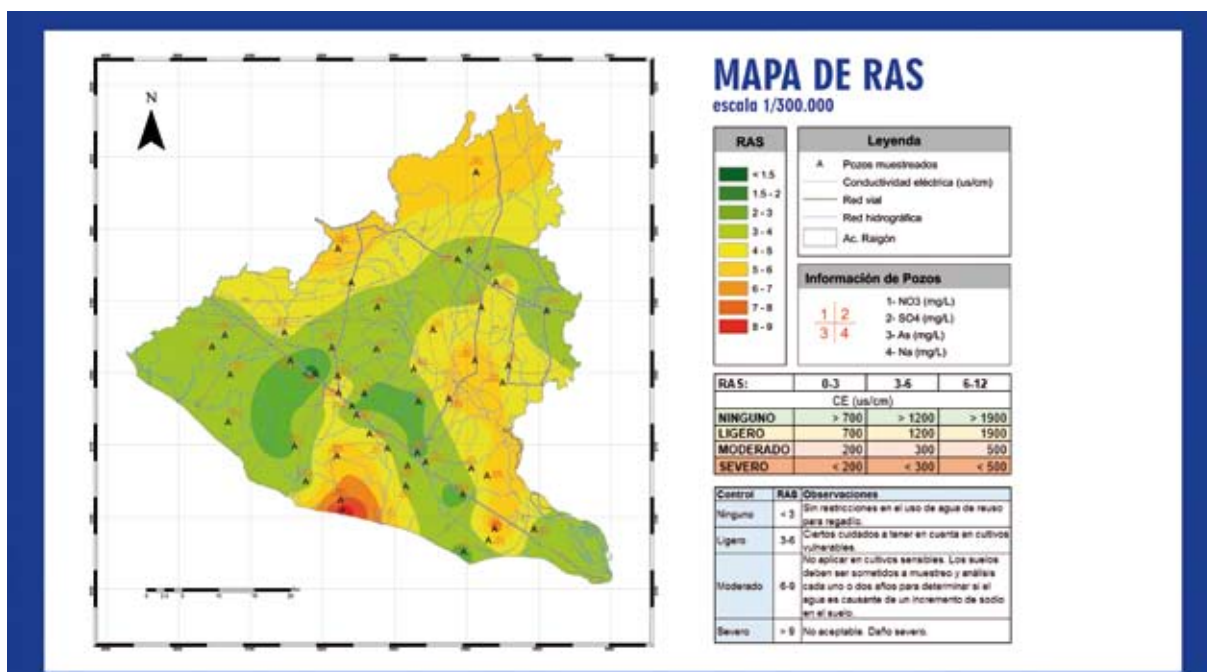


Figura 29. Mapa de calidad y RAS del SAR

Los mapas detallados por variable de interés se encuentran escala 1:400000. La Figura 30 presenta las concentraciones de nitratos en

el SAR, las concentraciones de sodio y las concentraciones de arsénico, todas con su distribución geográfica.

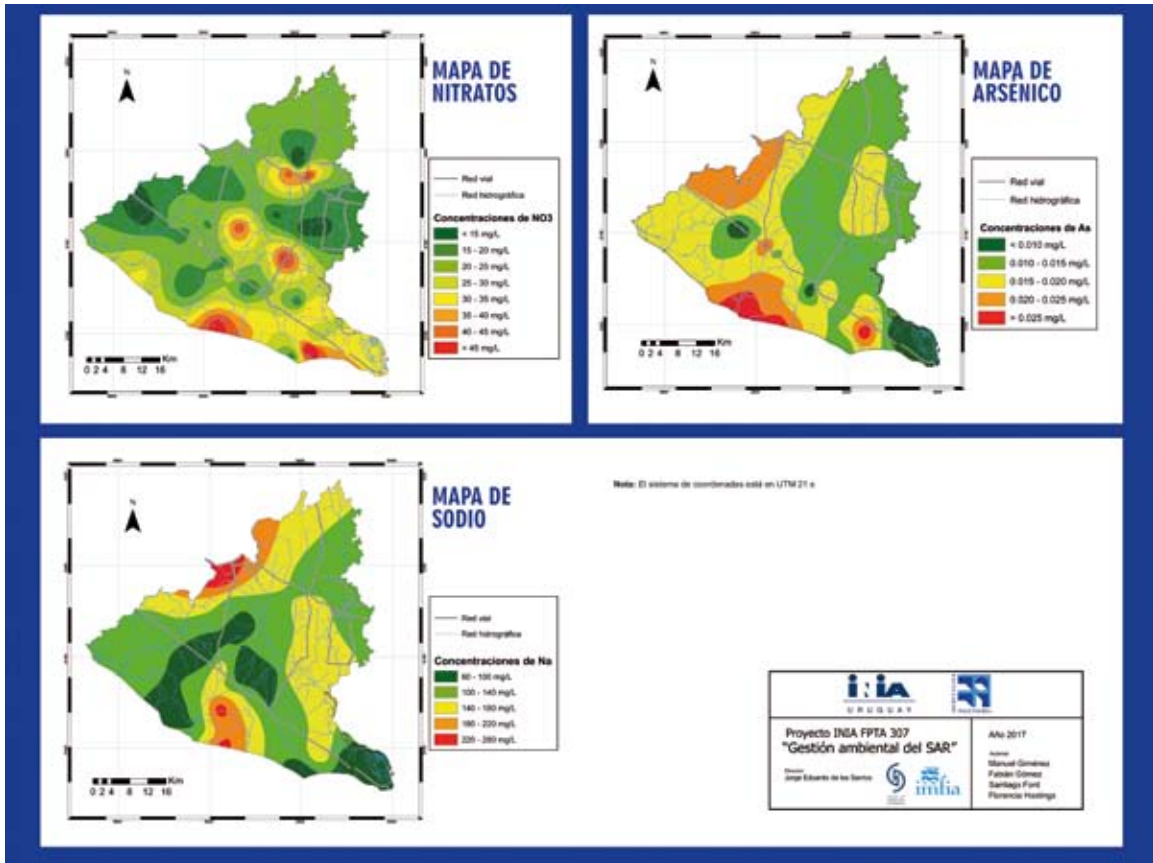


Figura 30. Mapas de concentraciones de arsénico, nitratos y sodio en el SAR

Con los perfiles de pozos representativos, la geología de superficie y la información de cortes

geológicos anteriores, se generaron cuatro cortes litológicos (Figura 31).

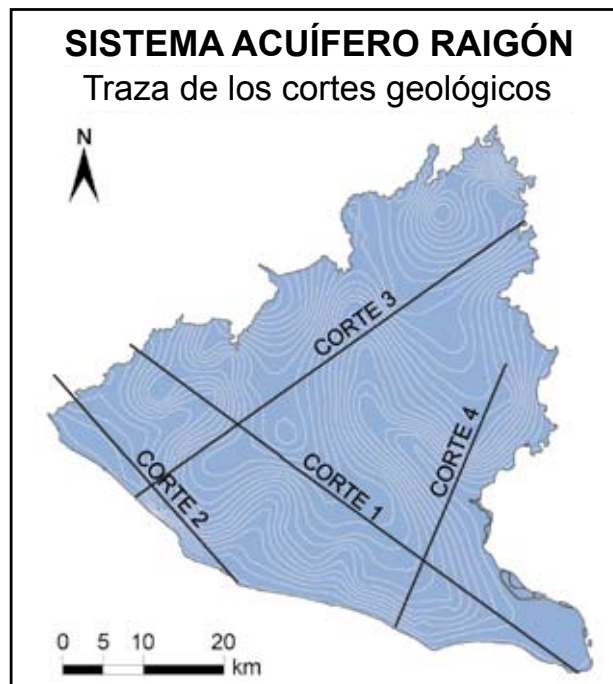


Figura 31. Cortes geológicos

Las Figuras 32 a 37 muestran los cuatro cortes nivel piezométrico. con su litología y dos cortes adicionales con el

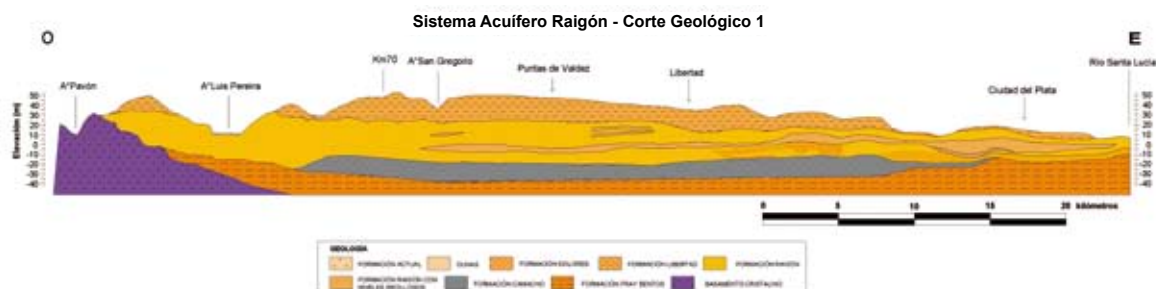


Figura 32. Corte geológico longitudinal 1

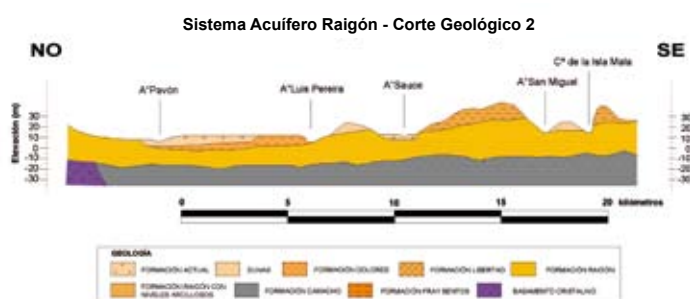


Figura 33. Corte geológico longitudinal 2

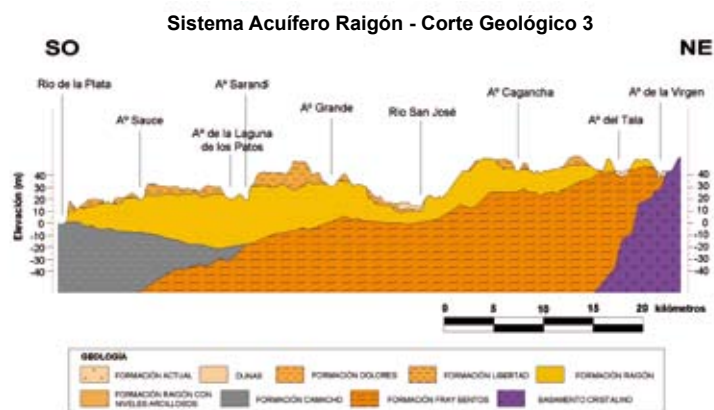


Figura 34. Corte geológico transversal 3

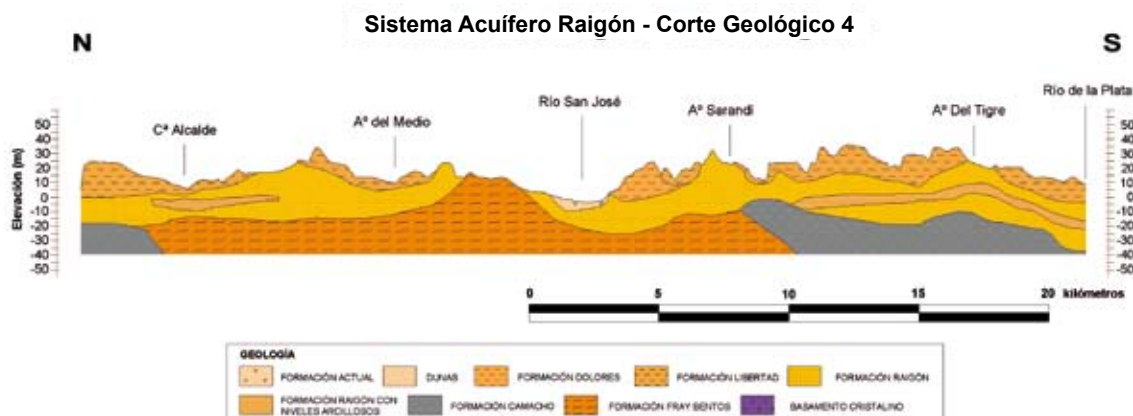


Figura 35. Corte geológico transversal 4 y formaciones presentes

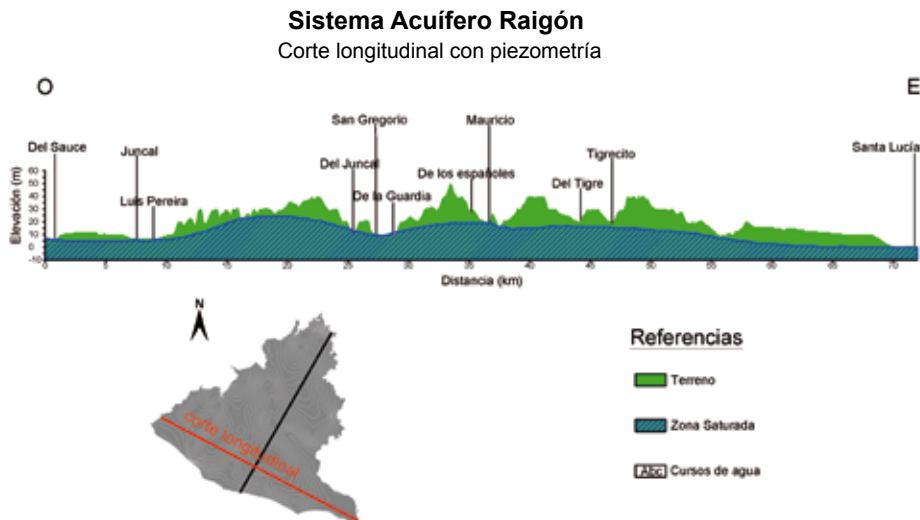


Figura 36. Corte longitudinal con niveles piezométricos

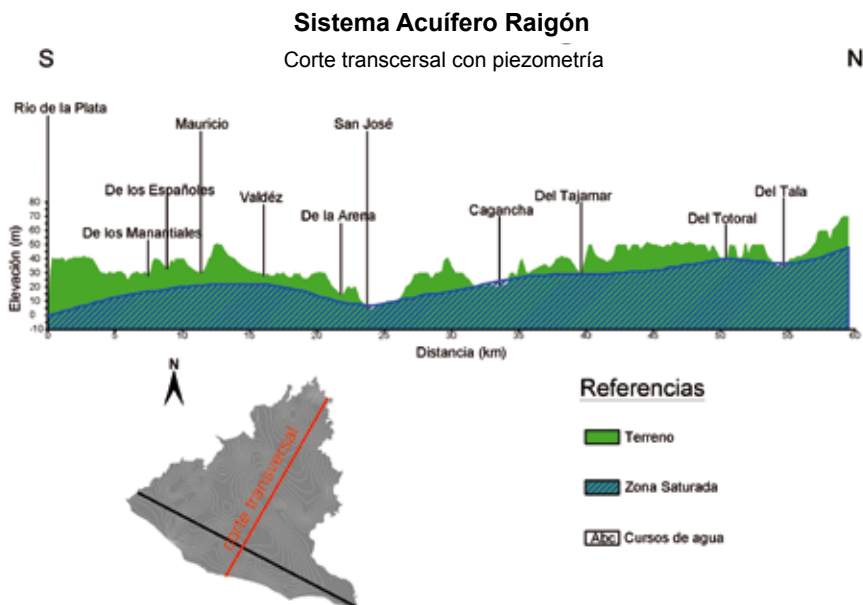


Figura 37. Corte transversal con niveles piezométricos

Carta de vulnerabilidad

La carta de vulnerabilidad ayuda al ordenamiento territorial y el cuidado del agua subterránea, considerando las áreas donde el sistema acuífero tiene mayor o menor susceptibilidad a la contaminación como consecuencia de las actividades antrópicas. Se trata de la susceptibilidad del medio a que un contaminante genérico aplicado sobre el terreno penetre y se disperse a partir del punto de ingreso. Se adoptó la metodología DRASTIC.

DRASTIC fue desarrollado por la E.P.A. (Environmental Protection Agency) de los Estados Unidos de América. Es un sistema paramétrico de evaluación e incluye siete características fundamentales que influyen o determinan el flujo subterráneo saturado y no saturado y los procesos de transporte de contaminantes hacia, a través y desde una región. Su aplicación está estandarizada, largamente avalada en trabajos en el mundo entero. Fue propuesta y descrita detalladamente por Aller et al. (1987).

Al ser la evaluación de DRASTIC cualitativa y regional, no es adecuada para enfoques puntuales y en áreas de pequeña extensión (áreas mayores a 40 Has).

Los factores más importantes, medibles, mapeables y que pueden estar disponibles, que controlan la contaminación potencial del agua subterránea son:

D- Depth to Water: Profundidad al acuífero

R- (Net) Recharge: Recarga neta

A- Aquifer Media: Litología del acuífero

S- Soil Media: Tipo de suelo

T- Topography (Slope): Topografía

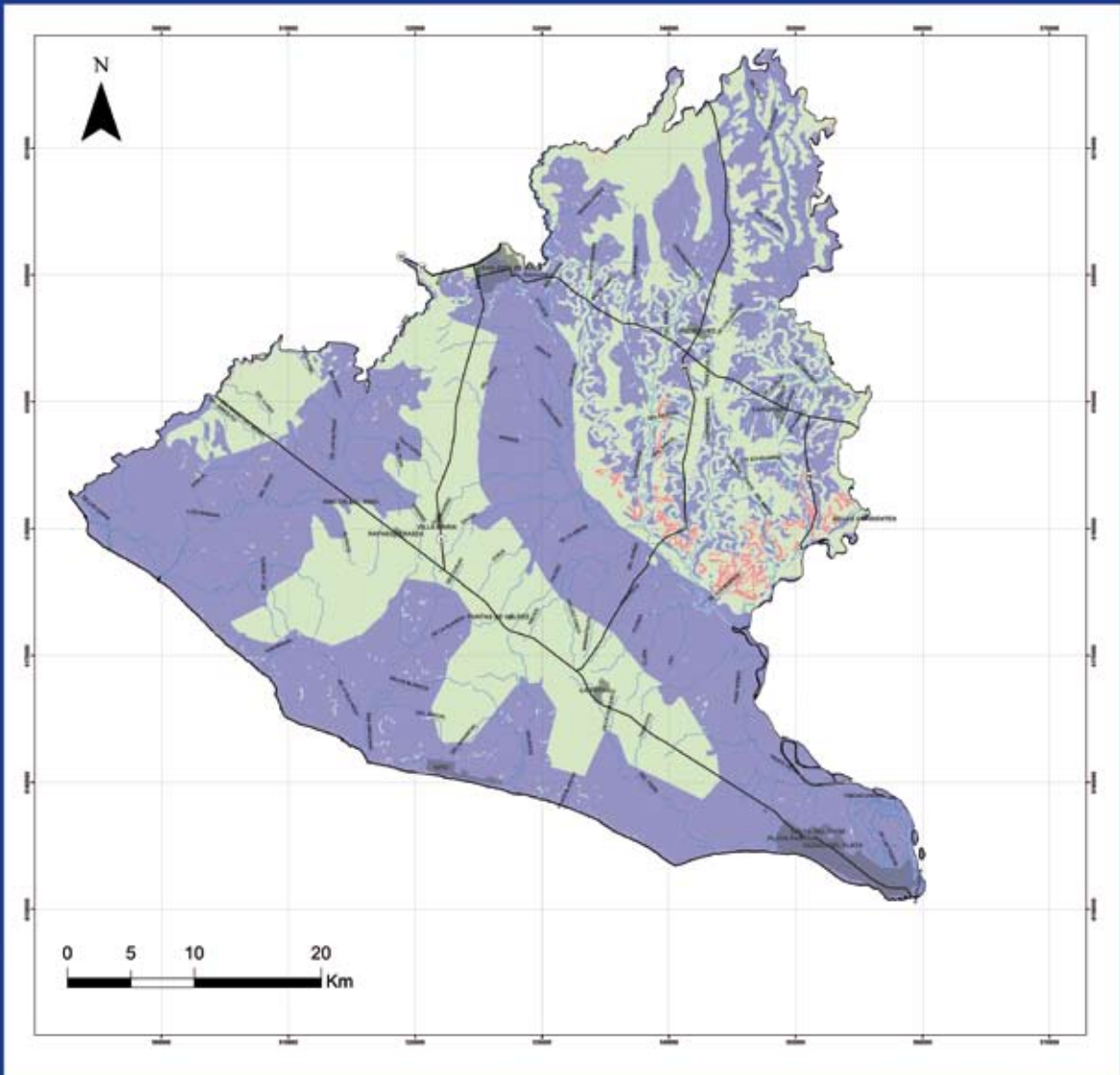
I- Impact of the Vadose Zone Media: Impacto de la zona vadosa

C- Conductivity (Hydraulic) of the Aquifer: Conductividad hidráulica en el acuífero.

DRASTIC concluye en un índice numérico que resulta de la suma ponderada de los siete parámetros del modelo. A cada parámetro se le asigna un puntaje de 1 a 10 según aporte menos o más a la vulnerabilidad y se considera un peso o multiplicador de ponderación de 1 a 5, según sea la importancia relativa de ese parámetro en el índice, obteniendo como resultado el índice de vulnerabilidad general.

Las áreas con índices entre 72 y 110 se agruparon en zonas de Baja Vulnerabilidad, las de índices 111 a 150 en zonas de Media Vulnerabilidad y las de 151 a 190 en zonas de Alta Vulnerabilidad. Esta división es relativa al área de estudio, es arbitraria y no se corresponde con ninguna clasificación absoluta de vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación.

La carta de vulnerabilidad se presenta en el informe a escala 1:250.000 (Figura 38).



CARTA DE VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL SISTEMA ACUÍFERO RAIGÓN
 escala 1/250.000

<p>Leyenda</p> <p>— Red hidrográfica</p> <p>— Red vial</p> <p>■ Localidades</p> <p>VULNERABILIDAD</p> <p>■ Baja</p> <p>■ Media</p> <p>■ Alta</p>	<p>VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN POR PLAGICIDAS</p>	<p>Notas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Este carta se realizó mediante el método DRASTIC, obteniéndose índices de vulnerabilidad entre 83 y 180 - Las áreas con índices entre 72 y 110 se agruparon en la zona de Baja vulnerabilidad, las de índices 111 a 135 en zonas de Media vulnerabilidad y las de 137 a 180 en zonas de Alta. - La división en áreas de baja, media o alta vulnerabilidad es relativa al área de estudio, es arbitraria y no se corresponde con ninguna clasificación absoluta de vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación. - Este carta no debe ser tomada para evitar o prohibir actividades en el territorio del área de estudio, pero sí como guía para poner más atención en las zonas marcadas como de mayor vulnerabilidad. - Por las características de este sistema acuífero, las zonas de mayor índice de vulnerabilidad se corresponden con zonas de alta renovación y con las áreas de descarga o cursos de aguas superficiales. En este caso, un contaminante que ingresa tendría mayor influencia sobre el resto del acuífero. 	
		<p>Proyecto INIA FPTA 307 "Gestión ambiental del SAR"</p> <p>Elaborado por: Arge Eduardo de los Santos</p>	<p>Año 2017</p> <p>Autores: Claudio Rosenthal, Manuel Gómez</p>

Figura 38. Mapa de vulnerabilidad a la contaminación

Esta carta debe servir como guía y no como un dato absoluto para tomar decisiones, avalar o prohibir actividades en el territorio del área de estudio. Es válida como información orientativa para destacar zonas de mayor vulnerabilidad y protegerlas ordenando estudios de mayor detalle.

Red mínima de monitoreo de niveles y control de calidad del agua

La red de monitoreo de niveles utilizada se compuso con 90 perforaciones, seleccionadas mediante métodos geoestadísticos de decisión óptima.

Como forma de monitorear la evolución de los niveles piezométricos a futuro, se plantea una

red mínima de monitoreo de niveles, utilizando el mismo criterio de la red óptima.

Una menor densidad de pozos de muestreo hace posible el seguimiento de la evolución del acuífero en áreas representativas y reduce los costos de operación.

La red mínima de monitoreo está compuesta por 10 pozos. Puede ser ampliada mediante la incorporación, por orden de importancia, de nuevos grupos de pozos en caso que se desee densificar los puntos de observación en un sector determinado. La Figura 39 muestra la ubicación de los pozos. En la Tabla 3 se presentan las coordenadas del pozo y el orden de prioridad para conformar la red.

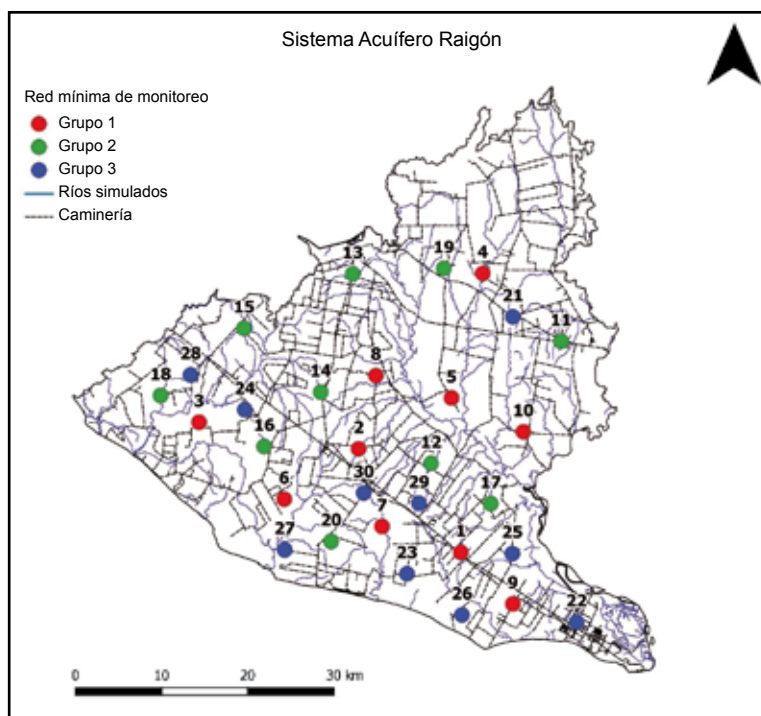


Figura 39. Red mínima de monitoreo de niveles por grupo de prioridad de pozos

Tabla 3. Pozos para conformar la red mínima de monitoreo y orden de prioridad

Orden de incorporación en la red	Este (m)	Norte (m)	Orden de incorporación en la red	Este (m)	Norte (m)
1	537734	6164673	16	514908	6176965
2	525869	6176696	17	541206	6170315
3	507345	6179787	18	502888	6182899
4	540286	6197070	19	535764	6197653
5	536653	6182613	20	522674	6165938
6	517234	6170840	21	543775	6192016
7	528591	6167656	22	551158	6156570
8	527879	6185214	23	531480	6162188
9	543778	6158678	24	512659	6181239
10	544998	6178676	25	543698	6164527
11	549372	6189164	26	537865	6157399
12	534276	6174985	27	517294	6164961
13	525182	6197012	28	506367	6185281
14	521480	6183284	29	532871	6170354
15	512571	6190686	30	526462	6171562

Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible

Desde un marco general, la **Gestión Ambiental** se define como la serie de actividades y políticas dirigidas a manejar de manera integral el medio ambiente en un determinado territorio, bajo las premisas del desarrollo sostenible: equilibrar el crecimiento de la economía, el aumento poblacional, el uso racional de los recursos y la protección y conservación del medio ambiente.

La gestión ambiental se halla dividida en diversas áreas legales, esenciales a la hora de definir las estrategias y acciones: política ambiental, ordenamiento territorial, evaluación del impacto ambiental, control de la contaminación, conservación de la vida silvestre y el paisaje y educación ambiental.

El **Desarrollo Sostenible** es el conjunto de políticas que permiten satisfacer las necesidades de las generaciones presentes, sin que por ello se vean comprometidas las capacidades de las generaciones futuras para hacer lo propio. Este concepto fue formalizado y usado por primera vez en 1987 en un documento conocido como "Informe Brundtland", fruto del trabajo que lleva a cabo la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas (ONU).

El objetivo primordial del Desarrollo Sostenible es definir proyectos viables y conciliar los aspectos económicos, sociales y ambientales de las actividades humanas.

Gestión Ambiental de los recursos hídricos subterráneos

La Gestión Ambiental de los Recursos Hídricos Subterráneos está ligada al concepto de Desarrollo Sostenible y consiste en las disposiciones técnicas y legales que deben regir el manejo de los acuíferos, equilibrando las demandas de utilidades desde el punto de vista económico, el incremento poblacional, el uso racional del agua en cantidad y calidad y la conservación del medio natural y sus servicios.

Este concepto involucra tanto el buen accionar en las operaciones como las políticas que los organismos reguladores del recurso implementen para su protección y uso adecuado.

La gestión se basa en áreas normativas y legales, tales como la política ambiental y la evaluación de impactos, prevención y tratamiento de la contaminación, educación ambiental y ordenamiento territorial.

Las etapas de un plan de gestión ambiental pueden resumirse en la secuencia:

Planificación, Implantación, Verificación, Actuación, Ajuste.

Un acuífero o un sistema acuífero es un componente del ciclo del agua en la región.

Representa un soporte de los procesos ecológicos existentes y sustenta variados servicios a los seres humanos: Es recurso para el abastecimiento a núcleos urbanos o rurales y para actividades económicas que se desarrollan en el territorio. Sus características hidráulicas pueden cambiar a causa de acciones antrópicas y del ordenamiento territorial.

Los recursos renovables de agua subterránea y las reservas existentes son limitadas; dependen del clima y son degradables por contaminación y salinización.

La demanda de recursos hídricos subterráneos en un país en desarrollo es siempre creciente. La posible oferta de recursos no tiene igual dinamismo. El límite superior depende de la recarga interanual, controlada por el clima, el territorio y las interacciones con las aguas superficiales.

En un modelo de desarrollo se establece una competencia entre los usos de agua y el medio ambiente y sus servicios, creciendo con la demanda. Como es imposible evolucionar sin impacto, se asume la necesidad de una negociación entre demandas administrables, más allá de la mera regulación de mercados ineficientes y sin reglas. Esta negociación parte de una valorización de lo vital, de derecho o esencial y fundamenta la existencia de una administración pública del agua y sus infraestructuras legales y normativas, con una concepción acorde con la Constitución y costumbres, un soporte ético-moral, el respeto a la iniciativa privada y una buena aplicación del principio de subsidiariedad.

Todo lo antedicho se traduce en **gestión**, apoyada en una **planificación** y en el marco de una buena **gobernanza**.

El plan de manejo ambiental de un acuífero es un instrumento complejo de planificación y administración, que se desarrolla en base a ejecución de proyectos, a programas de

conservación, uso adecuado y protección de las fuentes.

Las problemáticas a enfrentar con un plan de gestión se refieren tanto a la administración de la cantidad como de la calidad del agua subterránea.

La explotación intensiva del agua subterránea puede producir notables descensos piezométricos, con el riesgo de afectar a los cursos de agua superficial (merma de caudales, más dilatados estiajes e incluso secado permanente), posible subsidencia del terreno, cambios en la salinidad del agua, mayores costos de energía para la extracción, abandono de pozos y desecación de humedales.

La protección de la calidad del agua subterránea es un aspecto prioritario en el buen manejo. En general, está ligado a la contaminación antrópica por entrada directa o inducida de líquidos agresivos asociados a las aguas residuales domiciliarias o industriales, a los residuos sólidos urbanos, a los fertilizantes o plaguicidas remanentes de actividades agrícolas no controladas, a la ganadería intensiva, a la minería o a los pozos abandonados sin sellamiento o mal construidos, sin cementación o aislamiento de capas contaminadas.

El control de la contaminación se realiza de modo puntual o regional, con la fiscalización de la calidad constructiva de los pozos in situ y con la definición de perímetros de protección según las metodologías en uso, que requieren modos administrativos para su establecimiento y respeto.

Todos estos recaudos y procedimientos son de compleja implementación. En muchos países se ha fracasado en su definición y aplicación, o el resultado ha sido pobre. De ahí el interés en que la protección del SAR sea una acción piloto que pueda extenderse a otros acuíferos.

Esta propuesta, denominada **Gestión Ambiental del Sistema Acuífero Raigón**, cubre solamente la **Planificación**, primera etapa de un plan de gestión, recomendando y poniendo a disposición de los organismos que tienen a su cargo la administración del recurso subterráneo las herramientas necesarias para el conocimiento del sistema acuífero, para su control y para la elaboración de un Primer Plan de Gestión.

La implantación deberá contar con los recursos humanos, financieros y físicos que pongan en práctica lo considerado en la etapa de planificación. A través de auditorías ambientales podrá evaluarse la implantación del plan y mediante un posterior ajuste se podrá alcanzar el objetivo, que asegurará una mejora ambiental permanente y consolidará la política ambiental.

El SAR tiene particularidades que lo hacen elegible para el **Primer Plan de Gestión Ambiental de Aguas Subterráneas**:

1. Es el sistema acuífero más estudiado y conocido
2. Su modelo conceptual es sencillo
3. Sus modelos conceptual y numérico son compatibles y seguros
4. Sostiene la mayor cantidad de proyectos de riego con agua subterránea
5. Se desarrolla en un solo departamento de la división política del país
6. No se encuentra sobreexplotado y permite implementarle recarga en caso de ser necesario, generando reservorios adecuados
7. La cuenca subterránea tiene buen acuerdo con la cuenca superficial y puede integrarse a la misma para una gestión unificada
8. Presenta aguas ligeramente salinas y sodificadas, tenores de arsénico límite para bebida humana y presencia de nitratos, que comprometen su calidad requiriendo tratamiento.

La investigación aplicada al conocimiento de nuestras fuentes de agua subterránea es una deuda política. Se carece de una cartografía precisa donde se identifiquen los acuíferos detríticos, de doble permeabilidad y fisurados, que permita reagruparlos en sistemas acuíferos y relacionarlos con las cuencas de aguas superficiales. Para que pueda hacerse efectiva una reglamentación de su uso y cuidado dentro del Plan Nacional de Aguas es necesario determinar con precisión las áreas de recarga y descarga, el régimen de explotación actual, los modelos conceptuales avanzados o preliminares de funcionamiento y un censo de pozos, accesos y exposición de las aguas subterráneas a nivel de todo el país.

Lo citado hasta ahora, se refiere principalmente a la **cantidad** de agua en el subsuelo saturado.

El control de la **calidad** del agua es fundamental para la administración. Hoy se superpone su

vigilancia entre la DINAGUA y la DINAMA. Cuando las obras de extracción superan los 50 L/s deben acompañarse de un plan de impacto ambiental. Por obra de extracción se entiende al pozo, como unidad. Por lo tanto, las obras de riego que utilizan más de un pozo y superan en conjunto estos caudales, quedan exentas de presentar el plan de impacto, lo que es menester corregir, y tratarse al conjunto de pozos como unidad en cada proyecto productivo autorizado.

En los pozos puntuales, los requisitos revisados son aspectos técnicos que el solicitante completa a través del formulario de recepción y el formulario resumen, con un anexo donde se vuelcan los datos técnicos requeridos, disponibles en el sitio WEB del MVOTMA, Ciudadanía. Algunos de los datos reunidos son de dudosa efectividad en el control de calidad de la obra y excesivamente restrictivos, sin que esto conduzca a la protección al acuífero.

La Norma Técnica de Construcción de Pozos Perforados para Captación de Agua Subterránea (Ver Anexo), del 11/03/2004 y modificación del 30/06/2004, es el único instrumento que dispone la DINAGUA para gestionar los acuíferos en la actualidad (Decreto 86/004). Se comenta brevemente en el apartado siguiente.

Norma Técnica de Construcción de Pozos Perforados para Captación de Agua Subterránea

Las exigencias para el uso del agua subterránea se concentran en tres actores principales: La Administración, la empresa perforista y el usuario.

Las normas técnicas para la construcción de pozos indican que los trámites de permiso constan de dos etapas:

1.- el permiso de prospección mecánica, donde el usuario debe expresar a través del informe de un técnico hidrogeólogo su voluntad de uso del recurso, mediante el diseño de un cateo de reconocimiento, previendo formaciones a atravesar, caudal que se espera extraer y presentando el estudio hidrogeológico. Una vez otorgado el permiso, el futuro usuario debe contratar una empresa de perforación registrada y autorizada por la DINAGUA para construir el cateo.

2.- diseño final de la perforación, con los datos de la re-perforación, el detalle de las formaciones

atravesadas y sus aportes, cañerías y filtros utilizados, datos químicos de pH y conductividad eléctrica y ensayo de bombeo o aforo. El permiso de uso que se otorga es válido por 5 o 10 años, renovable, y genera un derecho de prioridad ante una nueva solicitud presentada en la cercanía.

El Decreto 86/004 se estructura en cuatro capítulos: 1- Disposiciones generales (4 artículos), 2- Del Contratista (9 artículos), 3- Del Técnico competente (2 artículos y su modificación) y 4- Especificaciones técnicas para el diseño de pozos y ejecución de obras (16 partes, 43 artículos).

Considerando que el control de los acuíferos se basa actualmente en este decreto, se estudió en el marco de este proyecto, con profundidad, cada uno de sus artículos y se recabó información sobre la aplicación del mismo en los 14 años que transcurrieran desde su promulgación.

Se trabajó comparándolo con reglamentaciones vigentes en diversos países, con un equipo profesional de amplio conocimiento en la materia. El producto alcanzado es una **Propuesta para la modificación de la Norma Técnica de Pozos**. En primer lugar, se propone un índice en caso que se prefiera establecer una nueva normativa, que anule la anterior. En segundo lugar, si se prefiriese continuar con la normativa actual, se presenta en dos partes el articulado, una primera con el cuerpo principal sustitutivo y una segunda, con disposiciones para obras de contratación pública y guía para obras de contratación privada.

Para la puesta en vigencia de un Primer Plan de Gestión, debería considerarse de antemano la corrección de estas normas, que tienen faltas técnicas en su concepción y generan, por ende, problemas en la lógica de su aplicación.

Considerando que próximamente el Plan Nacional de Aguas dispondrá el monitoreo del SAR, se propone definirlo en el marco de un **Plan Piloto de Monitoreo y Control de las Aguas Subterráneas**. De su aplicación se tendrían elementos para establecer una primera caracterización de acuíferos detríticos no consolidados en la nueva normativa, para regir la construcción y abandono de pozos en estos medios.

CONCLUSIONES

El proyecto FPTA 307 desarrolló las siguientes herramientas para la gestión, de uso inmediato:

- Banco de datos de perforaciones categorizadas, variables climáticas y aforos existentes.
- Mapa hidrogeológico del SAR escala 1:100000
- Mapas de principales parámetros químicos
- Modelo numérico de flujo subterráneo calibrado para régimen estacionario y semiestacionario
- Modelo numérico de transporte para seguimiento de la evolución de nitratos
- Red óptima y mínima de monitoreo de niveles hidráulicos
- Carta de vulnerabilidad a la contaminación
- Propuesta de modificación a la reglamentación del Decreto 86/004 que rige los permisos de uso de agua subterránea
- Herramientas y premisas para un plan de gestión, adecuado al SAR.

El Sistema Acuífero Raigón no se encuentra sobreexplotado en la actualidad (la recarga es superior a la extracción), pero los recursos explotables son menores que la recarga, según los efectos que se consideren admisibles, lo que es en sí una decisión política, administrativa y social.

La calidad de las aguas subterráneas se mantiene dentro de sus cualidades naturales, aunque puede haber efectos diferidos que hay que vigilar y monitorear. Es recomendable una prudente y realista aplicación del principio de precaución.

El mayor riesgo de contaminación lo constituyen las perforaciones abandonadas sin sellado y los pozos excavados en desuso, descuidados o utilizados como pozos negros: La educación en el uso sustentable del agua subterránea es un factor importante para evitar la propagación de estos problemas mediante recaudos de poco costo y dificultad.

RECOMENDACIONES

La legislación vigente, que otorga permisos de uso a los solicitantes, dispone ahora de muchas herramientas para definir las afectaciones que los mismos puedan generar al SAR y evitar los conflictos entre titulares de permisos de uso de agua subterránea.

La reglamentación del Decreto 86/004 conviene que sea revisada y modificada, tomando como primer documento la propuesta elaborada en este proyecto, que fue estudiado y redactado minuciosamente⁷. Las modificaciones, a posteriori, deberán ser discutidas, adecuadas y avaladas por la experticia nacional, arribando a un documento de conceptos sólidos, para evitar imprecisiones técnicas en las disposiciones que la autoridad emita. La versión final de la nueva reglamentación a este decreto debería alcanzarse por consenso entre las partes involucradas: grandes usuarios públicos, representantes de los usuarios privados, técnicos actuantes ante la DINAGUA, empresas de perforación autorizadas y direcciones del MVOTMA que vigilan la construcción y abandono de pozos y la preservación del medio ambiente.

Los lineamientos de la primera etapa del plan de gestión y gobernanza que se sugieren en este trabajo son un aporte significativo para las autoridades, de fácil implementación y seguimiento, con el uso adecuado de las herramientas que se ofrecen.

La medición de variables que intervienen en el funcionamiento del SAR (caudales de base de arroyos y ríos conectados al acuífero, estudio de la deposición de cloruros de agua de lluvia e isótopos ambientales) deben ser priorizadas para continuar hacia un mejor y permanente conocimiento del sistema.

El monitoreo de niveles hidráulicos del SAR debe realizarse en una red mínima, sin interrupciones, a fin de contar con series temporales de utilidad para la recalibración de los modelos.

Por último, deben estudiarse los parámetros que intervienen en el transporte de contaminantes y proteger el SAR de una posible sobreexplotación futura.

AGRADECIMIENTOS

Al INIA, quien financiara las actividades llevadas a cabo en los 32 meses de desarrollo del proyecto.

A la DINAMA, que formalizó su apoyo institucional ante el INIA y permitió el uso de su laboratorio ambiental.

A la DINAGUA, que ofreció su banco de datos y recibió a los investigadores participantes en las instancias previas a la difusión del proyecto.

Al MGAP, al INUMET y a la OSE, que brindaron la información solicitada en todo momento.

A la IDSJ, que a través de su Dirección de Desarrollo, propició las instancias de difusión en sedes adecuadas y convocó a los participantes en cada evento.

A los profesores españoles del Curso Hispanoamericano de Hidrología Subterránea, que siempre estuvieron atentos a colaborar en la discusión de las distintas etapas de la investigación.

A los propietarios de perforaciones, que permitieron el desarrollo del Proyecto FPTA 307 a través del pleno acceso a sus instalaciones.

⁷ Consideraciones para una nueva posible redacción de las normas de construcción de pozos y accesos al acuífero: Ing. Eduardo Batista, Lic. Alfredo Barón, Dr. Ing. Emilio Custodio, Ing. M. Sc. Jorge de los Santos.

BIBLIOGRAFÍA

- Al-Abadi et al. A GIS-based DRASTIC model for assessing intrinsic groundwater vulnerability in northeastern Missan governorate, southern Iraq. *Appl Water Sci.* 2014.
- Albuquerque et al. Spatio-temporal groundwater vulnerability assessment - A coupled remote sensing and GIS approach for historical land cover reconstruction. *Water Resour Manage*, 2013. 27:4509–4526.
- Allen, et al. DRASTIC: A Standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. United States Environmental Protection Agency. 1987. EPA/600/2-87/035.
- Allen, R.G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. Crop Evapotranspiration, Paper 56. FAO. Roma, Italia, 1998.
- Arumi, J, Martin, D & Watts, D. Modeling the effects of agricultural management practices on groundwater in Shelton, USA. *Obras y Proyectos* 10. 2011. Pages 62-72
- Banta, E.R. ModelMate-A graphical user interface for model analysis: U.S. Geological Survey Techniques and Methods. 2011. 6–E4, 31 p.
- Barnett et al. Australian groundwater modelling guidelines, Waterlines report, National Water Commission, Canberra. 2012.
- Blasch, K y Bryson, J. Distinguishing sources of ground water recharge by using 2H and 18O. En: *Groundwater*. Volumen 45 No. 3. Mayo de 2007.
- Briseño, R et al. Método para el diseño óptimo de redes de monitoreo de los niveles del agua subterránea. *Ciencias del Agua*, vol. II, núm. 4. Octubre-Diciembre de 2011.
- Carretero. S. Comportamiento hidrológico de las dunas costeras en el sector nororiental de la provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral .La Plata, Argentina, 2011.
- CEDEX. Trazadores naturales del agua: Isótopos estables del agua, Tritio y carbono 13. Citado 14 de Mayo de 2010. Disponible en internet: <http://hispagua.cedex.es/documentacion/documentos/fugas/cap6.pdf>.
- Chitsazan y Akhtari. A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kherran Plain, Khuzestan, Iran. *Water Resour Manage*, 2008. 23:1137–1155.
- Custodio, E y Jódar, J. Simple solutions for steady-state diffuse recharge evaluation in sloping homogeneous unconfined aquifers by means of atmospheric tracers. *Journal of hidrology*. 2016.
- Custodio, E y Llamas, M. Hidrología subterránea, segunda edición. Barcelona: Ediciones Omega, 2001.
- Custodio, E, Llamas, M y Sahuquillo, A. La gestión de las aguas subterráneas. 2008. Disponible en internet: <https://www.unizar.es/fnca/varios/panel/34.pdf>.
- Czekaj, J, Jakóbczyk-Karpierz, S, Rubin, H, Sitek, S & Witkowski, J. Identification of nitrate sources in groundwater and potential impact on drinking water reservoir (Goczałkowice reservoir, Poland). *Physics and Chemistry of the Earth N° 94*. 2016. Pages 35 - 46.
- De los Santos, J. et al. Modelación numérica del Sector Este del Acuífero Raigón. Proyecto CONICYT-BID 71/94. 1997.
- De los Santos, J. et al. Carta de Vulnerabilidad del Acuífero Raigón. DINAMA (MVOTMA)-IMFIA (FING., UdelaR). 1999.
- De los Santos, J. et al. Informe del proyecto “Modelación en régimen estacionario del Acuífero Raigón”, GHS, IMFIA, Facultad de Ingeniería, UdelaR, 2009.
- De los Santos, J. et al. Informe del proyecto “Red de monitoreo del Sistema Acuífero Raigón”, GHS, IMFIA, Facultad de Ingeniería, UdelaR, 2009.
- De los Santos, J. et al. “Gestión Ambiental del Sistema Acuífero Raigón”, GHS, IMFIA, Facultad de Ingeniería, UdelaR, 2018.
- Dellepère, A. Datación por carbono-14 de las aguas termales del acuífero Tacuarembó (Botucatu), Uruguay. En: *Estudios de hidrología isotópica en América Latina*. TECDOC-835. Octubre de 1995.

- DINAMA, Guía para la toma, conservación y transporte de muestras de agua subterránea. Versión 1. Julio de 2004.
- Dirección de Suelos y Fertilizantes- M.G.A.P. Descripciones, datos físicos y Químicos de los suelos dominantes. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay, Tomo III. Apéndice. Montevideo, Uruguay, 1979.
- Ducci, D. GIS techniques for mapping groundwater contamination risk. *Natural Hazards*. 1999. 20: 279–294.
- FCIHS, Hidrogeología, Comisión docente Curso internacional de Hidrología subterránea. Barcelona, 2009.
- Fernández, R. et al. Los isótopos ambientales en el estudio de la intrusión marina. Granada, España, 1988.
- Gascuel-Odux, C. & Molénat, J. Modelling flow and nitrate transport in groundwater for the prediction of water travel times and of consequences of land use evolution on water quality. *Hydrol. Process*. 16. 2002. 479–492.
- Gelhar, L. W., Welty, C. & Rehfeldt, K. A Critical Review of Data on Field-Scale Dispersion in Aquifers. *Water Resources Research*, Vol. 28, N° 7. July 1992. Pages 1955-1974.
- Haile-Mezkale, M. Estudio Integrado de la cantidad y calidad del agua subterránea en la parte inferior de la cuenca del Santa Lucía. CIID, Uruguay, 1990.
- Harbaugh, A.W. MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey modular ground-water model—the Ground-Water Flow Process. U.S. Geological Survey Techniques and Methods. 2005. 6- A16, variously p.
- Heinzen, W. et al. Carta Hidrogeológica del Uruguay escala 1/2.000.000 y Memoria Explicativa. DINAMIGE. Montevideo, Uruguay, 1986.
- Herrera, I. Relaciones isotópicas, oxígeno-18 y deuterio, entre las aguas superficiales y subterráneas. ALCORLO, Paloma et al. Técnicas y aplicaciones multidisciplinarias de los isótopos ambientales. UAM ediciones, Madrid 2008.
- Herrera, G. S. Cost effective groundwater quality sampling network design, Ph. D. Dissertation, University of Vermont, 1998.
- Herrera, G. S., & Pinder, G. F. Space-time optimization of groundwater quality sampling networks. *Water Resources Research*. 2005. 41, W12407. 15 pp.
- Hill, M. METHODS AND GUIDELINES FOR EFFECTIVE MODEL CALIBRATION. U.S. GEOLOGICAL SURVEY WATER-RESOURCES INVESTIGATIONS REPORT 98-4005 With application to: UCODE, a computer code for universal inverse modeling, and MODFLOW, a computer code for inverse modeling with MODFLOW. 1998.
- IAEA/UNESCO. Environmental isotopes in the hydrological cycle - Principles and applications. Edited by W.G. Mook. Volume I to VI. International Hydrological Program. V Technical Documents in Hydrology. No. 39. UNESCO, Paris, 2001.
- IGWMC. UCODE_2014 and Auxiliary Computer Codes for Universal Sensitivity Analysis, Calibration, and Uncertainty Evaluation. 2014. Disponible en internet: <http://igwmc.mines.edu/freeware/ucode/>
- IMFIA, Facultad de Ingeniería, UdelaR. Carta de vulnerabilidad del acuífero Raigón, Montevideo, 1999.
- INGEOMINAS. Evaluación del agua subterránea en la región de Urabá, Departamento de Antioquia. Bogotá, 1995.
- Instituto de Hidrología de Llanuras. Notas del Curso de Recarga Natural de Acuíferos y Métodos de Balance. Azul, Argentina, 2015.
- Jang, C-S. et al. Developing a reliable model for aquifer vulnerability. *Stoch Environ Res Risk Assess*. 2015.
- Júnez et al. Optimal design of monitoring networks for multiple groundwater quality parameters using a Kalman filter: application to the Irapuato-Valle aquifer. 2014.
- Júnez, H. E. Diseño de una red de monitoreo de la calidad del agua para el acuífero Irapuato-Valle, Guanajuato. Tesis de Maestría, UNAM, México, 2005. Disponible en internet: <http://132.248.9.195/ptd2012/antiores/0339152/Index.html>.

- Krishna et al. Groundwater vulnerability to pollution mapping of Ranchi district using GIS. *Appl Water Sci.* 2014.
- Martin, C et al. Modelling the effect of physical and chemical characteristics of shallow aquifers on water and nitrate transport in small agricultural catchments. *Journal of Hydrology* 326. 2006. 25–42.
- MGAP. Modelo Digital de Terreno del Uruguay. 2004. Disponible en internet: <http://www.cebra.com.uy/renare/mapa/modelo-digital-de-terreno/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Guía para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos. Colombia. 2014. Disponible en internet: <https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegralDelRecursoHidrico/pdf/acuiferos/Guia-metodologica-para-la-formulacion-de-planes-de-manejo-ambienta-de-acuiferos.pdf>
- Molfino, J.H. y Califra, A. Agua Disponible de las Tierras del Uruguay. MGAP. Montevideo, Uruguay, 2001.
- Moratalla et al. Evaluation of a GIS-based integrated vulnerability risk assessment for the Mancha Oriental System (SE Spain). *Water Resour Manage.* 2011. 25:3677–3697.
- M.T.O.P., M.V.O.T.M.A., M.I.E.M., M.G.A.P, OSE, Facultad de Ciencias. Informe del proyecto “Gestión Sostenible del Acuífero Raigón – Uruguay”. Proyecto regional de cooperación técnica RLA/8/031- Manejo integrado y sostenible de aguas subterráneas en América Latina, financiado por OIEA, 2005.
- Neshat y Pradhan. Risk assessment of groundwater pollution with a new methodological framework: application of Dempster–Shafer theory and GIS. *Nat Hazards.* 2015. 78:1565–1585.
- Pacheco Ávila, Julia y Cabrera Sansores, Armando. Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. *Revista académica Ingeniería*, Vol. 7, núm. 2, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México. 2003.
- Pacheco et al. Factor weighting in DRASTIC modeling. *Science of the Total Environment.* 2015. 505:474–486.
- Panarello, H.O., Dapeña, C., Auge, M. Mecanismos de salinización del agua subterránea de la zona de la plata, Buenos Aires, Argentina: su interpretación por medio de los isótopos ambientales. *Estudios de hidrología isotópica en América Latina.* TECDOC-835. Octubre de 1995.
- Plata, A. Isótopos en hidrología. Madrid: Editorial Alhambra S.A. 1972.
- Poeter, E.P., Hill, M.C., Banta, E.R., Mehl, Steffen, and Christensen, Steen, UCODE_2005 and Six Other Computer Codes for Universal Sensitivity Analysis, Calibration, and Uncertainty Evaluation. *U.S. Geological Survey Techniques and Methods* 6-A11, 283p. 2005.
- Ravbar N.; Goldscheider N. Proposed methodology of vulnerability and contamination risk mapping for the protection of karst aquifers in Slovenia. *Acta Carsologica.* 2007. 36: 397-411.
- Reynolds, J., Fraile, J. Utilización de isótopos estables en la precipitación para determinar zonas de recarga del acuífero Barva, Costa Rica. En: *Estudios de hidrología isotópica en América Latina.* TECDOC-1611. Abril de 2009.
- Rode, M & Wriedt, G. Modelling nitrate transport and turnover in a lowland catchment system. *Journal of Hydrology.* 2006. 328, 157– 176.
- Sánchez San Roman, J. Evolución geoquímica de las aguas subterráneas. Universidad de Salamanca, España. 2012.
- U.S.D.A. Soil Conservation Service. Urban hydrology for small watersheds. Technical Release N° 55, U.S. Depart. Of Agriculture. U.S.A, 1975, R. 1986.
- USGS. ModelMuse Version 3.8.1. 2016 Disponible en internet: <https://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/ModelMuse/ModelMuse.html>
- Varios Autores. Guía operativa para la recogida, almacenamiento y transporte de muestras de aguas subterráneas destinadas al análisis químico. Barcelona, España. Junio de 1998.
- Vías et al. Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the COP method. *Hydrogeology Journal.* 2006. 14: 912-925.

W.F. Struckmeier, Hydrogeological Maps. A guide and a standard legend. International association of hydrogeologists, Hannover, 1995.

W.H. Gilbrich and W.F. Struckmeier. 50 Years of Hydro(geo)logical Mapping Activities. UNESCO International Hydrogeological Programme (UNESCO-IHP), 2014.

Zheng, C & Wang, P. MT3DMS: A Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion, and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems; Documentation and User's Guide. Department of Geological Sciences, University of Alabama, Tuscaloosa, AL 35487. 1999.

ANEXO

Reglamentación vigente para las aguas subterráneas en Uruguay

La ley fundamental en materia de aguas subterráneas en el país es el Código de Aguas, Decreto-Ley 14859, del 15 de diciembre de 1978, modificado el 15 de junio de 1984, por la ley 15576, y el 1 de noviembre de 1987, por la ley 15903. En el Cap. VI, Arts. 42 a 56, y sus reglamentaciones, se reúne la legislación vigente.

El Código de Aguas fue modificado por la Reforma Constitucional de 2004 y la promulgación de la

Ley 18610, del 6 de diciembre de 2017, donde se establecen los principios rectores de la Política Nacional de Aguas. En referencia directa al agua subterránea, se dispone el monitoreo de los acuíferos Guaraní y Raigón.

El Decreto 86/004 reglamenta la construcción de pozos perforados para captación de agua subterránea. Este decreto y su reglamentación es el único elemento de gestión actualmente utilizado. La reglamentación se encuentra en revisión, sin definirse su texto final.

Dos decretos más, de 2000 (214/000) y 2013 (183/013), se refieren exclusivamente al Sistema Acuífero Guaraní.

INIA Dirección Nacional
Andes 1365 P. 12
Montevideo
Tel.: ++598 2902 0550
Fax: ++598 2902 3633
iniadn@inia.org.uy

INIA La Estanzuela
Ruta 50 Km. 11
Colonia
Tel.: ++598 4574 8000
Fax: ++598 4574 8012
iniale@le.inia.org.uy

INIA Las Brujas
Ruta 48 Km. 10
Canelones
Tel.: ++598 2367 7641
Fax: ++598 2367 7609
inia_lb@lb.inia.org.uy

INIA Salto Grande
Camino al Terrible
Salto
Tel.: ++598 4733 5156
Fax: ++598 4732 9624
inia_sg@sg.inia.org.uy

INIA Tacuarembó
Ruta 5 Km. 386
Tacuarembó
Tel.: ++598 4632 2407
Fax: ++598 4632 3969
iniatbo@tb.inia.org.uy

INIA Treinta y Tres
Ruta 8 Km. 281
Treinta y Tres
Tel.: ++598 4452 2023
Fax: ++598 4452 5701
iniatt@tyt.inia.org.uy