

**PROYECTO SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN
HIDROGEOLÓGICA DE POZOS DE AGUA Y CARTOGRAFIA.
SISTEMA ACUIFERO ARENALES. VALLE DE LERMA. SALTA.**



Julio 2024

Contenido

INTRODUCCIÓN	3
LOCALIZACIÓN	3
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
DESCRIPCIÓN TECNICA DE LA TAREAS REALIZADAS	5
TRABAJO DE GABINETE 1	5
DETALLE DE TRABAJO DE CAMPO POR ZONAS.....	9
ZONA 1	9
ZONA 2.	11
ZONA 3	13
ZONA 4 y 5.....	15
ZONA 6. Cerrillos	17
TRABAJO DE GABINETE 2	19
RESULTADOS	19
ANALISIS DE LOS CONCENTRACIONES DE BORO EN EL AREA DE ESTUDIO	19
ANALISIS DE LOS CAUDALES EN EL AREA DE ESTUDIO	26
ANALISIS DE LOS CAUDALES ESPECIFICOS DE POZOS REGISTRADOS Y DE POZOS PERTENECIENTES A AGUAS DEL NORTE	28
CONCLUSIONES	31
RECOMENDACIONES	32
BIBLIOGRAFIA	33

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Salta, ubicada en el centro norte del Valle de Lerma, obtiene actualmente casi 70% del agua para consumo desde fuentes subterráneas. Los reservorios de aguas subterráneas, conformados por los acuíferos del Valle de Lerma, poseen una importancia estratégica en la región debido a que se encuentran en zonas pobladas y los costos necesarios para su captación, explotación y conducción son muy reducidos (Rocha & Baudino, 2002). La relevancia de este recurso hídrico para el abastecimiento de la zona, pone énfasis en la necesidad de profundizar el estudio de estos acuíferos, así como de mantener actualizada la información de extracciones, niveles y calidad del agua en los pozos, para propender a la explotación sustentable del recurso subterráneo.

Dada las condiciones cada vez más recurrentes de escasez de agua, disminución de caudales de los pozos en época de estiaje y mayor demanda del recurso hídrico, se requiere actualizar la información de parámetros hidráulicos y físicos químicos en los acuíferos del Valle de Lerma.

La Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica (SIYPH) a través de la Dirección Nacional de Política Hídrica y Coordinación Federal (DNPHYCF), ha promovido la Tercera Etapa del Plan Nacional Federal de Aguas Subterráneas (PNFAS), la cual se ejecuta en colaboración con el Consejo Hídrico Federal (COHIFE). En esta etapa, la línea de acción 4 permite financiar proyectos de las jurisdicciones para contribuir a garantizar la disponibilidad y gestión sostenible de las aguas subterráneas en sus territorios.

En este contexto, la Secretaría de Recursos Hídricos (SRH) de la provincia de Salta como organismo de aplicación del Código de Aguas provincial, finalizó el presente estudio con el objeto de actualizar la información de agua subterránea en el Sistema Acuífero Arenales en el Valle de Lerma, y evaluar el estado actual para planificar la extracción para una explotación sustentable del recurso hídrico subterráneo.

LOCALIZACIÓN

El área de estudio corresponde a una parte del Sistema Acuífero Arenales (en adelante SAA), abarcando en líneas generales el suroeste de la ciudad de Salta, parte oeste de Cerrillos y suroeste de Rosario de Lerma. Se asientan localidades como Atocha (Capital) y La Silleta, El Encon, La Merced Chica (Rosario de Lerma). En Salta Capital el crecimiento de población en el periodo 2012-2022 fue de 583.445 a 627.107 habitantes, en Cerrillos de 32.841 a 56.006 habitantes y en Rosario de Lerma, para el mismo período, la población creció de 42.346 a 51.183. Este aumento demográfico ha tenido lugar sobre áreas que eran de uso rural, lo que se ha traducido en un fuerte incremento de la demanda del recurso hídrico subterráneo.

El SAA constituye un reservorio de gran extensión (300 km² aproximadamente) que se extiende desde el quiebre de pendiente situado en el flanco occidental del valle de Lerma, hasta su borde oriental. Ocupa el ancho máximo de la depresión, siendo unos 25 km en sentido oeste-este, y los niveles productivos fueron determinados por pozos con filtros de 50 a 150 m.b.b.p. (Baudino, 1996).

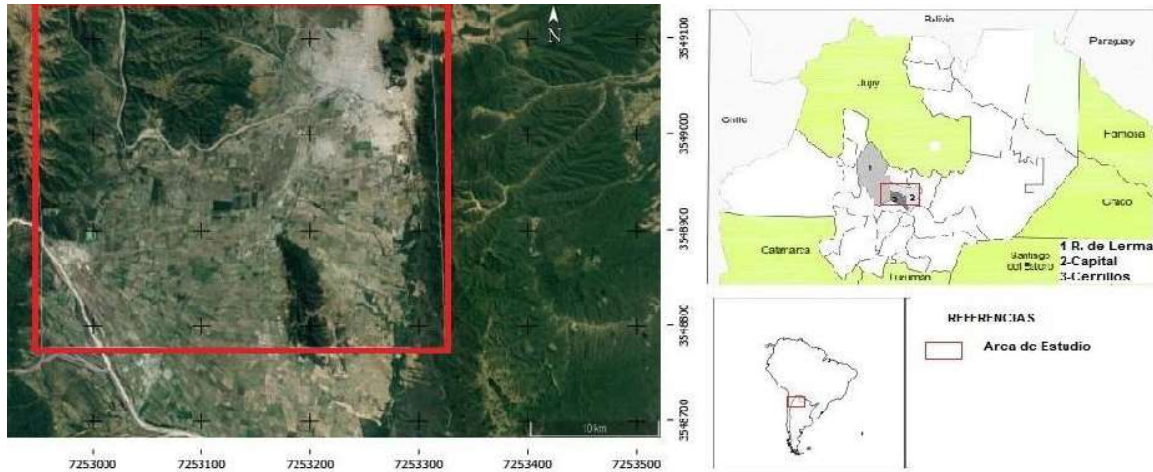


Figura1. Área de estudio.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo del proyecto es complementar y actualizar la información de las aguas subterráneas en el Sistema Acuífero Arenales en el Valle de Lerma, y evaluar el estado actual para planificar la extracción y fortalecer las buenas prácticas tendientes a la sostenibilidad de esta fuente prioritaria para el abastecimiento y el desarrollo económico del área.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A los fines de cumplir con el objetivo del proyecto, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Integrar a la base de datos de las aguas subterráneas de la provincia, la información disponible de los pozos ubicados en el SAA. Sistematizar la información para el análisis.
- Obtener datos actualizados y representativos de los pozos en la zona de estudio y sumarlos a base de datos de las aguas subterráneas en la provincia.
- Colectar muestras de agua de pozos y realizar análisis de laboratorio de los parámetros físicos-químicos (incluidos B y As).

-Analizar la información obtenida con la información antecedente, realizar el diagnóstico de la situación actual y emitir recomendaciones.

DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA TAREAS REALIZADAS

TRABAJO DE GABINETE 1

En esta instancia se analizó la información antecedente de la zona de estudio. Se analizaron legajos técnicos de pozos realizados por la Dirección General de Obras Sanitarias (Pozos AS y ASP), Pozos SRH, Pozos sin registro (SIN ID, administrados por la empresa encargada del abastecimiento de agua potable) y pozos censados en el período 1 de noviembre de 2022 - 31 de enero de 2023. En este último caso, las obras no cuentan con registro y el censo se realizó con el fin de registrarlos voluntariamente (Resolución N°2/22, conjunta entre la SRH y el Ente Regulador de los Servicios Públicos).

-Se analizaron todos los legajos técnicos de la zona a fin de identificar aquellos que contaban con piezómetro, los que presentaban datos de calidad de agua y en el caso de los pozos privados, se localizó el expediente de origen para obtener algún dato de contacto debido a que esa información no figura en los registros de la SRH.

-Se analizaron los estudios de prefactibilidad existentes a fin de recabar la mayor información posible respecto de antecedentes, datos técnicos y de calidad del agua.

-Se adecuó la base de datos de la SRH, agregando los campos necesarios para capturar la información obtenida de la revisión.

-Se cargaron datos de perforaciones de la ex D.G.O.S (que están a cargo de Aguas del Norte) ubicadas en los departamentos Capital, Rosario de Lerma y Cerrillos y se unificó con la base de datos de pozos pertenecientes al Sistema Acuífero Arenales de la Secretaría de Recursos Hídricos.

-Se procedió de la misma manera con otros archivos de perforaciones (disponibles en papel u otro formato) ubicadas en los departamentos dentro del área de estudio.

-Se recopiló y sistematizó la información de parámetros hidráulicos, análisis físicos-químicos y estado de los pozos administrados por la Empresa Aguas del Norte en el área de estudio.

-Se consultó el censo de pozos del 2015-2022 provistos por Aguas del Norte Co.S.A.ySa.: Se analizó la planilla de datos de pozos, los cuales contaban con ubicación, parámetros hidráulicos, tramos de filtro; en otra pestaña figuraba la información de los pozos próximos a recepcionar por la empresa.

-Pozos activos Aguas del Norte. Año 2014: Se analizaron las planillas con datos de Identificación (AS o Sin ID). Los pozos que figuran sin ID no cuentan con

ningún dato en el registro de perforaciones de la SRH. Se solicitó mediante nota a la empresa información actualizada de parámetros hidráulicos y físicos químicos de pozos AS y sin identificación (Sin ID).

-Implementación de GIS y análisis de la información. Para analizar la información para el trabajo de campo, se usó Google Earth pro con las ubicaciones de los pozos SRH, pozos en funcionamiento AS, pozos sin identificación (Sin ID) a cargo de Aguas del Norte, y los datos de los pozos censados (Resolución N°2/22), a fin de seleccionar aquellos pertenecientes al Sistema Acuífero Arenales.

-Preparación del trabajo de campo: se seleccionaron 49 perforaciones para toma de datos de campo y 42 para toma de muestras de agua. La selección de las perforaciones se realizó en base al análisis de legajos técnicos; se realizó un listado de pozos con disponibilidad de piezómetro, y para la toma de muestras se tuvieron en cuenta los pozos sin datos de calidad de agua. Adicionalmente, se separaron las perforaciones en dos grupos, diferenciadas por propietarios particulares y pertenecientes a la empresa Aguas del Norte. También se decidió relevar los pozos SIN ID de la empresa Aguas del Norte a efectos de recabar información, teniendo en cuenta que no se contaba con datos técnicos en los registros de la SRH.

-Se confeccionaron las planillas para el relevamiento de campo, las cuales incluyeron datos tales como: identificación de pozo, altura y diámetro de brocal coordenadas, profundidad del pozo, parámetros hidráulicos, uso del agua, parámetros físicos de campo, tipo de cañería, bomba, estado del piezómetro, obras complementarias y observaciones.

-La preparación de las tareas de campo incluyó asimismo aspectos logísticos, la gestión de permisos de acceso a propiedad privada y a sitios para el muestreo (Aguas del Norte-Cía. Salteña de Agua y Saneamiento Co.S.AySa y otros). Se establecieron seis zonas de trabajo, comenzando las tareas de campo en pozos de propietarios particulares, mientras se realizaban las gestiones de permisos con Aguas del Norte, los cuales demandaron más tiempo.

Para la gestión de los permisos a particulares se trabajó en conjunto con el programa Agua para Consumo Humano y la Dirección de Fiscalización y Control. Se realizaron las pertinentes notas informando del presente proyecto y de las tareas de campo a realizar.

Para la gestión de permisos a Compañía Salteña de Aguas y Saneamiento (Co.S.AySa), se realizaron las gestiones administrativas, presentando una nota al Gerente de Obras y Proyectos; se informó del alcance del proyecto y los datos a relevar.

TRABAJO DE CAMPO

La SRH, en conjunto con el consultor, organizó las salidas de campo en los departamentos Capital, Rosario de Lerma y Cerrillos. El trabajo de campo se realizó en los meses octubre/noviembre de 2023 en base al siguiente cronograma (Tabla 1) para tomar datos de campo y muestras de agua para su posterior análisis físico-químico en el Laboratorios Bioagronort.

Se establecieron seis zonas de trabajo, distribuidas en los departamentos Capital, Rosario de Lerma y Cerrillos. El trabajo de campo inició en zona 5 (Campo Quijano y alrededores), siguiendo con zona 2 (El Aybal, El Prado) con perforaciones pertenecientes a particulares. Los permisos de acceso a los predios y las gestiones relacionadas a la campaña fueron realizados por la Secretaría de Recursos Hídricos, tal como se detalló ut supra.

ZONA	OCT.3ra sem.	OCT.4ta sem	NOV 1ra sem	NOV.2da sem	NOV.3ra sem	NOV.4ta sem.	DIC.2da sem.
1-Tribuno,Santa Ana,Inter.							
1- San Carlos, Los Alamos,INTA							
2-El Aybal, El Prado							
3-Atocha							
4-San Luis -Villa Lola							
5-Campo Quijano							
6- Cerrillos							

Tabla 1. Cronograma de trabajo de campo

El diagrama de trabajo conjunto establecido para la campaña de campo se llegó a cumplir en un 100%, sin embargo no se pudo cumplir con los plazos establecidos originalmente debido a demoras en los permisos de acceso a los predios la Aguas del Norte.

Elementos utilizados

-Sonda freaticométrica Solinst con cinta plana de 150 m (Foto1), flexible, proporciona medidas muy exactas, las marcas permanentes se encuentran a intervalos cortos. Los conductores de hilo de acero inoxidable son resistentes a la corrosión y no se estiran.

-Llave tubo $\frac{3}{4}$

-Guantes

-Conservadora

-Aguas destilada, guantes de latex

-Cinta métrica

-Dispositivo multiparametrico



Se realizó la toma de muestras de agua para análisis físico-químico y se trasladaron a laboratorio. El trabajo en campo se ejecutó según la siguiente secuencia:

- Registro fotográfico del lugar de muestreo.
- Levantamiento de coordenadas geográficas con GPS.
- Esterilización de la boca de pozo con soplete (en algunos casos)
- Toma las muestras usando envases de plástico rotulados y esterilizados de 1 litro.
- Preparación de muestras para su preservación en conservadoras y posterior traslado al laboratorio.
- Determinación de parámetros in situ utilizando sonda calibrada (pH, conductividad eléctrica, temperatura).

En base a las zonas de trabajo establecidas se procedió a medir el nivel estático de los pozos con sonda freaticométrica Solinst (en algunos casos) y el nivel dinámico (considerando la profundidad del piezómetro).

En los pozos a cargo de particulares se pudo medir el nivel estático; se realizaron las gestiones previamente solicitando que se apague la bomba el tiempo necesario para que el acuífero este en reposo. En los pozos de Aguas del Norte al tratarse de agua de abastecimiento poblacional, no fue posible medir el nivel estático en todos los pozos y se midió el nivel dinámico. En algunos pozos no se pudo medir ninguno de los niveles debido a que presentaban un orificio en la tapa de la platina y según lo acordado con el consultor, solo se tomaría la medida del nivel estático y dinámico en pozos con piezómetros, esta precaución se tomó a fin de evitar posibles estancamiento o enredos de la sonda con los cables de las electrobombas.

DETALLE DE TRABAJO DE CAMPO POR ZONAS

ZONA 1.

En conjunto con personal técnico del Aguas del Norte se relevaron 20 pozos a cargo de la empresa prestataria del servicio de agua, se tomaron datos de cada uno y se colectaron 17 muestras de agua. El pozo SRH 360 se usa como estación de bombeo cloacal. Adicionalmente se relevó el pozo AS en los Alamos (que no figuraba en la lista), sin embargo, no fue posible abrir la llave para tomar la muestra. De los 5 pozos SIN ID no se contaba con ningún dato técnico en los registros de la SRH; se logró obtener información de caudal, nivel estático, altura de brocal, diámetro, tipo de bomba y datos de calidad de agua.

SRH	Año	Dirección	Localidad	Grados	Mins	Segs	Grado	Min	Seg
206	2007	B° San Carlos	Capital	24,00	51,00	26,89	65,00	26,00	31,90
245	2009	Loteo Los Olmos	Cerrillos	24,00	52,00	19,90	65,00	27,00	4,10
297	2005	Barrio Limache	Capital	24,00	50,00	46,62	65,00	25,00	47,88
342	2010	B° Los Tarcos	Capital	24,00	50,00	54,88	65,00	27,00	41,08
360	2010	Finca La Paz	Capital	24,00	51,00	45,20	65,00	26,00	24,60
396	2011	Urbanización Los Ceibos	Capital	24,00	50,00	59,26	65,00	27,00	5,83
538	2012	Estacion Alvarado	Capital	24,00	51,00	10,00	65,00	28,00	3,00
647	2013	Finca Los Alamos	Cerrillos	24,00	52,00	39,23	65,00	27,00	27,34
651	2013	Loteo La Gringa	Cerrillos	24,00	51,00	43,58	65,00	25,00	52,41
922	2014	Urbanizacion Cielos del Valle	Cerrillos	24	52	29,00	65	27	37,00
1146	2018	Loteo La Secundina	Cerrillos	24	54	59,67	65	29	18,52

Tabla 2. Pozos SRH. Zona 1.

ZONA 1.El Tribuno, Santa Ana ,Inter.Dpto.Capital.								
ID	NIS	Denominación	Grad	Min	Seg	Grad	Min	Seg
Sin/ID	4000393	Pozo B° Los Lapachos	24	51	31,40	65	26	11,40
Sin/ID	4000395	Pozo1. B° San Francisco	24	50	37,17	65	25	57,87
Sin/ID	5067893	Pozo 11. Santa Ana	24	51	11,65	65	27	38,51
Sin/ID	5074390	Pozo El Bosque	24	50	45,11	65	27	11,84
Sin/ID	5110170	Pozo Los Ceibos	24	51	18,40	65	27	9,10
ASP 1353	4000386	Pozo 4.El Tribuno	24	50	32,08	65	26	6,72
ASP 1155	4000390	Pozo 1.El Tribuno 1	24	50	48,47	65	26	42,26
ASP 1228	4000398	Pozo 3. Santa Ana	24	51	24,88	65	28	16,49

Tabla 3. Pozos Sin ID y ASP. Zona 1

Referencias

- Pozos SRH
- Pozos Aguas del Norte



Figura 2. Ubicación pozos en zona 1.

ZONA 2. El Aybal- El Prado

En zona 2 se tomaron datos y muestras de agua en 4 pozos pertenecientes a particulares, y se midieron niveles en Pozos SRH 229 A y B.

Zona 2. El Prado -14 de Mayo									
SRH	Año	Dirección	Localidad	Grados	Mins	Segs	Grado	Min	Seg
229- A	2009	Urbanización El Prado Eco-Village	Capital	24,00	49,00	52,70	65,00	29,00	33,70
229- B	2009	Urbanización El Prado Eco-Village	Capital	24,00	49,00	52,50	65,00	28,00	53,60
887	2014	Urbanización El Prado Eco-Village	Capital	24	49	52,00	65	29	44,00
994	2016	Loteo 14 de Mayo	Capital	24	49	30,40	65	26	57,20

Tabla 4. Pozos SRH en zona 2.

Figura 3. Ubicación de pozos zona 2.

ZONA 3. Atocha

En la zona 3 se relevaron 8 pozos en conjunto con personal técnico de Aguas del Norte, de los cuales se tomaron datos de nivel dinámico en los que tenían piezómetro. No se llegó a medir nivel estático de los pozos debido a la imposibilidad de apagar la bomba en pozos de abastecimiento público. Se obtuvo información técnica de un pozo sin registro (Sin/ID) a cargo de la mencionada empresa.

Zona 3. Atocha.									
SRH	Año	Dirección	Localidad	Grados	Mins	Segs	Grado	Min	Seg
95	2006	Pozo Atocha	Capital	24,00	48,00	53,20	65,00	28,00	26,00
266	2009	Finca La Lonja	Capital	24,00	48,00	42,00	65,00	27,00	39,00
557	2012	Lote La Nueva Esperanza	Atocha	24,00	48,00	43,11	65,00	28,00	9,57
650	2013	Atocha 2	Atocha	24,00	48,00	57,68	65,00	28,00	11,73
877	2014	Loteo Urbanización Atocha	Atocha	24,00	48,00	57,80	65,00	28,00	19,84
970	2015	Loteo Tierra Mia	Atocha	24	49	26,79	65	29	1,32
1080	2017	Loteo 240 Viviendas	Atocha	24	49	1,60	65	28	29,34

ID	NIS	LOCALIDAD	Grad	Min	Seg	Grad	Min	Seg
Sin/ID	3088998	ATOCHA	24	49	3,24	65	28	51,04

Tabla 5. Pozos SRH y sin ID en zona 3.



Figura 4. Ubicación de pozos zona 3.

ZONA 4 y 5. San Luis –Villa Lola/Campo Quijano

Para la zona 4 se coordinó con personal de Aguas del Norte, se relevaron 3 pozos y se tomaron muestras para análisis físicos-químicos.

Zona 4									
SRH	Año	Dirección	Localidad	Grados	Mins	Segs	Grado	Min	Seg
774	2012	Villa Lola	Campo Quijano	24,00	52,00	39,85	65,00	34,00	0,19
837	2014	Pozo La Silleta N° 3	La Silleta	24,00	52,00	21,40	65,00	35,00	23,20
AS 566		El Encon	La Silleta	24	53	5,78	65	35	25,4

Tabla 6. Ubicación Pozos zona 4.

En la zona 5 se coordinó el trabajo de campo con los usuarios privados, se relevaron 5 pozos, se tomaron datos técnicos y se colectaron 4 muestras de agua, debido a que el pozo SRH La Carlota no estaba equipado con bomba electrosumergible.

Zona 5. Campo Quijano-La Silleta									
SRH	Año	Dirección	Localidad	Grados	Mins	Segs	Grado	Min	Seg
1014	2016	Loteo San Vicente	La Silleta	24	52	34,20	65	32	36,00
1059	2016	Loteo La Eulogia	La Silleta	24	53	22,18	65	35	58,68
1142	2017	Loteo La Carlota	Rosario de Lerma	24	53	48,78	65	36	16,04
1217	2018	Loteo Parque del	Campo Quijano	24	54	24,70	65	37	10,90
1253	2019	Urbanización Eko Distrito	Cerrillos	24	53	35,48	65	31	35,36

Tabla 7. Ubicación pozos zona 5

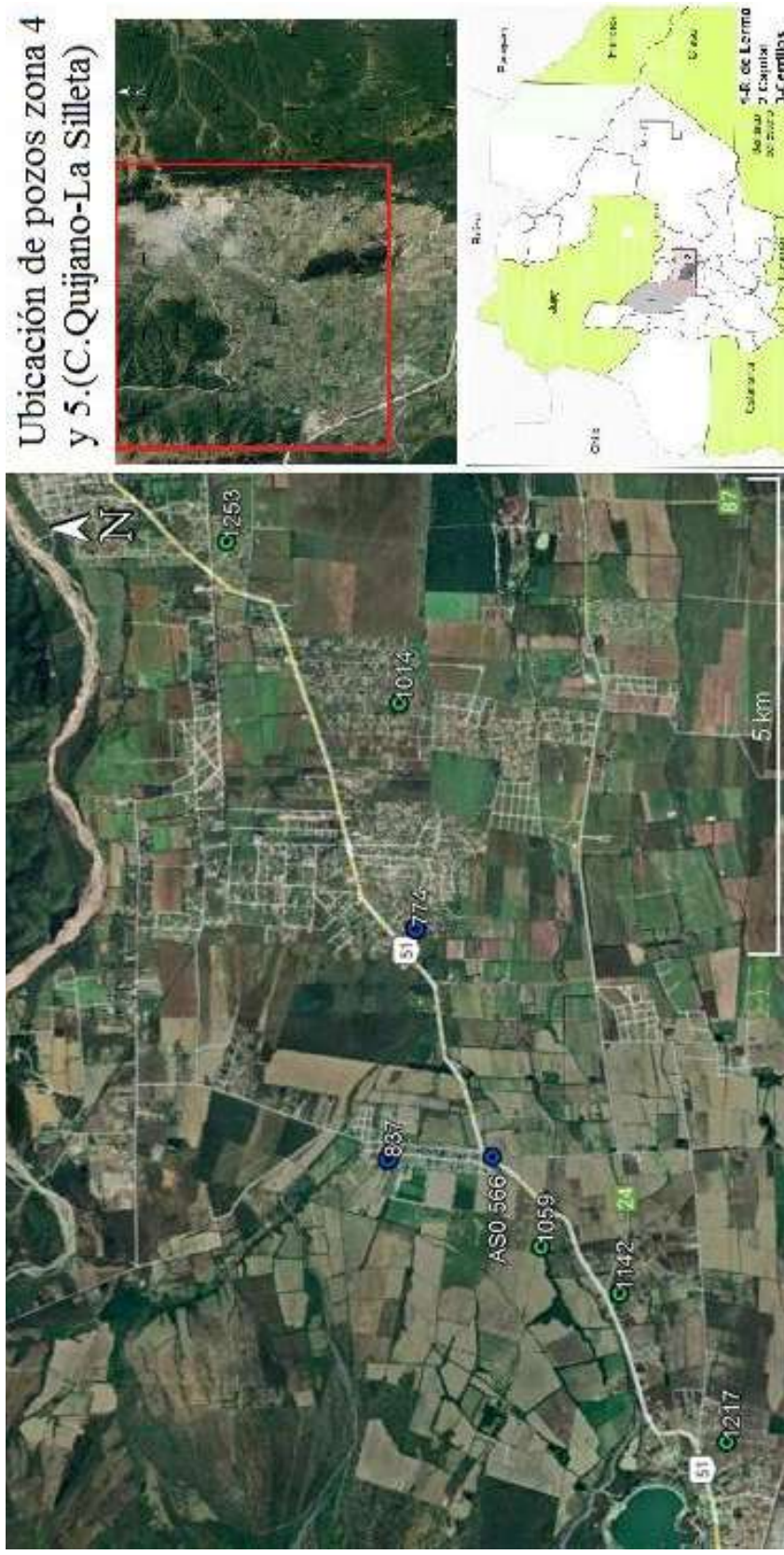


Figura 5. Ubicación de pozos en zonas 4 y 5

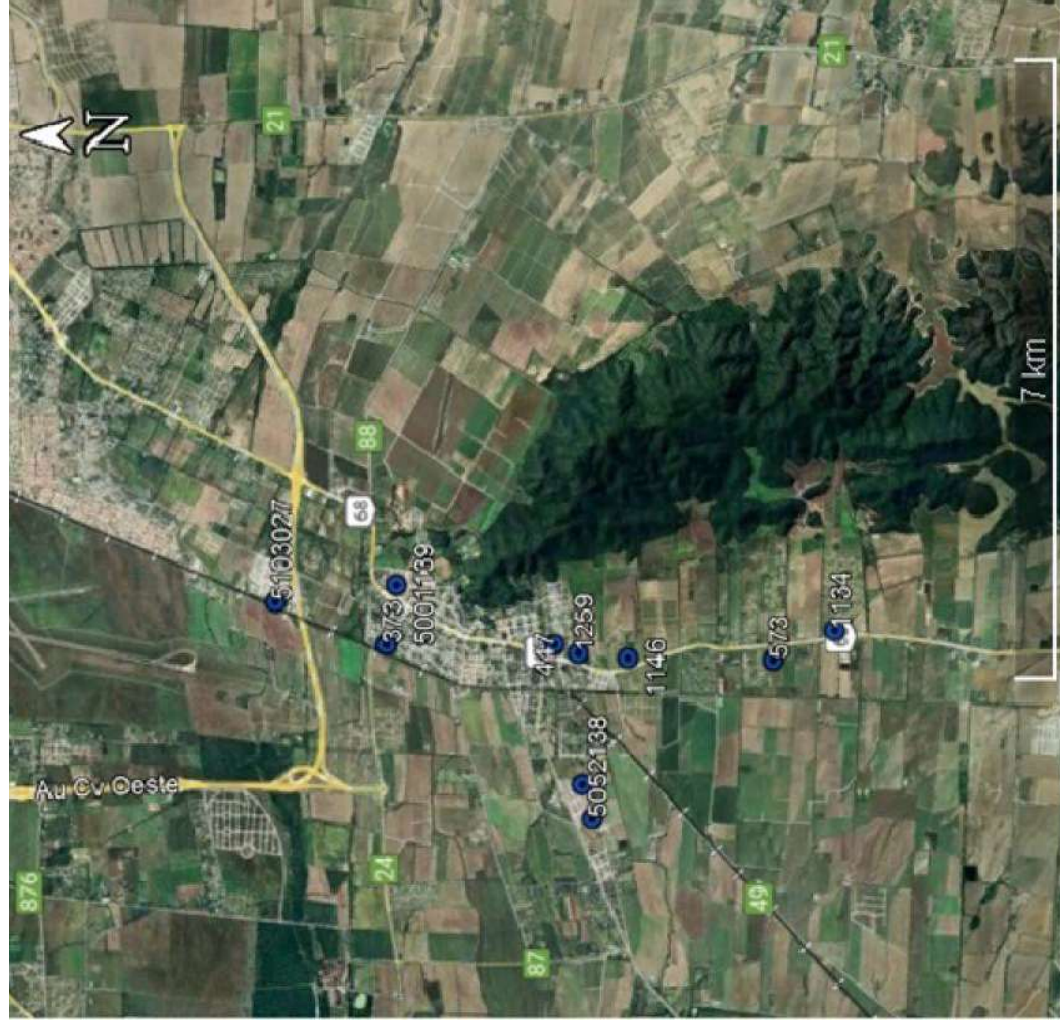
ZONA 6. Cerrillos

En la zona 6 se relevaron 10 pozos en conjunto con el consultor y la empresa Aguas del Norte, de los cuales 7 pozos se encuentran registrados en la SRH y 3 pozos no contaban con ningún dato técnico. De éstos se obtuvieron datos de diámetro de brocal, caudal, niveles, tipo de bomba, cañería de impulsión entre otros. Se tomó las muestras para su posterior análisis físico-químico.

SRH	Año	Dirección	Grados	Mins	Segs	Grado	Min	Seg
447	2011	B° Sivero	24,00	54,00	33,20	65,00	29,00	13,10
573	2012	Loteo MiraFlores	24,00	55,00	52,42	65,00	29,00	19,35
1134	2017	Finca La Falda- Loteo Los	24	56	14,80	65	29	7,55
1146	2018	Loteo La Secundina	24	54	59,67	65	29	18,52
1259	2019	Loteo Ciudad de la Zamba	24	54	41,71	65	29	16,53
373	2010	Pozo Hogar de Niños	24,00	53,00	32,10	65,00	29,00	13,30
682	2011	B° Juan Pablo II	24,00	54,00	43,10	65,00	30,00	9,10

Zona 6.Cerrillos.									
ID	NIS	Dirección	LOCALIDAD	Grad	Min	Seg	Grad	Min	Seg
Sin/ID	5001139	V° Balcon	CERRILLOS	24	53	35,72	65	28	49,15
Sin/ID	5052138	Pozo N° 6.B°Nuestra Sra del Huerto	CERRILLOS	24	54	46,79	65	30	22,58
Sin/ID	5103027	Pozo Congreso Nacional	CERRILLOS	24	52	52	65	28	56

Tabla 8. Ubicación pozos zona 6.



Ubicación Pozos Zona 6.Cerrillos

- Pozos Aguas del Norte



Figura 6. Ubicación de pozos zona 6.

TRABAJO DE GABINETE 2

Finalizado el trabajo de campo, se ejecutó la etapa de gabinete 2 que consistió en la carga de datos de parámetros hidráulicos y físico-químicos en la base de datos de la SRH, el análisis de la información y la comparación con la información antecedente para elaborar los mapas temáticos y las conclusiones finales.

En la base de datos de la SRH, se cargaron los resultados de análisis físico-químicos de los pozos muestreados y los datos de concentraciones de Boro de algunos pozos a cargo de Aguas del Norte; también se agregaron los datos de parámetros hidráulicos relevados. En los casos en que no se contaba con todos los parámetros hidráulicos, se estimaron usando la curva teórica Caudal vs Nivel dinámico-depresión de los legajos técnicos.

Con la información sistematizada en la base de datos, se realizaron los mapas de concentración de Boro en mg/l, caudales específicos de pozos registrados y caudales específicos con actualización de datos 2023. Para ello se usó el programa Quantum GIS (QGIS), versión 3.16, una aplicación de GIS de código abierto con licencia publica general. QGIS es un proyecto oficial de Open Source Geoespatial Fundación (OSGeo).

RESULTADOS

ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE BORO EN EL ÁREA DE ESTUDIO

El estudio realizado por el Instituto de Aguas Subterráneas de la Universidad Nacional de Salta (INASLA- UNSa) analizó la contaminación por Boro en agua subterránea debido al asentamiento de empresas de procesamiento del mismo en los años '90. Este estudio titulado "Contaminación con boro al sur del río Ancho", estimó como fuente de la contaminación estudiada a la fábrica de ácido bórico "MINERATEA", ubicada al sur del aeropuerto de la ciudad de Salta (El Aybal). Esta fábrica estuvo en operación entre los años 1986 y 1993; actualmente se encuentra abandonada y constituye un pasivo industrial. Como resultado de este estudio, se identificaron y delimitaron concentraciones elevadas de boro en el agua subterránea (con valor máximo de 6,2 mg/l) al sureste de la localización de la citada instalación fabril, aguas abajo de la dirección de flujo (Baudino, 2001).

La contaminación con Boro, Calcio y Magnesio en el Sudoeste de Salta Capital, fue detectada en el año 1995 en los pozos utilizados para el aprovisionamiento de agua potable. Hubo indicios significativos por el aumento del contenido salino en el agua del pozo "Tribuno N° 2", ubicado en el Barrio Intersindical, al sudoeste de la ciudad de Salta. Como resultado, se realizó un muestreo sistemático de las perforaciones aledañas, detectándose tenores de Calcio, Magnesio y Boro superiores a los valores promedio para la zona; los contenidos de Boro alcanzaron concentraciones de 2 mg/l.

Estudios preliminares llevadas a cabo en la UNSa indicaron que, de acuerdo a la dirección de flujo hídrico subterráneo, la fuente de contaminación más probable

estaría ubicada en el predio de la empresa NORQUIMICA, situada en la Estación Alvarado, al noroeste del área afectada (Baudino, 2001).

Otro caso es la Boroquímica perteneciente Baradero S.A (Baudino et al., 1993; Bundschuh et al., 1993) una planta de tratamiento de boratos (principalmente Ulexita) para la obtención de Ácido Bórico, ubicada hasta el año 1993 en la zona sur de la Capital de Salta, en la Avenida Ex Combatientes de Malvinas, entre los Barrios San Francisco, Intersindical, Bancario, El Tribuno y San Carlos. Al erradicarse la empresa del lugar, los residuos derivados de los minerales y sus efluentes, enriquecieron los suelos y subsuelos con Boro, constituyendo un pasivo ambiental.

El más reciente estudio de Abraham et al. (2020), plantea la hipótesis que las altas concentraciones de Boro se relacionan con una planta de ácido bórico y fusión, ubicada en Campo Quijano.

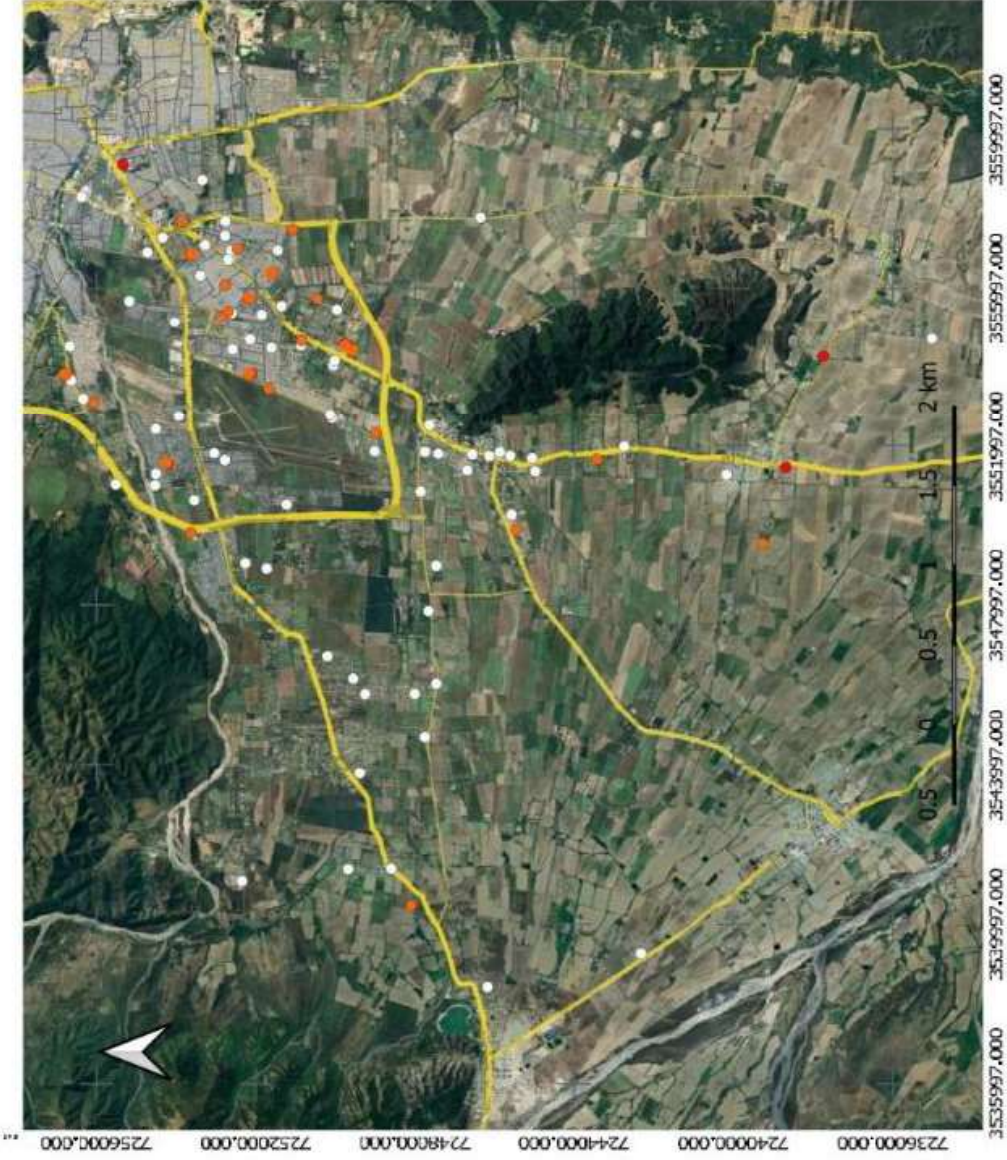
Teniendo en cuenta los antecedentes mencionados y la migración de la pluma de Boro en sentido Oeste –Este, y al analizar la ubicación muchos pozos realizados por la D.G.O.S que abastecen de agua a los barrios de zona Sur en inmediaciones de la ex boratera, se realizó este proyecto que incluyó el muestreo de pozos y la actualización de los parámetros físicos químicos, haciendo énfasis en Boro y Arsénico.

De los 249 pozos registrados por la SRH, solo 47 contaban con valores de concentración de Boro, representando un 18% del total, y de los 62 pozos pertenecientes a la empresa Aguas del Norte (pozos DGOS), solo 34% de los mismos tenían valores de concentración Boro, aunque desactualizados. Esta información fue posible ampliarla con la toma de muestras para análisis físico-químicos, y con los datos actualizados de concentraciones de Boro brindados por la empresa Aguas del Norte en el año 2013 (Expte. 34-36245/13, información sobre el nivel de concentración de Arsénico, Boro y Flúor presente en red de agua para consumo humano en Salta).

En Tabla 9 se detallan los pozos con concentraciones de Boro que exceden el límite máximo establecido por el Código Alimentario Argentino de 0,5 mg/l (CAA, 2006). En base a estos datos, se realizó el mapa de concentración de Boro (Mapa 1). La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece el valor de concentración de 0,5 mg/l (2006) como límite máximo permitido de Boro, sin embargo, en la actualidad se revisa este valor y se sugiere un valor de 2,4 mg/l como concentración máxima. Cabe destacar que, de acuerdo a la reglamentación vigente, la provincia de Salta optó como límite máximo un valor de 2,4 mg/l en base a la resolución N°1908/18 del Ente Regulador de los Servicios Públicos de la Provincia de Salta.

SRH	Dirección	Localidad	Prof Ent.	Filtros	B (mg/l)	Dato obtenido por
97	Av. Tavella 1,275	Capital	77	de 42 a 74	3,43	Inf.Tec.
206	B° San Carlos	Capital	241	154 a 210	2,31	por muestreo
538	Estacion Alvarado	Capital	252	168 a 247	1,28	por muestreo
573	Loteo MiraFlores	Cerrillos	115	58 a 109	0,6	por muestreo
647	Finca Los Alamos	Cerrillos	201	158 a 185	2,31	por muestreo
651	Loteo La Gringa	Cerrillos	251	157 a 240	1,02	por muestreo
842	Finca Berruezo	La Merced	158	95-153	0,57	Inf.Tec.
922	Urbanizacion Cielos del Valle	Cerrillos	241	149-236	1,02	por muestreo
975	Loteo Las Huellas	Cerrillos	246	151-241	1	Inf.Tec.
1006	Loteo El Algarrobal	Capital	124	50-119,5	3,7	Inf.Tec.
1059	Loteo La Eulogia	La Silleta	202	102-197	0,59	por muestreo
1080	Loteo 240 Viviendas	Atocha	183	85-178	0,6	por muestreo
1337	Predio Hidrotec	San Luis	71	52-70	0,97	Inf.Tec.
1349	Finca San Pedro	San Agustin	133		5,4	Inf.Tec.
1390	Loteo Buen Clima	Atocha	162	125-176	1,7	Inf.Tec.
ASP 1360/3099529	Parque La Vega	Capital	76	s/d	0,57	actualiz.inf.
ASP 1354/4000385	Bancario- ampliacion	Capital	146	s/d	0,65	actualiz.inf.
ASO 151/4000387	El Tribuno	Capital	62,5	s/d	1,04	actualiz.inf.
ASP 1475/4000388	Intersidical- Ampliacion	Capital	179	99-174	1,1	actualiz.inf.
ASP 1155/4000390	El Tribuno	Capital	115	s/d	0,59	por muestreo
ASO 650/4000390	Intersidical	Capital	143	106-138	0,61	actualiz.inf.
ASP 1228/4000398	Santa Ana	Capital	180	s/d	0,58	por muestreo
Sin/ID/5074390	Barrio El Bosque	Capital		s/d	0,85	por muestreo
ASO 172/4000532	Villa Los Alamos- Pozo 1			s/d	0,79	actualiz.inf.
5103027	Barrio Congreso	Cerrillos	127,35	81-124	0,75	por muestreo
5052138	Sra del Huerto	Cerrillos		s/d	0,59	por muestreo

Tabla 9. Pozos en el SAA con concentraciones de boro por encima del límite establecido por el C.A.A.



Mapa Tentativo de Concentración
de Boro en
Sistema Acuífero Arenales



Referencia	
—	Red Vial
Concentración de Boro	
○	<0.5 mg/l
●	Entre 0.5 y 2.4 mg/l
●	>2.4 mg/l
■	Barrios de Salta

Secretaría de
Recursos Hídricos

SALTA
GOBIERNO

PROYECTO - SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN
HIDROGEOLÓGICA DE POZOS DE AGUA Y CANTOGRANTA
SISTEMA ACUÍFERO ARENALES, VALLE DE LERMA, SALTA

Secretario: Ing. Mauricio Ramero Leal,
Programa Aguas Subterráneas: Geol. Vanesa Alfaro
Año 2023

Mapa 1. Concentración de Boro (mg/l) en SAA.

En la zona sur de Salta se observa una mayor cantidad de pozos con exceso de Boro; tomando de referencia el Barrio El Tribuno a un radio de 5,2 km aproximadamente, los pozos AS y ASP tienen profundidades entre 70 y 180 m.b.b.p, y concentraciones de boro de 0,57 a 1,1 mg/l. Al comparar las concentraciones del ASP 1475 Intersindical- Ampliación del año 2004 con el valor más reciente, se observa una disminución de 1,5 mg/l a 1,1 mg/l; en tanto el pozo AS 151 El Tribuno presentaba en el año 2005 una concentración de 1,70 mg/l, siendo la concentración actual de 1,1 mg/l. Esta disminución de las concentraciones estaría en concordancia con el desplazamiento de la pluma de contaminación de Boro hacia el Este.

Los pozos SRH 206 en Barrio San Carlos, SRH 922 Loteo Cielos del Valle, SRH 975 Las Huellas, SRH 651 Loteo La gringa y SRH 647 Urbanización Río Ancho, tienen concentraciones de Boro por encima de 0,5 mg/l (Tabla 10). Estos pozos tienen profundidades de 124 a 252 m.b.b.p, y concentraciones de Boro entre 1 mg/l a 2,31 mg/l (SRH 206).

La Tabla 10 muestra la comparación de valores de concentración de Boro del año de construcción y los valores obtenidos con este proyecto, observándose un notable aumento del elemento en los pozos SRH 651, 922, 975 y 647

SRH	B (mg/l) Inf. Tec	B (mg/l) 2023
206	s/d	2,31
651	0,3	1,02
922	0,1	1,02
975	0,1	1
647	0,28	2,31

Tabla 10. Valores comparados de B en Barrio El Tribuno

Estos valores son llamativos debido a que las obras de captación realizadas a partir del año 2005 alcanzaron los 250 metros de profundidad. En base a información de correlación de acuíferos, niveles arcillosos, posición de filtros y valores de contenido de Boro, se condicionó a que el diseño de los pozos tuvieran filtros por debajo de los 150 m.b.bp, como medida de prevención para evitar la contaminación con Boro de los niveles productivos superiores a los inferiores. El análisis de los diseños de los pozos indica que poseen filtros por debajo de esta profundidad. En base a lo mencionado, se infiere que la pluma de contaminación de Boro podría haber llegado a los acuíferos más profundos.

Resulta preocupante el aumento de las concentraciones de Boro en el intervalo productivo más profundo lo que requerirá de un monitoreo más frecuente, debido a que no existen antecedentes de contaminación de este acuífero.

En el sector de Atocha se identificaron dos pozos con exceso de Boro (Tabla 11). No se encontró antecedentes de anomalía de Boro en estos acuíferos y la

información es insuficiente. Analizando las líneas de flujo del SAA, cuyo sentido es NNO a NNE no es posible inferir una relación entre la planta procesadora de Borax de Campo Quijano y este elemento. Se recomienda realizar análisis complementarios.

SRH	B (mg/l) Inf. Tec	B (mg/l) 2023
1080	s/d	0,6
1390	1,7	s/d

Tabla 11. Comparación valores B en Atocha

Al noroeste de los Cerrillos, los pozos SRH 373, 447 indican una reducción de la concentración de Boro, comparado con el valor del análisis inicial (Tabla 12). En Barrio El Congreso no se contaba con registro, ni con datos de calidad de agua, el valor actual es de 0,75 mg/l. Al oeste de dicha localidad, el pozo SRH 373 muestra una disminución de las concentraciones de 0,94 a 0,02 mg/l; en el pozo Nuestra Sra del Huerto la concentración es de 0,59 mg/l, y no hay valor anterior. Al suroeste de los Cerrillos los pozos SRH 1349 y 995 exceden los límites establecidos con 5,4 y 11,5 mg/l respectivamente. Sería recomendable realizar seguimiento periódico a estos pozos debido que se desconoce su variación.

SRH	B (mg/l) Inf. Tec	B (mg/l) 2023
447	0,64	0,13
373	0,94	0,6
B°Congreso (S/ID)	s/d	0,75
Sra.del Huerto(S/ID)	s/d	0,59
373	0,94	0,02
842	0,57	s/d
995	11,5	s/d
1349	5,4	s/d

Tabla 12. Comparación valores de Boro.

En estudios de la problemática de Boro de este sector, se plantea la hipótesis de que la dirección del flujo subterráneo hacia el sureste y la planta de procesamiento de Bórax se relacionan a las altas concentraciones detectadas (Abraham et al, 2020). En los pozos al Noroeste no fue posible relacionar el exceso de Boro a la dirección de flujo mencionada.

Este proyecto permitió actualizar información y realizar toma de muestras y determinaciones de laboratorio en un número de pozos. El análisis de la información antecedente y la obtenida con el proyecto, permitió observar la variación en la concentración de Boro en pozos que no tenían datos.

La obtención de estos datos contribuye a la ampliación y actualización de información. Mediante la visualización de los mismos en el mapa, se identificaron sectores donde la contaminación de Boro persiste o disminuyó, asimismo, fue posible identificar zonas donde se desconocía la anomalía en acuíferos más profundos. Con base en esta información, es posible programar monitoreos más frecuentes a fin de contar con un registro más amplio en el tiempo que contribuiría a estudiar el comportamiento de la pluma de Boro y emitir recomendaciones en sectores donde el agua explotada presenta concentraciones próximas al límite máximo establecido o que excede a éste.

ANÁLISIS DE LOS CAUDALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Con la información obtenida del relevamiento en campo y de la actualización de datos de parámetros hidráulicos en pozos a cargo de Aguas del Norte, se compararon los caudales relevados y actualizados con los caudales de producción obtenidos de los informes técnicos.

En el sector sudoeste, en inmediaciones de Tribuno, los caudales relevados en los pozos AS y ASP dan valores entre 25 a 166 m³/h; a pesar que las obras tienen más de 30 años en muchos casos y abastecen a uno de los sectores más poblados de Salta, presentan un alto potencial hidráulico (Tabla 13).

SRH	Año	Dirección	Caudal Aforado Inf. Tec.	Caudal Especifico reg.	Caudal Actualiz.	Caudal Especifico actualiz.
ASP 1354/4000385	1986	Bancario- ampliacion	150	3,7	150	3,7
ASP 1353/4000386	1985	Tribuno	166,3	16	166,3	16
ASO 151/4000387	1973	El Tribuno	46,5	2,3	25	3,2
ASP 1475/4000388	1997	Intersidical- Ampliacion	160	13,49	160	14,39
ASO 650/4000390	1996	Intersidical	50	1,43	50	1,43
ASO 537/4000397	1992	Santa Ana	90	12,3	90	12,3
ASO 408/4000399	1984	Santa Ana	44	2,5	75	10,14
ASP 1405/4000401	1992	Santa Ana II	75	6,40	50	6,94
ASP 1370/4000457		San Pablo II	144	35	58,89	1,13
ASO 701/4000459	1997	Miguel Araoz	90	6,86	112	16,32
ASP 1361/4000638	1987	Bancario- Ampliacion	102	3,8	90	3,8
ASP 1362/4000639	1987	Bancario- Ampliacion	s/d	4,1	55	4,23
Sin/ID/5103378		Pozo 3.San Carlos	118	s/d	150	9,25
Sin/ID/5110170		Los Ceibos 2	s/d	5,03	39	3,64

Tabla 13. Comparación de caudales específicos y caudales de producción en pozos AS y ASP.

En los pozos SRH los caudales medidos en la actualidad varían de 3 a 205 m³/h. Los caudales bajos se deben a la readecuación del caudal de explotación a la cantidad de lotes habitados (Tabla 14).

SRH	Año	Dirección	Caudal Aforado Inf.Tec.	Caudal Especifico reg.	Caudal actualiz	Caudal Especifico actualiz.
58	2005	Jockey Club de Salta	202,46	57,76	205,29	47,55
206	2007	B° San Carlos	150,00	16,58	112,00	22,53
297	2005	Barrio Limache	143,07	33,35	113	45,20
342	2010	B° Los Tarcos	94,5	4,79	94,5	4,79
396	2011	Urbanización Los Ceibos	115,00	6,61	36,00	2,66
538	2012	Estacion Alvarado	134,00	20,43	75,00	25,00
651	2013	Loteo La Gringa	200,00	22,78	3,00	0,40

Tabla 14. Comparación caudal específicos y caudales de producción en pozos SRH.

En el sector de Atocha la mayoría de los pozos relevados presenta una disminución del caudal de producción, debido a lo cual se instalaron electrobombas de menor potencia (Tabla 15).

En El Prado e inmediaciones se registra una disminución en el caudal, excepto en el pozo ASP 1234 donde informaron el aumento del mismo (Tabla 15).

En general se registró una disminución del volumen de producción, los pozos presentaban un potencial hidráulico bajo y al disminuir el caudal de producción es crítica la situación de los acuíferos explotados.

SRH	Lugar	Qe m3h/m Inf.Tecnico	Caudal Aforado.Inf. Tec	Qe m3h/m. 2023	Caudal Aforado 2023	Observ.
95	Pozo Atocha	0,29	12,00	0,73	6,00	Cambio de bomba por disminución de caudal.16/6/21
266	Finca La Lonja	3,32	45,50	5,80	90,00	Cambio de bomba por disminución de caudal.5/6/22
650	Atocha 2	0,75	42	0,98	28	
1080	Loteo 240 Viviendas	0,82	27,40	0,45	15,50	Cambio de bomba por disminución de caudal. 8/6/22.
229- B	B°Privado. El Prado(Sector Hípico)	0,28	10,5	0,14	6	Cambio de bomba por disminución de caudal.
1006	Loteo El Algarrobal	2,11	47,9	3,98	45	
ASP 1234	Villa Violeta	0,4	8	0,64	70	

Tabla 15. Comparación de caudal específico y caudales de producción.

En Cerrillos los pozos SRH (Tabla 16) registraron la disminución de los caudales; esto se debe a que los loteos no se encuentran habitados en su totalidad y se adecuan los caudales de explotación a la menor demanda. Sin embargo, las captaciones siguen teniendo un alto potencial hidráulico.

SRH	Dirección	Caudal Aforado. Inf .tec.	Caudal Especifico reg.	Caudal Aforado relevado	Caudal Especifico actualiz
373	Pozo Hogar de Niños	144	7,25	100	8,33
447	B° Sivero	165,50	45,72	45,00	12,39
573	Miraflores	170,00	84,58	15,00	s/d
682	B° Juan Pablo II	60,00	10,17	60,00	10,17
1134	Finca La Falda- Loteo Los Adobes	130	67,01	6	6
5001139	Villa Balcon	s/d	s/d	46,6	1,86
5052138	Sra del Huerto	s/d	s/d	48	5,65
5103027	Barrio Congreso	s/d	s/d	s/d	s/d

Tabla 16. Comparación de caudales específicos y caudal de producción.

ANÁLISIS DE LOS CAUDALES ESPECÍFICOS DE POZOS REGISTRADOS Y DE POZOS PERTENECIENTES A AGUAS DEL NORTE

Con la información antecedente de los pozos registrados y los pozos a cargo de Aguas del Norte (pozos AS y ASP) se elaboró un mapa de caudales específicos (Mapa 2). Para ello, se tomó como referencia el mapa de caudales específicos del Sistema Acuífero Arenales de Baudino (1996), se separaron los caudales específicos por rangos de valores e identificados con un color determinado en el mapa, los cuales van de caudales específicos bajos (menos de 2 m³/h/m), medios (2 a 5 m³/h/m), altos (5 a 20 m³/h/m) y muy altos (más de 20 m³/h/m): Para los rangos altos se usaron valores en función de los parámetros actuales.

El caudal específico es el máximo caudal que se puede explotar de un pozo, hace referencia al volumen que se puede obtener por unidad de tiempo por cada metro de depresión de la columna de agua en el pozo. Por lo tanto, se toma como “verdadero caudal del pozo”, conocer su distribución y variación permite tomar decisiones relacionadas al régimen de explotación. Esta expresado con la siguiente formula:

$$q_e = Q/s$$

Cabe mencionar que para el análisis del potencial hidráulico se tomaron de referencia los caudales específicos del tercer escalón de los ensayos de bombeo de los legajos técnicos.

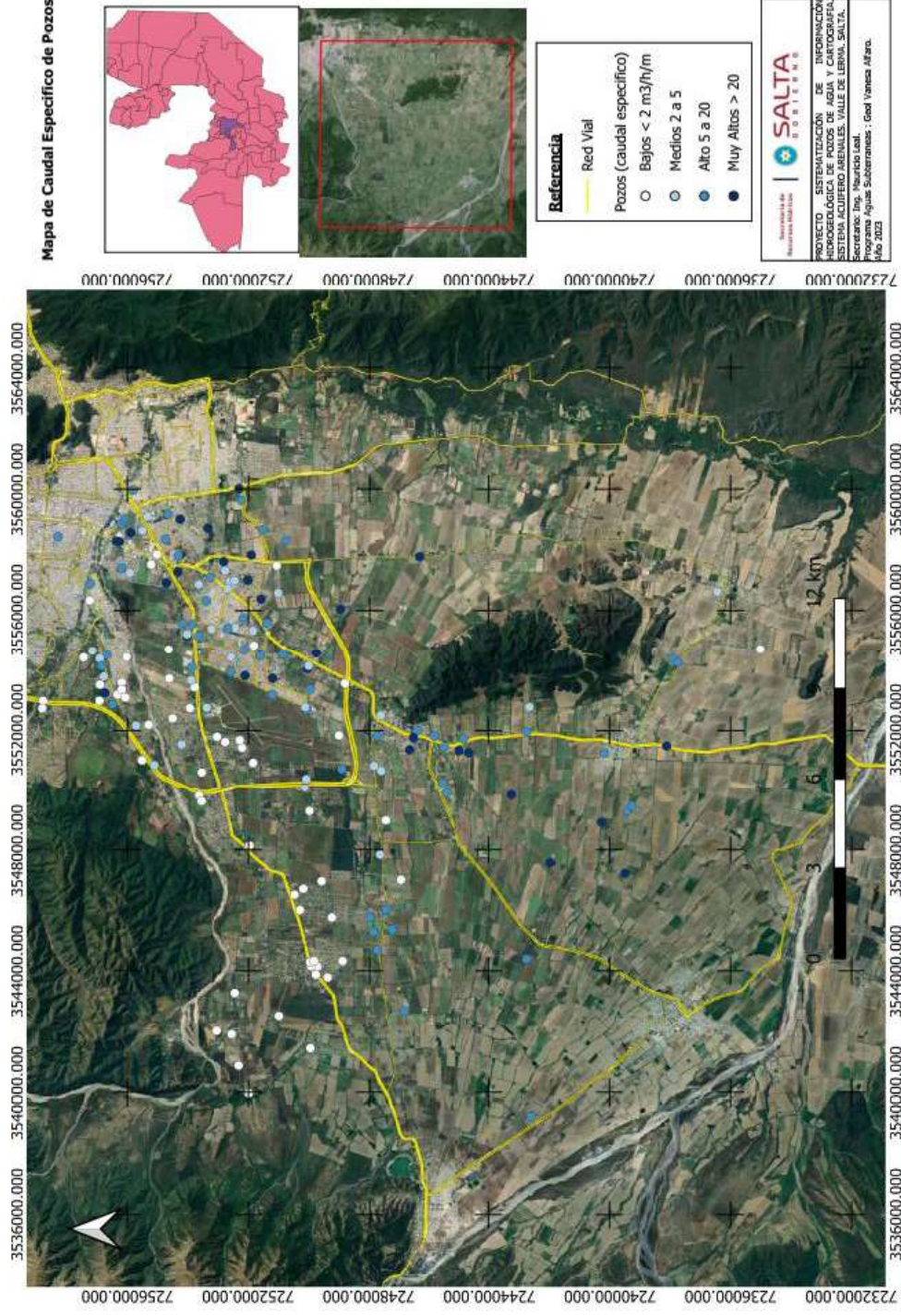
El mapa confeccionado tiene el fin de que el Organismo de Aplicación cuente con una herramienta donde se visualice el potencial hidráulico de las captaciones subterráneas para distribuir los caudales en función de las áreas servidas, administrar el recurso explotado y evitar la sobreexplotación de los acuíferos en el área.

En la Merced del Encon e inmediaciones se identificaron caudales específicos menores a $2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Esto podría tener explicación con los resultados del estudio denominado Redefinición del Limite Sur del Sistema Acuífero Arenales (Abraham et al., 2018), en el cual, basado en indicios geomorfológicos e hidrogeológicos, los autores proponen la hipótesis de que este sector de bajos caudales no pertenecería al Sistema Acuífero Arenales.

En la zona de Atocha el potencial del recurso es limitado, con bajos caudales, caudales específicos de entre $0,16$ a $5,66 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ y notorias depresiones. Este sector se encuentra en la zona de aporte a la recarga de ríos Arias e Isasmendi, con sedimentos terciarios de baja permeabilidad, lo que corrobora los caudales específicos bajos (Abraham, 2016). En esta zona, el pozo SRH 970 representa un caso extremo con un caudal de $8,8 \text{ m}^3/\text{h}$, una depresión notoria de $54,62 \text{ m}$ y un caudal específico de $0,16 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, es decir que para que este pozo pueda abastecer al Loteo Tierra Mia, por cada metro de descenso se podría extraer tan solo $160 \text{ l}/\text{h}$.

Hay una mayor densidad de pozos en la zona sudoeste de la ciudad de Salta, y Barrio El Tribuno, Inter, Santa Ana e inmediaciones, estas zonas presentan caudales específicos de medios a muy altos.

En Cerrillos hasta San Agustín y alrededores los pozos presentan un gran potencial hidráulico con caudales específicos altos a muy altos (más de $20 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$). Eso se refleja en el alto potencial hidráulico del pozo SRH 573 de Miraflores con un caudal de $170 \text{ m}^3/\text{h}$, un descenso de 2 m y un caudal específico de $84,58 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. La obra brinda $84 \text{ m}^3/\text{h}$ por metro de descenso.



Mapa 2. Distribución de caudales específicos de pozos registrados

CONCLUSIONES

Ante la mayor demanda del recurso hídrico subterráneo para abastecer nuevos loteos, irrigación y uso industrial, es de importancia actualizar los datos de parámetros hidráulicos y físico-químico de los pozos, a fin de conocer el estado de las obras de captación y la calidad del recurso explotado.

Con el presente proyecto, se unificó la información de pozos registrados (pozos SRH) con los pozos AS-ASP que están a cargo de Aguas del Norte.

Se relevaron 49 pozos en el SAA, y se actualizaron los datos de parámetros hidráulicos y físico-químico de 42 pozos.

Los muestreos de agua y actualización de datos permitieron obtener 31% de los pozos con determinaciones de Boro, de 18% que se contaban previamente.

Se identificaron pozos con concentraciones de Boro menores a 0,5 mg/l, entre 0,5 a 2,4 y mayores a 2,4 mg/l, lo que fue representado en un mapa de concentraciones de este elemento.

Se estima probable que la pluma de contaminación de Boro este avanzando hacia acuíferos más profundos, de acuerdo a los excesos de este elemento en pozos con filtros desde los 150 m.b.b.p, cercanos a la zona sudoeste de Salta.

Se realizó un mapa de distribución de los caudales específicos agrupados en bajos (menos de 2 m³/h/m), medios (2 a 5 m³/h/m), altos (5 a 20 m³/h/m) y muy altos (más de 20 m³/h/m) a fin de visualizar el potencial hidráulico de los pozos en las diferentes zonas.

Mediante el relevamiento de campo y de datos se actualizaron los parámetros hidráulicos de los pozos, en especial el caudal específico y el caudal de explotación, permitiendo conocer cómo se están explotando las diferentes zonas del acuífero Arenales.

La información antecedente y la nueva información colectada en campo, sistematizada y cargada en el banco de datos de pozos de la provincia, permitirá realizar análisis para la toma de decisiones tendientes a una explotación sostenible y a la protección de los acuíferos explotados.

RECOMENDACIONES

Es necesario realizar el monitoreo continuo de los parámetros hidráulicos y físico-químicos del recurso hídrico subterráneo con énfasis en Boro, como mínimo cada dos años, a fin de contar con datos para una representación temporal que permita estudiar el comportamiento de la pluma de Boro.

Seria valioso, continuar con el relevamiento de la totalidad de los pozos de la SRH y a cargo de Aguas del Norte, a fin de actualizar la información de los parámetros hidráulicos de los pozos.

Es importante continuar con los estudios, a fin de aportar al conocimiento del Sistema Acuífero Arenales.

Es importante implementar un modelo digital de circulación del sistema acuífero con datos actualizados, contemplando el marco geológico del valle y su vinculación con las áreas de recarga, conducción y descarga, y evolución hidroquímica, con énfasis de elementos As y B.

BIBLIOGRAFIA

Abraham, C. (2016). Estudio de prefactibilidad para una obra de perforación en Loteo 240 viviendas. Localidad Atocha. Salta.

Abraham, C., Baudino, G., y otros. (2018) Redefinición del Límite Sur del Sistema Acuífero Arenales. Salta. Argentina. Hidrogeología Regional Volumen 2, p 117-124.

Abraham, C., Baudino, G., y otros. (2020). Contaminación por Boro en el sector sur del Sistema Acuífero Arenales, Valle de Lerma. Salta Argentina. Revista Latinoamericana de Hidrogeología, número especial, p 53-65.

Baudino, G., Bundschuh, J., Fuertes, A. y otros. 1993. La industria del Boro y sus efectos sobre el agua subterránea en el valle de Lerma, provincia de Salta, Argentina. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 6: 255-259. Bariloche.

Baudino, G. (1996). Hidrogeología del Valle de Lerma, Provincia de Salta, Argentina (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Salta

Baudino, 2001. Relevamiento georreferenciado y clasificación de los pozos de aguas subterráneas en explotación, en función del riesgo actual o potencial degradación del recurso hídrico subterráneo en las Subcuencas Arias-Arenales y Toro Rosario.

Código Alimentario Argentino. Capítulo XII. Bebidas Hídricas, aguas y aguas gasificadas. Última actualización 05/24.

Instituto de Aguas Subterráneas para Latinoamérica. INASLA. Facultad de Ciencias Naturales - Universidad Nacional de Salta. Contaminación con Boro al Sur del Río ancho. Inédito. Salta