

EXPANSIÓN URBANA Y SUSTENTABILIDAD DE ACUÍFEROS: EL CASO DEL ÁREA DE RECARGA DEL SISTEMA ACUÍFERO ARENALES, PROVINCIA DE SALTA, ARGENTINA

URBAN EXPANSION AND SUSTAINABILITY OF AQUIFERS: THE CASE OF THE RECHARGE AREA OF THE ARENALES AQUIFER SYSTEM, PROVINCE OF SALTA, ARGENTINA
EXPANSÃO URBANA E SUSTENTABILIDADE DE AQUÍFEROS: O CASO DA ÁREA DE RECARGA DO SISTEMA AQUÍFERO ARENALES, PROVÍNCIA DE SALTA, ARGENTINA

<https://doi.org/10.26895/geosaberes.v15i0.1348>

GUADALUPE S. VÁZQUEZ ZARZOSO ^{1*}

MARÍA S. RODRIGUEZ-ALVAREZ ²

NATACHA LIENDRO ³

JAZMÍN SORANI ⁴

MARÍA ROMERO ORUÉ ⁵

MARCELA PÉREZ ⁶

MARTÍN A. IRIBARNEGARAY ⁷

¹ Becaria doctoral, CONICET, INENCO, Salta, Argentina

CPA: A4408FVY, Tel.: (+54) 0387-4215863, gvazquezzarzoso@gmail.com

<http://orcid.org/0009-0002-7900-9018>

*Autor correspondente

² Investigadora adjunta, CONICET, INENCO, Salta, Argentina

CPA: A4408FVY, (+54) 0387-4215863, solerod22@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0001-9524-3838>

³ CPA, CONICET, INENCO, Salta, Argentina

CPA: A4408FVY, Tel.: (+54) 0387-4215863, natchaliendro@gmail.com

<http://orcid.org/0009-0004-0035-2775>

⁴ Becaria doctoral, CONICET, INENCO, Salta, Argentina

CPA: A4408FVY, Tel.: (+54) 0387-4215863, marialicecorreia@ufc.com

<http://orcid.org/0009-0008-4291-4552>

⁵ Investigadora, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Salta, Argentina

CEP: 4421, Tel.: (+54 387 495-3585), josesilvasouza@ufc.com.br

<http://orcid.org/0000-0002-6530-6460>

⁶ Profesora, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fé, Argentina, CPA: S3001XAI, Tel.: (+54) 342 457-5245, perezmarcelaa@gmail.com

<http://orcid.org/0009-0001-2035-4514>

⁷ Investigador adjunto, CONICET, INENCO, Salta, Argentina

CPA: A4408FVY, Tel.: (+54) 0387-4215863, iribarnegarayma@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0001-9388-5626>

Histórico do Artigo:

Recebido em 01 de Junho de 2024.

Aceito em 08 de Julho de 2024.

Publicado em 08 de Julho de 2024.

RESUMEN

El abastecimiento de agua para consumo humano en la ciudad de Salta y área metropolitana dependen en gran medida del agua subterránea. El estudio se desarrolló en la zona de recarga del sistema acuífero Arenales, donde la población asentada depende del agua subterránea para uso doméstico y realiza una gestión insitu de las aguas residuales domésticas. El objetivo fue evaluar las condiciones de acceso al agua y el saneamiento, así como la distribución y calidad del recurso hídrico a través de la medición de los niveles freáticos, el contenido de nitrato y bacterias de 16 puntos de control. La totalidad de muestras tomadas presentaron contenido de bacterias coliformes, por lo que, según el Código Alimenticio argentino, ninguna se considera apta para el consumo humano. Las concentraciones de nitrato fueron inferiores a los 45 mg NO₃⁻/L considerado como límite para agua de consumo por el mismo código. Los resultados mostraron que el agua subterránea de consumo presenta contaminación antrópica debido fundamentalmente a un deficiente mantenimiento y gestión de los pozos de agua, además de un insuficiente tratamiento de los sistemas descentralizados de aguas residuales.

Palabras clave: Agua subterránea. Nitratos. Bacterias.

ABSTRACT

Water supply for human consumption in the city of Salta and its metropolitan area depends largely on groundwater. The study was developed in the recharge zone of the Arenales aquifer system, where the settled population depends largely on groundwater for domestic use. The objective was to evaluate the distribution and quality of the water resource through the measurement of water table levels, nitrate content and bacteria of 16 control points, as well as the excreta disposal method used in the census homes. All the samples taken presented bacteria content, so, according to the Argentine Food Code, none is considered fit for human consumption. Nitrate concentrations were lower than 45 mg NO₃⁻/L considered as the limit for drinking water by the same code. It is concluded that, due to the concentration of nitrates and bacteria, the water presents a fecal-type contamination caused by decentralized excreta disposal wells.

Keywords: Groundwater. Nitrates. Bacteria.

RESUMO

O abastecimento de água para consumo humano na cidade de Salta e na região metropolitana depende em grande parte das águas subterrâneas. O estudo foi desenvolvido na zona de recarga do sistema aquífero Arenales, onde a população asentada depende de águas subterrâneas para uso doméstico e realiza a gestão local de águas residuais domésticas. O objetivo foi avaliar as condições de acesso à água e saneamento, bem como a distribuição e qualidade do recurso hídrico por meio da medição dos níveis do lençol freático, teor de nitratos e bactérias em 16 pontos de controle. Todas as amostras colhidas continham bactérias coliformes, portanto, de acordo com o Código Alimentar Argentino, nenhuma é considerada adequada para consumo humano. As concentrações de nitrato foram inferiores aos 45 mg NO₃⁻/L considerados como limite para água potável pelo mesmo código. Os resultados mostraram que as águas subterrâneas para consumo apresentam contaminação antrópica principalmente devido à má manutenção e gestão dos poços de água, além do tratamento insuficiente dos sistemas descentralizados de águas residuais.

Palavras-chave: Águas subterrâneas. Nitratos. Bactérias.

INTRODUCCIÓN

El agua potable y el saneamiento son reconocidos como derechos humanos básicos, dado que son indispensables para sostener medios de vida saludables y son fundamentales para mantener la dignidad de todos los seres humanos (WWPA, 2019). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011) todas las personas deben disponer de un abastecimiento de agua suficiente, seguro y accesible.

Se estima que 2.5 mil millones de personas dependen exclusivamente del agua subterránea para su abastecimiento de agua potable (WWAP, 2015), siendo un recurso vital para el desarrollo de muchas ciudades. En este contexto, el crecimiento poblacional trae aparejados cambios en el medio ambiente, incluyendo aumento en la demanda de los recursos hídricos, cambio en el uso de los suelos e incremento de las cargas contaminantes sobre los acuíferos. Se espera que la demanda global de agua aumente a un ritmo similar hasta 2050, de un 20 a 30% por encima del nivel actual de uso del agua (BUREK *et al.*, 2016). Millones de personas en América Latina y el Caribe carecen aún de una fuente adecuada de agua potable,

mientras que un número aún mayor sufre la carencia de instalaciones seguras y dignas para la eliminación de aguas residuales domésticas (WWAP, 2019).

Las tendencias actuales a nivel mundial, incluyendo el crecimiento poblacional previsto y un consumo cada vez más intensivo de los recursos naturales aumentan la necesidad de una mejor gestión de las excretas y de las aguas residuales, así como los retos para hacerla más sostenible (ANDERSSON *et al.*, 2021). Muchas personas aún no tienen acceso a un sanitario seguro y funcional. Se estima que, en 2015, 2,4 mil millones de personas en el mundo no utilizaban una instalación de saneamiento mejorada, incluyendo a casi mil millones de personas que aun recurrían a la defecación al aire libre (JMP, 2019). Impedir el daño ambiental es una función cada vez más reconocida y valorada del tratamiento de las aguas residuales, y un componente de la agenda para el desarrollo sostenible. Los sistemas que aseguran que las aguas residuales sean tratadas antes de descargarlas en aguas naturales receptoras reducen las amenazas a los ecosistemas y a los servicios que estos proveen, los cuales incluyen mejorar la calidad y la seguridad del agua dulce (y, por lo tanto, la posibilidad de usarla) y reducir la contaminación y la eutrofización en los ecosistemas que suministran alimentos (CORCORAN *et al.*, 2010).

En Argentina 20.1% de la población no posee acceso al agua (potable o segura). En las zonas urbanas y en zonas rurales agrupadas afecta al 7.1%, mientras que en las zonas rurales dispersas al 37.6%. En cuanto a la cobertura de saneamiento, existe un déficit del 43.9% (19.7 millones de personas). En zonas urbanas casi 4 de cada 10 personas no accede a redes de alcantarillado. Por su parte, en las zonas rurales agrupadas afecta al 38.8% y en las áreas rurales dispersas al 65.2% (Ministerio de Obras Publicas Argentina, 2021).

En los efluentes de las viviendas pueden encontrarse una gran cantidad de sustancias, muchas de ellas consideradas contaminantes para el medio ambiente. Estos pueden ser de naturaleza física (ej. temperatura), química (metales, hidrocarburos) o biológica (ej. bacterias coliformes) (ROJO Y CARRIQUIRIBORDE, 2019). Una gestión poco segura de las aguas residuales expone a las poblaciones a enfermedades, degrada los ecosistemas y los servicios que estos suministran (ANDERSSON *et al.*, 2021). La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que 2,9 millones de personas mueren cada año por estas causas (PRÜSS-ÜSTÜN *et al.*, 2008).

Si los sistemas descentralizados de aguas residuales (aquellos ubicados en los mismos lotes de las viviendas) no son ubicados en lugares apropiados o no son correctamente diseñados y mantenidos pueden provocar la contaminación del agua subterránea y generar riesgos para la salud humana (LAGRO *et al.*, 2017; IRIBARNEGARAY *et al.*, 2021). El tratamiento de las aguas residuales domiciliarias debe ser entendido, como una necesidad, a fin de mantener condiciones adecuadas de salud e higiene para la población, conservar la calidad de las fuentes de agua y propender a un uso racional y sustentable de los recursos acuáticos (MARIÑELARENA, 2006).

La contaminación de las aguas subterráneas es un problema de gran importancia, especialmente cuando la población depende de ella como única fuente de abastecimiento, ya que es muy difícil de detectar y casi imposible de eliminar, puesto que si se detecta la contaminación ha alcanzado grandes extensiones y su tratamiento se dificulta.

Conocer la calidad del agua es de suma importancia y su determinación se realiza a través de la medida de los parámetros fisicoquímicos y biológicos mediante un monitoreo sistemático. Por otro lado, conocer las características intrínsecas del acuífero (balance hídrico, porosidad, permeabilidad, niveles estáticos y dirección de flujo) permiten predecir los escenarios ante el exceso en la demanda, déficit en la recarga y situaciones de contaminación.

El ion nitrato es uno de los parámetros a monitorear en las aguas subterráneas por ser un indicador de contaminación ambiental de origen humano. Los nitratos provienen del producto final de la degradación aeróbica del nitrógeno orgánico y se caracterizan por su gran movilidad

en el suelo hasta alcanzar las aguas subterráneas. Los nitratos provenientes de las actividades humanas proceden de la escorrentía de terrenos cultivados, efluentes de lagunas y tanques sépticos, materia fecal animal y fertilización excesiva con nitrógeno (ANDRIULO *et al.* 1999). El Código Alimentario Argentino (CAA) (2021) establece dentro de las características de las sustancias químicas el límite máximo de nitrato (NO_3^-) en 45 mg/L para agua de consumo humano. El nitrato es considerado un buen criterio de evaluación en problemas de contaminación urbana (IRIBARNEGARAY *et al.*, 2012), debido a que los mismos migran lentamente a través del suelo, lo que evidencia la historia de contaminación del sistema hídrico. Las concentraciones de nitrato mayores al límite establecido pueden afectar especialmente a niños, produciendo el “síndrome del niño azul” (metahemoglobinemia).

En el caso de la calidad microbiológica del agua, como parámetro de control se utilizan las bacterias indicadoras de contaminación fecal. Tradicionalmente se han utilizados los coliformes totales y coliformes termotolerantes como indicadores de calidad, aunque la abundancia de *Escherichia coli* se ha asociado más al riesgo sanitario en comparación con el resto de los coliformes (PRATS *et al.*, 2008). El límite establecido por el Código Alimentario Argentino para aguas de consumo humano es igual o menor de 3 NMP de bacterias coliformes por cada 100 ml de agua.

En este trabajo hemos combinado análisis cuantitativos y cualitativos para evaluar las mayores problemáticas y riesgos relativos al adecuado manejo del agua subterránea en ámbitos metropolitanos de rápido crecimiento urbano. Dicho análisis se basa en datos obtenidos de dieciséis (16) puntos de control, catorce (14) de los cuales pertenecen a domicilios particulares con distintas problemáticas en cuanto al acceso al agua de consumo y disposición de excretas por medio de sistemas descentralizados. La estructura del presente trabajo es la siguiente: en primer lugar, hemos analizado el impacto de la incipiente expansión del área metropolitana de la ciudad de Salta sobre el área de recarga de uno de los acuíferos más importantes. Una vez evaluados los impactos, se realizó un análisis de las características más importantes del proceso de urbanización a los fines de discutir los aspectos relacionados a la gobernanza del agua que han permitido un deterioro de las condiciones del acuífero y pueden estar poniendo en riesgo su sustentabilidad a largo plazo.

MATERIALES Y MÉTODOS

EL SISTEMA ACUÍFERO ARENALES.

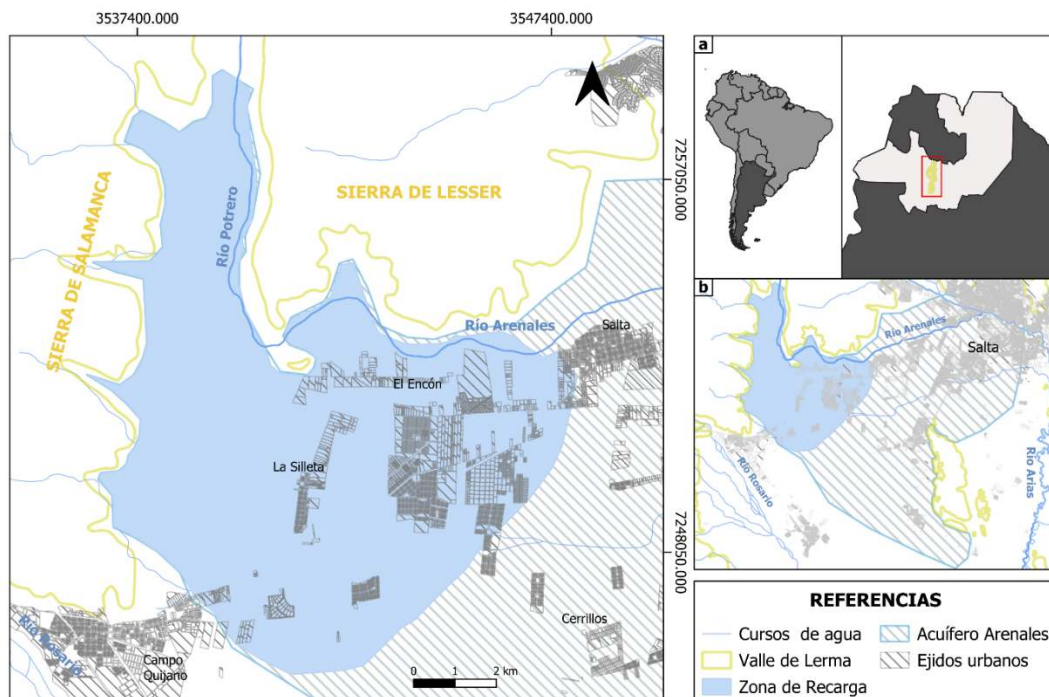
El Sistema Acuífero Arenales presenta una extensión de 1226 km² (ELENA *et al.*, 2011), abarca gran parte del sector sudoeste del Valle de Lerma, y es uno de los más importantes en términos de reservas de agua dulce (Figura 1). El aporte a la recarga del Sistema Acuífero Arenales proviene principalmente de la subcuenca del río Potrero – Arenales y los reservorios productivos están relacionados al abanico aluvional del mismo (Baudino, 1996). Esta porción del sistema acuífero presenta una alta vulnerabilidad a ser contaminado, ya que se compone de depósitos modernos a subactuales, una litología gruesa, alta porosidad y permeabilidad (AUGE, 2006; BAUDINO, 1996).

Las áreas urbanas asentadas en el área de recarga del Sistema Acuífero Arenales se abastecen casi con exclusividad de agua obtenida del acuífero, mediante pozos domiciliarios someros debido a que la red de suministro de agua es insuficiente, alcanzando a cubrir un mínimo porcentaje en este sector y de manera intermitente. En esta área de recarga del sistema acuífero ya se ha detectado una degradación de la calidad del agua subterránea (CORREA *et al.*, 2017) debido a la existencia de fuentes de contaminación puntual y difusa como las que se originan por presencia de granjas avícolas (con disposición de residuos sin tratamiento),

microbasurales, efluentes, criaderos (ganado vacuno, porcino) y lagunas de estabilización (GIL *et al.*, 2008).

El estudio del agua alojada en el área de recarga de este sistema acuífero reviste un interés sustancial. La zona de estudio propuesta, se encuentra ubicada en un área de incipiente crecimiento urbano, ejerciendo una creciente presión sobre el recurso hídrico tanto desde el punto de vista de su explotación para consumo, como desde su vulnerabilidad a ser contaminado.

Figura 1- Mapa de ubicación de zona de estudio a) Ubicación de la zona de estudio de Sudamérica, Argentina y Provincia de Salta b) Ubicación de la zona de estudio en el Sistema Acuífero Arenales



Fuente: Propia.

MUESTREO Y MÉTODOS DE ANÁLISIS

Se realizó un relevamiento de dieciséis (16) puntos de control a lo largo del área de estudio donde se tomaron muestras de agua para análisis físico-químicos y bacteriológicos. De la totalidad de puntos, catorce (14) corresponden a pozos someros ubicados en domicilios particulares y dos (2) puntos se ubican sobre el cauce del Río Arenales, aguas arriba y abajo de la zona de estudio. En los pozos someros se midió la profundidad del nivel piezométrico, se constataron las condiciones de mantenimiento de la estructura de protección de la boca de pozo y se realizó un relevamiento de información de las viviendas que incluyó: composición del grupo familiar y rango de edades, acceso a los servicios básicos, tipo de sistema de eliminación de excretas y antecedentes de enfermedades de transmisión hídrica.

Las muestras de agua de los pozos someros fueron extraídas por bombeo mediante bombas sumergibles instaladas en los pozos y en los casos donde no se contaba con una bamba, la muestra se extraía de forma manual por medio de Bayler. Se recolectaron muestras utilizando frascos estériles de 100 ml y bidones de PET de 2 L. Las muestras se trasladaron refrigeradas al Laboratorio de Estudios Ambientales, dependiente del INENCO. Se determinaron *in situ* las variables pH, conductividad, sólidos disueltos totales, temperatura y turbiedad con

equipamiento portátil; y en laboratorio la determinación de nitrato. Se utilizaron técnicas convencionales estandarizadas para el análisis de agua (APHA, 2005).

En cuanto a las determinaciones bacteriológicas, se obtuvo la densidad de coliformes totales y *E. coli*, empleando la técnica de fermentación en tubos múltiples y diluciones sucesivas, con caldo sulfato de laurilo con MUG (Fluorocult de Merck®). La determinación de ausencia/presencia de *Pseudomonas aeruginosa* se realizó utilizando el medio de cultivo *Pseudomonas* Agar F de Britania®.

EL VALLE DE LERMA Y EL ÁREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE SALTA

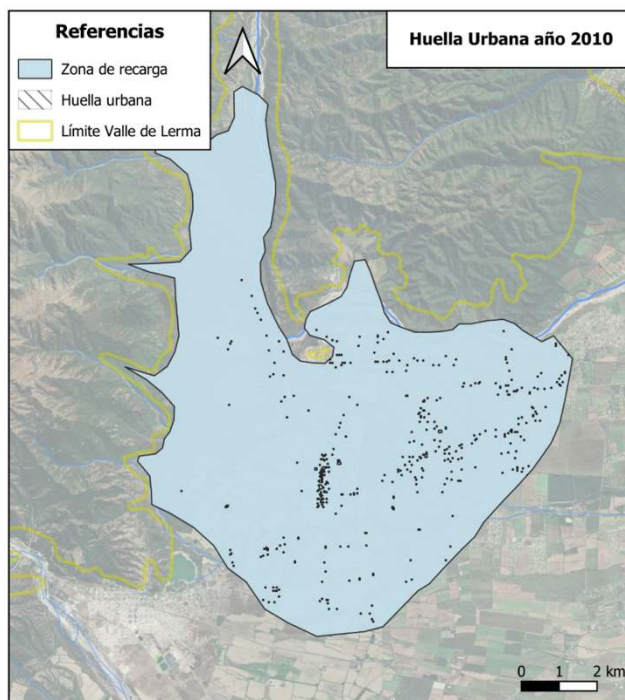
El área de estudio se ubica en el Valle de Lerma (provincia de Salta, noroeste de Argentina) y abarca parte de los municipios de Salta Capital, Cerrillos y Rosario de Lerma, los cuales forman parte del área metropolitana de la ciudad de Salta (AMCS). El abastecimiento de agua del Valle de Lerma depende en un 70% de 200 pozos profundos que extraen agua desde una serie de acuíferos presentes en el área. La cobertura de redes de agua potable en el AMCS es de aproximadamente 80%, mientras que las redes de alcantarillado cubren cerca del 60% de las zonas urbanas (DAMII, 2018). Sin embargo, en la zona de estudio (sector sudoeste del Valle de Lerma) no existe cobertura de servicio de red de alcantarillado, por lo que el 75% de las familias cuenta con disposición de aguas residuales domésticas en pozos absorbentes (previo paso por cámaras sépticas), el 15% poseen letrinas y el 10% no poseen baño, todos estos denominados sistemas sépticos. Además, es relevante señalar que Cruz et al., (2008) reportan un elevado número de casos de diarrea y parasitosis en la población de la zona.

La expansión de los centros urbanos y el progresivo crecimiento de estos sectores en los espacios interurbanos también han provocado importantes deficiencias en la infraestructura de saneamiento básico, especialmente en el tratamiento de aguas residuales. La urbanización no planificada de áreas urbanas dispersas ha generado una grilla de sistemas sépticos sin ningún tipo de criterio de ubicación, con poca regulación e inexistente seguimiento institucional. La falta de normas y regulaciones ha llevado a una situación de falla de un gran (y desconocido) número de sistemas actualmente en uso. Como consecuencia de esta falta de planificación e infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, se ha observado una contaminación grave y prolongada de las aguas subterráneas (ZAMORA GÓMEZ, 2004)

En el territorio del AMCS se evidencian procesos de expansión urbana desde hace más de una década, produciendo el retroceso de suelo rural productivo y la degradación de áreas naturales de gran valor (ZORICICH, 2020). Según el INDEC, la población del área metropolitana ha crecido un 28,8% en los últimos 10 años, mientras que, en el mismo período, la de la ciudad de Salta ha aumentado un 13,2%. El AMCS es, de hecho, una de las áreas metropolitanas con mayor crecimiento poblacional del país.

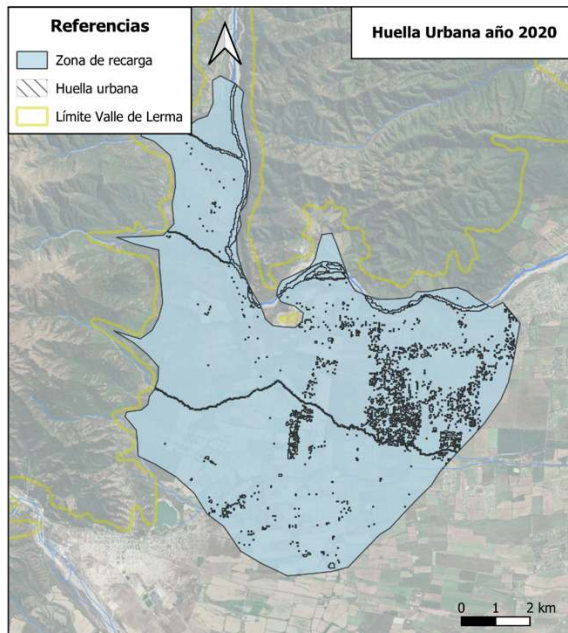
El área de estudio constituye uno de los focos de crecimiento urbano espontáneo del AMCS, tal como se observa en las figuras 2 y 3 la misma presenta desde el año 2010 a 2020 un notable incremento de la ocupación del terreno, donde a partir de loteos la población se asienta y construye su vivienda. Dicha población se abastece de agua en su mayoría por perforaciones someras particulares y sistemas sépticos descentralizados que son construidos sin ningún control por parte del Estado, debido a la inexistencia de un marco regulatorio formal ni controles en el momento de su construcción. El recurso hídrico subterráneo del área de estudio reviste singular importancia, ya que no solo abastece de agua a gran parte de la población asentada sobre el mismo, sino que es la zona de recarga de un acuífero que alimenta en parte a la población del área metropolitana de la ciudad de Salta, por lo que cualquier posible degradación en su calidad conllevará consecuencias con una influencia areal mayor.

Figura 2: Huella Urbana de zona de estudio para el año 2010



Fuente: Modificado de Pepenal, 2021.

Figura 3 - Huella Urbana de zona de estudio para el año 2020



Fuente: Modificado de Pepenal, 2021.

DESCRIPCIÓN DE LA GOBERNANZA DEL AGUA EN EL VALLE DE LERMA

La provincia de Salta cuenta con una única empresa de suministro de agua y saneamiento, la Compañía Salteña de Agua y Saneamiento S.A. (CoSAySa), también denominada “Aguas del Norte”. Esta empresa ha experimentado cambios institucionales significativos en las últimas décadas, siendo inicialmente estatal y luego privatizada en el año 1998, concediendo a una única empresa el sistema de agua y saneamiento por redes (agua y alcantarillado) de todo el

estado provincial, cubriendo unos 150,000 km² (SALTIEL, 2003). Durante el período privado, la empresa no logró cubrir adecuadamente con servicios adecuados a los sectores más pobres o alejados de las áreas céntricas, con menor poder de pago del servicio (CASTRO, 2007), además de sufrir importantes problemas técnicos y financieros por limitaciones propias de la empresa y también debido a las constantes crisis económicas que sufrió el país durante este período. En parte debido a estos problemas, pero también en respuesta a cambios políticos locales, el gobierno provincial rescindió el contrato con la empresa en el año 2009, siendo el servicio desde ese año gestionado por una empresa de capitales del estado.

El monopolio natural de la empresa prestadora en la totalidad del territorio de la provincia ha tenido algunas consecuencias negativas (SORANI *et al.*, 2024). Primero, muchos gobiernos locales (escala municipal) se han desentendido de sus responsabilidades sobre el manejo y planificación del agua y el saneamiento en sus propios territorios, lo que ha llevado a una falta total de capital humano para responder ante problemas técnicos, de planificación, o para la implementación de políticas específicas a mediano o largo plazo. Segundo, de acuerdo con el marco legal vigente la empresa solo tiene a cargo el servicio por redes, tanto para la provisión de agua (desde fuentes superficiales o subterráneas) como para la recolección y tratamiento de las aguas residuales (redes de alcantarillado y plantas de tratamiento centralizadas). Sin embargo, el acceso al agua por medios descentralizados (como la utilización de pozos familiares someros, cosecha de agua, etc.) o al saneamiento (cámaras sépticas, biodigestores, letrinas, etc.) no cuenta con un marco legal específico y los municipios hasta el momento no han adoptado un rol de control o planificación adecuado.

La falta de normas y regulaciones para el acceso descentralizado al agua y el saneamiento ha llevado a una situación de emergencia a un gran número de tecnologías actualmente en uso en el área de estudio, aunque hasta el momento sin políticas públicas específicas orientadas a mejorar la situación (IRIBARNEGARAY *et al.*, 2021). Los pozos de agua someros son construidos sin permisos previos por parte de ninguna autoridad, no existen reglas de uso, ni controles de calidad, y en general el mantenimiento por parte de las familias es muy pobre (Figura 3). En cuanto a los sistemas sépticos, es sabido que tienen un impacto ambiental intrínseco acumulado (MORRISSEY *et al.*, 2015), pero en la zona de estudio las cámaras sépticas se adquieren en el mercado local o se construyen directamente en el lugar sin necesidad de ningún permiso institucional, control legal o proceso de seguimiento.

Figura 4 - Estado de construcción y conservación de alguno de los pozos someros de agua de consumo del área de estudio



Fuente: Propia.

CONCLUSIONES

Debido al contenido en bacterias en las muestras de agua de consumo, se concluye que la totalidad de las mismas no son aptas para el consumo humano, requiriendo la utilización de algún medio de potabilización previo al su consumo. Si bien las encuestas realizadas no evidenciaron casos de enfermedades de transmisión hídrica, se asumen un alto riesgo de contraer alguna debido a la calidad del agua.

Existe una mayor concentración de bacterias en las muestras tomadas en la parte central de la zona de estudio, coincidiendo con la zona de mayor densidad poblacional. Por otro lado, se observa presencia de *Pseudomonas aeruginosa* en la parte distal de la zona de estudio, así como un aumento en la concentración de nitratos.

Tanto la presencia de coliformes totales, *Escherichia coli* y nitratos (valores mayores a 5 mg/L) indica contaminación por un tratamiento deficiente de los sistemas sépticos. La ausencia de actividad agrícola, especialmente en el sector apical de la zona de estudio, refuerza esta teoría. Considerando que los sistemas de tratamiento de aguas residuales no cuentan con ningún control oficial, estos se encuentran en casi todos los casos subdimensionados, con tratamiento insuficiente por falta de componentes, y con una disposición en suelo no adecuada (mediante pozos absorbentes profundos), en muchos casos descarga los efluentes de forma directa en el acuífero libre, cuya profundidad no es suficiente para no ser afectado por la descarga de aguas residuales. La utilización de una disposición en suelo en forma subsuperficial a través de campos de infiltración sería una medida que mejoraría el tratamiento final de los efluentes en el suelo. Otro problema es que la vulnerabilidad del acuífero en el área de estudio es alta. Esto indica entre otras cosas que la textura y estructura del suelo permite altas tasas de infiltración de efluentes pobremente tratados en la actualidad.

Todo esto evidencia una situación crítica dado el alto riesgo de contaminación del acuífero en esta área, requiriendo un riguroso control de los sistemas sépticos existentes, los cuales deberían tener configuraciones mucho más complejas que solo cámaras sépticas, debido a la alta calidad de efluente requerida antes de la disposición final en suelo (IRIBARNEGARAY *et al.*, 2016). Por otro lado, se considera de suma importancia que los pozos someros de abastecimiento de agua posean estructuras de protección adecuadas y en buen estado de conservación que protejan al acuífero de posibles contaminaciones desde la superficie.

Es necesario replantear y tomar medidas urgentes respecto a la planificación urbana en esta zona, debido a la alta vulnerabilidad del acuífero y la ausencia de infraestructura de agua y saneamiento básica. El agravamiento de la contaminación del acuífero no solo sería un problema complejo e incipiente para la población del área, la cual en muchos casos consume agua directamente (y sin tratamiento) del acuífero libre local, sino también para la seguridad hídrica de un importante sector del Valle de Lerma que tiene a este acuífero como reserva de agua para el desarrollo y la seguridad alimentaria en el futuro.

REFERÊNCIAS

ANDERSSON, K.; ROSEMARIN, A.; LAMIZANA, B.; KVARNSTRÖM, E.; MCCONVILLE, J.; SEIDU, R.; DICKIN, S.; AND TRIMMER, C. **Saneamiento, gestión de aguas residuales y sostenibilidad: de la disposición de desechos a la recuperación de recursos**. Nairobi y Estocolmo: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo, 2021.

ANDRIULO, A.; DE GALETO, M.; SASAL, C.; ABREGO, F.; BUENO, M.; RIMATORI, F.; DE LA CRUZ, M. A.; VENENCIO, M.; DEL V. Y GIACOSA, R. Nitratos en el agua subterránea del partido de Pergamino. Efecto a largo plazo de la agricultura continua extensiva y a corto plazo de la producción intensiva de granos. **Sitio argentino de Producción Animal**. Sección Suelos. INTA Pergamino, 1999.

APHA, **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. Edition: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC, 2005. 1288p.

AUGE, M, P. **Agua subterránea deterioro de calidad y reserva**. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Ciencias Geológicas. Cátedra de Hidrogeología. Universidad de Buenos Aires, 2006. 173p.

BAUDINO G. **Hidrogeología del valle de Lerma**. 1996. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Salta, Provincia de Salta, Argentina, 1996.

BUREK, P.; SATOH, Y.; FISCHER, G.; KAHIL, M. T.; SCHERZER, A.; TRAMBEREND, S.; NAVA, L. F.; WADA, Y.; EISNER, S.; FLÖRKE, M.; HANASAKI, N.; MAGNUSZEWSKI, P.; COSGROVE, B. Y.; WIBERG, D. **Water Futures and Solution: Fast Track Initiative**. IIASA Working Paper. Laxenburg, Austria, International Institute for Applied Systems Analysis. 2016. 113p.

ARGENTINA. Ministerio de Salud. **Código Alimentario Argentino**. Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificadas. Artículos: 982, Argentina, 2012. 63p.

CASTRO, J. E. Neoliberal water and sanitation policies as a failed development strategy: lessons from developing countries. **Progress in Development Studies**, v. 8, n.1, p. 63-83, 2008. Disponible en: <<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/146499340700800107>>. Acceso en: 11 febrero 2024. <https://doi.org/10.1177/146499340700800107>.

CORCORAN, E. C; NELLEMAN, E. BAKER, R.; BOS, D.; SBORN, H.; SAVELLI. **Sick Water? The Central Role of Wastewater Management in Sustainable Development**. A Rapid Response Assessment. Nairobi: UN Environment Programme, UN-HABITAT, GRID-Arendal. Disponible en: <<https://www.grida.no/publications/218>>. Acceso en: 4 abril 2024.

CORREA J. J.; IRIBARNEGARAY, M. A.; RODRIGUEZ ALVAREZ, M. S., SEGHEZZO L. Hacia una herramienta de apoyo a la decisión para la ubicación de sistemas de tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas. **Actas de la XI reunión de trabajo de la asociación argentina de energías renovables y medio ambiente**, v. 5, p. 41-50, 2017.

CRUZ C.; GIL, J.; GÓMEZ S.; RAJAL, V. Diagnóstico de la Calidad Microbiológica del Agua Superficial en una Zona Semi-Rural de la Provincia de Salta. **Ciencia**, v. 3, n. 3, p. 145-163, 2008.

ARGENTINA. Ministerio de Economía del Gobierno de la Provincia de Salta. **Programa de desarrollo de áreas metropolitanas del interior (BID 3780/OC-AR)**. Argentina, 2018. 254p.

ELENA H. J.; MOSCIARO M. J.; NOE Y. E.; LEDESMA F. M. Caracterización de las cuencas hídricas de las provincias de Salta y Jujuy. **Informe INTA**, 2011.

GIL, J.; CRUZ, C.; ROMERO, L.; ARAMAYO, C.; POMA, R.; RAJAL, V. Relevamiento de Fuentes de Riesgo Ambiental en una Zona Semi-Rural en la Provincia de Salta. **Revista Ciencia**, v. 3, n. 5, 2008.

GRANDINETTI, R.; MILLER, E. Tendencias y prácticas: Políticas de Gobierno Abierto a nivel municipal en Argentina. **Revista Iberoamericana de Estudios Municipales**, n. 21, p. 89-112, 2020. Disponible en: <<https://www.scielo.cl/pdf/riem/n21/0719-1790-riem-21-89.pdf>>. Acceso en: 12 febrero 2023. <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-17902020000100089>

IRIBARNEGARAY, M. A.; COPA, F. R.; GATTO D'ANDREA, M. L.; ARREDONDO, M. F.; CABRAL, J. D.; CORREA, J. J.; LIBERAL, V. I.; SEGHEZZO, L. A comprehensive index to assess the sustainability of water and sanitation management systems. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, v. 2, n. 3, p. 205-222, 2012. Disponible en: <<https://iwaponline.com/washdev/article-abstract/2/3/205/30028/A-comprehensive-index-to-assess-the-sustainability?redirectedFrom=PDF>>. Acceso en: 03 enero 2024. <https://doi.org/10.2166/washdev.2012.005>.

IRIBARNEGARAY, M. A.; RODRIGUEZ-ALVAREZ, S.; OLIVA, D.; TEJERINA, W.; LIBERAL, V.; SEGHEZZO, L. Tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas en el área metropolitana del Valle de Lerma, Provincia de Salta, Argentina. **Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 37, p. 35-41, 2016.

IRIBARNEGARAY, M. A.; CORREA, J. J.; SORANI, J. M. D. R.; CLAVIJO, A., RODRIGUEZ-ALVAREZ, M. S., SEGHEZZO, L. A simple method for identifying appropriate areas for onsite wastewater treatment. **Water**, v. 13, 2634, 2021. Disponible en: <<https://www.mdpi.com/2073-4441/13/19/2634>>. Acceso en 1 ab. 2024. <https://doi.org/10.3390/w13192634>.

JMP (2019). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017. Specialfocus on inequalities. **New York: United Nations Children's Fund (UNICEF) and World Health Organization**. Disponible en: <https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/jmpreport-2019/en/>. Acceso en 5 de ab. 2024.

LAGRO JR, J. A.; VOWELS, B.; VONDRA, B. Exurban housing development, onsite wastewater disposal, and groundwater vulnerability within a changing policy context. **Landscape and Urban Planning**, v. 167, 60-71, 2017. Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016920461730124X>>. Acceso en: 5 abr 2024. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.05.020>.

MARIÑELARENA, A. **Manual de construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales domiciliarias**. Editorial Mariñelarena Freplata. Sistema de Tratamiento, 2006. 76p. **Ministerio de Obras Públicas de Argentina**. Informe de coyuntura sobre acceso e igualdad al agua y saneamiento, 2021. 7p Disponible en: <<https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/publicaciones/informes-de-coyuntura-sobre-acceso-e-igualdad-al-agua-y-al-saneamiento>>. Acceso en: 3 abril 2024.

MORRISSEY, P. J.; JOHNSTON, P. M.; GILL, L. W. The impact of on-site wastewater from high density cluster developments on groundwater quality. **Journal of contaminant hydrology**, v. 182, p. 36-50. Disponible en:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169772215300127>>. Acceso en: 8 abr 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2015.07.008>.

GINEBRA. Organización Mundial de la Salud. **Guías para la calidad del agua de consumo humano**. Ginebra, 2011. 636p.

PEPENAL M. R. **Modelado espacial y predicción del crecimiento urbano para la identificación de áreas críticas de gestión del agua y el saneamiento**. Tesis de grado. Universidad Nacional de Salta. Inédito, 2021.

PRATS, J.; GARCÍA-ARMISEN, T.; LARREA, J.; SERVAIS, P. Comparison of culture-based methods to enumerate *Escherichia coli* in tropical and temperate freshwaters. **Letters in Applied Microbiology**. V. 46, n. 2, p. 243-248, 2008. Disponible en: <<https://academic.oup.com/lambio/article-abstract/46/2/243/6700789?redirectedFrom=fulltext>>. Acceso en: 12 abr 2024. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2007.02292.x>.

PRÜSS-ÜSTÜN, A.; BOS, R.; GORE, F.; BARTRAM, J. **Safer water, better health: costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health**. Geneva: World Health Organization, 2008. 53p.

ROJO, M. G. Descargas cloacales y contaminantes emergentes. In: RONCO, A. E. CARRQUIRIBORDE, P (Org.) **Ecosistemas y Sociedad Impactos de las Urbanizaciones sobre las cuencas Hídricas**. Facultad de Ciencias Exactas; 2019. p. 98-110.

SALTIEL, G.; MAYWAH, N. **Argentina-The Salta water public-private partnership**. 2007. Disponible en: <<https://www.ppiaf.org/documents/2352>>. Acceso en: 2 de abril 2024.

SORANI, J; SEGHEZZO, L.; BRANNSTROM, C.; RODRIGUEZ-ALVAREZ, M. S.; ALBESA, F.; IRIBARNEGARAY, M. A. Option of last resort or pragmatic solution? Social perspectives on onsite wastewater treatment systems in northern Argentina. **Urban Water Journal (in press)**, 2024.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). **Water for a sustainable world**. UNESCO, 2015.

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO). **Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos: No dejar a nadie atrás**. Paris, UNESCO, 2019.

ZAMORA GÓMEZ, J. P. **Estudio del Riesgo de Contaminación de las Aguas Subterráneas Mediante el Uso de Herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG)**. PhD. Thesis, Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina, 2004.

ZORICICH, A. M. **Estrategias de articulación ambiental y contención a la expansión urbana" Cinturón verde para el área metropolitana del Valle del Lerma"**. (Rep. Argentina), 2020.