

## **VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO EN ÁREAS DEL VALLE DE CATAMARCA DESTINADAS AL REÚSO AGRÍCOLA DE AGUA RESIDUAL TRATADA**

**M. Saracho<sup>1</sup>, L. Segura<sup>1</sup>, M. Flores, N. Carrizo<sup>2</sup>**

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Facultad de Humanidades

Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas

Grupo de Energías Renovables Catamarca, INENCO. – CONICET

Universidad Nacional de Catamarca, Avda. Belgrano 300 C.P. 4700 – Catamarca

E-mail: martasaracho@gmail.com

*Recibido 15/08/13, aceptado 23/09/13*

**RESUMEN:** La utilización de aguas residuales tratadas para riego plantea beneficios de carácter ambiental, social y productivo. La Capital de Catamarca cuenta con un sistema de lagunas para depurar los efluentes cloacales. Atendiendo a la demanda de agua para actividades productivas y a la calidad del líquido depurado se implementará un proyecto de reuso. Simultáneamente se debe proteger la calidad del recurso hídrico subterráneo frente a esta carga. El objetivo de este trabajo es determinar la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación en el área donde estará ubicado el emprendimiento productivo, sur de la planta de tratamiento. Se aplicó el método cualitativo GOD. Se determinó la profundidad del acuífero freático, tipo de acuífero y litología del acuífero, representada por arenas finas a muy gruesas, gravas y rodados con muy escasa proporción de limo y arcilla. La vulnerabilidad resultó moderada a alta, según el valor del índice. Se recomienda realizar un monitoreo sistemático del acuífero estudiado.

**Palabras clave:** vulnerabilidad del acuífero, reuso agua residual, lagunas de estabilización.

### **INTRODUCCION**

El agua es un compuesto esencial para la vida y el desarrollo integral de una región. El incremento registrado en el porcentaje de usuarios con acceso a agua de red con vista a alcanzar los objetivos del milenio, junto con el aumento de población experimentado en numerosas zonas urbanas, han hecho que las fuentes de abastecimiento tradicionales sean insuficientes para satisfacer las demandas actuales. En función de esta problemática se requiere generar estrategias para la conservación de la calidad de las fuentes convencionales de agua dulce (ríos, lagos, reservorios y acuíferos) y su utilización eficiente para consumo humano, destinando el agua de fuentes no convencionales y de menor calidad para otros usos, tales como riego (Qadir et al. 2007).

La presión por la mayor producción de alimentos ha acentuado la competencia entre el uso de agua para producción agrícola y consumo domiciliario, con el agravante que el riego insume aproximadamente el 75% del consumo mundial del agua dulce, alcanzando en algunos países el 90% del agua disponible (FAO, 2003). La reutilización de efluentes depurados para dicho fin es una opción beneficiosa, pero es importante señalar que si se quiere recuperar dicho líquido, es necesario el fortalecimiento y desarrollo de la infraestructura sanitaria como una primera condición para generar proyectos de reuso de aguas residuales tratadas (IDRC. CEPIS/OPS, 2003). Cualquier política que impulse el desarrollo de actividades de reutilización de aguas residuales deberá en paralelo fortalecer el sistema de gestión y control de la calidad de los vuelcos a la red cloacal, para que las condiciones de tratamiento se hagan viables, especialmente para el empleo de plantas con tratamientos naturales en pequeñas y medianas poblaciones (Mujeriego, 2006).

La Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2001) refiere que el fracaso más notorio en América Latina ha sido la escasa cobertura de saneamiento y tratamiento de aguas residuales. Este fracaso se atribuye en parte a la aplicación de tecnologías diseñadas para otras realidades socioeconómicas, culturales y tecnológicas, propias de países desarrollados. Ello ha originado condiciones insostenibles donde se han aplicado estas tecnologías, por su elevada inversión y costos de operación.

En nuestro país el porcentaje de población con acceso a desagües cloacales es de 48,9% (INDEC 2010), bajo si se considera que el objetivo previsto para el año 2015 (objetivos del desarrollo del Milenio) en función de las metas para asegurar un medioambiente sostenible es de 75% (PNUD, 2012).

Dentro de una gestión integrada de los recursos hídricos, la utilización de aguas residuales tratadas plantea diferentes beneficios de carácter ambiental, social y productivo: reducir la demanda sobre las fuentes de agua dulce; disminuir los vertidos de carga contaminante sobre diferentes cuerpos receptores; potenciar el desarrollo de actividades productivas sustentables utilizando aguas residuales tratadas y captar los nutrientes presentes en el efluente cloacal como fertilizante en suelos destinados a la producción agropecuaria (Sartor y Cifuentes; 2012)

<sup>1</sup> Profesional Secretaría del Agua, Gob. Catamarca

<sup>2</sup> Aguas Catamarca, SAPEM

Esta práctica cobra gran importancia en zonas áridas, donde la escasez de recursos hídricos limita el desarrollo agrícola-ganadero. Esto ocurre en gran parte de la provincia de Catamarca donde existe una fuerte demanda de agua para actividades productivas, en particular en el departamento Valle Viejo y en áreas próximas a la planta de tratamiento de líquidos cloacales. Se trata de un sistema de lagunas de estabilización, constituido por seis módulos iguales que funcionan en paralelo (Fig 1).



Figura 1. Imagen satelital del sistema de lagunas de estabilización de la Ciudad Capital de Catamarca. Módulos de Tratamiento.



Figura 2: Imagen satelital de la ubicación del área del emprendimiento productivo y de la planta depuradora.

Cada módulo está integrado por una serie de cinco lagunas: una anaeróbica, seguida de una facultativa y tres de maduración (primaria, secundaria y terciaria). La planta está ubicada al sureste de la Ciudad Capital, en la localidad de Antapoca, departamento Valle Viejo, entre los ríos Del Valle y Santa Cruz. Trata en la actualidad un caudal de 58.232 m<sup>3</sup>/día de efluente (Aguas Catamarca. SAPEM, 2013), que es volcado en el cauce del río Santa Cruz sin ningún reuso.

Debido a la demanda de agua para riego en zonas próximas a dicha planta y a la calidad del efluente depurado se está por implementar un proyecto de reuso para cultivos de tipo B, de acuerdo a la Directrices de la OMS (1989), en una zona denominada Área de Cultivos Restringidos Especiales (ACRE), ubicada al oeste de la ruta provincial N° 33, entre las latitudes sur 28° 36' 02,83" y 28° 36' 37,25" y longitudes oeste 65° 47' 12,65" y 65° 45' 38,98", cuya superficie total es de 1500 has (Fig. 2).

Sin embargo, una práctica sustentable de este recurso, exige la observancia de ciertas pautas para el uso seguro de aguas residuales tratadas. Entre ellas la necesidad que la calidad microbiológicas del agua regenerada se ajuste a las directrices sanitarias sobre el uso de agua residuales en agricultura y acuicultura de la OMS (1989) en función del tipo de cultivo y la calidad físico-química a las dadas por la FAO (Rivera, 2012).

Asimismo es importante proteger la calidad del recurso hídrico subterráneo frente a esta carga superficial, ya que si bien las aguas subterráneas se encuentran más protegidas frente a la contaminación que las superficiales, con frecuencia la degradación de la calidad del agua subterránea se vuelve un proceso irreversible y su remediación es mucho más compleja (Álvarez et al, 2011). Para ello es necesario conocer la vulnerabilidad del acuífero en el área del proyecto productivo, exigido también por la normativa provincial dentro de la evaluación de impacto ambiental (Disposición S.A. N° 074/10). La vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación es un tema actual en la gestión del recurso hídrico y su evaluación tiene como objetivo la protección del agua subterránea: prevención de la contaminación y mantenimiento de la calidad del agua subterránea (Vargas y Tosse, 2010).

Se entiende como vulnerabilidad a la sensibilidad del acuífero para ser adversamente afectado por una carga contaminante impuesta (Auge, 2004). Está dada por las características propias del terreno de manera independiente al tipo de contaminante que represente un potencial peligro o amenaza en la zona (Sileo y Grattone, 2013). Por lo expuesto el objetivo de este trabajo es determinar la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación en el área donde se encuentra ubicado el emprendimiento productivo.

## MATERIALES Y METODOS

El área de estudio cuya ubicación se muestra en la figura 2, está situada entre la planta de tratamiento de efluentes cloacales de la ciudad Capital y la localidad de las Tejas de Abajo, departamento Valle Viejo, abarcando una franja longitudinal N-S de 7,5km, siendo sus límites occidental y oriental el río Del Valle y la ruta provincial N° 33, respectivamente.

Para determinar la vulnerabilidad del acuífero en el área de estudio se aplicó el método cualitativo de índice GOD (Foster e Hirata, 1991). Este método se basa en la asignación de índices entre 0 y 1 a tres variables, que son las que nominan el acrónimo **G**:( Groundwater occurrence-Tipo de acuífero) **O**:( Overall aquifer class-litología de la cobertura) **D**:( Depth-profundidad del agua o del acuífero) (Auge, 2004).

**G** (Groundwater occurrence): Ocurrencia del Agua Subterránea, corresponde al grado de confinamiento hidráulico con la identificación del tipo de acuífero, su índice puede variar entre 0 y 1. El modo de ocurrencia varía entre la ausencia de

acuíferos (evaluado con índice 0) y la presencia de un acuífero libre o freático (evaluado como índice 1), pasando por acuíferos artesianos, confinados y semiconfinados.

**O** (Overall aquifer class): Substrato Litológico del Acuífero, corresponde a la caracterización de la zona no saturada del acuífero o de las capas confinantes. Los índices más bajos (0,4) corresponden a los materiales no consolidados, mientras que los más altos (0,9 – 1,0) corresponden a rocas compactas fracturadas o karstificadas.

**D** (Depth): Distancia al Agua, se refiere a la profundidad del nivel freático en acuíferos libres o a la profundidad del techo del acuífero, en los confinados. Los índices más bajos (0,6) corresponden a acuíferos libres con profundidad mayor a 50 m; mientras que los índices altos (1,0) corresponden a acuíferos que independientemente de la profundidad se encuentran en medios fracturados. Para el caso de los acuíferos libres la profundidad del nivel estático está sujeta a la oscilación natural.

El índice de vulnerabilidad GOD se obtiene de multiplicar los valores asignados a cada parámetro

$$iV_{GOD} = G \times O \times D \quad (1)$$

Se estudiaron 15 perforaciones ubicadas en el área de estudio. Las fuentes de agua subterránea fueron identificadas y georeferenciadas con navegador GPS.

Se aplicó el método GOD en base a la disponibilidad de información existente en el área de estudio adaptándolo a una escala de semidetalle (1/75.000), aún cuando la aplicación de este método tenga una menor definición de la vulnerabilidad que los métodos DRASTIC O SINTACS (Auge, 2004).

Para determinar los niveles estáticos de las perforaciones ubicadas en el área de estudio se utilizaron sondas piezométricas con alarmas sonoras y lumínicas, con una apreciación de 1cm. Las mediciones se realizaron en un periodo de dos años (Fig. 3 y Fig. 4).



Figura 3. Medición nivel estático. Perforación Aguas Colorada



Figura 4. Medición nivel estático. Perforación ACRE

## RESULTADOS Y DISCUSION

*Análisis Piezométrico y Litológico:* Las características litopiezométricas de las captaciones subterráneas del área en estudio se muestran en la Tabla 1. Se describe a continuación la litología representativa del acuífero de las perforaciones ubicadas en la zona monitoreada. La localidad de Agua Colorada cuenta con una perforación que presenta los siguientes horizontes: desde la superficie hasta los 11,5 m está constituido por arena muy fina a gruesa, entre los 11,5m y 17 m predomina arena fina arcillosa, luego entre los 17m y 21m se identificó arena de grano fino poco arcillosa. Posteriormente, entre los 21m y 29,30m se identificó arena fina a gruesa con grava constituyendo el acuífero superior.

En la perforación el Aeropuerto N° 2 ubicado al este de la ruta provincial N° 33, la litología del acuífero se divide en tres horizontes: el primero que se extiende hasta los 2m está compuesto de limo arenoso con restos vegetales; el segundo (2m a 8m) está compuesto de arena gruesa a muy gruesa y el tercero que se extiende entre los 8m y 24m está conformado por arena media bien seleccionada. En este horizonte a partir de los 18m se ubica el techo del acuífero freático.

La captación subterránea ubicada en el establecimiento agrícola (ACRE) presenta un acuífero compuesto por limos arenosos con restos vegetales en su horizonte superior (0m a 2m) pasando a arena muy gruesa a gruesa con escasa arena media entre los 2m y 28m. En este horizonte se identificó el acuífero freático a partir de una profundidad de 18m. El tercer horizonte, entre los 28m y 30m, está compuesto por limos arcillosos con escasa arena.

Al sur del establecimiento (ACRE) se ubica la perforación La Herradura S.A. N° 16 cuyo acuífero está compuesto en el horizonte superior - que se extiende entre 0m a 2m - por limos con arenas finas y arcillas en menor proporción. El segundo horizonte (2m a 10m) está compuesto de arena fina a media con importante porcentaje de limos; el horizonte infrayacente

que se extiende entre los 10m y 28m está formado por arenas gruesas bien seleccionadas y rodados. En este horizonte se ubica el acuífero freático a partir de los 18m.

En la perforación Nueva Esperanza N° 12, ubicada también al sur del área de estudio, el horizonte superior, que se extiende hasta los 14m, está conformado por arena muy gruesa y arena gruesa. En el horizonte infrayacente que se extiende entre los 14m y 18m se encontró arena gruesa y muy gruesa con arena media. El tercer horizonte, que se ubica entre los 18m y 22m, está conformado por arena gruesa, constituyendo el acuífero freático a partir de los 18m. Posteriormente el cuarto horizonte que se extiende entre los 22m y 30m está constituido por arena muy gruesa y gruesa con arena media.

En la localidad de Las Tejas, límite austral del área de estudio, el acuífero freático que se ubica entre los 27m y 43m, está constituido por arena muy gruesa, gravilla, grava y arena gruesa a fina y el nivel estático alcanza los 22,2m. (Dirección de Hidrología y Evaluación del Recurso Hídrico, 2013).

Nombre de la captación	Distancia al agua (m) X ± DS	Ocurrencia de agua subterránea. Condición del acuífero	Substrato Litológico del Acuiperm
Olivos de Oeste N°1	31,20 ± 0,05	Libre	Arenas finas a gruesas algo limosas.
Aguas Colorada	18,25 ± 0,03	Libre	Arenas finas, medianas y gruesas, algo arcillosas.
Aeropuerto N°2	17,40 ± 0,06	Libre	Arena limosa, arena media y gruesa.
Lindero N°1	16,65 ± 0,04	Libre	Arena fina, mediana y gruesa, intercalaciones de limo.
Lindero N° 2	15,40 ± 0,07	Libre	Arena fina, mediana y gruesa, intercalaciones de limo.
Golsen N° 1 (ACRE)	17,50± 0,02	Libre	Arena limosa, arena media, gruesa y muy gruesa.
La Herradura N° 6	16,38± 0,01	Libre	Arena fina y media algo limosa, arena gruesa y muy gruesa.
La Herradura N° 14	17,50± 0,03	Libre	Arena gruesa a media limosa, arenas muy gruesas a gruesas, presencia de tosca entre 24 a 26 m
Nueva Esperanza N° 11	17,02 ±0,05	Libre	Arena media algo limosa, arena gruesa y muy gruesa.
La Herradura N° 15	18,50±0,07	Libre	Arena gruesa a media limosa, tosca y arena media con intercalaciones de limo.
La Herradura N° 16	18,20±0,06	Libre	Arena fina a media limosa, arena gruesa
Nueva Esperanza N° 12	17,21±0,03	Libre	Arena fina, media y gruesa algo limosa.
La Herradura N° 17	18,54± 0,01	Libre	Arena fina a media limosa, arena gruesa con limo
Las Tejas de Abajo N° 1	27,31± 0,05	Libre	Arena fina a gruesa, grava y gravilla y arena arcillosas. Desde 27m arena muy gruesa, gravilla, grava y arena gruesa a fina.
Las Tejas de Abajo N° 2	27,45 ± 0,07	Libre	Arena fina a gruesa algo arcillosa, grava y gravilla.

Tabla 1. Características litopiezométricas y condición del acuífero en las captaciones subterráneas del área monitoreada.

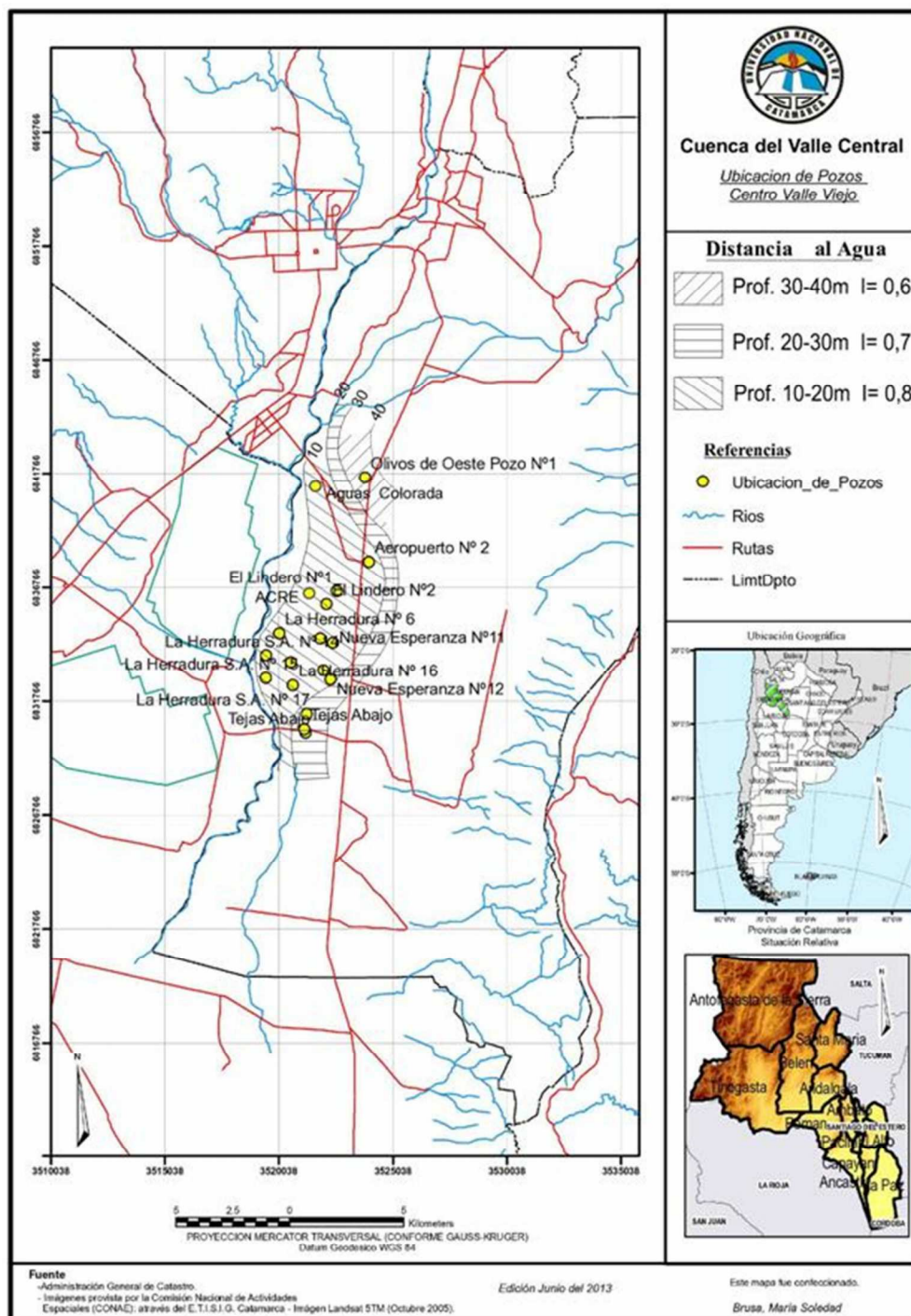


Figura 5. Índice correspondiente a la Distancia al Agua

En la figura 5 se muestra las curvas de isopropundidad y la zonificación en tres áreas de acuerdo al índice asignado por la metodología a la distancia al agua.

Se asignó un valor  $D = 0,8$  al índice correspondiente a la profundidad de la napa freática entre 10m y 20m. Es la zona más próxima al río Del Valle y se extiende desde este río hasta la ruta provincial N° 33. Para las distancias al agua comprendidas entre 20m y 30m, detectadas en una franja angosta paralela a la anterior se asignó un índice  $D = 0,7$ . La tercera franja, la más oriental del área de estudio corresponden a profundidades mayores de 30m y con un índice parcial  $D = 0,6$  en función a la metodología aplicada.

El tipo de acuífero del área de estudio es libre por lo cual, al índice que describe la condición del acuífero, que según la metodología aplicada puede variar entre 0,7 y 1 se le asignó el valor  $G=0,9$  reservando el valor del índice  $G = 1$  para describir la condición de acuíferos libres muy someros existentes en zonas próximas.

Las características litológicas del acuífero freático en la zona de investigación definen una zona homogénea por lo cual  $O = 0,8$ .

La cuantificación del índice de vulnerabilidad del acuífero freático en estudio, obtenida del producto de los índices parciales, permitió definir las zonas que se muestran en la figura 6. Como vemos los valores varían entre  $iV_{GOD}=0,4$  a  $iV_{GOD}=0,6$  lo que permite evaluar la vulnerabilidad como moderada a alta, correspondiendo el índice más desfavorable (mayor valor) a la franja más próxima al río Del Valle.

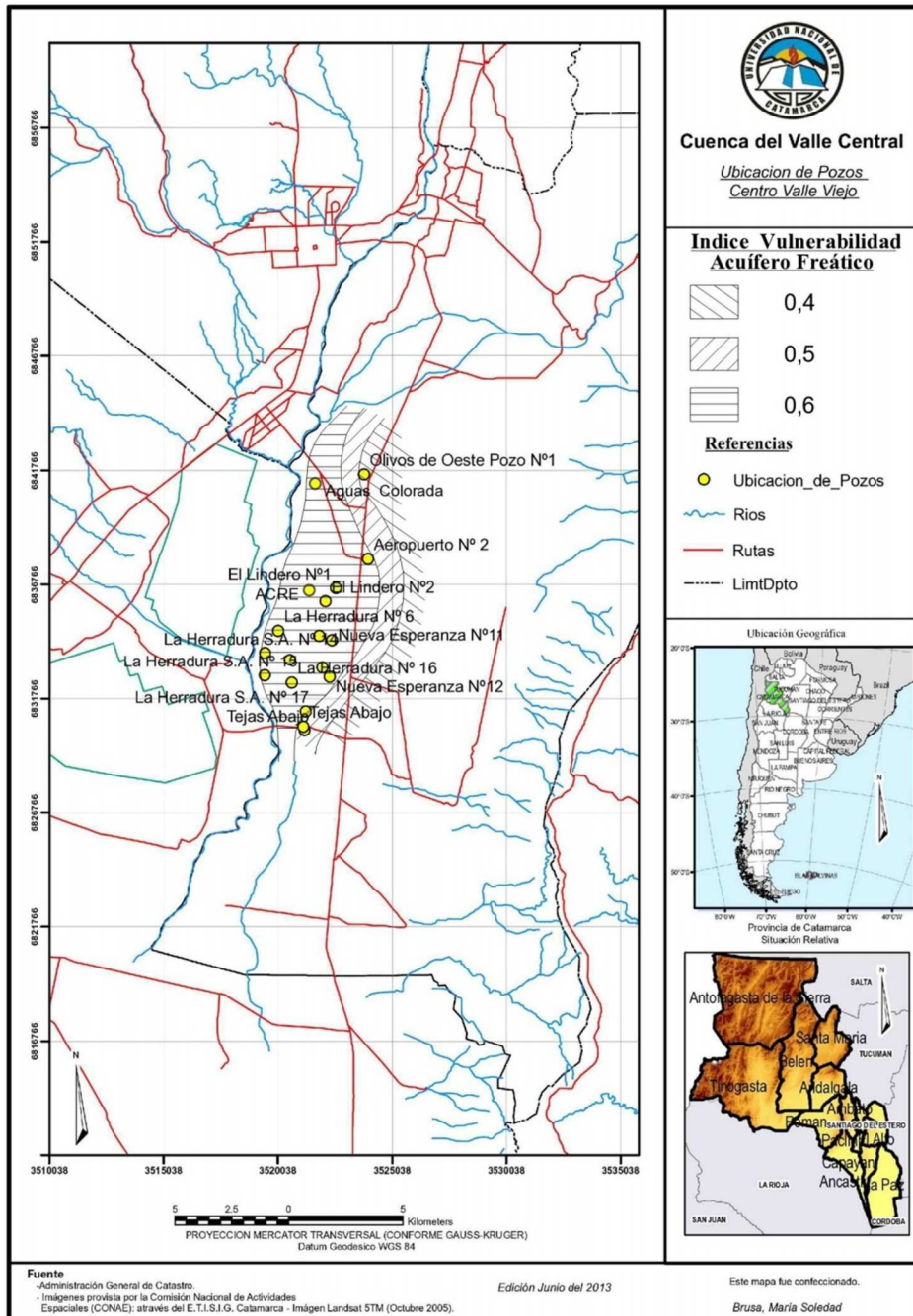


Figura 6. Índice de Vulnerabilidad del Acuífero Freático

## CONCLUSIONES

La distancia al agua o profundidad de la napa freática en el área de estudio oscila entre los 16m y 31m. El valor del índice obtenido que varía entre  $D=0.6$  a  $D=0.8$ , permitió definir tres zonas de isoprofundidades.

En función de la ocurrencia del agua subterránea el acuífero en estudio es libre y se le asignó un valor de índice  $G = 1.0$

La litología del acuífero está representado por arenas de diferentes granulometrías: de finas a muy gruesa, gravas, rodados y muy escasa proporción de limos y arcilla.

Al evaluar el componente relacionado con el grado de consolidación y carácter litológico del acuífero se obtuvo un valor de índice  $O=0,8$  que define un área homogénea.

El índice de vulnerabilidad obtenido para el área de estudio permitió definir tres zonas, con valores entre  $iV_{GOD} = 0,4$  a  $iV_{GOD} = 0,6$ .

En función del índice utilizado GOD, la vulnerabilidad del acuífero freático de la zona de estudio puede calificarse de moderada a alta; correspondiendo la mayor vulnerabilidad a la franja del área de estudio próxima al río Del Valle.

Se recomienda implementar un monitoreo periódico de evaluación de la captaciones subterránea ubicadas en el área de estudio y de la calidad del agua depurada para riego.

Se propone que la técnica de riego sea de alta eficiencia y baja carga hidráulica como el sistema de riego por goteo.

Es importante tener en cuenta que los mapas de vulnerabilidad muestran una aproximación gráfica del riesgo potencial a la contaminación del agua subterránea y deben ser revisados periódicamente a medida que la información que alimenta el modelo es actualizada o ampliada. Esta herramienta cartográfica de toma de decisión permite a los administradores y reguladores del recurso establecer medidas de protección de las aguas subterráneas y tomar las medidas preventivas y/o correctivas sobre el uso del suelo y la explotación de este recurso.

## REFERENCIAS

- Aguas Catamarca. SAPEM. (2013). Banco de Datos. Catamarca.
- Auge M (2004). Vulnerabilidad de Acuíferos. Conceptos y Métodos. Bs. As. UBA.
- Álvarez A. D'Élias M. París M. Fasciolo G. Barbazza C. (2011). Evaluación de la contaminación de acuíferos producida por actividades de saneamiento y re-uso de efluentes en el norte de la provincia de Mendoza. Rev. Fac. Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Vol.43 N°1. Mendoza
- Dirección de Hidrología y Evaluación del Recurso Hídrico. Gobierno de Catamarca (2013). Banco de datos.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2003). Review of World Water Resources by Country. Water Reports 23, Rome, Italy, 110 pp.
- Foster S e Hirata R (1991). Determinación del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas. CEPIS- Perú
- Mujeriego, R. (2006). La reutilización del Agua. Aspectos Reglamentarios, sanitarios, técnicos y de gestión. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.
- Organización Mundial de la Salud. (1989). Directrices sanitarias sobre el uso de agua residuales en agricultura y acuicultura, Informe de un Grupo Científico de la OMS. Serie de Informes Técnicos 778. Ginebra.
- OPS (2001). Informe regional sobre la evaluación 2000 en la región de las Américas. Agua potable y saneamiento, estado actual y perspectivas. Washington, D.C.
- Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) – Argentina (2012). Objetivos de Desarrollo del Milenio. Informe País Argentina.
- IDRC – CEPIS/OPS. (2003). Proyecto Regional: Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina. Inventario regional del manejo de las aguas residuales.2000-2002.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. <http://www.indec.gob.ar>. Bs. As.
- Qadir, M., Sharma B, Bruggeman A., Choukr-Allah R. and Karajeh F. (2007). Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water-scarce countries. Agricultural Water Management 87, pp. 2-22.
- Rivera M. (2012). Informe para el programa de uso seguro de aguas residuales para la agricultura. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Guatemala
- Sartor A., Cifuentes O. (2012). Propuesta de Ley Nacional para el Reuso de Efluentes. 18° Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente. AIDIS Argentina. Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 18 y 20 de abril 2012. Buenos Aires.
- Secretaría de Ambiente. Provincia de Catamarca (2010). Disposición S.A. N° 074/10 sobre Evaluación de Impacto Ambiental. Anexo I. Aviso de Proyecto.
- Sileo N. y Grattone N. (2013). Análisis de la vulnerabilidad del sistema acuífero Pampeano- Puelche en la cuenca del río Areco. Primer Congreso Iberoamericano de Protección, Gestión, Eficiencia, Reciclado y Reuso del agua. Pp 55-64. Córdoba
- Silva J. Torres P. y Madera C. (2008). Reuso de Aguas Residuales Domésticas en Agricultura. Una Revisión. Agronomía Colombia. Vol. N° 2. Bogotá. <http://www.scielo.org.co/pdf/agg/v26n2/v26n2a20.pdf>.
- Vargas M, Tosse O. (2010). Propuesta Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad Intrínseca de los Acuíferos a la Contaminación. Bogotá.

## ABSTRACT

The use of treated wastewater for irrigation has benefits of environmental, social and productive. The Catamarca capital has a ponds system for the wastewater treatment. In response to the water demand for productive activities and because of the quality the treated liquid will be implemented a reuse project. Simultaneously, must be protected the quality of groundwater resources against this load. The objective of this work is to determine aquifer contamination vulnerability in the area where productive entrepreneurship will be located, at the south of the treatment plant. It was applied qualitative method GOD. It were determined the depth of the aquifer, groundwater occurrence and lithology acuíferm, represented by fine to very coarse sand, gravel and boulders with very low proportion of silt and clay. The vulnerability was moderate to high, depending on the value of the index. It is recommend a systematic monitoring of the aquifer studied.

Keywords: Aquifer vulnerability, wastewater reuse, water stabilization ponds.

## **AGRADECIMIENTO**

Los autores de este trabajo agradecen el apoyo técnico y financiero brindado por la Dirección de Laboratorio de la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Catamarca.