

## SOSTENIBILIDAD E IMPLICACIONES EN EL AUMENTO DE LAS TASAS DE BOMBEO DEL ACUÍFERO DE NEJAPA, EL SALVADOR

*Sustainability and implications in the increase of pumping rates of the Acuífero de Nejapa, El Salvador*

**Marcia Lizeth Barrera de Calderón**

Mtra. en Gestión de Recursos Hidrogeológicos  
Correspondencia al autor: marcia.barrera@ues.edu.sv

Recibido: 15 de septiembre 2019 | Revisado: 17 de octubre 2019 | Aprobado: 20 de noviembre 2019

### Resumen

El acuífero de Nejapa (AN) se caracteriza por su buena calidad e importancia para el abastecimiento del Área Metropolitana de San Salvador e importantes industrias que utilizan agua como materia prima. Tal situación ha preocupado a diversos actores ante un eminente agotamiento del acuífero por el aumento de las extracciones. Con el objetivo de comparar las entradas y salidas de agua en el AN y determinar las implicaciones que tendría un aumento en sus extracciones, se elabora un balance de agua subterránea en la microcuenca del río San Antonio (RSA). La investigación incluye un detallado levantamiento de las extracciones y aforos en el RSA donde se presenta la mayor descarga del acuífero. Los resultados indican que podría haber un aporte externo al sistema de aproximadamente 3.8 millones de metros cúbicos al año (Mm<sup>3</sup>/año), ya que los aforos tanto en el nacimiento como en la salida de la microcuenca superan a las descargas naturales estimadas en el Balance. El aumento en las extracciones se vería reflejado en una reducción del caudal del río.

### Palabras clave

Acuífero de Nejapa, río San Antonio, balance de agua subterránea, sostenibilidad de agua subterránea.

### Abstract

*The Nejapa aquifer (AN) is characterized by its good quality and importance for the supply of the San Salvador Metropolitan Area as well as important industries that use water as raw material. This condition has worried various actors for an eminent depletion of the aquifer due to the increase in extractions. With the objective of comparing water inflows and outlets in the AN and determining the implications that an increase in their extractions would have, a groundwater balance was prepared in the San Antonio River microbasin (RSA). The research included a detailed gathering of extractions and water flow gauging in the RSA where the largest aquifer discharge occurs. The results indicate that there could be an external contribution to the system of approximately 3.8 million cubic meters per year (Mm<sup>3</sup> / year), since the gaps both at the source of the river and at the exit of the microbasin exceed the natural discharges estimated in the groundwater balance. The increase in extractions would be reflected in a reduction in the river volume.*

### Keywords

*Nejapa aquifer, San Antonio River, groundwater balance, groundwater sustainability.*

Los balances de agua subterránea son herramientas importantes para la planificación hídrica y la definición de acciones de manejo sostenible que garanticen agua en calidad y cantidad a las actuales y futuras generaciones. El acuífero de Nejapa se encuentra localizado en la microcuenca del río San Antonio, departamento de San Salvador, El Salvador. Ha sido objeto de conflictos sociales y preocupación por parte de los usuarios y organizaciones ambientalistas, ya que se considera sobreexplotado. Por ello que diversos autores (Ponce de León Gil, de San Antonio Escribano, Mañé Jané, Seisdedos Santos, 2003; Gil, 2007; Barrera de Calderón y Juárez, 2013) se han preocupado por establecer un balance de agua subterránea que brinde información sobre el grado de explotación que tiene el acuífero y las implicaciones de un aumento en las extracciones. En este artículo se presentan resultados de un nuevo balance de agua subterránea en el acuífero, que incluye nuevas mediciones en el caudal del RSA.

## Desarrollo del estudio

El balance de agua subterránea requiere la estimación de entradas y salidas en el acuífero. Como entradas al sistema se considera la recarga de agua subterránea, asumida como la recarga hídrica potencial (Ec. 1), utilizando la metodología propuesta por Schosinsky (2006), adicionalmente, se considera los retornos por fugas del sistema de agua potable.

$$P=Int+ETR+Esc+I\pm\Delta HS \quad (1)$$

donde, para un período de análisis definido, P, corresponde a la precipitación; Int, es la intercepción de lluvia en la vegetación; ETR, es la evapotranspiración real; Esc, corresponde a la escorrentía superficial; I, es la infiltración que sobrepasa la zona radicular y es igual a la Recarga Hídrica Potencial; finalmente,  $\Delta HS$ , es el cambio en la humedad del suelo en la zona radicular.

La precipitación mensual se toma como un promedio multianual utilizando datos de lluvia para un registro de 30 años (1971-2001) y la evapotranspiración potencial se determina a partir de las ecuaciones de correlación Altitud – Evapotranspiración de Referencia (Servicio Hidrológico Nacional, 2005) para el mismo período.

El balance de humedad de suelo se determina a escala mensual para cinco zonas con capacidad de infiltración aproximadamente homogénea, determinada por medio del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), con los cuales se realizan operaciones matemáticas de ráster a partir de la distribución espacial de la pendiente, textura y ocupación del suelo.

Las salidas, contabilizadas como la evapotranspiración real, se estiman para cada zona tomando en consideración la capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente del suelo, tomando como máximas salidas la evapotranspiración potencial.

Las fugas en el sistema de agua potable se asumen como un 25 % del caudal abastecido a la población de la zona de estudio.

Por su parte, las salidas artificiales del acuífero se contabilizan y depuran con el inventario de extracciones en pozos realizado en campo. Además, se realizan aforos en el RSA en los años 2013, 2015 y 2019, para calibrar el Balance. Los resultados se comparan con otros estudios de la zona.

## Resultados obtenidos

### a. Recarga de agua subterránea

La Figura 1 presenta la distribución de la recarga hídrica potencial en las cinco zonas con similares características de capacidad de infiltración. Los resultados indican que la recarga varía entre 244.22 y 621.25 mm/año, lo cual representa un caudal de 614.85 L/s.

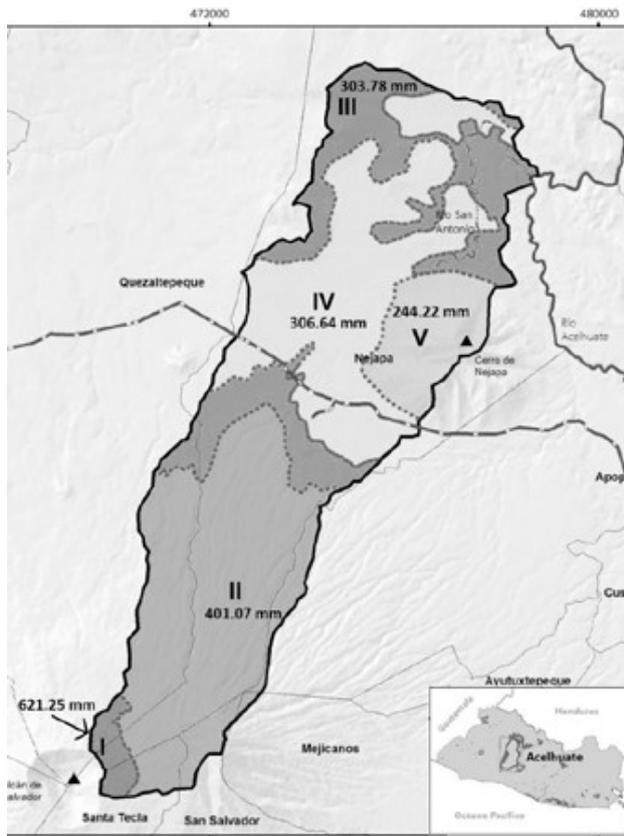


Figura 1. Recarga media anual de agua subterránea en la microcuenca del río San Antonio mostrando su variabilidad espacial.

b. Retornos por fugas del sistema de agua potable

El caudal circulante en la ciudad de Nejapa es de 21.44 L/s y se estima a partir de información de las empresas estatal y municipal que proveen agua a la población. El 25 % corresponde a 5.36 L/s.

c. Extracciones por bombeo

De un total de 30 pozos y captaciones reportados en el inventario existente, solamente 20 (67 %) están en uso. Los caudales reportados para los pozos de la zona varían entre 1 y 34 L/s, mientras que las captaciones en el nacimiento del río rinden caudales de hasta 60 L/s. En total se contabiliza las extracciones en 403.67 L/s. De los cuales se estima que el 90 % lo extrae la empresa estatal de agua, el restante 10 % es aprovechado por industrias y un relleno sanitario existente en la zona.

d. Variación del caudal base en el río San Antonio

Aunque se carece de un monitoreo permanente del caudal del RSA, se han reportado mediciones de caudal base durante los años 2007, 2013, 2015 y 2019, resultando un valor medio de 251 L/s, en el año 2015 el caudal mínimo reportado a la salida de la cuenca es de 337 L/s en el mes de mayo y 340 L/s en el mes de junio. La tabla 1 presenta el registro de caudales para dichos años

Tabla 1

*Caudal base en el nacimiento del río San Antonio en el período 2007-2019*

Año	Caudal (L/s)
2007	251
2013	257
2015	253
2019	243

Fuente: Gil, 2007; Barrera de Calderón, 2010; López Hernández y Barrera de Calderón, (2019).

d. Balance de agua subterránea en la microcuenca

La tabla 2 presenta los resultados del balance de agua subterránea para el acuífero de Nejapa, tomando como unidad de análisis la microcuenca del río San Antonio.

De acuerdo a los resultados, sin considerar entradas externas a la microcuenca el acuífero tendría descargas de 216.57 L/s, equivalentes a 6.81 Mm<sup>3</sup>/año.

Tabla 2

*Balance de agua subterránea de la microcuenca del río San Antonio*

Parámetro	Entradas L/S	Salidas L/S
Recarga potencial	614.85	251
Retornos por fugas	5.39	257
Extracciones por bombeo		403.67
<b>Total</b>	<b>620.24</b>	<b>403.67</b>
Otras descargas( QRSA)	216.57	

Fuente: elaboración propia.

## Discusión de resultados

Los resultados del Balance de Agua Subterránea presentados en la Tabla 2, reflejan una diferencia considerable entre las descargas del acuífero de Nejapa, cuantificadas en la microcuenca del RSA como un sistema cerrado y los datos de caudal base en el nacimiento del río y la salida de la microcuenca (35 L/s y 121 L/s, respectivamente). Parte de las diferencias pueden atribuirse a la dificultad en la estimación de la recarga de agua subterránea, tal y como lo consideran Scanlon, Healy y Cook (2002).

Asimismo, puede haber cierta diferencia en la cuantificación de las extracciones, sin embargo, las descargas medidas duplican aproximadamente a las calculadas, lo cual podría indicar que el sistema no es completamente cerrado como se ha considerado hasta ahora y que existe un aporte de flujo desde otras cuencas, situación que hasta hoy se consideraba descartada. Una evaluación más detallada sobre este comportamiento podría ser objeto de futuras investigaciones.

Un elemento importante de este sistema hídrico es el cuidado que debe tenerse en la autorización del aumento de las extracciones, ya que, por las características geológicas del acuífero, el 74 % de sus descargas ocurren en el nacimiento del río San Antonio debido al cambio de conductividad hidráulica de los materiales presentes que pasan de materiales fracturados y porosos del Terciario y Cuaternario a otros más consolidados del Terciario. Lo anterior puede implicar que el aumento en las tasas de bombeo puede reducir proporcionalmente el caudal base del río San Antonio.

## Conclusiones

1. Los balances de agua subterránea muchas veces son elaborados con registros antiguos de extracciones, los cuales no siempre se encuentran depurados. En este proyecto, el trabajo de campo permite demostrar que las extracciones pueden llegar a alterarse hasta en un 33 % si no se cuenta con datos verificados y actualizados,

lo cual puede implicar una sobrevaloración del nivel de explotación del acuífero.

2. El balance de agua subterránea de la microcuenca del río San Antonio indica que el sistema hídrico no es completamente cerrado, un aporte de aproximadamente 121 L/s (3.8 Mm<sup>3</sup>/año) se atribuyen al ingreso de flujo desde otras cuencas, sin embargo, se desconoce la proveniencia de dicho aporte.
3. El nacimiento del río San Antonio es un importante indicador visible del nivel de explotación del acuífero de Nejapa, se ha estimado que su caudal base representa aproximadamente el 74 % de las descargas totales de dicho acuífero.

## Recomendaciones

Para las Universidades, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y la Administración Nacional de Acueducto y Alcantarillado (ANDA).

1. Retomar una investigación para identificar la procedencia del flujo adicional que recibe el acuífero de Nejapa.
2. Monitorear de forma sistemática el acuífero de Nejapa, estableciendo como puntos de control, el nacimiento del río San Antonio y la descarga del río al río Acelhuate. Disponer la información al público.
3. Trabajar en la depuración de los inventarios de fuentes de agua (pozos, manantiales, afloros) ya que esa información es determinante en la calidad de los balances de agua y consecuentemente en la estimación de la disponibilidad e Índice de Explotación, así como para definir acciones de manejo sostenible del acuífero de Nejapa.

## Referencias

- Barrera, M. (2010). *Caracterización hidrogeoquímica e isotópica de áreas de recarga en el acuífero de San Salvador* (Tesis de Maestría). Universidad de El Salvador, El Salvador.
- Barrera, M., y Juárez, M. (2013). *Evaluación cuantitativa del recurso hídrico subterráneo de la microcuenca del río San Antonio, municipio de Nejapa, departamento de San Salvador* (p. 46). San Salvador, El Salvador: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Gil, L. (2007). *Evaluación Hidrogeológica y vulnerabilidad intrínseca del sistema acuífero del Municipio de Nejapa, San Salvador, El Salvador* (Master Scientiae). Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- López, F., Alberto, R., y Barrera, M. (2019). *Informe de visita de campo a microcuenca del río San Antonio, municipio de Nejapa, departamento de San Salvador* (p. 26). San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Ponce D., de San Antonio Escribano, J. A., Mañé Jané, R., y Seisdedos Santos, J. (2003). *Caracterización de los riesgos geológicos y dimensionamiento de los recursos hidrogeológicos. Directrices para la ordenación territorial del municipio de Nejapa* (p. 259) [Memoria]. Nejapa: Geólogos del Mundo.
- Scanlon, B., Healy, R., y Cook, P. (2002). *Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge*. Hydrogeology Journal, 10, 18-39.
- Schosinsky, G. (2006). *Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un Balance Hídrico de Suelos*. Revista Geológica de América Central, 34(35), 13-30.
- Servicio Hidrológico Nacional. (2005). *Balance Hídrico Integrado y Dinámico de El Salvador. Componente Evaluación de Recursos Hídricos*. San Salvador: Servicio Nacional de Estudios Territoriales.

## Información del autor

MSc. e Ing. Marcia Lizeth Barrera de Calderón, profesora de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, graduada de la carrera de Ingeniería Civil (1999) y de la Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos (2011) en la misma universidad.

Afiliación Laboral; Universidad de El Salvador.