

ESTIMACIÓN DE LA RECARGA EN ACUÍFEROS KÁRSTICOS FRACTURADOS USANDO LOS MÉTODOS APLIS

Marina, M.⁽¹⁾; Espinoza, K.⁽¹⁾; Fortuna, J. H.⁽¹⁾ y Altamirano, F.⁽²⁾.

(1) Grupo de recursos hídricos de Klohn Crippen Berger (KCB). Avenida Pedro de Osma 418, Barranco-Lima, Perú.
mrojo@klohn.com, kespinoza@klohn.com, jfortuna@klohn.com

(2) Grupo de medio ambiente de Klohn Crippen Berger (KCB). Avenida Pedro de Osma 418, Barranco-Lima, Perú.
faltamirano@klohn.com

RESUMEN

La estimación de la recarga de aguas subterráneas es necesaria para limitar el ingreso potencial de aguas subterráneas al proyecto de mina subterránea de plomo y zinc, ubicada en el departamento de Amazonas. El área de estudio se encuentra en la parte alta de la cuenca del cañón La Florida y abarca un área de 9.6 km², y está constituido por calizas-dolomíticas del Grupo Pucara del Triásico Superior-Jurásico Inferior, el cual contiene abundantes karst y epikarst. A pesar de que la precipitación en la zona es intensa y se presenta durante todo el año, la presencia de agua en los cursos fluviales superficiales es escasa debido a que estos cursos mantienen agua solo durante los episodios de lluvias, inmediatamente después desaparecen, mientras que otros cursos se originan en el medio del valle donde se presentan áreas kársticas y epikarst. La desaparición y aparición del agua a lo largo de los cursos superficiales es común. En las áreas de mayor elevación, la infiltración superficial resurge como filtraciones y manantiales a lo largo de las fracturas y planos de estratificación en las paredes del cañón. Estas condiciones hacen que sea difícil estimar con precisión la magnitud y distribución de la escorrentía, infiltración y recarga de aguas subterráneas.

El método APLIS permite estimar la tasa media de recarga anual en acuíferos carbonáticos, expresada como porcentaje de la precipitación, a partir de las siguientes variables: Altitud (A), Pendiente (P), Litología (L), áreas de absorción-Infiltración preferencial (I) y Suelo (S). Cada una de las variables ha sido dividida en intervalos y a cada intervalo le corresponde una puntuación entre 1 y 10, según el grado de influencia en la recarga. Esta información ha sido almacenada en un Sistema de Información Geográfica (SIG), esto permite estimar la tasa de recarga mediante la expresión $R = (A + P + 3 \cdot L + 2 \cdot I + S) / 0.9$ y obtener la distribución espacial de la misma. Este método ha sido aplicado satisfactoriamente en ocho acuíferos carbonáticos de la Cordillera Bética, España (Andreo B, et al, 2004), en el acuífero carbonatado del Maestrazgo en Castellón, España (Andreo B, et al, 2007) y en el acuífero carbonatado del parque de Viñuelas en Cuba (Farfán et al, 2010).

El método APLIS fue aplicado a la zona en estudio para estimar la recarga de aguas subterráneas. El método APLIS resultó en una recarga media de 47.7% de la precipitación total anual, con zonas de recarga alta que se producen a lo largo de las orillas del cauce principal donde las unidades altamente permeables están presentes.

Palabras clave: acuífero carbonatado, método APLIS, recarga y karst.

INTRODUCCIÓN

Existen diferentes mecanismos para evaluar la recarga de las aguas subterráneas. La estimación de la recarga de las aguas subterráneas en terrenos kársticos presenta problemas únicos, debido a las características inherentes de relieves kársticos y la naturaleza dual de la recarga. El método APLIS que fue desarrollado para estimar la recarga media anual en los acuíferos carbonatados en condiciones mediterráneas consiste en estimar la tasa de recarga como un porcentaje de la precipitación en acuíferos carbonatados, mediante la combinación de las siguientes variables: Altitud (A), Pendiente (P), litología (L), infiltración (I) y suelo (S), según la siguiente ecuación; $R = (A + P + 3 \cdot L + 2 \cdot I + S) / 0.9$ (Andreo B. et al., 2004) y (Andreo B. et al 2008). El método-APLIS modificado (Marín Guerrero, 2012) tiene el mismo fundamento, pero se rige por la siguiente ecuación $R = ((A + P + 3 \cdot L + 2 \cdot I + S) / 0.9)Fh$, donde el coeficiente de corrección de la recarga (Fh) tiene en cuenta si la unidad litológica

tiene características acuíferas. El método APLIS se ha aplicado también en acuíferos kársticos en España (Andreo B, et al, 2007) y Cuba (Farfán et al, 2010) con aceptables resultados.

La zona de estudio es una mina subterránea de Pb-Zn ubicada en un terreno kárstico en la Región Amazonas al norte del Perú. El área de estudio se encuentra en la parte superior de la cuenca La Florida, un área de alto relieve?, topografía escarpada, fuertes pendientes y acantilados escarpados expuestos en los cañones. En el área de estudio afloran calizas y dolomitas de la Formación Chambara del Triásico Superior en las paredes del cañón. Aunque las perforaciones de exploración indican la presencia de cavernas importantes y características kársticas a profundidades de hasta 500 m, rara vez se observan en superficie. Las características epikársticas están presentes entre 10-50 m de la parte superior, especialmente en los abruptos cañones controlados por fallas.

A pesar que la precipitación anual es alta (1475 mm / año), algunos cursos de agua superficial carecen de flujo, excepto durante eventos lluviosos intensos, y la infiltración de poca profundidad parece ser rápida en muchas áreas. En otros cursos, el flujo se origina en medio del valle de características kársticas. En los valles de mayor elevación, se presenta una fina capa de suelo de baja permeabilidad vertical.

En general, las calizas aflorantes presentan valores de muy baja permeabilidad y los datos de campo indican que la migración? de agua subterránea es predominantemente sub-horizontal a lo largo de los planos de estratificación. La poca infiltración profunda que se produce aflora típicamente como filtraciones y manantiales a lo largo de fracturas y planos de estratificación como se observa en las paredes de los cañones.

Estas condiciones hacen que sea difícil calcular con precisión la magnitud y distribución de la escorrentía, infiltración y recarga de acuíferos. El objetivo de este estudio consiste en **a)** calcular la recarga autógena? en el acuífero carbonatado a través de la APLIS y los métodos APLIS modificados positivamente, y **b)** evaluar la aplicabilidad de estos métodos para acuíferos kársticos en Perú.

Las estimaciones de recarga son necesarias para limitar los posibles flujos de aguas subterráneas a la mina subterránea propuesta, y ayudar con la planificación de la gestión de agua de la mina.

Debido a este método fue planteando para zonas mediterráneas basadas en la clasificación de suelos de la FAO, es necesario realizar modificaciones en la aplicación de la técnica APLIS a otras regiones (Farfán et al, 2010). En este estudio, se asignaron clasificaciones de permeabilidad de suelo en base a la combinación de un mapa de suelos del sitio usando clasificaciones estándar en la Taxonomía de Suelos y ensayos de infiltración realizadas en campo en el emplazamiento para evaluar la relativa permeabilidad del suelo.

RESULTADOS

La tasa de recarga media estimada con el método-APLIS modificado para la cuenca es del 47,7%. El mapa de la distribución de recarga obtenido mediante el método APLIS muestra que más del 80% del área de estudio tiene una recarga moderada entre 40% y 60% de la precipitación anual. La mayor recarga se produce en los valles de la quebrada Florida. En la Figura 1 se muestra la distribución espacial de la recarga para la zona de estudio con sus respectivos mapas de variables.

La tasa de recarga media estimada con el método-APLIS modificado para la cuenca es del 19,7%. Este valor corresponde a una tasa de recarga muy baja. Casi toda la superficie presenta una tasa de recarga muy baja, menos de 20%. La mayor parte de esta superficie con tasa de recarga muy baja se encuentra en las calizas de Chamabra 1 Fm, Chambara 3 Fm. y Aramachay Fm, aflorantes en superficie. La tasa de recarga más alta, mayor al 60 % de la precipitación anual se localiza, al igual que en el método anterior en los valles, donde las dolomitas de la Fm Chambara 2 afloran, que coinciden con las principales fallas y los valles de los principales ríos. En la Figura 2 se muestra la distribución de la recarga para el método APLIS-modificado y la categorización de los diferentes parámetros que forman parte de la ecuación.

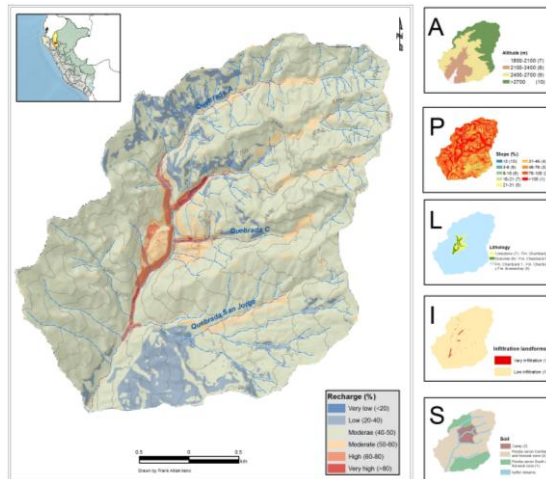


Figura 1 Distribución de la recarga de aguas subterráneas - método APLIS

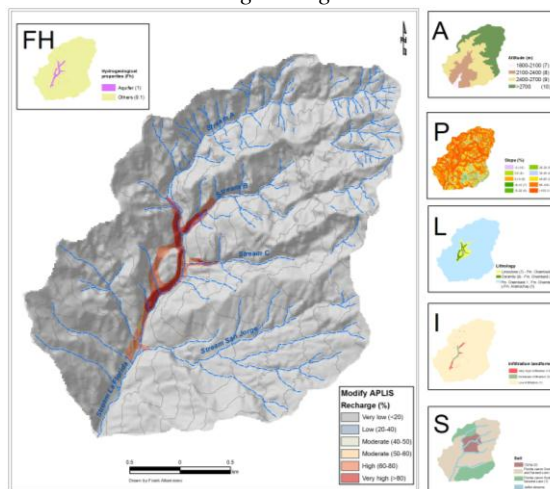


Figura 2 Distribución de recarga de aguas subterráneas – método APLIS -Modificado

El método APLIS y el método APLIS - modificado han permitido establecer la distribución espacial de la recarga en el acuífero kárstico de la cuenca La Florida, resultando en valores divergentes de 19,7% y 47,7%. La diferencia clave en la tasa de recarga estimada por estos métodos depende de si el lecho rocoso expuesto se designa como "acuífero" o "no-acuífero". Cuando las zonas de acuíferos abarcan una parte considerable de la zona de estudio, los resultados con los dos métodos serán similares. En ambos métodos se presenta la misma zona con mayor tasa de recarga en los principales valles de la cuenca.

REFERENCIAS

1. Andreo B, Vías J, Durán JJ, Jiménez P, López-Geta JA, and Carrasco F, (2008) 'Methodology for groundwater recharge assessment in carbonate aquifer: application to pilot sites in sothrem Spain', *Hydrogeology Journal*, 16, (5), pp. 911-295.
2. Andreo B, Vías J, López-Geta JA, Carrasco F, Durán JJ, and Jiménez P, (2004) 'Propuesta metodologica para la estimacion de la recarga en acuíferos carbontados', *Boletín Geológico y Minero*, 115 (2), pp. 177-186.
3. Andreo B, Vías J, Mejías M, Ballesteros BJ and Marín AI (2007) 'Estimación de la recarga mediante el método APLIS en el acuífero Jurásico de el Maestrazgo, Castellón, NE España', *Acuíferos costeros: retos y soluciones/Coastal aquifers: challenges and solutions, volumen I* (A. Pulido Bosch, J.A. López Geta, R. y G. Ramos). *Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas* nº 23(I), pp. 893-902.
4. Farfán H, Corvea JL, and Bustamante I, (2010) 'Sensitivity Analysis of APLIS Method to Compute Spatial Variability of Karst Aquifers Recharge at the National Park of Viñales (Cuba), *Advance in Research in Karst Media*, Springer, DOI 10.1007/978-3-642-12486-0, pp. 19-24.
5. Marín Gerrero AI, (2012) 'Los sistemas de información geográfica aplicados a la evaluación de los recursos hídricos y la vulnerabilidad', pp. 67-79.