

Nota técnica científica

MAPA DE GEOAPTITUD HIDROGEOLÓGICA DE COSTA RICA: IMPLICACIONES RESPECTO A LA GESTIÓN AMBIENTAL DEL DESARROLLO

Allan Astorga ^{1, 2} & Mario Arias ¹

¹ Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica.

² Consultor Internacional en Gestión Ambiental Integral; aastorga@racsa.co.cr
marioa@geología.ucr.ac.cr

INTRODUCCIÓN

En razón de la Resolución No. 2004-01923 de la Sala Constitucional sobre el tema de desarrollo urbano y protección ambiental de acuíferos, se ha abierto un importante debate sobre el tema, en particular, respecto al alcance e implicaciones técnicas, ambientales y administrativas que tiene esa posición del poder judicial de Costa Rica.

A fin de contribuir desde una perspectiva técnica y ambiental a este importante tema que esta vinculado con la gestión ambiental de las aguas subterráneas, los autores aportamos aquí, a modo de aproximación técnica, una visión rápida de la geoaptitud hidrogeológica que tienen las formaciones geológicas reconocidas en el país.

La finalidad del mapa es, demostrar a la sociedad costarricense la dimensión y significancia que tiene el tema para país. Aspecto que requiere ser reconocido y aceptado, a fin de que las acciones que se ejecuten lo tomen en cuenta

y promuevan, de forma razonable y abierta, soluciones verdaderamente armonizadas y equilibradas entre la protección ambiental del recurso y el desarrollo socioeconómico de la nación.

MARCO TEÓRICO BÁSICO Y DEFINICIONES

La geoaptitud representa la condición natural de un espacio geográfico dado, respecto a un uso antrópico específico, en el marco de mantener un grado de equilibrio geológico o de estabilidad natural de ese terreno, tanto desde el punto de vista de las condiciones físicas del subsuelo y del suelo, como de los procesos geodinámicos internos y externos, activos, que pueden alterar esa estabilidad. Todo ello, en el contexto de determinar las limitantes técnico – geológicas que ofrece el terreno para el uso antrópico, de forma tal que este pueda adaptarse al medio (Astorga & Campos, 2001).

Desde esa perspectiva, la geoaptitud hidrogeológica de una formación rocosa representa el potencial que tiene ésta para desarrollar un acuífero que pueda ser de utilidad para el uso en diversas actividades antrópicas. En la calificación de esa geoaptitud hidrogeológica se toman en cuenta atributos propios de las formaciones rocosas, como su litología, extensión y características litopetrofísicas generales.

Algunas definiciones básicas del tema de aguas subterráneas, son las siguientes:

Las aguas subterráneas son las aguas que se encuentran bajo la superficie terrestre, ocupando los espacios vacíos en el suelo o las rocas. Es importante recalcar que esos espacios vacíos, por lo general, son de tipo microscópico, lo que hace el movimiento de las aguas subterráneas, al contrario de las superficiales, sea muy lento, del orden de apenas centímetros por día. La fuente principal que origina las aguas subterráneas es el agua de lluvia que se infiltra en el suelo. Ese porcentaje puede variar mucho dependiendo de las propiedades físicas del suelo y subsuelo, en particular de su porosidad y permeabilidad.

El suelo y la parte superior del subsuelo juegan un papel muy importante en el tema de las aguas subterráneas. Desde el punto de vista del movimiento del agua en el suelo, este se separa en dos niveles principales, uno superior denominado "Zona de Aireación" y otro inmediatamente por debajo que se designa como "Zona de Saturación".

La zona de aireación corresponde con la parte superior del suelo, donde los espacios vacíos están ocupados por agua y aire, y por donde generalmente el agua de lluvia se infiltra y desciende por gravedad hacia las capas inferiores de suelo o del subsuelo. Cuando el suelo contiene mucha arcilla o se encuentra compactado puede que no "funcione" eficientemente como área de infiltración del agua de lluvia, con lo cual se limita la posible recarga de las rocas por debajo. En estos casos se dice que el suelo es impermeable.

La zona de saturación comprende la zona donde los poros están llenos de agua, que se mueve muy lentamente. Su parte superior, que limita ambas zonas, se denomina "Nivel Freático".

El acuífero es el estrato o formación geológica que permite la circulación del agua por sus poros y/o fracturas y a partir de donde el hombre la aprovecha por medio de pozos y/o manantiales en cantidades económicamente apreciables para satisfacer sus necesidades. Se dice que es un acuífero libre cuando está conectado directamente, hacia arriba, con una zona de aireación. Por el contrario, cuando lo que tiene hacia arriba, es una capa impermeable se dice que es un acuífero confinado o artesiano.

Desde el punto de vista de uso del suelo por encima del acuífero libre, las actividades humanas que se lleven a cabo en la superficie del suelo pueden ser una fuente de contaminación directa al mismo. Se dice que en estos casos que el acuífero presenta cierto grado de amenaza a la contaminación.

En el caso de los acuíferos confinados esta situación de amenaza no existe del todo o es muy reducida. Su potencial de contaminación solo puede darse donde ocurre su área de recarga o bien desde un pozo que lo conecte con la superficie.

Las áreas de recarga son todas aquellas superficies del terreno donde las aguas de lluvia penetran al suelo y alcanzan la zona saturada, con lo cual se incorporan a un acuífero. En el caso de los acuíferos libres, el área de recarga puede cubrir extensiones tan grandes como la dimensión misma del acuífero y de las formaciones geológicas que lo contienen. Por el contrario, tratándose de acuíferos confinados, el área de recarga es más restringida en extensión y por lo general se localiza en las partes topográficamente más altas.

Las áreas de descarga de aguas subterráneas, son aquellas en donde la tabla de agua intersecta la superficie del suelo, de forma que el agua es descargada para alimentar fuentes de agua, que, dependiendo de sus características, se denominan manantiales, filtraciones, arroyos, quebradas, ríos, lagos, pantanos, estanques, o el mismo mar. El manantial se define como el afloramiento natural en cantidad apreciable y exposición permanente del agua subterránea a lo largo del año hidrológico, la cual puede ser aprovechada para diferentes usos.

El movimiento del agua subterránea en la zona saturada semeja el movimiento del agua en una esponja cuando ésta es suavemente presionada. El agua se mueve lentamente a través de los pequeños poros siguiendo un patrón de flujo, que responde a la fuerza de la gravedad, de forma tal que el agua percola desde áreas con niveles freáticos más altos hacia niveles más bajos.

El agua subterránea de un acuífero puede ser extraída por medio de un pozo. El pozo puede ser de tipo artesanal, cuando es construido manualmente (excavado). Este tipo de pozo, bastante común en Centroamérica, extrae agua de acuíferos libres cuya tabla de agua se encuentra relativamente cerca de la superficie, y por tanto tienden a ser muy vulnerables a la contaminación. Los pozos perforados con maquinaria son pozos más profundos que extraen el agua de un acuífero libre o bien confinado, utilizando un sistema de bombeo o bien la presión de agua en el caso del acuífero confinado (pozo artesiano). Debido a que en el pozo se da una salida del agua, alrededor del mismo se desarrolla una cono, dentro del cual, el agua subterránea se mueve hacia el pozo. El radio de este cono varía de acuerdo a las propiedades del acuífero y al caudal de agua que se extrae del pozo. Tratándose de acuíferos libres, la proyección de ese cono en la superficie se representa con un área circular en la que deben establecerse medias para disminuir su amenaza a la contaminación. Este espacio geográfico suele llamarsele área de protección del pozo.

De acuerdo con Foster (1987) el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas es definido como el peligro del deterioro en la calidad de un acuífero, por la existencia real o potencial de sustancias contaminantes en su entorno y es concebido como la interacción entre: a) la amenaza, expresada como la carga contaminante que es, será o pudiera ser aplicada al subsuelo como resultado de la actividad humana y b) la vulnerabilidad del acuífero, que es una propiedad intrínseca del medio (tipo de acuífero y cobertura, permeabilidad, litología, profundidad del nivel e agua subterránea, tipo de recarga, etc.)

METODOLOGÍA

El Mapa de Geoaptitud Hidrogeológica de Costa Rica ha sido elaborado tomando como base el Mapa Geológico de Costa Rica publicado por el Ministerio del Ambiente y Energía en el año 1997.

La metodología para su elaboración ha sido la siguiente:

- a. Definición de la geoaptitud hidrogeológica potencial de cada una de las formaciones geológicas que incluye el mapa.
- b. Consideración de los aspectos de litología, aspectos litopetrofísicos generales y conocimientos hidrogeológicos específicos de las formaciones por parte de los autores.
- c. Definición de geoaptitud hidrogeológica basada en la capacidad de la formación geológica para desarrollar un acuífero libre. No toma en cuenta el desarrollo de acuíferos confinados.
- d. Diseño y aplicación de una escala de geoaptitud hidrogeológica que establece una categoría de “sin potencial” y tres subcategorías de “con potencial” que corresponden con: bajo, moderado y alto.
- e. Consideración de la información hidrogeológica publicada previamente por otros autores (Mora, 1978; SENARA – BGS, 1985; Arredondo & Suárez, 1993, Losilla *et al.*, 2000; Vargas, 2002, Reynolds, 2002; entre otros)

Consecuentemente con la metodología aplicada, el mapa desarrollado presenta algunas limitaciones importantes de citar:

No pretende representar los acuíferos del país, pues para tal efecto es necesario la definición y cuantificación de parámetros hidráulicos, calidad y cantidad del agua, así como geometría (extensión, profundidad, definición de zonas de recarga y descarga) de los mismos a partir de información de pozos, manantiales y pruebas de campo realizadas para tal fin.

El hecho de que a alguna Formación geológica de origen volcánico se le asignará un valor de 0 (sin potencial) no limita la existencia de

acuíferos colgados que puedan existir cuando las características de fracturación (en este tipo de rocas) lo permitan. Este aspecto también se extiende para algunas formaciones de origen sedimentario.

DESCRIPCIÓN DEL MAPA

En la figura 1 se presenta el Mapa de Geoaptitud Hidrogeológica de Costa Rica. Como puede observarse, nuestro país queda dividido en cuatro tipos diferentes de territorios geológicos con diferente potencial de geoaptitud hidrogeológica.

La categoría de “sin potencial” para el desarrollo de acuíferos libres y por tanto, vulnerables a la contaminación, representa un 24 % del

total del territorio del país. Es importante destacar que el territorio que abarca esta unidad se localiza predominantemente en las áreas rurales y en general, caracterizadas por una ocupación humana de tipo baja a muy baja.

El 76 % del territorio de Costa Rica tiene potencial hidrogeológico, es decir, que puede disponer de un acuífero vulnerable a la contaminación en la parte superior del subsuelo. Este espacio geográfico, respecto a los atributos físico – geológicos de la formación que lo constituyen se dividen en tres subcategorías de potencial hidrogeológico.

Los territorios que presentan condiciones hidrogeológicas calificadas como de “bajo potencial” representan el 25 % del total del espacio terrestre del país. Este tipo de unidad de geoaptitud

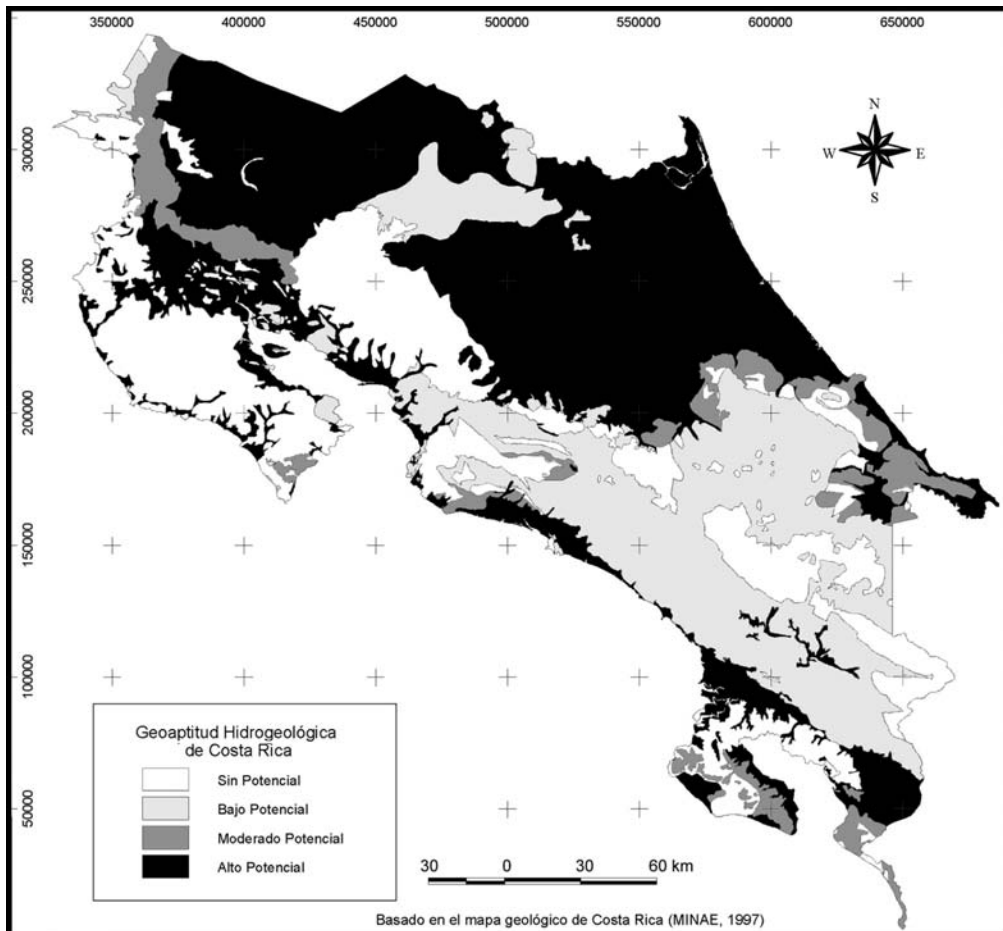


Fig. 1. Mapa de Geoaptitud Hidrogeológica

hidrogeológica se presenta en particular en la mitad sur del país, abarcando grandes extensiones de su parte central.

Por su parte, los terrenos con una condición de “moderado potencial” de geoaptitud hidrogeológica representan solamente un 7 % del total del país. Se presentan dispersos tanto en la parte central como en los sectores del norte y sur y se vinculan a ciertas formaciones sedimentarias.

Finalmente, los territorios con potencial de geoaptitud hidrogeológica calificada como alto representan un 44 % del total del país. Se presentan predominantemente en el sector central (Valle Central) y norte de Costa Rica. Es importante señalar que, por una cuestión circunstancial, al menos el 60 % de las actividades humanas del país se desarrollan sobre esta unidad de geoaptitud hidrogeológica.

IMPLICACIONES DEL MAPA RESPECTO AL DESARROLLO URBANO

La implicación más importante del mapa de geoaptitud hidrogeológica de Costa Rica consiste en el hecho de que un 76 % del total de territorio continental del país tiene potencial y por tanto puede presentar un acuífero libre bajo su suelo. Esto quiere decir, que más de dos tercios del territorio del país puede ser calificado como un área de recarga acuífera. Esto tiene consecuencias muy importantes respecto a la forma en que se organiza, planifica y administra el uso del territorio respecto a las actividades económicas, en particular aquellas que por su naturaleza puedan resultar impactantes al medio ambiente y al agua subterránea.

Es importante recalcar que al menos el 90 % de la actividades humanas y cerca del 95 % de la población del país habita y realiza acciones de diversa índole sobre esas áreas de recarga acuífera y sobre esos terrenos considerados con potencial de geoaptitud hidrogeológica. Visto desde la perspectiva de la resolución de la Sala Constitucional ya citada, nos damos cuenta de las implicaciones que tiene la misma para la administración ambiental del país.

Por un lado, se entiende la necesidad de definir políticas y acciones concretas de protección, salvaguardia y adecuada administración del recurso hídrico subterráneo y en particular del uso del suelo que cubre las denominadas áreas de recarga acuífera. El asunto es claro, el recurso es valioso y requiere ser protegido. Posiblemente se trata del recurso natural más estratégico que tiene el país. La razón es obvia, muchas de nuestras aguas superficiales están contaminadas y son muy vulnerables a la contaminación. No por casualidad el agua subterránea representa casi el 75 % de la fuente de agua potable de la población del país. Porcentaje que, con seguridad se incrementará en el futuro.

Por otro lado, se nos presenta un problema práctico. Esas áreas con potencial hidrogeológico abarcan casi el 100 % del territorio en donde desarrollamos actividades humanas desde hace mucho tiempo y en donde deberemos seguir promoviendo el desarrollo económico y social de la nación. Desarrollo que no puede detenerse y que más bien, requiere ser impulsado a fin de seguir mejorando las condiciones sociales de la población.

Como se puede notar, ambas posiciones son razonables y justas. Entonces, ¿cómo lograr armonizar ambas? Ese es nuestro reto inmediato. En la búsqueda de una solución a esta disyuntiva, es posible establecer algunas premisas básicas a los problemas de la administración ambiental del país en esta materia de recursos hídricos subterráneos.

En primer lugar, es necesario desarrollar una estrategia razonable y equilibrada. Las posiciones extremas, ya sea de una conservación a ultranza o bien de un desarrollo exacerbado no parecen ser las soluciones apropiadas.

El mapa de potencial hidrogeológico nos muestra que existen diferentes categorías desde altos hasta bajos. Eso parece ser una clave para el diseño de esa estrategia. Los lineamientos sobre el uso, manejo y protección podrían variar para cada una de los potenciales y en particular según el grado de amenaza a la contaminación que puede presentar un acuífero dado (véase Astorga, 2003).

Otro elemento importante a tomar en cuenta, y que la Sala Constitucional lo señala, es

la necesidad de disponer de los criterios técnicos – jurídicos básicos, que a modo de “reglas del juego” claras que permitan realizar una efectiva y eficiente administración del recurso. Es necesario y urgente desarrollar un Reglamento de Protección y Manejo de las Aguas Subterráneas.

Un tercer elemento a tomar en cuenta se refiere al tema de la escala apropiada en que debe actuar la administración para definir criterios de protección y manejo racional del recurso hídrico subterráneo. En esto ha habido mucha confusión y su no solución genera la gran mayoría de los problemas que ahora enfrentamos.

El mapa de geoaptitud hidrogeológica que se presenta en este documento parte de una escala muy amplia, su base es 1:500.000. Es útil para visualizar la situación general del país y para definir políticas generales sobre el tema, pero no para definir lineamientos específicos.

Cuando bajamos la escala para acercarnos a un tamaño de mapas que nos permitan realizar una mejor administración del territorio nacional, descubrimos que incluso a escala 1:200 000 o 1:50 000 los mapas oficiales existentes sobre aspectos hidrogeológicos cubren un porcentaje (< 10 %) muy reducido del territorio nacional. Para un gran parte del territorio nacional prácticamente no disponemos de información oficial, debidamente publicada. Tanto las autoridades que deben tomar decisiones en materia ambiental sobre el tema de las aguas subterráneas, como los mismos usuarios y desarrolladores de actividades productivas, se encuentran en la misma posición: no disponen de información base para la toma de decisiones.

¿Qué hacer entonces? ¿Cuál es la solución más acertada a corto y mediano plazo?

Pensar en que el Estado y sus instituciones, primero generen la información necesaria, resulta bastante utópico. Si no lo han hecho durante los últimos 30 años, está difícil que emprendan la tarea de inmediato. Y aunque lo quisieran hacer, existe mucha limitación de recursos financieros y humanos.

Tampoco es viable que el sector productivo privado financie esos trabajos, cuando son parte de las responsabilidades que tiene el Estado en el marco del eficiente manejo que debe darse a los recursos naturales y la protección ambiental.

La solución, como en otros muchos casos, parece ser la condición intermedia. Por un lado, el Estado debe, además de promover la salida del Reglamento citado, iniciar la implementación que promueva la generación de mapas de administración del recurso a diversas escalas, de lo regional a lo local. El mapa que se presenta en este documento podría servir de guía para definir priorización de zonas de planificación, cuando se combina la geoaptitud hidrogeológica alta con el grado de ocupación del uso del suelo por actividades antrópicas. Se incluyen como parte de estos mapas, los que se elaboran para cuencas hidrográficas, en programas de planificación regional y también los de planes reguladores. Es necesario, eso sí, ordenar los lineamientos básicos que deben cumplir dichos mapas en su elaboración.

Por otro lado, es necesario que el sector productivo también ponga de su parte. No es posible que un desarrollador primero adquiera la finca y diseñe el proyecto, para luego investigar si el terreno es apropiado para el desarrollo del mismo. El ciclo del proyecto debe cumplirse y, como parte de los estudios técnicos básicos y de prefactibilidad, un desarrollador debe contestar preguntas clave que le permitan tener una idea clara sobre la viabilidad técnica y ambiental de su proyecto. No puede, ni debe esperar a que el Estado le diga qué hacer y qué no hacer. Ese rescoldo de paternalismo estatal no se ajusta con las exigencias actuales del desarrollo económico de un país competitivo y abierto al comercio mundial.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al menos 3/4 partes del territorio continental del país tiene potencial hidrogeológico para la conformación de acuíferos libres y, por tanto, vulnerables a la contaminación ambiental.

Ese potencial hidrogeológico se divide en tres categorías que varían desde un valor bajo hasta alto.

El desarrollo económico desordenado, no planificado y en particular el urbano, representa un riesgo de contaminación del recurso hídrico subterráneo, el cual representa la fuente de más del 50 % del agua de consumo humano en el país. Es necesario y urgente desarrollar una estrategia

nacional y mancomunada para resolver la disyuntiva de proteger los acuíferos y, a su vez, promover el desarrollo económico y social de la nación.

El Estado como administrador de los recursos naturales tiene la responsabilidad de ordenar las “reglas del juego” que resuelvan y equilibren esa disyuntiva. Además, debe iniciar un proceso que le permita orientar y organizar el desarrollo sobre bases técnicas de planificación ambiental del territorio.

El Sector Productivo, tanto público como privado, también tiene tareas al respecto. Es necesario que, como parte de los estudios básicos y de prefactibilidad de un proyecto, realice las valoraciones locales sobre los recursos o factores ambientales potencialmente impactantes e incorpore en el diseño del proyecto las medidas técnicas y ambientales que permitan su ejecución bajo la condición de un mínimo impacto y riesgo de daño ambiental.

Solamente con un trabajo mancomunado, multifactorial y multiescala, será posible obtener una base técnica apropiada que sustente de forma sólida la toma de decisiones y el desarrollo verdaderamente sostenible del país.

REFERENCIAS

- ARREDONDO, S. & SUÁREZ, A., 1993: Mapa hidrogeológico de la Gran Área Metropolitana, escala 1:200 000. – En: DENYER, P. & KUSSMAUL, S (compiladores), 1994: Atlas geológico de la Gran Área Metropolitana – Editorial Tecnológica de Costa Rica
- ASTORGA, A. & CAMPOS, L., 2001: El cartografiado de geoaptitud de los terrenos (Mecanismo catalizador para sintetizar y facilitar la contribución de las Ciencias Geológicas en el Ordenamiento Territorial). – *Rev. Geol. América Central*, 24: 103-110.
- ASTORGA, A., 1995: El papel de las ciencias geológicas en los programas de desarrollo sostenible y ordenamiento territorial en Costa Rica. - En: RESTREPO, F. & SANTIAGO, C.: Aspectos geológicos de protección ambiental, 2: 7- 11; UNESCO, UNICAMP, PNUMA (Montevideo).
- ASTORGA, A., 2003: Estándares ambientales en Centroamérica: Propuesta marco para una regulación de protección ambiental de las aguas subterráneas. - 57 págs. Proyecto Diseño de un Modelo Armonizado de Estándares Ambientales en Centroamérica. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) [Inf. Téc.]
- BGS-SENARA, 1985: Mapa hidrogeológico del Valle Central, escala 1:50 000. - BGS – SENARA.
- FOSTER S.T, 1987: Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution, risk, and protection strategy. - *Hydrog. Res. Proceed. Inf.* 38: 69-86, The Hague.
- LOSILLA, M., RODRÍGUEZ, H., SCHOSINSKY, G. & STIMSON, J. 1998: Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en Centroamérica. - 129 págs. Proyecto Acuíferos Regionales II, América Latina [Inf.téc. preliminar].
- MORA, D., 1978: Aspectos hidrogeológicos de la Península de Nicoya. – 81 págs. Univ. Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- REYNOLDS, J. (ed.), 2002: Manejo integrado de Aguas Subterráneas. - 325 págs. Ed. UNED, Heredia.
- VARGAS, A. (ed.), 2002: Número especial: Hidrogeología. – 162 págs. *Rev. Geol. América Central*, 27.

