

# Estado del conocimiento del agua subterránea en Costa Rica

M.E. Arias Salguero<sup>(1)</sup>, M. Losilla Penón<sup>(2)</sup> y S. Arredondo Li<sup>(3)</sup>

(1) Director del Programa de Posgrado Centroamericano en Geología. Universidad de Costa Rica. Apartado 214-2060. Costa Rica.  
E-mail: marioa@geologia.ucr.ac.cr

(2) Consultor en Hidrogeología. Apartado 290-3100. Costa Rica.  
E-mail: mlosilla@racsa.co.cr

(3) Consultora en Hidrogeología. Apartado 1488-1000. Costa Rica.  
E-mail: sarredondo99@yahoo.es

## RESUMEN

Se presenta una sinopsis de diversos aspectos relacionados con el agua subterránea en Costa Rica. Incluyendo un complejo marco institucional y legal que ha limitado el desarrollo de la investigación, cuantificación y protección del recurso hídrico. Se muestra la evolución del conocimiento hidrogeológico desde el año 1940 y cómo han influido positivamente las actividades universitarias en ella. Son caracterizados varios de los acuíferos más importantes y se comenta la problemática actual y futura del agua subterránea, que está relacionada con la calidad y reducción de las zonas de recarga, debido al mal uso de la tierra por la falta de planificación urbana en el país.

Palabras clave: agua subterránea, Costa Rica, hidrogeología, recurso hídrico, uso del agua

## ***State of the art of groundwater in Costa Rica***

### ABSTRACT

*A synopsis of diverse aspects related with the groundwater in Costa Rica is presented. Including a complex institutional and legal system that has limited the development of the investigation, quantification and protection of the water resource. The evolution of the hydrogeological knowledge is shown from the year 1940 and like the university activities have influenced positively in. Several of the most important aquifers have been characterized and it is commented on the current and future problem of the groundwater, which is related with the quality and reduction of the recharge areas, due to the wrong use of the earth for the lack of urban planning in the country.*

*Key words: Costa Rica, groundwater, hydrogeology, use of water, water resource*

### **Antecedentes sociogeográficos y geológicos de Costa Rica**

La República de Costa Rica está ubicada en América Central. Abarca un área de 51.100 km<sup>2</sup> y la capital es San José. El idioma oficial es el español y la moneda en curso es el colón (¢). Administrativamente está dividida en 7 provincias, 81 cantones y, a efectos de planificación, en 9 regiones. Desde la década de los años 50 ha gozado de un crecimiento económico sostenido y de estabilidad del sistema político y social. Cuenta con más de 100 años de vida democrática y desde el primero de diciembre de 1948 se abolió el ejército.

La población de Costa Rica se aproxima a los 4,2 millones de habitantes (50,85% hombres y 49,15%

mujeres). La densidad de población es de 82 personas por km<sup>2</sup>. En el año 2004, Costa Rica obtuvo un índice de desarrollo humano (IDH) de 0,834, situándose en el puesto 45 de la clasificación mundial (Programa del Estado de la Nación, 2004).

Desde el punto de vista geográfico, el país está dentro de la zona tropical del hemisferio norte, pero mantiene una amplia variación de climas por su diversidad altitudinal y su ubicación entre dos grandes regímenes de clima oceánico: del Mar Caribe y del Océano Pacífico.

Posee un promedio de precipitación anual de 3300 mm con variaciones entre los 1300 y 7500 mm por año. La temperatura media anual oscila entre 26,0°C en la costa Atlántica y 27,8°C en la Pacífica, descendiendo hasta 4,5°C en el Cerro Chirripó, el más alto de

Costa Rica (3818 msnm). Las diferencias diarias de temperatura promedio entre el día y la noche varían entre 9°C en la estación lluviosa, y 14°C en la seca.

Existen dos regímenes de lluvia distintos, el del Pacífico con un solo período de fuertes lluvias entre principios de mayo hasta noviembre, seguido de una estación seca que varía entre 5 meses en el Pacífico norte y 3 meses en el Pacífico sur. En el régimen Atlántico, el patrón anterior está afectado por los vientos alísios del este, que recogen gran cantidad de agua a su paso por el Caribe produciendo lluvias advectivas y orográficas en las llanuras, faldas y laderas de la vertiente atlántica del país, en la estación considerada seca del Pacífico (Centro Científico Tropical, 1982).

Desde una perspectiva geológica, el sur de América Central conforma el límite suroccidental de la Placa Caribe, y está caracterizada por la presencia de bloques tectónicos limitados por fallas que marcan movimientos relativos entre sí (Escalante y Astorga, 1994).

Costa Rica y el oeste de Panamá conforman una provincia geológica bien definida denominada Bloque Chorotega, que está caracterizado por la interacción de cuatro placas tectónicas, que han producido un complejo patrón estructural y el desarrollo de un sistema de cuencas estrechas.

La unidad estratigráfica más antigua tiene sedimentos del Jurásico y es de origen marino profundo. Los depósitos volcánicos continentales y las rocas intrusivas ígneas asociadas de América Central, particularmente las del Terciario Superior y Cuaternario, forman el rasgo tectónico denominado arco vulcanomagmático que se extiende bastante continuo desde el norte de América Central hasta Panamá (Escalante y Astorga, 1994).

Costa Rica se puede dividir en tres zonas longitudinales y paralelas: a) espacio fosa-arco (margen pacífica); b) arco interno (zona axial) con altos relieves; c) zona tras-arco (margen caribeña), aunque a lo largo de discontinuidades mayores se yuxtaponen áreas diferentes en litología y evolución dinámica que condicionan la distribución de rocas con potencial acuífero.

### **Marco institucional de la gestión del recurso hídrico**

El cuerpo legal que regula el recurso hídrico lo constituye la Ley de Aguas que data de 1942, con normas y estatutos que, según algunos, son inadecuados para las circunstancias actuales.

Además de esta Ley de Aguas, existen múltiples disposiciones legales (leyes y reglamentos) que regu-

lan el uso y la calidad del agua del país, entre las que destacan: Constitución Política, Ley General de Salud, Ley Orgánica del Ambiente, Ley de Conservación de Vida Silvestre, Ley Forestal, Ley de Uso y Manejo de Suelos, Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, Reglamento de Perforación de Pozos.

Costa Rica, está involucrada, al igual que el resto de la región centroamericana, en un proceso de reforma de su marco jurídico e institucional para llegar a una gestión adecuada de los recursos hídricos. Parte de este proceso, incluye el establecimiento de la Política Nacional de Recursos Hídricos, basada en una serie de principios rectores que orienten los siete instrumentos principales de gestión que se enumeran a continuación (BID, 1998): a) gobierno y desarrollo; b) marco jurídico; c) agua y economía; d) agua y ambiente; e) institucionalidad; f) instrumentos de gestión; g) sistema nacional de información hídrica y la promulgación de una cultura del agua.

En este marco y debido a la compleja situación que implica la existencia de tantas disposiciones legales, en la actualidad se encuentra en proceso de discusión por parte de la Asamblea Legislativa un nuevo proyecto de Ley del Recurso Hídrico (expediente 14585) que pretende incorporar los principios rectores de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico.

Según Arias (2004a), este proyecto propone una serie de instancias, que a pesar de tener definidas sus funciones, ponen en evidencia la carencia de un ente rector que pueda, desde un punto de vista técnico, político y con un enfoque integrado del ciclo hidrológico, tomar las decisiones pertinentes. Ejemplo de ello, es el Título II referente a la organización, competencias, financiamiento y planificación del recurso hídrico, en el que se presentan una serie de instancias burocráticas que ponen en tela de juicio el funcionamiento del sistema organizativo propuesto. Es evidente que vendrá en detrimento de la calidad de los servicios y de la supervisión que el Estado debe ejercer en este caso particular. Así, en los instrumentos de planificación propuestos en esta ley, tendríamos al menos seis componentes que son: a) balance hídrico nacional; b) plan hídrico nacional; c) plan hídrico regional; d) políticas y planes sectoriales nacionales; e) clasificación nacional de cuerpos de agua; f) planes de ordenamiento territorial.

Este proyecto de ley ha incorporado algunas recomendaciones que han contribuido a la protección del recurso hídrico en general y con cierto interés en las aguas subterráneas. Sin embargo, aún presenta varios errores técnicos que unidos a: a) la estructura organizativa que demanda una fluida comunicación entre los diferentes entes involucrados; b) el rechazo

sectorial de las instituciones públicas en solicitar la autorización de aprovechamiento del recurso; y c) el financiamiento basado en la recolección de cánones, ponen en duda la conveniencia de este proyecto de ley (Arias, 2004a).

Junto a la gran variedad de disposiciones legales, existen a su vez gran cantidad de instituciones relacionadas y vinculadas directamente con la administración del recurso hídrico, entre ellas, el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), el cual administra e implementa políticas de protección a los recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos por medio de varios entes adscritos entre los que destacan: a) la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA); b) el Departamento de Aguas; c) el Tribunal Ambiental Administrativo (TAA); d) el Fondo Nacional para el Financiamiento Forestal (FONAFIFO); y e) el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC).

Otras instituciones importantes son: el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA); el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA); algunas municipalidades que administran el recurso hídrico para abastecimiento público; el Ministerio de Salud (MINSA) quien dicta políticas en el área de la calidad y manejo de aguas residuales y potable; la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), que es el ente responsable en la evaluación y aprobación de las tarifas de los servicios públicos entre los que se encuentra el agua potable; el Instituto Meteorológico Nacional (IMN); el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG); el Tribunal Agrario; la Contraloría General de la República; la Defensoría de los Habitantes; el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU); la Dirección Nacional de Desarrollo Comunal (DINADECO); el Instituto Nacional de Fomento y Asesoría Municipal (IFAM); el Consejo Nacional de Rectores (CONARE); el Instituto Nacional de Puertos (INCOP); las Universidades Estatales, y los tres poderes de la República.

El Estado costarricense también ha creado alianzas con la empresa privada que ofrecen servicios públicos como la Empresa de los Servicios Públicos de Heredia, S.A. (ESPHSA) y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL).

### **Desarrollo de la hidrogeología en Costa Rica**

El campo de la hidrogeología en Costa Rica se empezó a desarrollar a partir de 1940. El Ministerio de Salubridad Pública, en colaboración del Servicio Cooperativo Interamericano de Salud Pública, inició

un programa de perforación de pozos en las zonas rurales. Esa labor permitió conocer, en forma preliminar, las características hidrogeológicas de varias áreas del país y, al mismo tiempo, incorporar los equipos y técnicas de perforación.

Por gestión de varios organismos estatales, se logró que en 1967 las Naciones Unidas desarrollaran el proyecto "AQUASUB" en el Valle Central, Guanacaste y Limón. Este programa permitió la preparación de personal nacional en el campo de la hidrogeología mediante becas de especialización en varios países y de adaptación del personal técnico.

El Servicio Nacional de Aguas Subterráneas (SENAS), fue el organismo oficial destinado por ley al desarrollo permanente de ese campo en el país, teniéndose al final de la década de los setenta un grupo de trece hidrogeólogos y varios técnicos especializados en ese campo, así como el equipo necesario de perforación y de investigación geofísica del subsuelo. En 1983, se transforma en el SENARA, con las siguientes funciones: a) sistematizar y mantener actualizado el inventario de las aguas subterráneas; b) controlar y dar seguimiento a las perforaciones de pozos; c) realizar investigaciones hidrológicas e hidrogeológicas que permitan tomar decisiones para proteger y preservar el recurso hídrico; d) divulgar a la comunidad nacional la información sobre el estado de los recursos hídricos en cuanto a su explotación y preservación.

### ***Asociaciones científicas y profesionales en recursos hídricos***

La Ley Orgánica del Colegio de Geólogos de Costa Rica, N° 5230, estipula en el artículo 8, inciso d) que son funciones de los geólogos la prospección, evaluación y explotación de las aguas subterráneas y manantiales de cualquier naturaleza. Esto permite su participación en los estudios de impacto ambiental que se realizan en el país, donde uno de los aspectos físicos evaluados es la hidrogeología del lugar, contemplando entre otras cosas los siguientes elementos: aguas subterráneas, caracterización de acuíferos, mapa de elementos hidrogeológicos, identificación del proyecto dentro de zonas de recarga y zonas de protección de manantiales o pozos.

En el año 2004 había 285 geólogos inscritos en el Colegio de Geólogos de Costa Rica. De ellos, 12 con la especialidad en hidrogeología, según los siguientes criterios emitidos por este colegio profesional: a) experiencia comprobada por un mínimo de 8 años en labores asociadas a la especialidad solicitada; b) grado académico universitario que lo indique

expresamente; c) publicaciones y trabajos que puedan corroborar su especialidad. Sin embargo, hay muchos profesionales que cumplen estos requisitos y no han solicitado el reconocimiento de su especialidad ante este órgano.

A nivel institucional, los geólogos especializados en aguas subterráneas trabajan en instituciones estatales, entre ellas: AyA, SENARA, ICE, SETENA, Dirección de Geología y Minas (DGM), Universidades. También en la empresa privada brindando consultorías ambientales (estudios de impacto ambiental, planes de gestión, evaluación de la calidad del agua), perforación de pozos y de prospección de aguas subterráneas (Arias, 2004b).

### **Actividades universitarias y formación en hidrogeología**

Con la creación en 1970 de la Escuela de Geología de la Universidad de Costa Rica, se incluyeron los siguientes cursos en su plan curricular: Aguas Subterráneas I-II, Hidrogeología, Técnicas de Perforación, y Manejo de Recursos Hídricos. Al menos 12 licenciados en Geología han realizado sus tesis de grado en el tema de hidrogeología.

En 1995, se creó la especialidad en Manejo de Recursos Hídricos e Hidrogeología del Programa de Postgrado Centroamericano en Geología de la Universidad de Costa Rica, en la cual han participado un total de 44 estudiantes, siendo costarricenses 22 de ellos; el resto han sido estudiantes de la región centroamericana y de Colombia. Esto ha permitido ampliar la gama de profesionales en este campo, tanto a nivel nacional como del resto de los países de Centroamérica, gracias al apoyo financiero de la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional y del Servicio Alemán de Intercambio Académico, que han brindado becas a estos estudiantes.

El perfil académico de este programa, contribuye a entender la interrelación existente entre clima, escorrentía superficial, infiltración y aguas subterráneas. Elabora principios básicos de evaluación de impacto ambiental y sostenibilidad de proyectos de desarrollo de recursos hídricos con énfasis en el aprovechamiento, gestión y manejo de cuencas. Fomenta el papel que desempeña la hidrogeología, especialmente en el desarrollo del país teniendo en cuenta sus leyes y el ambiente. Da una visión holística del manejo integrado del agua, respondiendo a las necesidades de la sociedad (Arias, 2004b).

Otras entidades universitarias que tienen actividades de investigación en hidrogeología son el Laboratorio de Hidrología Ambiental de la Universidad

Nacional (UNA) y el Centro de Investigación de Contaminación Ambiental (CICA) de la Universidad de Costa Rica.

### **Planes de cartografía hidrogeológica**

El país cuenta con mapas hidrogeológicos del Valle Central a escala 1:50.000, y de otras regiones del país a escala 1:250.000.

Existen algunos mapas hidrogeológicos locales con diferente grado de detalle a escala 1:50.000, principalmente generados a partir de las investigaciones de tesis de licenciatura y maestrías en Geología, desarrollados en la Universidad de Costa Rica.

Las principales instituciones nacionales encargadas de la gestión del agua subterránea como el SENARA, el AyA y el Departamento de Aguas del MINAE, cuentan con bases de datos y sistemas de información geográfica parciales y no están integrados entre ellos.

Vargas (2000), realizó un mapa con la localización de los principales acuíferos conocidos hasta la fecha (Fig. 1). La más reciente publicación relacionada con la cartografía hidrogeológica la realizaron Astorga y Arias (2004) presentando un Mapa de Geoaptitud Hidrogeológica de Costa Rica, a escala 1:500.000 (Fig. 2), que define el potencial que tiene una formación rocosa para albergar un acuífero libre teniendo en cuenta las características intrínsecas de ésta y aplicando una escala cualitativa para caracterizar su potencial.

La categoría "sin potencial" para el desarrollo de acuíferos libres, representa el 24% del territorio costarricense. Es importante destacar que esta unidad se localiza predominantemente en las áreas rurales generalmente caracterizadas por una densidad de población de baja a muy baja.

El 76% del territorio nacional tiene algún grado de potencial hidrogeológico, es decir, que puede disponer de un acuífero libre en la parte superior del subsuelo. Este espacio se divide en tres subcategorías: las áreas calificadas como "bajo potencial" representan el 25% del espacio terrestre del país, y se encuentran en la mitad sur de Costa Rica. Por su parte, los terrenos con una condición de "moderado potencial", representan solamente un 7% y se presentan asociados con ciertas formaciones sedimentarias. Las zonas con "potencial alto" de geoaptitud hidrogeológica se presentan en el 44% del territorio nacional y se ubican geográficamente en el sector del Valle Central y en la parte norte del país. Es importante señalar que precisamente en estas regiones, es donde se desarrolla al menos el 60% de las actividades productivas nacionales.

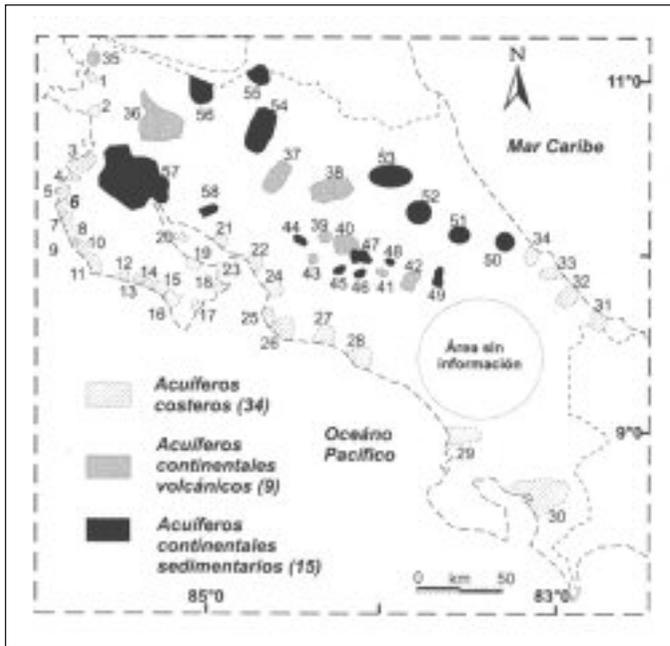


Fig. 1. Mapa de localización de acuíferos en Costa Rica  
Fig. 1. *Map of localization of aquifers in Costa Rica*

**Acuíferos costeros (coastal aquifers):** 1. Bahía Salinas; 2. Nancite; 3. El Coco; 4. Brasilito; 5. Tamarindo; 6. San José de Pinilla; 7. Río Andamojo; 8. Marbella; 9. San Juanillo; 10. Nosara; 11. Garza; 12. Sámará; 13. Río Ora; 14. Bejuco; 15. Río Jabillo; 16. Río Arío; 17. Tambor; 18. Paquera; 19. Lepanto; 20. Isla de Chira; 21. Chomes; 22. Barranca-El Roble; 23. Isla Venado; 24. Tárcoles; 25. Jacó; 26. Esterillos; 27. Parrita; 28. Quepos; 29. Puerto Cortés; 30. Ciudad Neily; 31. Sixaola; 32. Pandora; 33. La Bomba; 34. Limón-Moín;

**Acuíferos continentales en rocas volcánicas (aquifer continental volcanic rocks):** 35. La Cruz; 36. Liberia-Bagaces; 37. Peñas Blancas; 38. Muelle; 39. Poás; 40. Barba-Colima; 41. El Zapote; 42. Cartago; 43. Atenas;

**Acuíferos continentales en rocas sedimentarias (aquifer continental sedimentary rocks):** 44. San Ramón-Palmare; 45. Santa Ana; 46. Escazú; 47. Área Metropolitana; 48. Coronado; 49. Turrialba; 50. Matina; 51. Siquirres; 52. Guápiles; 53. Puerto Viejo; 54. San Rafael; 55. Los Chiles; 56. Upala; 57. Tempisque; 58. Las Juntas

Con respecto a las publicaciones periódicas sobre recursos hídricos, no existen revistas nacionales especializadas en el tema. Sin embargo, en las revistas científicas nacionales se publican artículos y estudios sobre el recurso hídrico; tal es el caso de la Revista Geológica de América Central de la Universidad de Costa Rica, donde en diciembre del 2002 se publicó el número 27 como número especial dedicado a la Hidrogeología.

### Recursos hídricos disponibles en Costa Rica

El país no cuenta con un balance hídrico nacional completo ni actualizado. Sin embargo, a partir de la

información existente en el Departamento de Aguas del MINAE y otras publicaciones donde están recogidos los datos oficiales de concesiones de agua vigentes, se ha realizado una estimación que considera una oferta potencial para el año 2000 de 112,40 km<sup>3</sup>/año. Considerando una población de 3 925.331 habitantes, se tiene un capital hídrico de 28.634,53 m<sup>3</sup>/habitante/año.

Tal y como se señala en el Programa del Estado de la Nación (2004), en los últimos veinte años se produjo un fuerte aumento en la extracción de aguas subterráneas y superficiales. En 2003 se contabilizó un total de 9.886 pozos, mostrando un incremento del 93% en los últimos años. Además, se estima que están siendo aprovechados en el país menos del 20% del total de recursos hídricos estimados en el balance.

El país no cuenta con planes de aprovechamiento sostenible de sus recursos hídricos basados en un "rendimiento seguro" de sus acuíferos, ni con una política de planificación de aprovechamiento hídrico nacional para conocer los recursos disponibles en forma sostenida.

Sin embargo, se tienen áreas protegidas (Parques Nacionales, Reservas, entre otros), declaradas principalmente con criterios ambientales, que limitan el aprovechamiento de las aguas aproximadamente en un 25% del área del país.

### Hidrogeología descriptiva de Costa Rica

Losilla *et al.* (2001), establecieron que los acuíferos de Costa Rica se pueden clasificar por su origen y ubicación geográfica en:

#### Acuíferos en valles aluviales del Pacífico y Atlántico

Estos acuíferos se desarrollan en las faldas de las Cordilleras de Guanacaste, Central y de Talamanca, tanto en la vertiente del Pacífico como del Atlántico. Entre los más conocidos y a modo de ejemplo destacan:

#### Acuíferos de la margen derecha del río Tempisque

Están formados por los aluviones del río Tempisque y los afluentes de su margen derecha, así como los coluviones de la Serranía de la Península de Nicoya, que tiene una extensión aproximada de 800 km<sup>2</sup>, con más de 500 pozos de caudales de hasta 65 l/s (Losilla, 1997).

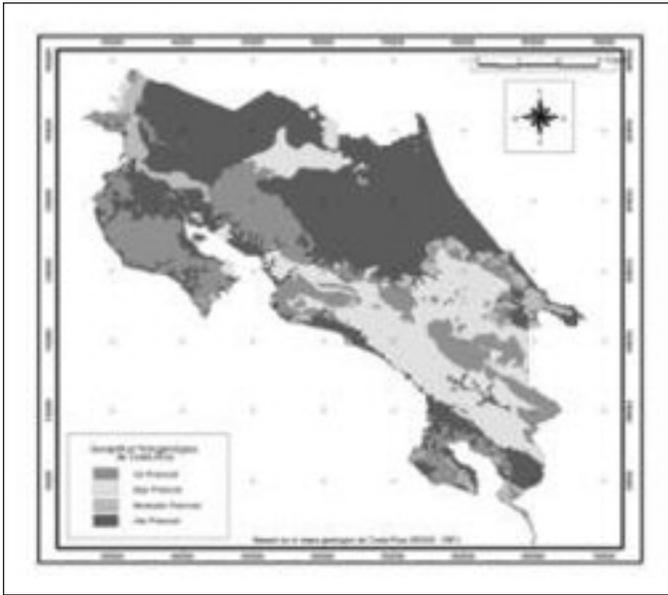


Fig. 2. Mapa de geoaptitud hidrogeológica en Costa Rica. (Sin potencial: 24% del territorio / Bajo potencial: 24% del territorio / Medio potencial: 7% del territorio / Alto potencial: 44% del territorio)

Fig. 2. Map of hydrogeological geoaptitud in Costa Rica. (Without potential: 24% of the territory / Low potential: 25% of the territory / Medium Potential: 7% of the territory / High Potential: 44% of the territory)

Se utilizan a través de pozos, como única fuente de agua potable para las ciudades y pueblos de la cuenca media-baja y baja del río Tempisque, incluyendo Sardinal, Filadelfia, Belén, Santa Cruz y muchas otras poblaciones menores. También es ampliamente utilizado para riego y agroindustria.

Estos acuíferos están constituidos por los depósitos aluviales y coluviales formados por interestratificaciones de arenas, grava, limo y arcillas, procedentes de las rocas volcánicas de sus alrededores. Presentan un espesor medio del orden de 40 m, con máximos identificados de más de 90 m. La producción promedio por pozo es de 25 l/s, con máximos potenciales de hasta 100 l/s. Se han medido transmisividades entre 10 y 1800 m<sup>2</sup>/día.

Las aguas subterráneas descargan como flujo base de los ríos que lo atraviesan, principalmente al río Tempisque, y a través de los pantanos y manglares de su cuenca baja en las cercanías de su desembocadura en el Golfo de Nicoya.

Se estima que la explotación actual del acuífero es de aproximadamente 600 l/s de bombeo continuo, que representan 18,9 millones de m<sup>3</sup>/año de extracción de agua del acuífero.

La recarga potencial por infiltración directa de lluvia se ha estimado en 296.645 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/año, y la recar-

ga rechazada por escorrentía superficial y subsuperficial procedente de las serranías del Complejo de Nicoya se estimó en 641.000 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/año.

### **Acuíferos en cuencas intermontañas de las Cordilleras Volcánica Central y de Guanacaste**

Son los acuíferos más importantes para el abastecimiento público del Área Metropolitana de San José y de las principales ciudades del interior del país.

### **Acuíferos Colima**

Es un sistema acuífero constituido por el Colima Superior y el Colima Inferior. El primero sobreyace al segundo y están separados por una capa de baja permeabilidad que actúa como acuitardo, la cual permite la transferencia vertical de agua tanto en sentido descendente como ascendente.

Estos acuíferos se localizan en la parte central y norte del Valle Central de Costa Rica, en la margen norte del río Virilla, principal colector de la zona. Se encuentran dentro de las zonas más pobladas del país, que son las áreas de más rápido crecimiento poblacional. La extensión de estos acuíferos es aproximadamente de 230 km<sup>2</sup> para el Colima Inferior y de 170 km<sup>2</sup> para el Colima Superior.

El caudal aprovechado por medio de pozos y manantiales alcanza el orden de los 2.800 l/s, (SENARA/BGS, 1988; Losilla *et al.*, 1992; SENARA, 1996). El acuífero Colima Superior se recarga desde el acuífero Barba a través de las tobas de la unidad conocida como Formación Tiribí y desde el acuífero de La Libertad por percolación vertical. También recibe una parte muy importante de su recarga a partir de la infiltración de la lluvia, en aquellas áreas en las que los acuíferos sobreyacentes están ausentes. El acuífero Colima Inferior recibe su recarga desde el Superior por percolación vertical a través de tobas e ignimbritas del Miembro Puente de Mulas, o desde la superficie en aquellas zonas en las que el Colima Superior está ausente. La recarga promedio al sistema acuífero ha sido calculada en 8.200 l/s (TAHAL, 1990).

La descarga de los acuíferos Colima se produce de manera natural, por medio de manantiales ubicados en los bordes de las formaciones y como flujo base a través del lecho del río Virilla (Fig. 3).

En relación con los parámetros hidráulicos básicos, el Colima Superior es un acuífero freático en la mayoría de su extensión, que presenta un rendimiento específico de 0,01 y transmisividades de entre 500 y 9500 m<sup>2</sup>/d. El Colima Inferior, por su parte, se pre-

senta confinado en algunos sitios y libre en otros, con un coeficiente de almacenamiento confinado de  $1,4 \times 10^{-4}$ , un rendimiento específico similar al Colima Superior y transmisividades entre 500 a 7500 m<sup>2</sup>/d. Los caudales que pueden ser extraídos por pozos que captan ambos acuíferos se encuentran en un rango entre 50 y 120 l/s, con abatimientos que van de 1 a 18 metros.

#### *Acuíferos de Barba y La Libertad*

Este es un sistema de acuíferos colgados que se localiza en la parte media y alta de la vertiente norte del río Virilla cubriendo parcialmente a los acuíferos Colima. La ciudad más grande que se encuentra sobre ellos es Heredia, asentada cerca del límite sur. Otros poblados menores sobre el acuífero son Santo Domingo, San Rafael, Barba, San Joaquín, Santa Bárbara y San Rafael. El área cubierta por estos acuíferos es de aproximadamente 135 km<sup>2</sup>.

El caudal total captado a partir de manantiales de estos acuíferos y registrado en el año 1990 era de 1500 l/s (TAHAL, 1990).

La recarga al acuífero Barba se produce por percolación vertical desde los acuíferos superiores, infiltración de la lluvia donde éstos están ausentes y por infiltración a través de los cauces de los ríos influentes (SENARA/BGS, 1988; Gómez, 1987, Herrera y Rodríguez, 1982). La descarga del agua se produce de manera natural en tres formas: manantiales (Fig. 4), percolación vertical hacia acuíferos inferiores (Colima) y salidas a ríos efluentes. De manera artificial, existen extracciones de agua a través de pozos.

Se estiman valores de transmisividad entre 400 y 530 m<sup>2</sup>/d y coeficientes de almacenamiento de 0,10 (Arredondo y Rodríguez, 1995; Gómez, 1987).

Los caudales que pueden ser extraídos por medio de pozos son muy variables, dependiendo de su ubicación. Sin embargo, se registran descargas máximas del orden de los 10 a 15 l/s por pozo (SENARA, 1996). La profundidad del nivel estático oscila entre menos de 25 m y 60 m.

#### *Acuífero de la formación Bagaces*

La formación Bagaces, unidad geológica que contiene al acuífero conocido con el mismo nombre, se encuentra en la provincia de Guanacaste, en la parte noroeste de Costa Rica. Esta región está caracterizada por su relieve relativamente plano y de poca pendiente. Se extiende en la falda noroeste de la Cordillera Volcánica de Guanacaste.



Fig. 3. Estratigrafía de un parte del Valle Central. Se muestra la formación Tiribí y la descarga del acuífero Colima Superior como flujo base al río Virrilla

*Fig. 3. Stratigraphy of the Central Valley. The formation Tiribí and discharges of the Colima Superior aquifer as flow bases to the Virrilla river*



Fig. 4. "Ojo de Agua", un manantial del acuífero Barba, con un caudal de 100 l/s

*Fig. 4. "Ojo de Agua", a spring of the Barba aquifer, with a production of 100 l/s*

El área cubierta por la formación Bagaces es casi de 1300 km<sup>2</sup>. Dentro de ella se encuentra la ciudad de Liberia, y otras ciudades importantes como Bagaces, Cañas y La Cruz. El acuífero es utilizado principalmente por medio de pozos, los cuales se destinan a usos de abastecimiento público, riego y agropecuario. El caudal extraído por pozos en el año 1994, según registros del SENARA (1996) corregidos por horas de bombeo, era de aproximadamente 4,85 millones de m<sup>3</sup>/año.

Según ONU (1975), el acuífero de Bagaces está formado por brechas lávicas, además de ignimbritas y lavas densas pero fracturadas del miembro intermedio. Se calculan valores de caudal específico de 6,6 l/s/m y transmisividades de 2.800 m<sup>2</sup>/d cuando los pozos captan las capas lávicas y de 2 l/s/m y 745 m<sup>2</sup>/d cuando no las atraviesan. Algunos pozos más recientes, indican valores de transmisividad cercanos a los 100 m<sup>2</sup>/d, para casos en que no se capten las lavas de la formación Bagaces (SENARA, 1996).

La recarga a este acuífero se produce a través de la infiltración del agua de lluvia y posiblemente el área de la cordillera es la principal zona de recarga. En el área central del acuífero, en donde éste está cubierto por el acuífero de la formación Liberia, se reconoce una precolación vertical limitada a través de las tobas superiores de la formación Bagaces.

Los caudales máximos extraídos por pozo son del orden de 35 l/s, presentándose mayores producciones en aquellos pozos que captan las capas de lavas e ignimbritas fracturadas.

La profundidad del nivel estático de los pozos oscila entre 11 y 45 m (SENARA, 1996), dependiendo de las irregularidades del terreno, y del miembro que se haya enfrentado con la perforación, que estaría indicando que la formación Bagaces estaría representando un sistema multi-acuífero, con ligeras diferencias en sus niveles de agua.

#### *Acuífero de la formación Liberia*

La formación Liberia se encuentra ubicada en la parte noroeste de Costa Rica, en la provincia de Guanacaste y en su parte central se localiza precisamente la ciudad de Liberia, cabecera de la provincia.

En términos generales, el área cubierta por la formación Liberia tiene una extensión del orden de 430 km<sup>2</sup> en la parte baja de las faldas de la vertiente del Pacífico de la Cordillera Volcánica de Guanacaste.

Las características de permeabilidad han hecho que la formación Liberia forme un acuífero de baja producción conocido con el mismo nombre. Su permeabilidad es reducida debido al alto contenido de

arcilla (60%), a pesar de su aspecto granular. El acuífero es de tipo freático y la infiltración desde la superficie es lenta.

La descarga del acuífero se hace de tres modos principales: a) drenaje hacia los cauces de los ríos que lo cortan; b) infiltración vertical hacia el acuífero Bagaces; y c) descarga por extracción a través de pozos (ONU, 1975).

En relación con los parámetros hidrogeológicos básicos, el acuífero Liberia presenta transmisividades de entre 7 y 14 m<sup>2</sup>/d (SENARA, 1996), y los caudales máximos por pozo no superan los 6 l/s. El nivel del agua subterránea es similar al nivel del agua del acuífero Bagaces, aunque las pequeñas diferencias existentes han hecho que ONU (1975) mencione que el acuífero Liberia es del tipo colgado, ya que el nivel estático regional se encuentra más profundo, dentro del acuífero Bagaces.

#### ***Acuíferos de baja producción en rocas sedimentarias y volcánicas del Terciario***

Estos acuíferos se encuentran en varias localidades del país. Aunque sus producciones son bajas generalmente (entre 0,5 y 5 l/s), cumplen una importante función para el abastecimiento público de pequeñas poblaciones en todo el país, especialmente en la vertiente pacífica y en las estribaciones de la Cordillera de Talamanca.

#### **Hidrogeología y medio ambiente**

##### ***La calidad de las aguas subterráneas***

En general, las aguas subterráneas del país son bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas; algunos casos de aguas sulfatadas podrían tener su origen por efecto de contaminación local o por aguas geotérmicas. Lo mismo sucede con las aguas con características cloruradas que son producto de contaminación local y, en algunos casos, de contaminación salina. En áreas donde los acuíferos se han desarrollado en formaciones geológicas carbonatadas (areniscas calcáreas y calizas), como en un sector de la Provincia de Guanacaste, se pueden encontrar aguas duras que actualmente son utilizadas para abastecimiento público.

En diversos sectores del país, entre ellos Guápiles, Guácimo y Sixaola, es posible encontrar acuíferos con altos contenidos de hierro total que también son utilizados para consumo humano. En algunos sectores de estas localidades todavía no existen acueduc-

tos administrados por ninguna institución competente. Así, las poblaciones se abastecen a través de pozos excavados de gran diámetro que captan estos acuíferos ferrosos.

En los acuíferos volcánicos del Valle Central, se tienen registros de algunos pozos y manantiales en los que se han incrementado sostenidamente, durante los últimos 20 años, las concentraciones de nitratos, debido principalmente a la percolación de los drenajes de fosas sépticas, de uso generalizado de las poblaciones, y a la utilización de fertilizantes nitrogenados en las plantaciones de café. (Losilla *et al.*, 2001; Reynolds, 2005).

Recientemente se ha conocido el caso de una contaminación puntual por derrame de hidrocarburos, detectado en un pozo ubicado en el Valle Central, en el acuífero lávico Colima Superior. Sin embargo, hasta la fecha no se han realizado acciones de descontaminación ni restauración de acuíferos en el país.

En cuanto al análisis del efecto de intrusión salina, para Arias (2004c) la actividad turística ha repercutido en los recursos hídricos subterráneos, pues gran parte de la demanda se satisface mediante la extracción en más de treinta pequeños acuíferos costeros de tipo aluvial que existen en el país. A lo largo del tiempo se han realizado diversos proyectos aislados para estudiar el efecto de intrusión salina en estos acuíferos, entre ellos destacan: Protti (1981); Losilla (1993); Morera (1994); Arredondo *et al.* (1995); Arellano y Vargas (2001); Arias *et al.* (2003), Arias (2005); Gómez (2005).

En los acuíferos analizados por Arias (2004c), las zonas que presentan los índices de más alta vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos de Sámara, Tamarindo y Jacó, corresponden con el área aluvial y arenosa cercana a la línea de costa, donde se desarrolla precisamente la mayor parte de las actividades humanas.

### **Aprovechamiento de aguas superficiales y aguas subterráneas**

Aunque no todas las extracciones de agua cuentan con concesiones, el Departamento de Aguas del MINAE (comunicación escrita) estimó para el 2002 un aprovechamiento total de aguas en 16,4 km<sup>3</sup>, incluyendo usos de consumo humano, industrial, agrícola, hidroenergía y otros.

Algunos acueductos y sistemas de riego utilizan aguas subterráneas y superficiales para complementarse, ya sea simultáneamente o selectivamente dependiendo de la época del año (lluviosa o seca),

con criterios principalmente de oferta de las fuentes y/o económicos por tratamiento o costo de energía. Sin embargo, en pocos casos se tiene conciencia de un manejo integral conjunto.

### **Redes de control de aguas subterráneas y aguas superficiales**

Actualmente no existe una red nacional de control del recurso hídrico subterráneo. Sin embargo, para el control de calidad de los sistemas de abastecimiento de agua potable del AyA, sí se llevan a cabo análisis de algunos pozos y manantiales que incluyen: caudal, niveles estáticos y análisis de calidad de aguas.

Hay redes a nivel local que son independientes y establecidas por las instituciones responsables para el abastecimiento público. Algunos proyectos institucionales y privados, han mantenido temporalmente redes de medición de niveles, caudales o muestreo de aguas subterráneas en pozos y manantiales. Por su parte, el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), mantiene un control hidrométrico en las cuencas altas y medias de los principales ríos del país para fines de evaluación y control de la hidroenergía potencial del país. Sin embargo, faltan estaciones hidrométricas en cuencas bajas y medias para medir las descargas de aguas subterráneas como flujo base a ríos, para conocer su potencial y su evolución a medio y largo plazo.

### **Recursos no convencionales: desalinización, reutilización, recarga artificial**

En el país no se cuenta con sistemas que contemplen desalinización, recarga artificial de acuíferos, o reutilización del agua subterránea, excepto por el proyecto geotérmico Miravalles ubicado al norte del país, donde el agua termal es reinyectada al acuífero, pero sin fines potables.

Algunas áreas de riego o piscícolas, utilizan aguas turbinadas de proyectos hidroeléctricos, y otras de ríos o quebradas con descargas de efluentes urbanos sin tratamiento.

Aunque se ha hablado de la posibilidad de pequeños embalses en tramos de ríos influentes para recarga artificial en el Valle Central y otras áreas del país, no existen proyectos importantes de recarga artificial a los acuíferos.

En cuanto a pozos de inducción, sí existen algunos campos de pozos destinados para el abastecimiento de sectores que mantienen una comunicación

hidráulica con algunos ríos; un ejemplo sería el campo de pozos de Barranca ubicado en Puntarenas, donde existe el efecto de inducción del río Barranca (Arredondo, 1995). Otro ejemplo es el campo de pozos de La Bomba en Limón, donde la inducción se produce a través del río Banano.

### Conclusiones: problemática actual y futura

La cantidad de instituciones y organizaciones involucradas en materia de legislación y administración hídrica en Costa Rica, ha provocado un solape de funciones y limitaciones en cuanto a la eficacia y eficiencia de las actividades específicas a desarrollar, lo cual ha repercutido negativamente en el establecimiento de una estrategia nacional de investigación, cuantificación y protección del recurso hídrico en el país.

En Costa Rica, existe una gran cantidad de acuíferos medianos y pequeños que, con poca o ninguna comunicación hidráulica entre ellos, todavía no están estudiados ni evaluados integralmente.

Algunos acuíferos importantes, como los ubicados en el Valle Central, Colima, La Libertad y Barba, que abastecen a más de un 55% de esta población, muestran un descenso de hasta 20 m en las áreas de mayor explotación como el Campo de Pozos de La Valencia, y la reducción de caudales de algunos manantiales (Losilla, 2004). Esos efectos de explotación se deben principalmente al incremento de la extracción, pero también a la impermeabilización paulatina de zonas de recarga por el cambio inapropiado del uso de la tierra.

La sobreexplotación, la disminución de la recarga y la contaminación (antrópica y natural) de los acuíferos costeros han provocado en algunos casos contaminación salina, y en otros, intrusión salina propiamente dicha, con la consecuente pérdida de la calidad del agua y el riesgo para el abastecimiento de la población (Arias, 2004c). A pesar de que no se cuenta con datos específicos en relación con la sobreexplotación en cada acuífero, el SENARA ha definido una "zona moratoria" para otorgar de una manera controlada permisos de perforación en la zona costera del sector noroeste del país, con el objetivo de prevenir efectos de sobreexplotación e intrusión salina.

En Costa Rica no existe una cuantificación real, ni un plan de gestión integrado del recurso hídrico subterráneo, lo que genera una administración desordenada del mismo, la cual se basa en la demanda y no en la oferta hídrica existente, pues ésta no se conoce.

### Referencias

- Arellano, F. y Vargas, A. 2001. Casos de contaminación por intrusión salina en acuíferos costeros de la península de Nicoya (Costa Rica). *Revista Geológica de América Central*, 25, 77-87.
- Arias, M. E. 2004a. Proyecto de ley y gestión integrado del recurso hídrico en Costa Rica. *V Congreso Geológico Nacional*, San José, 31-32.
- Arias, M. E. 2004b. El desarrollo de la Hidrogeología en Costa Rica. *Encuentro de Hidrogeólogos Iberoamericanos. Congreso XXXIII AIH- 7 ALSHUD*, México.
- Arias, M. E. 2004c. *Acuíferos costeros de Costa Rica*. Escuela Centroamericana de Geología, San José, (informe interno).
- Arias, M. E. 2005. Intrusion saline dans la nappe aquifère côtière à Sámara, Costa Rica. *Reunion annuelle des Doctorants de l'Ecole Doctorale "Geosciences et Ressources Naturelles"*, Paris.
- Arias, M. E., Vargas, A. y Guerin, R. 2003. Geofísica aplicada al problema de la intrusión salina en los acuíferos costeros de Costa Rica. En: López-Geta, et al. (editores). *Tecnología de la intrusión de agua de mar en los acuíferos costeros: Países Mediterráneos*. Instituto Geológico y Minero de España, serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas: 8, 163-167.
- Arredondo, S. 1995. *Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos costeros Barranca y El Roble utilizando técnicas isotópicas, Puntarenas, Costa Rica*. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento. (informe interno).
- Arredondo, S. y Rodríguez, H. 1995. *Estudio Hidrogeológico para la Protección de los Manantiales El Pasito, Gutiérrez, Lankaster, Quesada y Bogantes. Alajuela, Costa Rica*. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, San José (informe interno).
- Arredondo, S., Losilla, M. y Rodríguez H. 1995. *Reconocimiento hidrogeológico de la Isla San Lucas, Costa Rica*. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, San José (informe interno).
- Astorga, A. y Arias, M. E. 2004. Mapa de geopotencial hidrogeológica de Costa Rica: Implicaciones respecto a la gestión ambiental del desarrollo. *Revista Geológica de América Central*, 29, 95-101
- BID 1998. *Estrategia para el manejo integrado de los recursos hídricos*. Washington, 125, 1-50.
- Centro Científico Tropical (CCT) 1982. *Perfil Ambiental de Costa Rica*, AID-CCT, San José, (informe interno).
- Escalante, G. y Astorga A. 1994. Geología del este de Costa Rica y el norte de Panamá, *Revista Geológica de América Central*, vol. esp., Terremoto de Limón.1-14.
- Gómez, A. 1987. *Evaluación del Potencial de los Acuíferos y Diseño de las captaciones de Agua Subterránea en la zona de Puente de Mulas, Provincia de Heredia, Costa Rica*. Tesis de Grado, Universidad de Costa Rica.
- Gómez, M. 2005. *Estudio hidrogeológico integral de las cuencas hidrográficas de los poblados El Coco y Ocotal, Carrillo, Guanacaste*. Tesis de Maestría. Universidad de Costa Rica.

- Herrera, J. y Rodríguez, H. 1982. *Estudio de Vulnerabilidad de Acuíferos a la Contaminación al Norte de la Ciudad de Heredia, Costa Rica*. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Departamento de Hidrogeología. San José. (informe interno).
- Losilla, M. 1993. Evidencia de amenaza a las aguas subterráneas de Costa Rica. *Taller de Aguas subterráneas*, Colegio Federado de Ingenieros, San José (informe interno).
- Losilla, M. 1997. *Plan de Acción para el Manejo de la Cuenca del Río Tempisque, áreas: Geología - Hidrogeología - Hidrología*, Centro Científico Tropical y Asociación para el Manejo de la Cuenca del Río Tempisque, San José (informe interno).
- Losilla, M. 2004. *Campo de Pozos de La Valencia, consideraciones técnicas y recomendaciones de manejo, diagnóstico preliminar*. Hidrotecnia Consultores para el AyA, San José (informe interno).
- Losilla, M., Arias, G., Rodríguez, H. y Ramírez, V. 1992. *Fuentes de Acueductos y sus Áreas de Recarga en el Área de Conservación de la Cordillera Volcánica Central, Costa Rica*. Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central, San José, (informe interno).
- Losilla, M., Rodríguez, H., Schosinsky, G., Stimson, J. y Bethune, D. 2001. *Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central*. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 205 p.
- Morera, S. 1994. *Estudio de intrusión salina en Playa Flamingo*. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento, San José (informe interno).
- ONU 1975. *Investigaciones de aguas subterráneas en zonas seleccionadas de Costa Rica*. Organización de las Naciones Unidas Informe Técnico DP/UN/COS-65-502/1.
- Programa del Estado de la Nación 2004. *Décimo informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. San José, 432 p.
- Protti, R. 1981. *Geología y geofísica con fines hidrogeológicos en la planicie costera de Jicaral, Puntarenas*. Tesis de Grado, Universidad de Costa Rica.
- Reynolds, J. 2005. *Proyecto Acuífero de Barba*, Universidad Nacional, Heredia (informe interno).
- SENARA 1996. *Archivo de Pozos*. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento. San José.
- SENARA/BGS 1988. *Continuación de las Investigaciones Hidrogeológicas en el Valle Central de Costa Rica*. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento y British Geological Survey. San José (informe interno)
- TAHAL 1990. *Plan Maestro de Abastecimiento de Agua Potable de la Gran Área Metropolitana. Tomo III, Aspectos Hidrológicos e Hidrogeológicos*. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (informe interno).
- Vargas, A. 2000. Acuífero. En: Denyer, P y Kussmaul, S. (ed.) *Geología de Costa Rica*. Editorial Tecnológica de Costa Rica. San José, 425-441.

Recibido: julio 2005.

Aceptado: noviembre 2005.