

CASOS DE CONTAMINACIÓN POR INTRUSIÓN SALINA EN ACUÍFEROS COSTEROS DE LA PENÍNSULA DE NICOYA (COSTA RICA)

Federico Arellano¹⁾ & Asdrúbal Vargas²⁾

1) Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

2) Escuela Centroamericana de Geología

(Recibido 4/9/2000; Aceptado 13/12/2000)

ABSTRACT: The coastal aquifers of the north Pacific region of Costa Ricas are being used to supply the water for tourism, agriculture, and to meet the needs of the local population. The hydrodynamic characteristics of these areas are not well known, although the production of water from these aquifers is critical given the increasing demand for the water. The zones under investigation are located in a moderately to very dry tropical region causing there to be a limited the supply of the water resource.

Twenty four water reservoirs were identified in the Nicoya Península of Costa Rica containing discharge wells with a variable production of 0,08 to 20 liters per second, a thickness of 10 to 30 meters, and a transmissivity of 2,5 to 2200 square meter per day. Compared to other volcanic continental aquifers in the region, these aquifers have a moderate potential of water production. The over-exploitation and the reduction of the recharge caused the drawdown of the water level of many wells and provoked salt intrusion in 15 wells.

To adequately manage the groundwater resource, it is necessary to rationalize the consumption of the water based upon its use. Potable water usage must be limited to drinking and other necessary household activities. Whereas recycled water can be used to meet the needs of other activities.

RESUMEN: Los acuíferos costeros del Pacífico Norte de Costa Rica están siendo usados para abastecer de agua a las actividades turísticas, agrícolas, y para suplir las necesidades de la población local. Las características hidrodinámicas de estos acuíferos no son bien conocidas, aunque la producción se está incrementando debido al aumento de la demanda. Las zonas de investigación tienen un clima de seco a moderadamente seco provocando una recarga y una escorrentía limitada de agua.

Se identificaron 24 acuíferos con pozos de producción variable desde 0,08 a 20 litros por segundo, con un espesor desde 5 a 30 metros y una transmisividad de 2,5 a 2200 metros cuadrados por día. Comparados con otros acuíferos de tipo continental de la región, estos acuíferos tienen un potencial de producción de agua moderado. La sobre-explotación y la disminución de la recarga de estos acuíferos ha provocado la contaminación por intrusión salina de al menos 10 pozos con la consecuente pérdida de calidad. El manejo adecuado del recurso hídrico subterráneo en esta zona implica la utilización racional del recurso, utilizando agua de buena calidad solo donde se requiere, y aumentando las prácticas de conservación agroforestal para aumentar la retención de la humedad del suelo y aumentar la recarga al acuífero.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es caracterizar los principales acuíferos costeros de la península de Nicoya, así como estudiar las interacciones

de agua dulce y salada, y los indicios de contaminación por intrusión salina debido a la sobre-explotación. Estos acuíferos están siendo explotados para abastecer de agua a las actividades turísticas, ganaderas y para dotar de agua potable

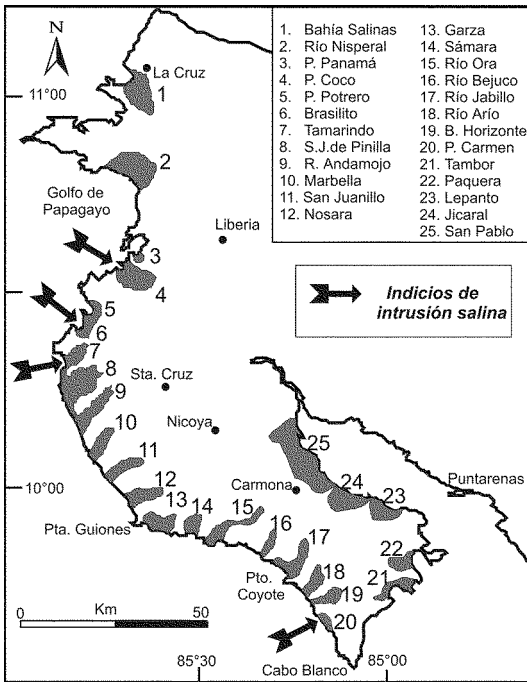


Fig. 1: Mapa de ubicación de los acuíferos costeros del Pacífico Norte de Costa Rica: 1. Bahía Salinas; 2. Río Nisperal; 3. P. Panamá. 4. P. Coco; 5. P. Potrero; 6. Brasilito; 7. Tamarindo; 8. San José de Pinilla; 9. Río Andamojo; 10. Marbella; 11. San Juanillo; 12. Nosara; 13. Garza; 14. Sámará; 15. Río Ora; 16. Río Bejuco; 17. Río Jabillo; 18. Río Arío; 19. B. Horizonte; 20. Tambor; 21. Paquera; 22. Lepanto; 23. Jicaral; 24. San Pablo.

a la población. Por otro lado la zona es una de las más secas de Costa Rica y el recurso hídrico es muy valioso. Se han identificado 24 zonas acuíferas, que se encuentran principalmente en la zona costera externa de la península de Nicoya (Fig. 1). Algunos estudios sobre los acuíferos costeros de la península de Nicoya han sido llevados a cabo por Chávez (1980), Herrera (1980), Protti (1981), Mora (1982) y Arredondo et al. (1992).

Como metodología de trabajo se han recopilado datos sobre conductividades eléctricas en más de 50 pozos excavados y perforados, obtenidos en una campaña de medición que se realizó durante 1994 y 1999. Se han obtenido datos sobre la estratigrafía a partir de perforaciones realizadas por empresas privadas a partir de los cuales se han construido per-

files hidrogeológicos. Además se ha revisado literatura e informes técnicos del SENARA y AyA, lo que ha permitido identificar los acuíferos costeros.

Varios autores mencionan evidencias de contaminación en acuíferos costeros del pacífico. Esto representa una llamada de alerta para tomar acciones a favor de la protección del recurso hídrico subterráneo. La intrusión salina resulta una condición bastante frecuente en acuíferos mal gestionados, lo cual implica un deterioro en la calidad del recurso en una región donde es de suma importancia para múltiples actividades (Astorga *et al.*, 2000). El Estado de la Nación señala a la provincia de Guanacaste como una de las zonas de menor riqueza hídrica del país. En ella la segunda fuente de abastecimiento de agua, después de la superficial, corresponde a el agua subterránea contenida en los acuíferos. Gran parte de la península de Nicoya tiene escasa agua subterránea, lo mismo que la zona costera, en la cual es frecuente la presencia de agua salinizada. Algunos de los acuíferos que están amenazados por la intrusión salina y la sobre-explotación son playa Panamá, Hermosa, del Coco, Potrero, Brasilito y Jicaral. Losilla (1993) menciona contaminación por intrusión salina en Bello Horizonte, playa Cocal, playa Cabuya, playa Santa Teresa, playa Carmen, playa Cabuya, playa Pochote, playa Tambor y playa Tamarindo.

Se denomina intrusión de agua salada al movimiento permanente o temporal del agua salada tierra adentro, desplazando el agua dulce. El agua captada en un acuífero costero se contamina (se saliniza) cuando la porción activa de la captación se ve afectada por la zona de mezcla de agua dulce y agua salada o por la propia agua salada. Si dos líquidos son miscibles, tales como agua dulce y agua salada, no existe una interfase brusca sino que se pasa de un fluido a otro a través de una zona de mezcla. Esta zona de mezcla, es también llamada zona de difusión o de transición, refleja con intensidad variable las propiedades químicas e hidráulicas de cada uno de los líquidos originales y su anchura depende de la difusividad y dispersividad del medio y de las características del movimiento. El peso específico del agua dulce se puede tomar como

$\rho_d = 1000 \text{ kg/m}^3$ y el peso específico del agua de mar se puede tomar como $\rho_s = 1025 \text{ kg/m}^3$; la viscosidad del agua marina es del orden de 30% mayor que la del agua dulce a igual temperatura. Los primeros estudios de la relación del agua dulce y del agua salada en regiones costeras se realizaron en Holanda y Alemania por Badon Ghyben (1889) y Herzberg (1901). Se basa en el equilibrio estático de columnas de agua de diferente densidad. Las hipótesis básicas son:

- 1 El flujo de agua dulce es casi horizontal y por lo tanto el potencial es constante a lo largo de cualquier vertical.
- 1 No existe flujo de agua salada.
- 1 La interfase es un plano, por tanto no existe zona de mezcla. En estas condiciones, en un punto cualquiera de la interfase debe equilibrarse la presión del agua dulce y del agua salada.

$$(h_d + z) \gamma_d = z \gamma_s$$

siendo:

h_d : cota sobre el nivel del mar del agua dulce en la vertical del punto A

Z: profundidad bajo el nivel del mar del punto A

γ_d : peso específico del agua dulce

γ_s : peso específico del agua salada

Así pues,

$$z = \frac{\gamma_d}{\gamma_s - \gamma_d} * h_d = h_d / \beta$$

siendo

$$\frac{1}{\beta} = \frac{\gamma_d}{\gamma_s - \gamma_d}$$

- 1/ β varía de acuerdo con lo dicho entre 50 y 33 siendo el valor más frecuente 40. Ello quiere decir que la interfase se sitúa a una profundidad bajo el nivel del mar igual a 40 veces la cota del agua dulce sobre el nivel medio del mar en aquel punto. La máxima penetración de la cuña de agua salada viene limitada por el fondo impermeable del acuífe-

ro, que se produce cuando $h_d = z$ o b siendo z la profundidad de la base del acuífero.

ACUÍFEROS COSTEROS

Este es un grupo muy numeroso de acuíferos y son de gran importancia para abastecer de agua múltiples actividades que se desarrollan en las zonas costeras del Pacífico Norte (Cuadro 1). El agua subterránea contenida en estos acuíferos se extrae principalmente por medio de pozos verticales que tienen un diámetro promedio aproximado de 250 mm. Además se emplean pozos excavados cuyo diámetro puede alcanzar hasta 1 m., o se captan manantiales. Estos acuíferos reciben agua a través de las zonas de recarga en las partes altas de las montañas pero también admiten agua de los ríos. Por su parte la descarga natural de agua subterránea se da a través de los manantiales, o por la descarga hacia el mar. Los acuíferos más explotados son Nosara, Garza y Sámara, entre otros.

Estos acuíferos están formados por depósitos aluvionales que contienen gravas y arenas muy permeables (Cuadro 1), con espesores de 10-50 m, con caudales que varían de 1-50 l/s y cubiertos o intercalados con capas de arcilla de baja conductividad hidráulica (Fig 2). Chávez & Herrera (1980) estiman espesores para el área de Brasilito entre 3 y 11 m mientras que de 15 a 60 m en la zona de playa Potrero. En ambas cuencas se realizaron pruebas de bombeo que indican valores de transmisividad de alrededor de 200 m²/d. Por su parte Protti (1980) estima que la zona de más potencial hidrogeológico en la cuenca del río Andamajo se localiza entre las localidades de Veintisiete de Abril y Paraíso donde se pueden encontrar espesores de alrededor de 25 m.

AMENAZA DE CONTAMINACIÓN DE LOS ACUÍFEROS

Existe evidencia de que ciertos acuíferos costeros han sido sobreexplotados en tal medida que los mismos se han salinizado a tal grado que su explotación se ha abandonado y se ha tenido que recurrir a la búsqueda de nuevas fuentes de

Cuadro 1

Acuíferos costeros de la península de Nicoya

No	Acuífero	Q (l/s)	E (m)	Localidad	T (m ² /d)	k (m/d)	S
1	Bahía Salinas	0,3 - 12	15	P. Soley	37		
2	R. Nisperal	1-5	10				
3	Playa Panamá	1-5	20	Playa Panamá	246		
4	El Coco	0,5	10	El Coco	110		
5	Potrero	1-5	15-60	Potrero	200		
6	Brasilito	0,5	3-11	Brasilito	3-200	0,2	
7	Tamarindo	2-6	10	Tamarindo	—	—	
8	S. J. Pinilla	1-5	10	S. J. Pinilla	15	1,5	—
9	R. Andamojo	1-5	20	R. Seco	1080	6,0-43,0	0,05
10	Marbella	1-5	10	Marbella	—	—	—
11	Sn. Juanillo	2-5	20	Sn. Juanillo	15	0,5	0,5
12	Nosara	9	15	Nosara	28-169	1,8	0,0004
13	Garza	1-5	10	Garza	295	—	—
14	Sámara	1	10	Sámara	9-2115	0,7	0,03
15	R. Ora	1-5	15	Arbolito	—	—	—
16	Bejuco	1-5	25	Bejuco	2246	89,9	0,13
17	R. Jabillo	1-5	10	P. Coyote			
18	Arío y Bongo	1-5	15	San Lucas			
19	B. Horizonte	0,08-1,5	<15	B. Horizonte	3-5	0,3	0,01
20	Tambor	1-5	20	Cóbano			
21	Paquera	1-5	20	Paquera	384		
22	Lepanto	1-10	30	Lepanto			
23	Jicaral	1-11	<40	Jicaral			
24	San Pablo			San Pablo			

Q: caudal promedio; E: espesor promedio; T: transmisividad, k: conductividad hidráulica; S: coeficiente de almacenamiento.

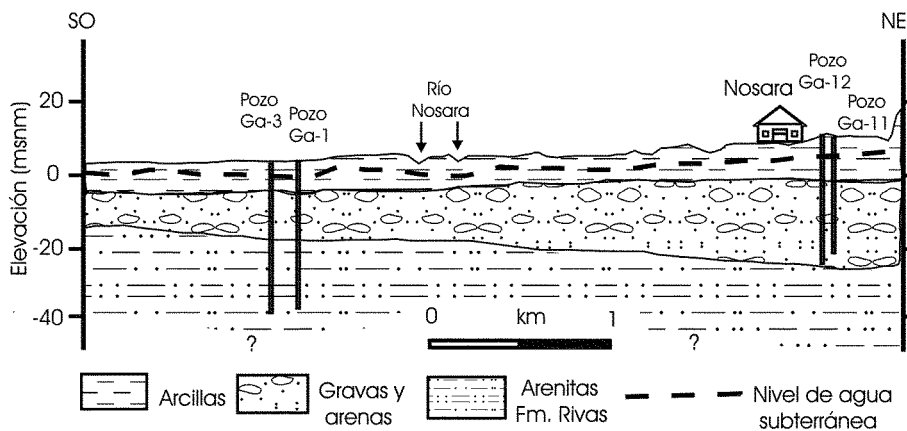


Fig. 2: Perfil hidrogeológico del acuífero de Nosara.

agua potable; tal es el caso de Flamingo. Se dice que los pozos que abastecían la zona turística se salaron, por lo que se hizo necesario perforar nuevos pozos a unos 4 km de playa Potrero, con

lo cual solucionaron el problema. No obstante, por la ignorancia y el mal manejo del recurso hídrico provocaron daño al acuífero y será la propia naturaleza la encargada de revertirlo en un

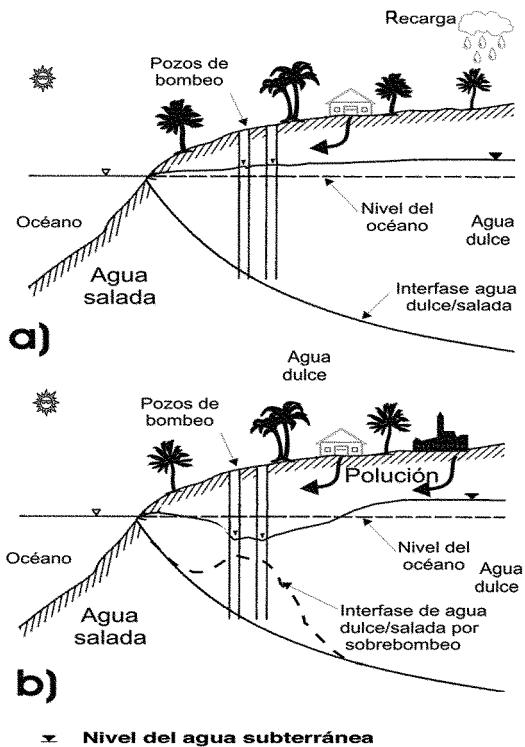


Fig. 3: a) Esquema de interacción agua dulce- agua salada en situación natural; b) esquema de interacción agua dulce-agua salada en situación de sobreexplotación.

plazo relativamente largo. Como este ejemplo, existen varios de la misma naturaleza, con la consecuente pérdida de la calidad del recurso hídrico. En la figura 3a se muestra el esquema de la interfase agua dulce-salada en la condición de bombeo racional, mientras que en la figura 3b se muestra el cambio de posición de la interfase luego de un bombeo excesivo.

CASO DE PLAYA GRANDE

Playa Grande está ubicada entre las coordenadas 255-257 y 334-336 de la hoja topográfica Villareal, que forma parte de la bahía de Tamarindo y está constituida por una faja de arena y limo. Se encuentra limitado al este y norte por el estero Tamarindo y al sur y al oeste por el océano Pacífico. Existen ocho pozos de explotación con profundidades que varían entre 4,2 y 13,3 m y con niveles freáticos de 2,5 a 3 m. De los ocho pozos, cuatro muestran contaminación por intrusión salina. Al observar la disposición de los pozos se nota que la zona de explotación recibe una recarga directa por precipitación y en menor grado por aportes desde el valle del río Matapalo que termina en el estero Tamarindo (Fig. 4).

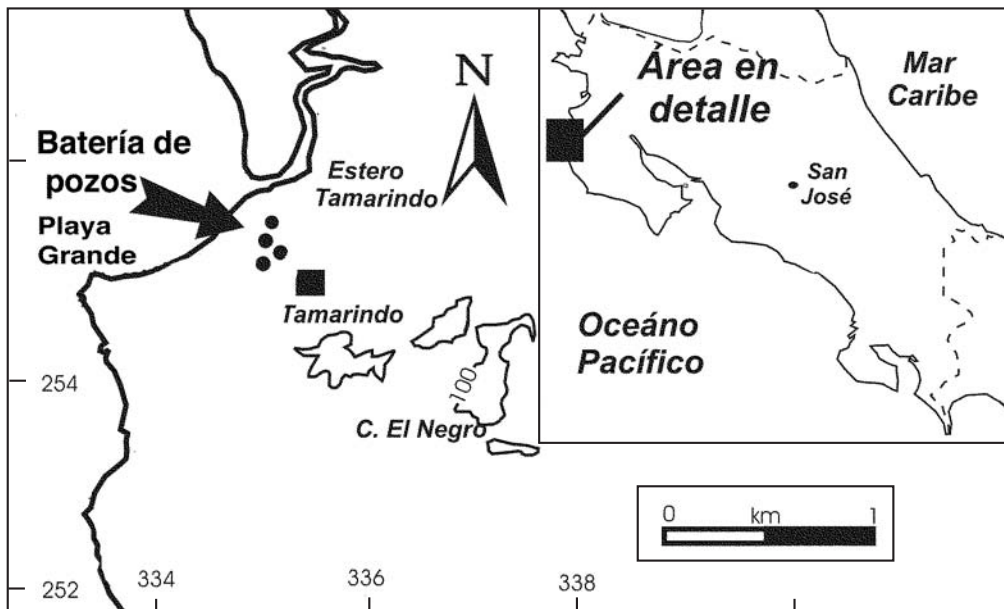


Fig. 4: Esquema de ubicación de Playa Grande y de la batería de pozos, algunos de ellos contaminados por intrusión salina.

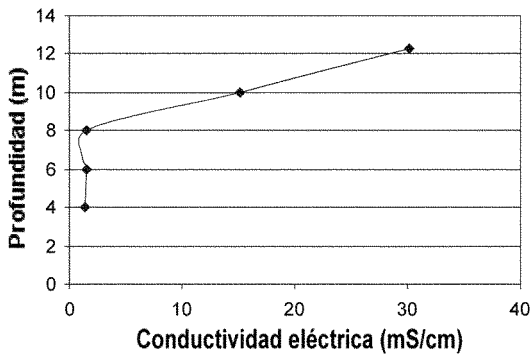


Fig. 5: Variación de la interfase agua dulce-salada mostrada por la variación de la conductividad eléctrica en el pozo P10 en Playa Grande.

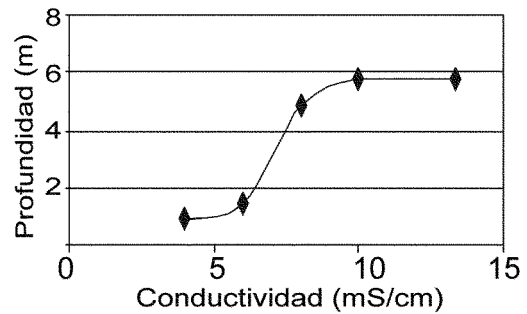


Fig. 6: Variación de la interfase agua dulce-salada mostrada por la variación de la conductividad eléctrica en el pozo P3 en Playa Grande.

Se midieron las conductividades eléctricas en dos pozos denominados P10 y P3 (Figs. 5 y 6), los cuales mostraron un gradiente de conductividad muy acusado con la profundidad en un caso a los 8 m y el otro a los 2 m evidenciando la interfase agua dulce-salada. Las posibles causas de la intrusión salina en esta zona se deben a la escasa recarga, la cual proviene en parte por la infiltración de lluvia. Además los pozos están muy cerca entre sí, favoreciendo la unión de los conos de abatimiento y el bombeo excesivo a provocado que el nivel de agua

en los pozos descienda más allá que el nivel de agua del mar favoreciendo la entrada de agua salada.

Además se tienen indicios de intrusión salina en playas del Coco, Brasilito y Playa Carmen. Los datos sobre conductividad eléctrica recogidos durante el año 1994 (Cuadro 2), indican valores que sobrepasan los 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que es considerado un valor límite. Durante esta campaña se midieron además valores de pH, oxígeno disuelto y salinidad, sin embargo no se notaron valores fuera de las normas.

Cuadro 2

Características físico-químicas de pozos en acuíferos costeros, medidos entre abril y mayo de 1994

Hoja	Descripción	Lat.	Long.	NE.(m)	P.(m)	T . (C)	C.(mS/cm)	pH	O ₂ (mg/l)	S %
Matapalo	P. Brasilito	267,3	340,5	3,9	6	31,4	0,318			
Matapalo	P. Brasilito	267,6	340,8		8	33	0,327			
Matapalo	P. Brasilito	268,1	341,0			31,2	0,526			
Matapalo	P. Potrero	270,0	343,1		23	28,4	0,368			
Matapalo	P. Prieta	272,4	341,7		83	30,6	0,183			
Matapalo	P. Zapotal	275,7	340,5	3,0	10	28,3	0,473			
C. Norte	P.Hermosa	283,8	352,9	11,5	18	30,8	0,465			
C. Norte	V. Huetares	284,3	352,8	8,0	40	30,3	0,449			
C. Norte	H. Velero	284,5	352,8	4,3	30	30,5	0,692			
C. Norte	P.Hermosa	284,8	352,9	3,2		30,6	0,490			
C. Norte	P.Italiano	286,5	356,8	6,2	30	30,8	0,410			
C. Norte	P.Panamá	285,7	354,8	5,5		29,3	0,427			
Tambor	Madrigales	199,0	434,8	Surg.	28	28,8	0,490	7,12	1,46	0,02
Tambor	Reserva Curú	197,9	433,4	2,7	8	32,6	0,487	7,00	3,54	0,02
Río Ario	P.Pochote	193,3	426,8			28,5	0,470	7,45	6,2	0,01

Continúa...

Continuación...

Hoja	Descripción	Lat.	Long.	NE.(m)	P.(m)	T . (C)	C.(mS/cm)	pH	O ₂ (mg/l)	S %
Tambor	Tambor	189,9	423,4	11,0		28,2	0,477	7,33	2,01	0,01
Cabuya	P. Carmen	179,4	410,2		20	28,5	1,620	8,25	1,95	0,07
Cabuya	C. Chamorro	180,9	408,4	5,0	8	27,7	0,582	7,07	4,8	0,02
Cabuya	P. Sta. Teresa	181,2	408,1	7,7	26	34	0,778	7,07	2,19	0,03
Río Ario	P.Manzanillo	187,4	403,5	3,7	6	28,7	0,737	7,16	5,3	0,03
Río Ario	B.Horizonte	186,5	404,6	5,0	17	31,8	0,801	7,63	5,33	0,03
Río Ario	Bajos de Ario	191,0	404,5	4,5	7	29,5	0,317	6,55	4,06	0,01
Río Ario	Bajos de Ario	191,1	404,5	4,7		29,7	0,178	6,57	2,04	0,01
C.Azul	Punta Isлита	204,4	382,7	5,2	10	30,7	0,257	6,78	1,35	0,01
C.Azul	Gan. Viales	204,8	387,8	7,5	21	28,3	0,137	6,93	2,77	0
P. Coyote	P.de Bejuco	204,5	388,5		40	29,3	0,17	7,24	4,95	0
C.Azul	Pueblo Nuevo	202,5	390,5	2,5		28,8	0,17	7,28	3,92	0
C. Azul	Gno Garcia	202,6	390,6	5,4	8	27,7	0,419	7,49	4,05	0,01
C. Azul	P. Carrillo	205,8	373,8	3,7	30	26,3	0,305	7,27	4,77	0,01
Garza	Sámara	207,0	369,1		35		0,224	7,20		
Garza	Fin. Verde Bren	207,6	370,1			27,8	0,270	7,28	1,88	0,01
Garza	Torito	207,4	370,7	10,2		29,3	0,464	7,38	4,67	0,01
Garza	Cangrejaj	209,1	366,7	7,0	19	29,2	0,578	7,30	2,3	0,02
Garza	Garza	210,8	356,1	2,5	15	29,7	0,558	7,41	4,35	0,02
Garza	P.Guiones	212,1	354,5	2,9		28,5	0,595	7,35	2	0,02
Garza	P.Guiones	211,9	354,4	3,2	7	28,2	0,554	7,25	3,17	0,02
Matapalo	P. De C. Rica	267,1	339,2	3,6	4	29,2	0,404	7,14	3,23	0,04
Matapalo	Don Conrado	267,6	341,0	7,9	8	30,4	0,311	7,01	3,94	0,01
Matapalo	P.Flamingo	268,1	340,9	8,3		31,1	0,373	7,03	5,12	0,01
Matapalo	T. Ramos	267,5	340,4	3,7	4	29,4	0,287	7,16	3,61	0,01
Matapalo	Nina	267,1	341,3			29,4	0,180	9,70	0,25	
Matapalo	Julio López	267,2	341	8,6		29,1	0,305	6,96	4,45	0,01
Matapalo	Mr Kelly	270,1	343,1	3,1		28,0	0,351	7,09	5,15	0,01
Matapalo	Mr Kelly	269,9	343,1	3,1		28,1	0,367	7,06	4,30	0,01
Matapalo		271,4	342,4	4,5		28,0	0,466	7,33	5,45	0,01
Matapalo	Pozo AyA	271,6	342,5	3,0		29,2	0,426	7,17	4,25	0,01
Matapalo		271,5	343,2	11,3		29,0	0,422	7,09	2,29	0,01
Matapalo		271,1	343,3	6,2		29,5	0,377	7,03	2,85	0,01
Matapalo		272,3	341,6			29,4	0,145	9,37	2,10	0

NE: Nivel estático, P: profundidad del pozo, T: temperatura, C: Conductividad, S: salinidad, Surg.: surgente.

CONCLUSIONES

En los acuíferos costeros los niveles del agua dulce a lo largo de la playa podrían descender en gran medida por una extracción masiva e incontrolada de agua. La extracción artificial intensiva de agua de estos acuíferos debe evitarse dentro de una faja de unos 500 m paralela a la playa.

Los acuíferos costeros presentan un potencial de rendimiento de agua moderado a bajo, mientras que la demanda aumenta, por

lo que se deben establecer políticas de protección al recurso por parte de las municipalidades y de las entidades encargadas del recurso hídrico. Se han identificado varios acuíferos que muestran indicios de intrusión salina; sin embargo, es necesario continuar con los muestreos de agua para evaluar el alcance de la contaminación.

Se han identificado indicios de intrusión salina en playas del Coco, Brasilito y playa Carmen, los cuales, sin embargo, deben corroborarse por medio de mediciones sistemáticas de

conductividad eléctrica. En el caso de playa Grande de la recarga del acuífero se debe aumentar y disminuir la explotación, hasta que se recuperen los niveles y disminuya la salinidad por la disolución del agua de recarga.

REFERENCIAS

- ARREDONDO, S., MORERA, S., PÉREZ, W. & BOLAÑOS, A., 1992: Mapa hidrogeológico de la península de Nicoya. - Escala 1: 250 000, SENARA, San José.
- ASTORGA, A., ASTORGA, Y., HERNÁNDEZ, G., MORA, J., TORRES, I., ALFONSO, F. & LÓPEZ, R., 2000: Proyecto Sistemas Integrados de Gestión y Calidad Ambiental, SIGA. - 336 págs. Fundación para el desarrollo Urbano, San José.
- CHÁVEZ, J., 1980: Aspectos geológicos de la cuenca del río Nimboyores, Guanacaste, Costa Rica. - 33 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- CHÁVEZ, J & HERRERA, J., 1980: Proyecto de investigación de aguas subterráneas en la península de Nicoya. - 37 págs. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Hidrogeología de la zona Brasilito-Potrero, San José.
- HERRERA, J.A., 1980: Hidrogeología de la cuenca del río Andamojo, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica. - 81 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- LOSILLA, M., 1993: Evidencias de amenaza a las aguas subterráneas de Costa Rica. - 23 págs. Taller de aguas subterráneas, Colegio Federado de Ingenieros, San José.
- MORA, D., 1982: Contaminación de las aguas subterráneas en acuíferos de Costa Rica. - En: MATA, A., CHACÓN, B. & RODRÍGUEZ, A. (eds.): Contaminación ambiental: un enfoque multidisciplinario. Ed. Tecnológica, Cartago:59-79.
- O.N.U., 1973: Investigaciones de aguas subterráneas en zonas seleccionadas. - 64 págs. Nueva York.
- PROYECTO ESTADO DE LA NACIÓN EN DESARROLLO HUMANO SOSTENIBLE, 1999: Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. - Sexto Informe [1ª ed.] 414 págs. San José.
- PROTTI, R., 1980: Prospección geofísica por sísmica de refracción en la cuenca del río Andamojo, Santa Cruz, Guanacaste con fines hidrogeológicos.- 60 págs, SENARA [Informe interno # 133].
- PROTTI, R., 1981: Geología y geofísica con fines hidrogeológicos en la planicie costera Jicaral-Santa Rita, península de Nicoya. - 47 págs + 5 mapas, Univ. de Costa Rica, San José [Tesis Lic.].