

HIDROGEOQUÍMICA EN EL ACUÍFERO COSTERO DEL EJE BANANERO DE URABÁ

Vanesa Paredes Zúñiga*
Ingrid Vargas Azofeifa**
María Consuelo Vargas Quintero***
Federico Arellano Hartig****

Recibido: 30/04/2010

Aceptado: 08/10/2010

RESUMEN

Las técnicas hidrogeoquímicas constituyen una herramienta complementaria a la hidrogeología dado que permiten responder los interrogantes que se presentan en sistemas complejos, como es el caso de los acuíferos costeros, donde la salinidad normalmente asociada a procesos de intrusión salina puede obedecer también a la conjunción con otros aspectos hidroclimatológicos e hidrodinámicos. Con la aplicación de la hidrogeoquímica y las relaciones iónicas se evidencia que los procesos de salinización presentes en el acuífero costero del Eje Bananero de Urabá podrían estar ligados a la interacción agua-roca, a mezclas con aguas que se salinizaron como resultado de procesos de transgresión-regresión antiguos en la zona de estudio. Este artículo resume los resultados del proyecto de investigación y la aplicación de la hidrogeoquímica y relaciones iónicas como metodología válida para determinar los diferentes procesos de salinización de las aguas de las zonas litorales.

Palabras clave: hidrogeoquímica, salinización, intrusión, acuífero

* Ingeniera civil, aspirante a magíster en Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Correo electrónico: vanessa.paredes@udea.edu.co.

** Geóloga. M. Sc. En Hidrogeología. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica. Ciudadela Universitaria Rodrigo Facio, San José, Costa Rica. Correo electrónico: iazofeifa@geologia.ucr.ac.cr.

*** Ingeniera química. Especialista en Hidrogeología. Ministerio de Ambiente. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: mavargas@minambiente.gov.co.

**** Ingeniero civil. M. Sc. en Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Correo electrónico: federicoarellanoh@gmail.com.

HYDROGEOCHEMISTRY IN THE COASTAL AQUIFER OF THE URABA REGION

ABSTRACT

Hydrogeochemical techniques provide a complementary tool to hydrogeology as they provide certainty as to the questions related to complex systems, as is the case of coastal aquifers, in which salinity, usually associated to saline intrusion processes, may result from the fusion with other hydroclimatologic and hydrodynamic aspects. With the application of hydrogeochemistry and ionic relations, it has been evidenced that salinization processes in the coastal aquifer of Urabá Banana Axis could be linked to water - rock interaction, to mixtures with waters which salinized as a result of old transgression-regression processes in the zone under study. This article summarizes the results of the research project, the application of hydrogeochemistry, and ionic relations as a valid methodology to determine the different salinization processes of coastal areas.

Key words: hydrogeochemistry, salinization, aquifer, intrusion.

INTRODUCCIÓN

La hidrogeología es la ciencia que se ocupa del estudio de las aguas subterráneas y sus características. Las técnicas convencionales de exploración hidrogeológica permiten determinar las propiedades geométricas e hidráulicas de los acuíferos y, con la combinación de otras herramientas químicas, hidroquímicas e isotópicas, calibrar y validar el modelo conceptual de un acuífero o sistema o responder preguntas específicas acerca de su evolución y dinámica.

El conocimiento de los acuíferos costeros involucra la relación existente entre agua dulce y salada, y el riesgo de contaminación cuando las extracciones superan la recarga rompiéndose el equilibrio entre la interfaz entre el agua continental y el agua del mar [1]. En el caso de los acuíferos costeros, se requiere una adecuada gestión del recurso debido a que presentan un mayor grado de afección a la

calidad de sus aguas, como consecuencia de una intensa demanda al constituir la principal fuente de recurso hídrico cuando en la zona se dan precipitaciones escasas, caudales superficiales intermitentes o de baja calidad. En regiones como Urabá, debido a la explotación que se produce, principalmente para satisfacer requerimientos agrícolas y los relacionados con el desarrollo urbano y turístico, se puede dar la intensificación del fenómeno de salinización natural por intrusión marina, induciendo la penetración de la cuña salina tierra adentro a una tasa mayor de la esperada comparadas con condiciones de ausencia de explotación.

1 GENERALIDADES Y UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El acuífero costero del Eje Bananero de Urabá, está localizado al noroccidente del departamento de Antioquia, Colombia (figura 1). Este acuífero cubre

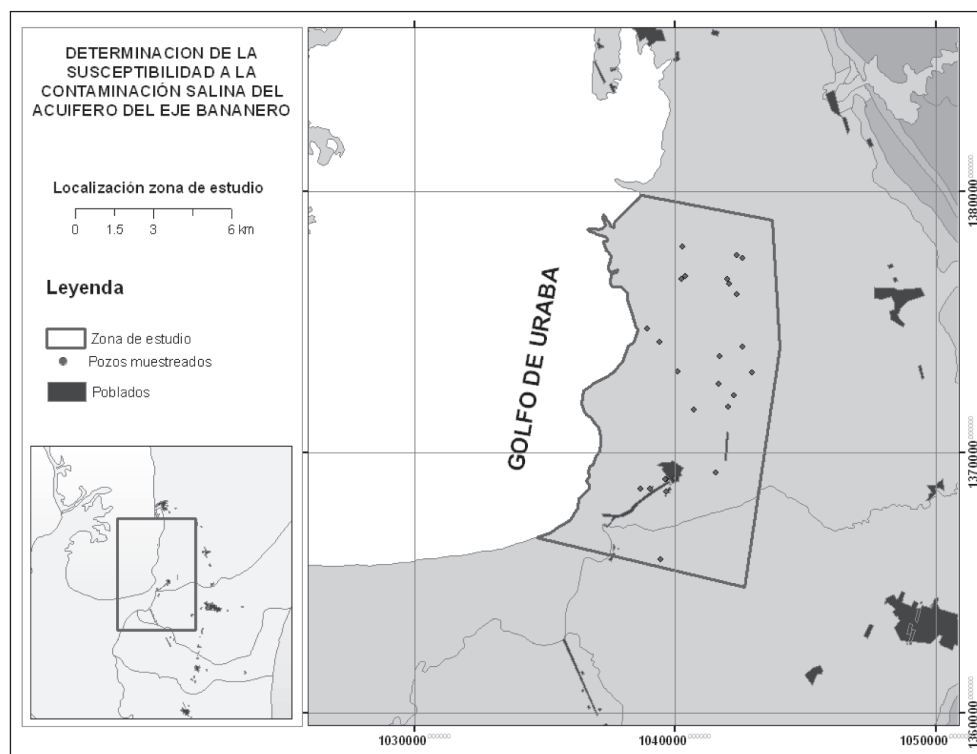


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

Fuente: [6]

aproximadamente 1.030 km² (103.000 Ha) y se caracteriza por ser continental y tener una franja costera que recibe influencia marina. Constituye fuente principal de abastecimiento para la agroindustria del banano y para comunidades urbanas y rurales. El clima de la región de Urabá es cálido semihúmedo; la precipitación promedio anual aumenta en el sentido noreste-suroeste desde 2.200 mm hasta los 3.800 mm, alcanzando una recarga de 29.1 millones de metros cúbicos anuales. En la zona existen alrededor de 550 pozos activos, en su mayoría para satisfacer la demanda del cultivo del banano. Las conductividades hidráulicas calculadas son variables, van desde 2 m/día (Nor-este de la región) y hasta 20 m/día (en el sur) y coeficiente de almacenamiento del orden de 10⁻⁴ que indica el confinamiento del acuífero, con caudales de hasta 150 l/s.

Geológicamente este acuífero está constituido por rocas sedimentarias terciarias (T1 y T2) y depósitos aluviales (Cuaternario); hidrogeológicamente las unidades de mejor potencial para el aprovechamiento de aguas subterráneas lo constituyen la unidad T2 y los depósitos cuaternarios. Este acuífero, por estar en contacto con el mar, no está ajeno a los procesos de salinización, por lo tanto, es vital determinar el estado actual de salinidad en el acuífero, con la utilización de la hidrogeoquímica como herramienta determinante para caracterizar los sistemas de flujo y los procesos asociados a las interacciones del agua con el medio poroso y del agua dulce con el agua salada. En consecuencia, y debido a la importancia que representa este fenómeno, es necesario procurar un conocimiento a fondo del comportamiento y evolución de los sistemas de aguas subterráneas, tanto en calidad como en cantidad del recurso disponible, para planificar acciones a futuro que permitan un uso racionalizado del recurso y en el que socialmente se demuestre conciencia frente al problema.

En este artículo se plantea un caso de estudio aplicado para determinar la susceptibilidad a la contaminación salina del acuífero costero del Eje Bananero de Urabá, realizado para

CORPOURABÁ en el año 2009, donde se aplicaron los métodos hidrogeoquímicos como instrumento de validación para determinar las causas de los procesos salinos de este acuífero, compilando la metodología y resultados, y sintetiza las principales conclusiones y acciones a seguir para futuros trabajos de investigaciones aplicadas.

2 MÉTODOS

El origen de la salinización en zonas costeras se da, en la mayoría de los casos, por el fenómeno de la intrusión marina. A este fenómeno se asocian diferentes procesos hidrogeoquímicos como son los de precipitación-disolución de minerales, intercambio iónico, oxidación-reducción, entre otros, lo que puede modificar la composición química original de estas aguas y, en consecuencia, dar lugar a cambios en la calidad de éstas para determinados usos. Para fines del presente estudio, la evaluación de la calidad del agua subterránea para determinar procesos de salinización en el acuífero costero del Eje Bananero de Urabá utilizó técnicas hidroquímicas y relaciones iónicas, debido a que constituyen una herramienta de diagnóstico directa que refleja con mayor sensibilidad el grado de afección de los acuíferos costeros ante el aumento de salinización. Esto permite la caracterización de aguas superficiales y subterráneas para trazar el origen y la historia del agua, con parámetros como temperatura (T), pH, conductividad, sodio (Na⁺), potasio (K⁺), calcio (Ca²⁺), magnesio (Mg²⁺), bicarbonatos (HCO₃⁻), sulfatos (SO₄²⁻), cloruros (Cl⁻) y nitratos (NO₃⁻) [2].

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó la información obtenida en una campaña de muestreo realizada en enero de 2008. Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos, se seleccionó un área costera comprendida entre los corregimientos de Currulao y Nueva Colonia del municipio de Turbo, con un área de 8.916 km², y se diseñó una red de monitoreo conformada por 16 pozos activos y 10 piezómetros (figura 2a). Se realizaron determinaciones “in situ” de pH, temperatura,

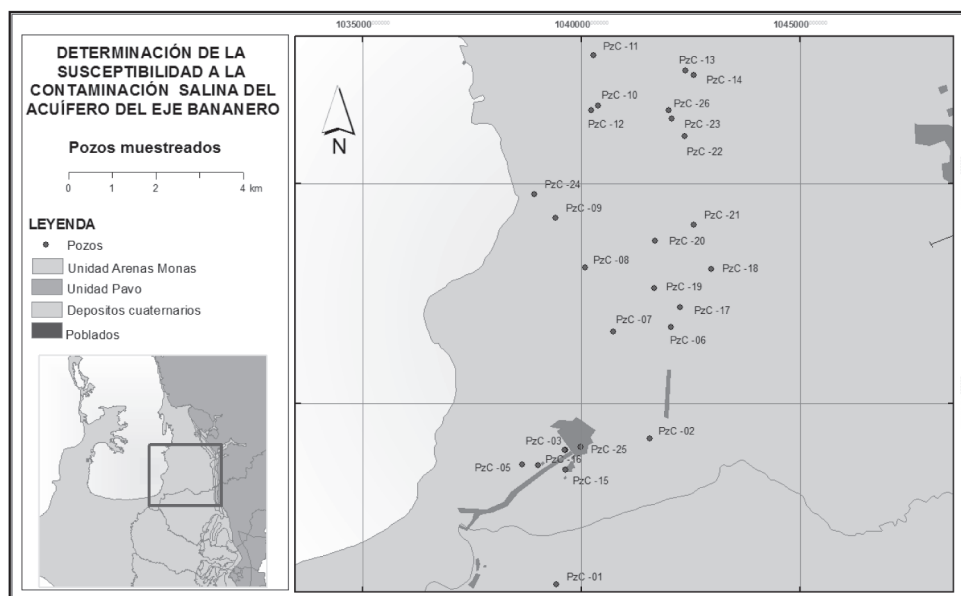


Figura 2a. Pozos que conforman la red de monitoreo de intrusión salina.

Fuente: [6]

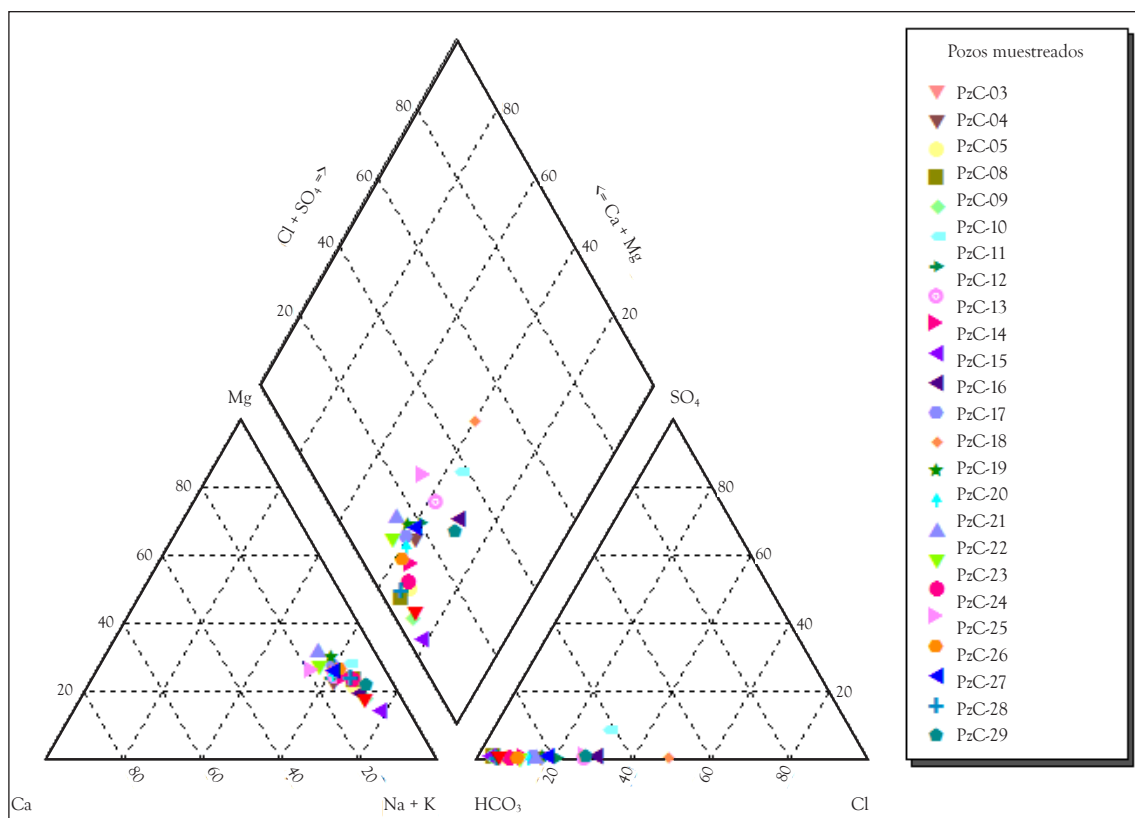


Figura 2b. Clasificación de muestras de agua. Diagrama de Piper.

Fuente: [6]

conductividad eléctrica, alcalinidad y se tomaron muestras de aguas para su análisis en el laboratorio para la determinación de iones mayoritarios y minoritarios. Los análisis químicos fueron realizados en el laboratorio de INGEOMINAS, Bogotá, Colombia. Se siguieron los protocolos de toma de muestras propuestos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) [3] y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) [4]. Para el reporte de los datos físicos y de los análisis químicos se debe seguir la nomenclatura estándar del Sistema Internacional.

Los datos obtenidos durante las campañas de muestreo fueron analizados en un archivo de Excel® programado en varias hojas para realizar análisis estadístico exploratorio, calcular los errores en el balance iónico, y realizar relaciones iónicas. Los datos de las muestras que cumplieron los criterios de calidad analítica fueron procesados en AQUACHEM 4.0 para realizar gráficos de clasificación de las aguas en el área de estudio y obtener los cálculos numéricos necesarios (concentraciones iónicas en mg/L y % meq/L), y representar gráficamente estos datos en un diagrama tipo Piper.

La calidad de los datos obtenidos se determinó a partir del cálculo del balance iónico para los componentes mayoritarios; de aquí se establece que la suma de miliequivalentes de aniones debe ser igual, con un margen de error permitido, a la suma de miliequivalentes de cationes. Un valor admisible del balance es menor de 5%. Un error mayor puede deberse a errores acumulados de cada una de las determinaciones individuales, omisión de las contribuciones iónicas de elementos minoritarios, análisis inexactos, alta acidez del agua y por esto concentraciones significativas de H^+ que no se tienen en cuenta y cantidades representativas de iones orgánicos [5].

3 RESULTADOS

La caracterización hidroquímica del acuífero del eje Bananero de Urabá se hizo sobre la base

del muestreo de 26 puntos de aguas subterráneas (conformada por 16 pozos profundos y 10 piezómetros), una muestra de agua de mar y una muestra de agua superficial, distribuidos en un área de 8 916 km²; las muestras fueron tomadas en el periodo de enero-agosto de 2008. La temperatura del agua presenta valores que oscilan entre los 16° C y 18° C. Los resultados del muestreo hidroquímico realizado se consignan en la tabla 1 y los datos correspondientes a las relaciones iónicas principales, en la tabla 2.

En el diagrama de Piper de la figura 3, se aprecia que las aguas predominantes son de tipo bicarbonatada sódica. En la tabla 1, las muestras de los puntos PZC - 10, PZC - 13, PZC - 18, PZC - 24, PZC - 29, presentan una clasificación bicarbonatada cloruradas sódica. La cantidad del cloruro en estas muestras varía de 194 a 410 mg/l; los dos iones mayoritarios; cloruro y sodio registran una media, respectivamente, de 109.51 y 252.22 mg/l.

En la parte más continental del acuífero (hacia sur del área del estudio, municipios de Apartadó, Carepa y Chigorodó) en campañas realizadas con anterioridad por CORPOURABÁ se evidenció que las aguas son de tipo bicarbonatada cálcica.

Utilizando la información contenida en la Base de Datos de Aguas de CORPOURABÁ y los resultados de la campaña de muestreo hidroquímico realizado en el periodo enero-agosto de 2008, se han calculado los valores de las relaciones iónicas (tabla 2) más significativas: rNa^+/rCl^- , rMg^{2+}/rCa^{2+} , $rHCO_3^-/rCl^-$, rSO_4^{2-}/rCl^- [1].

En la mayoría de los puntos considerados para este estudio, la relación rSO_4^{2-}/rCl^- es menor a 0.1, lo que asocia este tipo de aguas con un origen más continental que salino. Los valores de la relación rMg^{2+}/rCa^{2+} están comprendidos entre 1.35 y 3.5. Esta relación varía entre 0,3 y 1,5 en aguas continentales y es del orden de 5,2 para el agua de mar. Por su parte, los valores de la relación $rCl^-/rHCO_3^-$ se encuentra en el rango de 0,03 a 0,96, dado que este índice hidrogeoquímico en aguas continentales varía entre 0,1 y 5, mientras

Tabla 1. Resultados de los análisis de laboratorio

ID	Nombre	Tipo de Agua	X coordenadas	Y coordenadas	T	pH	K (mg/l)	Na (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)
PzC-03	Banacol Nueva Colonia 1	Na-HCO ₃	1039637	1368963	18	7,04	6	300	33,5	39	<2	0,8
PzC-04	Banacol Nueva Colonia 2	Na-Mg-HCO ₃	1039628	1368960	17,7	6,85	6,6	245	51,6	48	0,5	1
PzC-05	Edgar Silva	Na-Mg-HCO ₃	1038648	1368618	17,8	7	5,6	300	40,2	49	<2	0,6
PzC-08	Colegio la Teca	Na-Mg-HCO ₃	1040090	1373096	17,3	6,95	7,4	257	32	47	0,5	0,4
PzC-09	Independencia de Antioquia	Na-HCO ₃	1039403	1374226	17,2	7,2	8,8	260	29,1	33,5	<2	0,3
PzC-10	Finca Cuñadas	Na-Mg-HCO ₃ -Cl	1040390	1376776	18	7,24	3,6	360	39,2	83,5	0,3	0,5
PzC-11	Panorama	Na-Mg-HCO ₃	1040280	1377906	17	7,2	2,6	234	49,3	48	0,4	0,5
PzC-13	Katia	Na-Mg-HCO ₃ -Cl	1042380	1377560	18	7,52	4,5	246	48,3	51	0,8	0,2
PzC-14	Finca Venturosa	Na-Mg-HCO ₃	1042570	1377470	18	7,32	2,4	220	33	42,5	0,8	0,2
PzC-15	Astillero Banacol	Na-HCO ₃	1039635	1368499	17	7,62	3,2	254	20,5	23,5	<2	0,3
PzC-16	Embarcadero Banadex	Na-HCO ₃ -Cl	1039019	1368606	17	7,18	5,4	340	43,5	49	<2	1,8
PzC-17	Las Niñas	Na-Mg-HCO ₃	1042260	1372190	17,5	6,93	2,6	200	38,1	48	<2	0,8
PzC-18	Finca Antares	Na-Mg-HCO ₃ -Cl	1042960	1373060	17	7,35	2,8	302	63,1	68	<2	0,8
PzC-19	Rita María	Na-Mg-HCO ₃	1041670	1372630	17	7,33	2	194	34	52,5	0,3	0,6
PzC-20	El Tikal 2	Na-Mg-HCO ₃	1041690	1373700	17	7,39	3,2	225	44,9	48	0,4	0,3
PzC-21	Magdalena	Na-Mg-HCO ₃	1042570	1374070	17	7,26	4,6	218	50	68,2	<2	0,8
PzC-22	Banalinda	Na-Mg-HCO ₃	1042360	1376070	16,8	6,7	4,6	220	55	56	0,4	1,2
PzC-23	Finca la Tagua	Na-Mg-HCO ₃	1042060	1376470	18	7,62	4,4	238	31	44,5	1,8	0,4
PzC-24	Finca Agromar	Na-Mg-HCO ₃ -Cl	1038920	1374760	17	7,33	3,4	265	79,6	65,5	<2	0,2
PzC-26	Villa Clemencia	Na-Mg-HCO ₃	1042000	1376660	18	7,43	3,4	217	34,7	49	0,2	0,3
PzC-27	Finca Yerbazal	Na-Mg-HCO ₃	1042520	1368530	17	7,52	8,4	198	39,5	45	<2	1,1
PzC-28	Finca Guadalupe	Na-Mg-HCO ₃	1040440	1368100	17,7	6,94	6,2	203	27,8	39	<2	0,9
PzC-29	Astillero Casanova	Na-Mg-HCO ₃ -Cl	1040170	1385450	17,2	7,15	6,2	305	26,2	49	0,8	<1
ID	Nombre	Tipo de Agua	X coordenadas	Y coordenadas	T	pH	Sr (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)
PzC-03	Banacol Nueva Colonia 1	Na-HCO ₃	1039637	1368963	18	7,04	1,4	34,2	3,5	948	0,9	12,4
PzC-04	Banacol Nueva Colonia 2	Na-Mg-HCO ₃	1039628	1368960	17,7	6,85	1,5	96,3	<7	828	0,5	13,7
PzC-05	Edgar Silva	Na-Mg-HCO ₃	1038648	1368618	17,8	7	1,8	52	1,4	1020	0,9	10,5
PzC-08	Colegio la Teca	Na-Mg-HCO ₃	1040090	1373096	17,3	6,95	1,4	24,2	2,8	936	1,5	13,2
PzC-09	Independencia de Antioquia	Na-HCO ₃	1039403	1374226	17,2	7,2	1,3	25,3	5,04	1128	1,2	12,9
PzC-10	Finca Cuñadas	Na-Mg-HCO ₃ -Cl	1040390	1376776	18	7,24	1,7	283	105	996	1,3	12,7
PzC-11	Panorama	Na-Mg-HCO ₃	1040280	1377906	17	7,2	1,1	114	0,4	756	0,8	14
PzC-13	Katia	Na-Mg-HCO ₃ -Cl	1042380	1377560	18	7,52	1,9	159	1,2	720	0,8	11,5
PzC-14	Finca Venturosa	Na-Mg-HCO ₃	1042570	1377470	18	7,32	1,1	60,8	0,3	744	0,8	12,7
PzC-15	Astillero Banacol	Na-HCO ₃	1039635	1368499	17	7,62	1,3	16,5	<7	816	0,5	13,3
PzC-16	Embarcadero Banadex	Na-HCO ₃ -Cl	1039019	1368606	17	7,18	1,6	212	<7	828	0,5	14,9
PzC-17	Las Niñas	Na-Mg-HCO ₃	1042260	1372190	17,5	6,93	0,8	69,7	<7	708	1,2	15,7
PzC-18	Finca Antares	Na-Mg-HCO ₃ -Cl	1042960	1373060	17	7,35	1,5	410	<7	732	0,8	14,9
PzC-19	Rita María	Na-Mg-HCO ₃	1041670	1372630	17	7,33	1,1	93,1	<7	780	0,7	14,4
PzC-20	El Tikal 2	Na-Mg-HCO ₃	1041690	1373700	17	7,39	1,5	78,6	0,1	864	0,8	14,3
PzC-21	Magdalena	Na-Mg-HCO ₃	1042570	1374070	17	7,26	1,8	87,5	<7	828	0,6	14,4
PzC-22	Banalinda	Na-Mg-HCO ₃	1042360	1376070	16,8	6,7	2,8	62,1	0,5	840	0,9	13,4
PzC-23	Finca la Tagua	Na-Mg-HCO ₃	1042060	1376470	18	7,62	1,2	43,1	0,1	804	0,9	13,2
PzC-24	Finca Agromar	Na-Mg-HCO ₃ -Cl	1038920	1374760	17	7,33	2,8	221	<7	972	1	12,8
PzC-26	Villa Clemencia	Na-Mg-HCO ₃	1042000	1376660	18	7,43	1,3	60,8	0,4	888	0,7	13,2
PzC-27	Finca Yerbazal	Na-Mg-HCO ₃	1042520	1368530	17	7,52	1,3	96,3	<7	744	0,7	15
PzC-28	Finca Guadalupe	Na-Mg-HCO ₃	1040440	1368100	17,7	6,94	1,2	25,3	1,3	756	0,1	11,9
PzC-29	Astillero Casanova	Na-Mg-HCO ₃ -Cl	1040170	1385450	17,2	7,15	1	194	5	864	1,9	12

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Relaciones iónicas

Id	Nombre	Relaciones iónicas				
		r_{Mg}/r_{Ca}	r_{Na}/r_{Ca}	$r_{Na}/r_{(Ca+Mg)}$	r_{Cl}/r_{CO_3H}	r_{SO_4}/r_{Cl}
PzC-03	Banacol Nueva Colonia 1	1,92	7,79	2,67	0,06	0,08
PzC-04	Banacol Nueva Colonia 2	1,53	4,13	1,63	0,20	0,05
PzC-05	Edgar Silva	2,01	6,49	2,16	0,09	0,02
PzC-08	Colegio la Teca	2,42	6,98	2,04	0,04	0,09
PzC-09	Independencia de Antioquia	1,89	7,77	2,68	0,04	0,15
PzC-10	Finca Cuñadas	3,51	7,99	1,77	0,49	0,27
PzC-11	Panorama	1,60	4,13	1,59	0,26	0,00
PzC-13	Katia	1,74	4,43	1,62	0,38	0,01
PzC-14	Finca Venturosa	2,12	5,80	1,86	0,14	0,00
PzC-15	Astillero Banacol	1,89	10,77	3,73	0,03	0,31
PzC-16	Embarcadero Banadex	1,85	6,80	2,38	0,44	0,02
PzC-17	Las Niñas	2,07	4,56	1,49	0,17	0,07
PzC-18	Finca Antares	1,77	4,16	1,50	0,96	0,01
PzC-19	Rita María	2,54	4,96	1,40	0,21	0,06
PzC-20	El Tikal 2	1,76	4,36	1,58	0,16	0,00
PzC-21	Magdalena	2,25	3,79	1,17	0,18	0,06
PzC-22	Banalinda	1,68	3,48	1,30	0,13	0,01
PzC-23	Finca la Tagua	2,36	6,68	1,99	0,09	0,00
PzC-24	Finca Agromar	1,35	2,89	1,23	0,39	0,02
PzC-26	Villa Clemencia	2,32	5,44	1,64	0,12	0,00
PzC-27	Finca Yerbazal	1,88	4,36	1,52	0,22	0,05
PzC-28	Finca Guadalupe	2,31	6,35	1,92	0,06	0,04
PzC-29	Astillero Casanova	3,08	10,12	2,48	0,39	0,02

Fuente: elaboración propia.

que en agua del mar alcanza entre 20 y 50; puede inferirse que las aguas tienden a ser continentales con poca o ninguna influencia marina.

Los valores obtenidos indican los siguientes aspectos: en primer lugar, cabe destacar que no se puede deducir la existencia de procesos de intrusión en los puntos estudiados. Únicamente en el punto PZC-018 (finca Antares), el valor de la relación $r_{HCO_3^-}/r_{Cl^-}$ es inferior o próximo a la unidad, lo que significa un aumento de los cloruros respecto a los bicarbonatos.

La presencia de contenidos altos de salinidad en algunos puntos muestreados (ceranos a la línea de costa) podría ser debida a una ligera contaminación con agua marina de los sedimentos donde fueron perforados los piezómetros, y estar afectados por los procesos mareales. Se descartan, en principio, fenómenos de intrusión marina actuales

activos, ya que no se tiene constancia de explotaciones subterráneas y no se ha detectado presencia de cloruros en otros puntos cercanos a la costa, aunque es necesario un estudio hidrogeoquímico más detallado.

Las figuras 3 y 4 indican que las aguas serían continentales. Sin embargo, en la figura 4, se evidencian que algunos puntos (PZC-09, PZC-08 y PZC-03), presentan una relación $r_{SO_4^{2-}}/r_{Cl^-}$ cercano a 0.1, que indica alguna influencia de contaminación por salinización; pero, por su parte, la relación r_{Na^+}/r_{Cl^-} presenta valores superiores a 1, lo que supone un ablandamiento de las aguas, indicativo de procesos de salinización en el pasado producidos por posibles transgresiones marinas y ambientes de depósitos salinos que introdujeron salinidad al agua de la zona costera del acuífero y actualmente se produce un lavado

de estos sedimentos, sumado al hecho de que en esta zona existen pozos saltantes (surgentes) (PZC-01, PZC-03, PZC-04, PZC-05, PZC-08, PZC-09, PZC-15, PZC-16 y PZC-24) que por sus gradientes hidráulicos provocan una descarga continua de agua subterránea al golfo, convirtiéndose en una barrera “natural” contra procesos de intrusión salina.

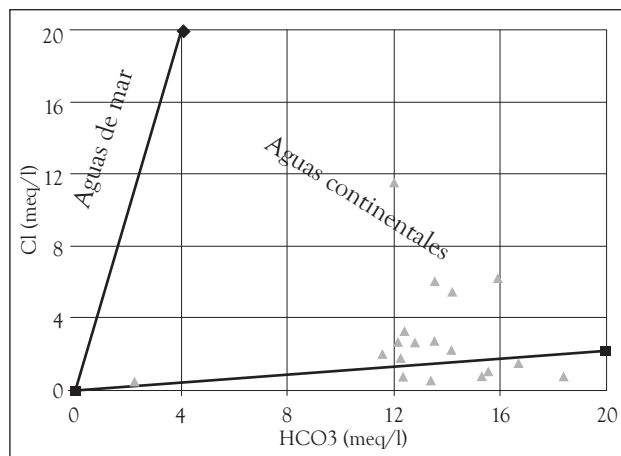


Figura 3. Relación $rCl/rHCO_3$.

Fuente: [6]

De los resultados hidroquímicos se determinó que las concentraciones de los iones aumentan en sentido NW (teniendo particular importancia las concentraciones de, Na, HCO_3 y Cl). Se han determinado concentraciones sodio superior a los 360 mg/l de bicarbonatos de hasta 1.128 mg/l y cloruros superiores a los 400 mg/l. La conductividad eléctrica aumenta hacia la zona costera, llegándose a registrar valores de hasta 5.700 uS/cm (figura 5).

4 CONCLUSIONES

Los procesos de salinidad que se insinúan en las muestras de agua subterránea en el acuífero costero del Eje Bananero podrían tener relación con transgresiones marinas (entrada del mar al continente) que propiciaron ambientes de depósitos salinos que sumados a las particularidades litológicas del acuífero en la zona muestreada podrían sentar las bases de las explicaciones de las anomalías de salinidad detectadas. No obstante, se hace necesario validar la hipótesis planteada en este proyecto

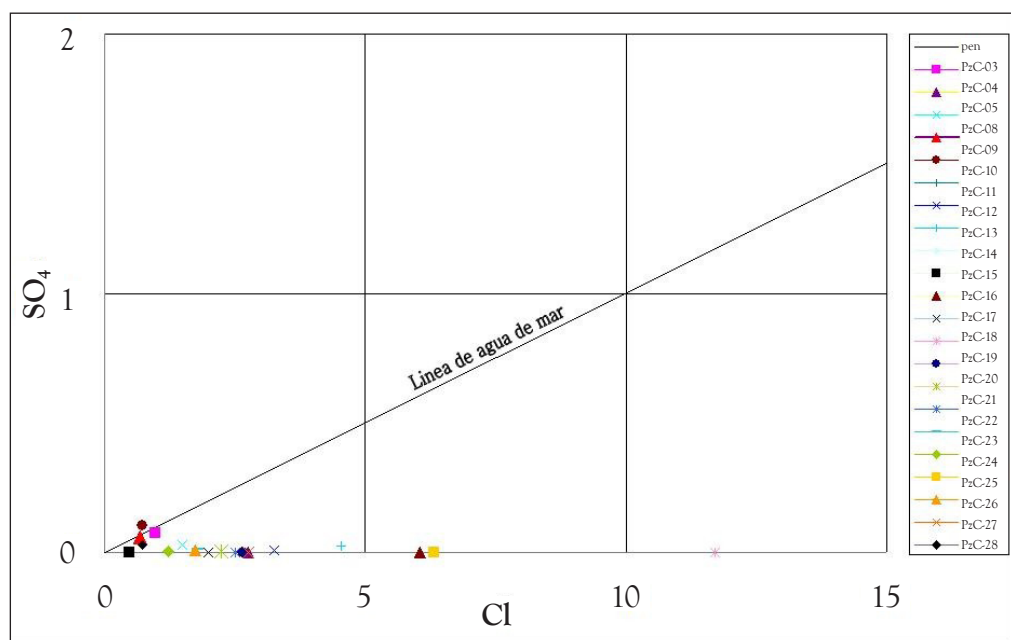


Figura 4. Relación rSO_4/Cl

Fuente: [6]

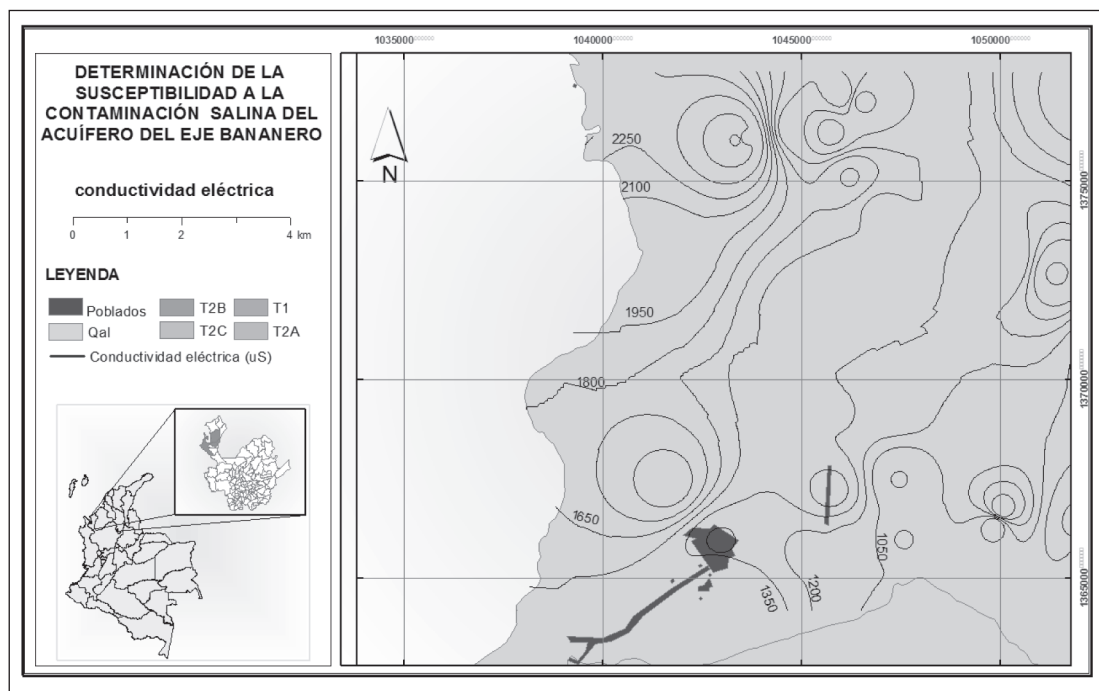


Figura 5. Distribución de la conductividad eléctrica en el área de estudio

Fuente: [6]

con evidencias geológicas y un monitoreo continuo en el tiempo y hacer una comparación de los resultados de muestreos hidroquímicos anteriores para determinar si se está presentando una variación (disminución/aumento) en valores de parámetros como conductividad y sólidos suspendidos totales.

En la zona de estudio se presenta la particularidad de que algunos pozos son saltantes (surgentes) (PZC-01, PZC-03, PZC-04, PZC-05, PZC-08, PZC-09, PZC-15, PZC-16 y PZC-24) que por sus gradientes hidráulicos provocan una descarga continua de agua subterránea al golfo, y se convierten en una barrera “natural” contra procesos de intrusión salina. Sin embargo, esta condición podría cambiar con el aumento no planificado de la explotación del acuífero, para lo cual se requiere de lineamientos claros que prevengan actividades que vayan en detrimento de las características de calidad y cantidad de las aguas subterráneas en este sector.

Las relaciones iónicas analizadas para las muestras de agua indican que no hay un proceso

marcado de salinización en la evolución química de las aguas subterráneas; no obstante, se observa una tendencia en el aumento de concentraciones de algunos parámetros (cloruros, CE, SST) en puntos de muestreo puntuales en los pozos, donde las características de diseño de los pozos están captando varios estratos y, por consiguiente, generando una mezcla de varios tipos de agua.

Con el análisis y procesamiento de las muestras de agua subterránea en la zona de estudio, ayudados con la evaluación de algunas relaciones iónicas y la integración de información hidrogeológica disponible en el área, como sondeos eléctricos verticales, geología e hidráulica se evidencia que hay un estado incipiente de posible salinización en el acuífero costero del Eje Bananero, que se acentúa en mayor proporción y puntualmente en el sector norte, zona en la que actualmente no se produce una explotación intensiva de los recursos hídricos subterráneos, pero donde en términos preventivos y de gestión se deben establecer mecanismos de monitoreo continuo y una evaluación hidrogeoquí-

mica más detallada para precisar con claridad los procesos bien sea de salinidad u otros que afecten la calidad de las aguas en esta zona.

Los resultados consignados en este artículo y en el proyecto de investigación para el acuífero costero del Eje Bananero de Urabá son preliminares. Dadas las condiciones de heterogeneidad que se presentan en este acuífero, es necesario que se realicen campañas hidrogeoquímicas más amplias a corto plazo, para poder determinar con mayor certeza los orígenes y evolución de la salinidad de las aguas subterráneas, con el fin de que ayuden a comprender mejor los procesos que se están dando y se puedan integrar herramientas complementarias como la hidrodinámica, para discriminar los procesos de salinización, y evaluar la intensidad con los que están ocurriendo.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a la Corporación para el desarrollo sostenible del Urabá CORPOURABA por el financiamiento de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] E. Custodio, y M. R. Llamas, *Hidrología Subterránea*, Barcelona: Editorial Omega, 1996.
- [2] C. Appelo, y D. Postma, *Geochemistry, groundwater and pollution*, 2ª ed., Rotterdam: Balkema, 2005.
- [3] IDEAM, "Guía para el monitoreo de aguas subterráneas", 2004.
- [4] L. Gourcy *et al.*, "Stable oxygen and hydrogen isotopes. Isotopes in the water cycle, past, present and future of a developing science", IAEA, vol. 3, pp. 39-51, 2005.
- [5] A. Hounslow, *Water quality data: analysis and interpretation*, Boca Ratón: CRC Lewis Publishers, 1995.
- [6] CORPOURABÁ, *Proyecto Protección Integral de Aguas Subterráneas*, Corpourabá, Apartadó, 2010.

