

MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DE LA ZONA DE RECARGA DEL ACUÍFERO MORROA (DEPARTAMENTOS DE SUCRE Y CÓRDOBA)

Leonardo David Donado Garzón¹
Julio César Buitrago Carrillo²
María Consuelo Vargas Quintero³
Jorge Armando Granados Robayo⁴

RESUMEN

Ante la ausencia de corrientes superficiales permanentes, el Acuífero Morroa es la principal fuente de agua para la región. Constituye un sistema hidrogeológico complejo, con grandes variaciones faciales laterales y verticales. Su origen es de abanicos y cauces aluviales, de tal forma que los niveles más permeables proceden de los canales principales y de las zonas proximales del abanico. El acuífero abastece a una población estimada de 500 mil habitantes de las poblaciones de Sincelejo, Corozal, Ovejas, Palmitos (Sucre) y Chinú y Sahagún (Córdoba), con una dotación de 217 L/hab/día. Se presume que debido a la explotación intensiva y descontrolada de este acuífero, así como a la intensa deforestación en el área de recarga, el acuífero ha presentado descensos en sus niveles piezométricos registrados en los pozos de explotación.

ABSTRACT

In the face of the absence of permanent superficial currents, the Aquifer Morroa is the main source of water for the region. It constitutes a complex hydrogeologic system, with big lateral and vertical facial variations. Their origin is alluvial beds, in such a way that the most permeable levels come from the main channels and of the neighboring areas of the alluvial beds. The aquifer supplies a population of 500 thousand habitants in Sincelejo, Corozal, Palmitos, Ovejas (Sucre) and Chinú and Sahagún (Córdoba), with an endowment of 217 L/hab/day. One shows off that due to the intensive exploitation of this aquifer, as well as to the intense deforestation in the recharge area, the aquifer has presented descents in its water levels registered in the wells of exploitation.

PALABRAS CLAVE

Modelo Hidrogeológico Conceptual - Flujo – Agua Subterránea – Morroa

¹ Ingeniero Civil, Candidato a Magíster en Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. p295251@ing.unal.edu.co

² Ingeniero Civil, de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Candidato a Doctor Ingeniero en Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid. jcbuitrago@alumnos.upm.es

³ Ingeniera Química de Universidad Nacional de Colombia, Manizales. Magíster en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Especialista en Hidrología Subterránea de la Universidad Politécnica de Cataluña. Técnico – Científico del grupo funcional de Hidrogeología, INGEOMINAS. mvargas@ingecoin.gov.co

⁴ Ingeniero Civil, Magíster Scientæ en Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. ortizm@ing.unal.edu.co

INTRODUCCIÓN

INGEOMINAS en el año 1996 inició el proyecto “Evaluación Hidrogeológica Regional de los Departamentos de Córdoba y Sucre” con las actividades de cartografía geológica, inventario de puntos de agua y estudio geofísico, actividades finalizadas el mismo año. El proyecto se reinicia en el año 1999 con las actividades de recopilación de información sobre inventario de puntos de agua, geofísica, hidroquímica, hidráulica, suelos y la elaboración del informe del estudio *geológico* - geofísico. Para la consecución de información secundaria existente se visitaron las entidades nacionales y regionales de carácter oficial y privado relacionadas con investigación, exploración, explotación y manejo del recurso hídrico subterráneo. Al nivel nacional se recopiló información en el Ministerio de Desarrollo, Dirección de Agua Potable; Ministerio del Medio Ambiente, Universidad Nacional de Colombia, IDEAM, INAT y CORPOICA y al regional en CARSUCRE, Universidad de Sucre, Acueductos Municipales de Sincelejo, Corozal, Sampués, Galeras, Sincé, Secretaria de Agricultura, Secretaría de Planeación Departamental y Consultores y Perforadores independientes. Además se consultaron los diferentes estudios realizados por **INGEOMINAS** en el área del departamento.

En Sucre el 91.7% del área urbana se abastece de fuentes subterráneas, captadas a través de pozos profundos. En promedio se extraen 217.7 L/hab/día. Las pérdidas de agua en la región son del orden del 60%. La extracción de agua se hace siguiendo el criterio de demanda, sin tener en cuenta las características de la fuente. Tampoco se cuenta con micromedición en las cabeceras municipales, ni macromedición en los sistemas de abastecimiento del Departamento [1]. El departamento se subdivide en tres acuíferos principales: Morroa, Costero (Golfo de Morrosquillo) y Betulia. El **Acuífero Morroa** abastece una población actual de 500.000 habitantes a través de los acueductos municipales de Sincelejo, Corozal, Sampués, Ovejas, Los Palmitos, Morroa y San Juan de Betulia, además de otros municipios de los departamentos de Bolívar y Córdoba [1]. El **Acuífero Costero o del Golfo de Morrosquillo** abastece los municipios de Santiago de Tolú, San Onofre, Toluviejo y Palmito, y los acueductos regionales de Puerto Viejo, Varsovia, Palmito y la Arena además de pozos privados en varias fincas, y el **Acuífero de Betulia** abastece los municipios de San Pedro, Buenavista, Sincé y Galeras, de ahí la importancia de estudiar con cuidado el principal acuífero de la región, el Morroa.

En el Acuífero Morroa la profundidad de los pozos de explotación varía entre 140 m (los más antiguos) hasta 390 m (los más recientes), con caudales de explotación entre 10 y 60 L/s. La mayor explotación del acuífero es el campo de pozos de Corozal, donde se bombea continuamente durante las 24 horas del día, y decrece en los campos de pozos de Palmito, Ovejas, Chinú y Sahagún. A manera de estimativo se cree en la zona de recarga del Acuífero Morroa, existen recursos se estiman en 12.3 m³/s, según datos del Atlas hidrogeológico de Colombia [1].

En el campo de pozos de Corozal (principal zona de explotación), los niveles estáticos en la mayoría de los pozos han presentado descensos a razón de 4 m/año y en algunos pozos de 10 m/año. El agua es apta para consumo humano y solamente se hace tratamiento de cloración antes de su distribución.

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El acuífero Morroa está ubicado entre los Departamentos de Sucre y Córdoba, como se muestra en la figura 1, y posee una extensión de unos 9000 km², aflora en una extensión de 600 km² desde Ovejas (Sucre) hasta Sahagún (Córdoba), formando una serie de colinas abruptas a la altura de Ovejas tornándose más suaves y onduladas al sur hasta casi desaparecer en el municipio de Sampués.

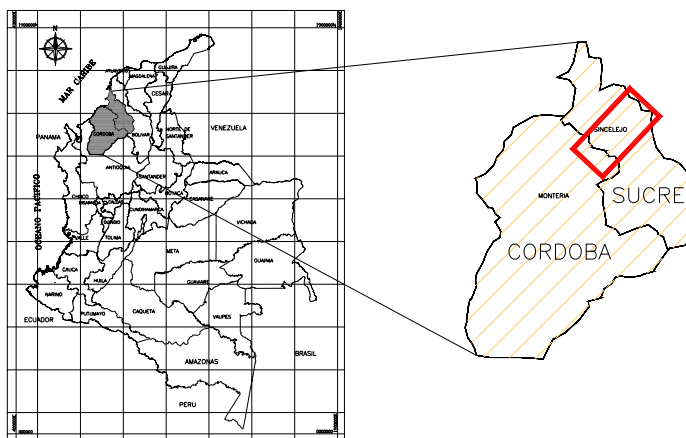


Figura 1 Localización general del Acuífero Morroa

ANTECEDENTES

Anterior al desarrollo de éste proyecto, se llevaron a cabo algunos estudios en la zona. En el año de 1955, los investigadores Diezemann y Delgado, hacen algunas consideraciones hidrogeológicas sobre el posible abastecimiento para las poblaciones de Sincelejo, Morroa, Los Palmitos, Ovejas, El Carmen, San Jacinto y San Juan Nepomuceno, en la costa Atlántica Colombiana. En 1963 el Servicio Geológico Nacional (Hoy INGEOMINAS), publica el estudio hidrogeológico preliminar de esta zona del país, donde se evalúa la posibilidad de explotar aguas subterráneas para consumo humano y uso agropecuario en un área de 4600 km². En 1977, C. Rodríguez et al. [7] presentaron un estudio de los parámetros hidrogeológicos del grupo Corozal con técnicas isotópicas y en 1979 hicieron la evaluación del agua subterránea de la misma zona. Utilizando un convenio con el Gobierno Holandés, INSFOPAL en el año de 1981 [5] realizó un estudio hidrogeológico regional en el Flanco Nororiental de la Serranía de San Jacinto y la zona del litoral del Golfo de Morrosquillo. Durante este estudio se llevaron a cabo 1313 sondeos eléctricos verticales y se construyeron 31 pozos de monitoreo y 12 de explotación.

Hacia el año de 1983 el INGEOMINAS efectuó estudios con el fin de conocer la cantidad explotable de agua subterránea determinándose aproximadamente 87 millones de litros por día. En febrero de 1993, G. Rodríguez presentó la evaluación hidrogeológica del Acuífero Morroa [4], el cual hace parte de un programa que actualmente adelanta el INGENOMINAS, denominado Evaluación Hidrogeológica Regional de Colombia.

Para la primera parte se realizó una recopilación exhaustiva de la información existente relativa al inventario de puntos de agua, geología, hidrología, geofísica, hidrogeoquímica e

hidráulica, para su posterior análisis e integración en el modelo hidrogeológico conceptual, todo esto apoyado en la visita de campo realizada a la zona en cuestión.

ACTORES CLAVES EN LA GESTION DEL AGUA SUBTERRANEA

En el departamento de Sucre funciona la Unidad de Aguas adscrita a la Secretaria de Obras de la Gobernación, es la encargada de la planificación de los proyectos de acueductos para los municipios del departamento. Esta Unidad en un pasado se encargaba de construir algunos pozos, pero en la actualidad su equipo de perforación está averiado, y las construcciones de pozos las realizan en su totalidad firmas privadas. Cada municipio gestiona la obtención de recursos para su acueducto, mediante diferentes fuentes de financiación tales como FINDETER (Financiera Oficial), Financieras Privadas, mecanismos de cofinanciación, recursos propios, y recursos asignados por la Ley 60. La gestión en el sector ha evolucionado hacia una descentralización completa, ya que como se ha mencionado es el municipio el responsable de garantizar la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo.

El acuífero se encuentra ubicado en la jurisdicción de **CARSUCRE** (Corporación Autónoma Regional de Sucre), la cual es responsable de administrar y proteger el recurso hidráulico. En el departamento de Córdoba, el manejo del recurso se ha delegado en las empresas de Acueducto y Alcantarillado de los municipios, debido a la desaparición de tanto la Unidad de Aguas del Departamento, como la de la CVS (Corporación Autónoma Regional del Valle del Río Sinú). La mayoría de los pozos construidos no cuentan con los permisos de concesión (Decreto 1541 de 1978) y por lo tanto está pendiente su legalización. Tampoco se está cobrando la tasa por el uso del agua, como lo establece la Ley 99 de 1993, artículo 43.

CONDICIONES SANITARIAS DE LAS CAPTACIONES



Fotografía 1 Estado actual del pozo 24 de Corozal

Una de las fuentes potenciales de contaminación del agua subterránea es la carencia de zonas de protección ambiental para los pozos y aljibes que se explotan en la región, como el caso del pozo No. 24 de Corozal, exhibido en la fotografía 1. Adicionalmente, se presentan en sus inmediaciones asentamientos humanos y por consiguiente letrinas. Las tuberías y sellos de los pozos se encuentran en regular estado, presentando en algunos casos óxido en las tuberías y ruptura o carencia de sello sanitario.

La proliferación de botaderos de basura sin control alguno, como se ve en la fotografía 2 y la incineración a cielo abierto constituyen una grave componente de afectación ambiental y social. Estos hechos adquieren especial importancia si se considera que la zona de recarga del acuífero de Morroa posee una porosidad promedio del 20% y puede llegar a verse afectada por la contaminación de los lixiviados provenientes de la degradación de las basuras.



Fotografía 2 Botadero de basura en cercanías del municipio de Morroa

FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN

Disposición de aguas residuales. Este es uno de los principales problemas de la región, por el bajo nivel de cobertura del sistema de alcantarillado, a excepción de los municipios de Los Palmitos con una cobertura del 88% y de Ovejas con un 75%. El resultado de la falta de alcantarillado es el saneamiento in situ a través de pozos sépticos (se estima 2 ó 3 pozos por vivienda) o su vertimiento directamente en el suelo de los patios de las viviendas.

En la zona del acuífero ningún municipio han construido su sistema de tratamiento para sus aguas residuales. En estos municipios el alcantarillado vierte sus aguas sin ningún tipo de tratamiento a los arroyos urbanos.

Disposición de residuos sólidos: La mayoría de los municipios disponen sus basuras a cielo abierto, donde la generación de vectores incide en la proliferación de enfermedades, además se modifica la unidad paisajística dando un aspecto desagradable. Otra forma de disponerlos es en los arroyos urbanos. El municipio de Corozal cuenta con un relleno sanitario, que no cumple con las especificaciones técnicas de diseño, porque utiliza material de revestimiento y compactación permeable, como se observa en la fotografía 3.



Fotografía 3 Botadero de basuras del municipio de Corozal, ubicado en la vía a San José de Piletas.



Fotografía 4 Deforestación presente en la zona de recarga

Deforestación. La tala de especies de alto valor (Fotografía 4) de la cual ha sido objeto la única reserva forestal de la Serranía de Coraza y Montes de María (población vegetal aproximada de 6.730 ha), ha ocasionado un impacto en las fuentes de aguas abastecedoras de acueductos.

La deforestación producida por la tala y quema severa de rastrojos y pastizales ha incrementado los procesos de deterioro del suelo, cuerpos de agua y fauna, por la sedimentación y taponamiento de algunos caños [1].

FUENTES SUPERFICIALES CONTAMINADAS

Una de las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales son las aguas residuales de los municipios, siendo el Arroyo Grande uno de los cuerpos de agua más afectados, porque es el receptor de las aguas residuales de los municipios de Sincelejo, Corozal, Morroa, Galeras y Sincé entre otros, que posteriormente entrega sus aguas al complejo de ciénagas de Santiago Apóstol. Esta situación se acentúa más por la deficiente infraestructura de servicios públicos, como es el caso del aseo en los municipios de esta jurisdicción que no cuentan con sistemas de recolección adecuados, ni sitios especiales para su disposición final.

Otra fuente de contaminación de las aguas superficiales es la cascarilla de arroz generada por los molinos arroceros que se constituye en la mayor causal de disminución del recurso hidrobiológico, por el consumo directo de oxígeno disuelto en el proceso de biodegradación y proceso de sedimentación.

MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

Para la elaboración del Modelo Hidrogeológico Conceptual se siguió la metodología empleada por el Grupo de Hidrogeología del INGEOMINAS [2], la cual consta de siete actividades de la exploración hidrogeológica regional: geología, hidrogeología, geofísica, hidrogeoquímica, hidráulica, inventario de pozos e hidrológica; el procedimiento siguiente en cada uno de ellas es el de recopilación de la información existente, seguido de un procesamiento, interpretación y análisis de dicha información, para luego integrarla en un mapa, modelo o balance que puede incluir a uno o varios de los frentes iniciales. El compendio de los productos de cada uno de las actividades constituirá el modelo hidrogeológico conceptual del Acuífero Morroa. Estos aspectos son fundamentales para determinar las condiciones de frontera a aplicar en el modelo, y poder analizar si los resultados entregados por el modelo concuerdan con la realidad del terreno.

GEOLOGÍA

El Miembro Sincelejo Superior o Miembro Morroa es una secuencia continental predominantemente arenosa con intercalaciones de areniscas medias a gruesas, conglomerados y arcillolitas. Se extiende como una franja continua de más de 5 km de ancho y 60 km de largo con dirección N10E, que atraviesa prácticamente todo el

departamento de Sucre, desde Ovejas en el norte hasta Sampués en el sur, prolongándose aún más en el Departamento de Córdoba, hasta cercanías del municipio de Sahún [3].

GEOFÍSICA

Los valores de resistividad encontrados en el área son bajos a pesar de la existencia del acuífero de Morroa, el cual posee un agua de magnífica calidad, con valores entre 12 y 30 Ω - m. Esto se debe al feldespato meteorizado que se transforma en minerales de arcilla, disminuyendo así el valor de resistividad de la roca. La Tabla 1 muestra la correlación utilizada [6].

Tabla 1. Correlación geoelectrica y sedimentológica

MODELO GEOELÉCTRICO	LITOLOGÍA	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA
3 – 5 Ω -m	Arcillolitas con intercalaciones de arenas finas	Depósito fluviolacustre. (Qpb)
5 – 10 Ω -m	Areniscas de grano medio	Depósitos fluviales y zonas distales de abanico aluvial. (Tpm)
10 – 20 Ω -m	Areniscas de grano medio a grueso y conglomerados	Áreas próximas y zonas de canales principales, Depósitos fluviales (Tpm)
20 – 30 Ω -m	Conglomerados	

HIDROGEOQUÍMICA

En 1977 se realizó un trabajo denominado “Investigación del Comportamiento General de un Acuífero con Radiotrazadores en Corozal, Colombia” [7], que pretendió determinar la superficie piezométrica de la región, por medio del uso de radiotrazadores inyectados. El resultado de los análisis de isótopos estables, les indicó que el agua fue sometida a evaporación antes de infiltrarse. Mencionaron que dicha evaporación probablemente no es inherente a la precipitación, sino que refleja una baja tasa de infiltración y una alta permanencia del agua en el suelo. La determinación de la dirección de flujo del agua subterránea les sirvió de base para elaborar un mapa de líneas equipotenciales teóricas, que arrojó como resultado final la identificación de un abatimiento regional del agua subterránea, y este concuerda que la dirección de flujo va en sentido S25E, es decir lleva el mismo sentido del rumbo del Acuífero Morroa, y se dirige de las zonas con mayor elevación hacia las zonas de menor altura.

De los estudios hidroquímicos realizados anteriormente y en este estudio se concluye que por lo general las aguas subterráneas son de buena calidad con una fase predominantemente del tipo bicarbonatada cálcica o sódica con porcentajes de bicarbonatos mayores del 60%.

La salinidad de las aguas varían entre 180 mg/L y 1200 mg/L. Las concentraciones mayores se presentan en el norte, como consecuencia de la abundancia de niveles impermeables arcillosos. La tendencia general muestra disminución de las concentraciones hacia el oriente. Los niveles más superiores del acuífero Morroa muestran las concentraciones menores, como por ejemplo el pozo El Mamón con una concentración de 188 mg/L [4].

HIDRÁULICA

La información hidráulica se refiere principalmente a los espesores saturados y parámetros hidráulicos del acuífero. Estos datos son obtenidos de registros históricos de toma de niveles, registros de diseño y construcción de pozos y pruebas de bombeo. Desafortunadamente, los datos piezométricos no tienen un programa de medición sistemático, sino que son tomados coyuntural y aleatoriamente, como cuando existen daños

en los equipos de bombeo, y además las instalaciones de los pozos, no están dotadas de piezómetros de medición de niveles. El radio de Influencia del campo de pozos de Corozal se estimó en 80 km, para un período de 45 años de explotación. Las Figs. 2, 3 y 4 muestran el descenso en el nivel del agua en acuífero a través del tiempo. La tabla 2 resume los parámetros hidráulicos del principal campo de explotación.

Para caracterizar los parámetros hidráulicos del acuífero se llevaron a cabo análisis de pruebas de bombeo y recopilación de resultados de análisis realizados con antelación en [4], [5]. Se dispuso de 34 pruebas de pruebas de bombeo de pozo único, de las cuales sólo es posible extraer la transmisividad, y no el coeficiente de almacenamiento. Estos valores fueron corregidos en la calibración del modelo. Las pruebas de bombeo fueron reinterpretadas con el software Aquifer Test de Waterloo Hydrogeologic, usando los métodos de Theis y de Cooper & Jacob.

A continuación se presenta el listado de los caudales actuales de explotación del campo de pozos manejado por EMPAS-E.S.P. (Empresa de Acueducto de Sincelejo).

INVENTARIO DE POZOS

Con base en la información recopilada y clasificada por el INGEOMINAS en el BNDH (Banco Nacional de Datos Hidrogeológicos) y en el proyecto “Evaluación Hidrogeológica en los Departamentos de Córdoba y Sucre”, se procedió a hacer una agrupación de los puntos de agua existentes en el área de recarga del Acuífero de Morroa.

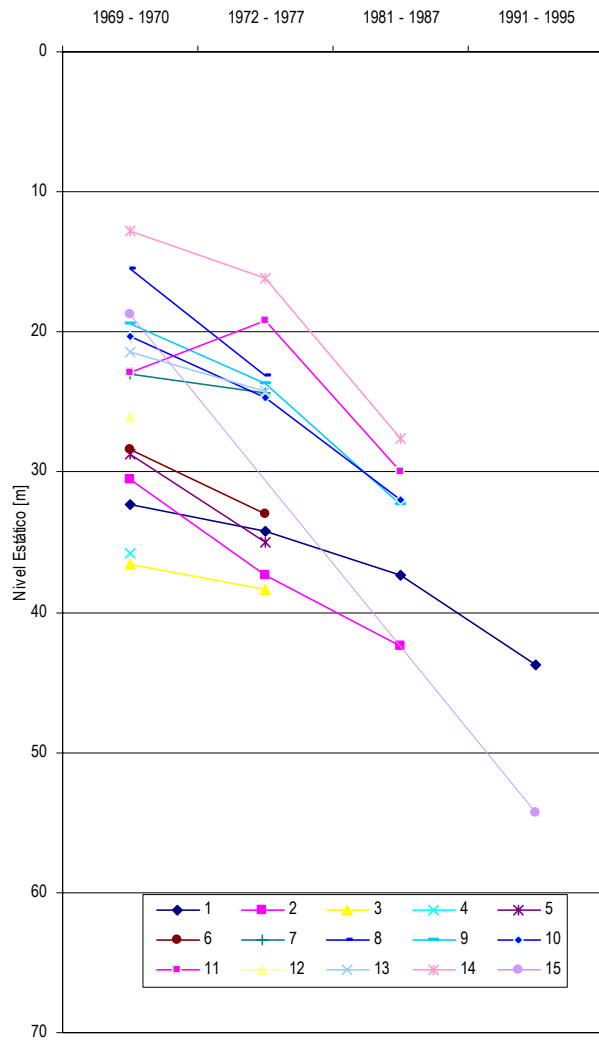


Figura 2. Evolución histórica de los niveles de los pozos 1 a 15 de Corozal (Más Antiguos)

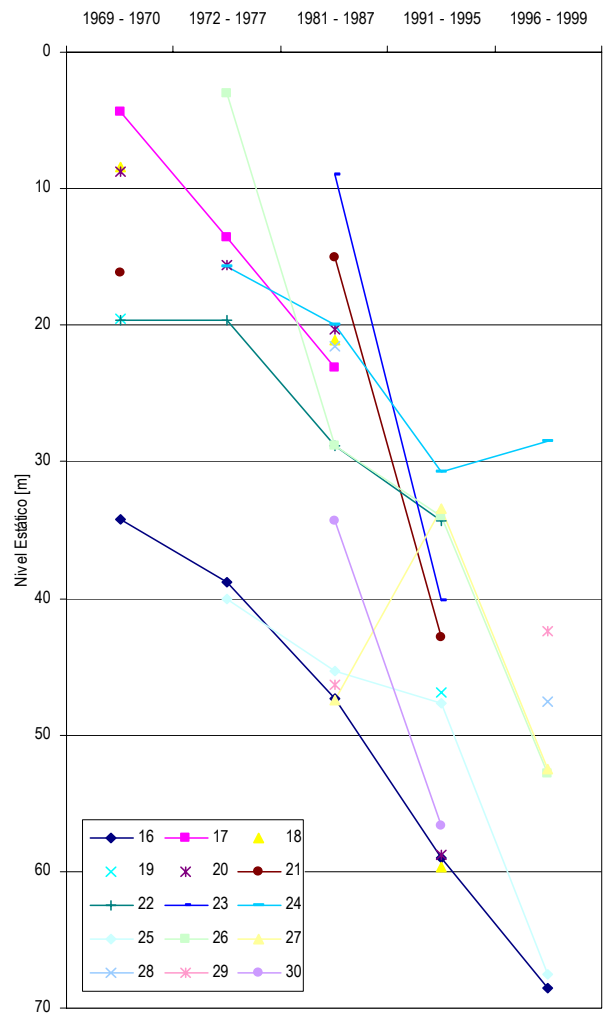


Figura 3. Evolución histórica de los niveles de los pozos 16 a 30 de Corozal

Tabla 2 Caudales actuales de explotación de EMPAS (EMPAS, 1999)

Fecha	17/11/99
POZO	Q [L/s]
16	16
23	13
24	32
25	21
29/30	45
31	15
32	51
33	37
34	22
35	52
36	45
37	50
38	16
39	32
40	41
41	0
42	0
Q total	488

En la tabla 3 se presenta el resumen de la información clasificada, diferenciándola por el tipo de punto, y en el caso de los pozos se indica si poseen diseño de pozo o columna litológica.

Los puntos relacionados anteriormente corresponden a registros históricos y por lo tanto el número relacionado no corresponde a la cantidad de puntos que sirven para labores de extracción de agua en la actualidad. Cabe aclarar que se presume que debido al abatimiento registrado en los últimos años de los niveles estáticos, se ha presentado la desaparición de casi la totalidad de los aljibes y manantiales. (Ingeominas, 2000). De los 93 pozos elegibles 47 se encuentran ubicados en el municipio de Corozal, 5 en los Palmitos, 6 en Ovejas, 8 en Sampués, 11 en Chinú y 16 en Sahagún. Así, se cuenta con información de los principales campos de extracción de agua a lo largo de la zona de estudio. El campo de pozos de Ovejas tiene una operación de 12 horas al día al igual que el de Sahagún, Chinú y Sampués. En pozos ubicados en el municipio de Palmitos también se bombea con la misma intensidad. El campo de pozos de Corozal es el único que funciona la 24 horas del día, debido a que es la fuente de la capital, Sincelejo. Los pozos son multifiltro en su gran mayoría, con diámetros internos que oscilan entre 14 y 6 pulgadas. En cuanto a la profundidad de los pozos, en la Fig. 5 se puede apreciar que existe una población alta de los pozos menores de 200 metros, si se compara con aquellos cuya profundidad sobrepasa esa cifra.

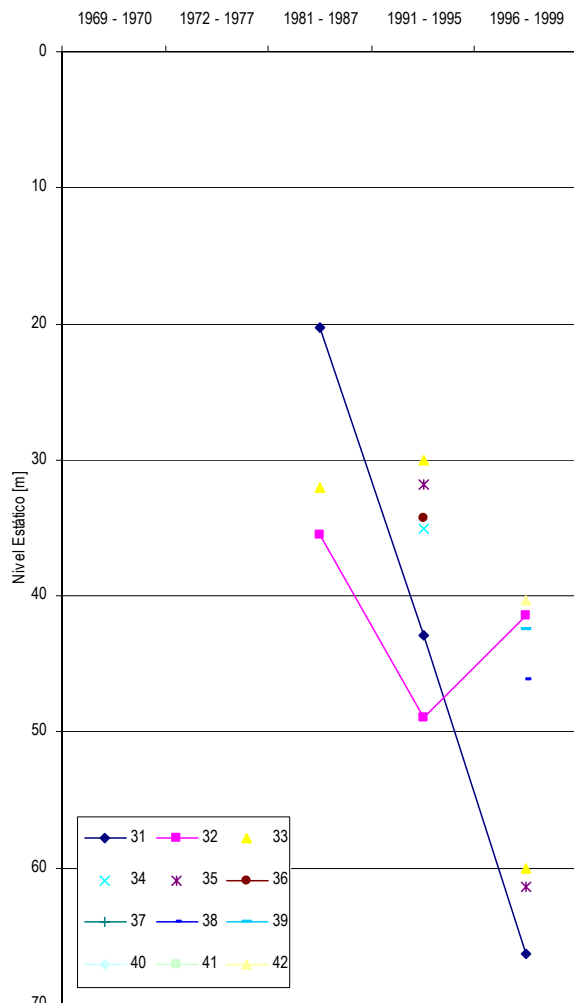


Figura 4. Evolución histórica de los niveles de los pozos 31 a 42 de Corozal (Más recientes)

Tabla 3. Parámetros hidráulicos promedio del campo de pozos de Corozal

Pozo No.	Transmisividad T [m ² /d]
1	175
2	53
3	245
5	265
6	160
7	40
9	814
10	1215
11	60
12	35
13	100
14	62
15	82
16	164
17	325
18	87
20	225
21	130
22	154
24	291
25	200
26	125
29	182
34	140
35	325
42	57
Nuevo 1	201
Nuevo 2	303
2	61

En cuanto a su caudal de explotación, se puede decir a pesar de que se cuenta con una gran cantidad de pozos sin información, gran parte de los pozos extraen menos de 10 L/s. La condición general de explotación se puede observar en la Fig. 6.

Tabla 4 - Resumen de la información de puntos de agua del Acuífero Morroa disponible en INGEOMINAS,1999

TIPO DE PUNTO	POZO
Total de Puntos	171
Con cota	21
Con Diámetro	130
Con Profundidad	158
Con Caudal	96
Con Nivel	92
Con pH	64
Con Conductividad	45
Con Unidad geológica	171
Con Columna litológica	72
Con diseño de pozo	99

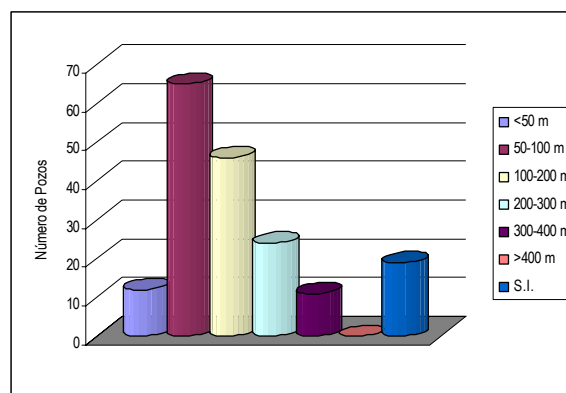


Figura 5. Clasificación de los pozos según su profundidad

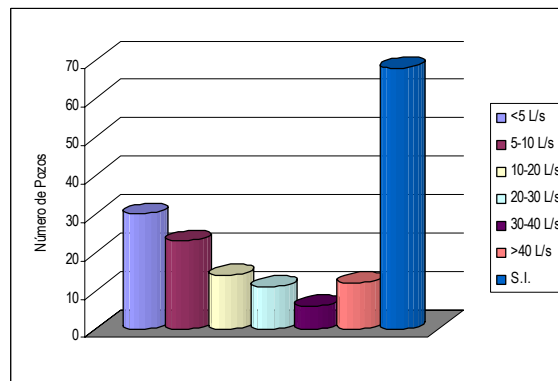


Figura 6. Clasificación de los pozos según su caudal de explotación.

HIDROLOGÍA

La información se procesó a nivel mensual, seleccionando un período común de registro 1974-1989. Se correlacionaron las diferentes estaciones a nivel mensual, generando datos faltantes por medio del método de las proporciones [4].

A partir del mapa de isoyetas se concluyó que existe una región húmeda en la zona cenagosa en las orillas del río Magdalena (San Marcos) y la más seca hacia los límites con el departamento de Bolívar. Hacia Chalán se presenta un incremento en los valores de precipitación debidos al aumento de elevación. En la zona de afloramiento del acuífero

de Morroa, se tiene que al sur, entre Sahagún y Chinú se presenta una precipitación medio de 1300 mm. El área entre Chinú y Corozal está delimitada entre 1200 y 1300 mm de precipitación y de Corozal hacia el Norte hay aumento en los valores hasta llegar a más de 1400 mm al occidente de Ovejas.

En la zona se presenta una distribución estacional unimodal durante el año. Se caracteriza por tener un período muy seco de Diciembre a Marzo y una distribución uniforme en los otros meses. Según promedios se estima que el 75.8% de la precipitación se presenta en los meses de Mayo a Octubre y que en los cuatro meses más secos se registra el 8.2%. La capacidad de campo estimada para esta zona fue del 5% de humedad, es decir que para cubrir la capacidad de campo se necesita una lámina de 105 mm/año.

Estudios realizados por Rodríguez (1977) [7], indican que en el norte del acuífero la infiltración es más rápida, mientras que en la zona centro y la zona sur la recarga es más lenta debido a la menor pendiente de la zona de recarga y por la vegetación disminuida que cubre este sector.

Del balance hídrico se puede concluir que la recarga potencial del acuífero de Morroa, varía por zonas de la siguiente manera: En el norte, en Ovejas, presenta 199 mm/año; siguiendo al sur hasta Corozal, 131 mm/año; en la zona de principal explotación (Campo de Pozos de Corozal) de 46 mm/año; en la zona entre Sincelejo y Sampués presenta 97 mm/año de recarga y en su zona sur presentan 167 mm/año.

CONCLUSIONES

De tal forma que no existe en el momento ningún tipo de planeación ni control a la explotación del recurso de aguas subterráneas para el abastecimiento público a nivel departamental.

La precipitación promedio multianual varía entre 1200 mm y 1400 mm, presentando una distribución unimodal.

La recarga potencial promedio en el Acuífero Morroa es de 137 mm/año, valor similar al utilizado en el cálculo de las Reservas en el Atlas Hidrogeológico Digital de Colombia (Peláez, en preparación).

De los análisis de corrosividad de las aguas del acuífero se puede concluir que son moderadamente agresivas, salvo el caso de Los Palmitos en donde es no agresiva y de Sahagún en donde es muy agresiva.

Se obtuvieron resultados piezométrico comparables con los presentes en la zona, no obstante que el acuífero se simplificó en una sola capa, sectorizada diferencialmente según las propiedades hidráulicas de cada zona. Cabe anotar que el acuífero posee estratos no continuos arcillosos que pueden tener incidencia en el comportamiento de el mismo.

Es necesario establecer un programa anual de medición de niveles en los pozos que están en funcionamiento. Esta campaña debe realizarse en una misma temporada durante los años que se efectue. A la vez las entidades como CARSUCRE y la Unidad de Agua Potable de la Gobernación de Sucre deben implementar la instalación de una red de piezómetros, que permita comprobar el funcionamiento hidráulico del acuífero, para así realizar buenas pruebas de bombeo y determinar con un mejor grado de precisión los

parámetros hidráulicos. Estas medidas ayudarán a alimentar de una forma más verídica los datos básicos del modelo numérico y servirán de herramientas en la toma de decisiones sobre el manejo de la explotación del acuífero.

Se deberían realizar estudios de campo para establecer con un mayor grado de precisión el valor de la escurrentía, es decir, determinar la capacidad de campo y la escurrentía superficial.

Se recomienda realizar estudios de prospección geofísica más adecuados para la determinación de los límites reales del acuífero, ya que hasta el momento sólo se ha estudiado la zona de recarga.

El Plan de Ordenamiento Territorial de Sincelejo contempla la oportunidad de abastecerse de agua desde los ríos Magdalena o Sinú, incurriendo en altos costos. Este estudio concluye que lo mejor sería realizar un rediseño del campo de pozos de Corozal administrado por EMPAS-ESP. En este nuevo diseño se deberían contemplar parámetros geométricos y de explotación controlada, para permitir un bombeo alterno y evitar el deterioro del acuífero. La región de Los Palmitos presenta un gran potencial hidrogeológico, y el Municipio de Sincelejo podría invertir en la construcción de un adecuado campo de pozos en esta zona, para así poder atender el déficit de 120 L/s, y así ofrecer 24 horas de suministro de agua potable.

Es conveniente llevar a cabo una evaluación del riesgo de contaminación del acuífero, dado que los municipios no presentan un plan maestro de alcantarillado ni de saneamiento básico. En la Universidad de Sucre se realizó el mapa de vulnerabilidad del acuífero, en la zona de mayor explotación. Este mapa debe ser extendido en toda la extensión del acuífero, para que se pueda conjugar con el modelo numérico realizado y así poder definir zonas de protección ambiental.

REFERENCIAS

- [1] Vargas, M., Donado L., Buitrago J., (2000) Informe de Recopilación de Información. Evaluación hidrogeológica regional de los departamentos de Sucre y Córdoba. INGEOMINAS. Documento Interno de Hidrogeología. Bogotá.
- [2] Buitrago, J., Donado L. (2000) Evaluación de las condiciones del explotación de la zona de recarga del Acuífero Morroa. Departamentos de Sucre y Córdoba, Colombia. Proyecto de grado para optar al título de ingeniero civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- [3] Barrera, R. (1994) Mapa geológico del departamento de Sucre a escala 1:250.000. INGEOMINAS, Cartagena.
- [4] Rodríguez, G. (1993). Estudio hidrogeológico del acuífero Morroa. INGEOMINAS. Bogotá.
- [5] Díaz-Granados, A. (1988). Resumen del estudio hidrogeológico del flanco nororiental de la serranía de San Jacinto y de la zona litoral del golfo de Morrosquillo. Boletín Geológico. INGEOMINAS. Vol. 29, No. 1. Bogotá, Colombia.

- [6] Vásquez L. (1992). Informe geoelectrico para el estudio hidrogeológico del acuífero de Morroa. INGEOMINAS. Santafé de Bogotá, Colombia.
- [7] Rodríguez, C.; Sánchez, L.; Zapata, G. Trimborn, P. (1977). Investigación del Comportamiento General de un Acuífero con Radiotrazadores en Corozal, Colombia. Instituto de Asuntos Nucleares e Institute for Radiohydrometrie G.S.F. Bogotá, Colombia.