



OIEA



Ministerio del Ambiente,  
Vivienda y Desarrollo  
Territorial



INGEOMINAS



CARSUCRE

**CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE SUCRE  
CARSUCRE**

**PROYECTO DE PROTECCIÓN INTEGRAL DE  
AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**PPIAS**

**ACUÍFERO MORROA  
SECTOR SINCELEJO-COROZAL-MORROA**

**ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUÍFERO  
MORROA**

**Responsables:**

**HECTOR MARIO HERRERA PARRA  
LUZ ELENA ROMERO RUIZ**

**SINCELEJO, OCTUBRE DE 2003**

## CONTENIDO

1. INTRODUCCION .....	3
2. GENERALIDADES .....	4
2.1. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO .....	4
2.2. HIDROLOGIA.....	4
2.3 DEMANDA.....	5
2.4 OFERTA HÍDRICA .....	5
3. GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO .....	8
3.1 FORMACION SINCELEJO. ....	8
3.2. FORMACIÓN MORROA O MIEMBRO SUPERIOR DE SINCELEJO. (Tpm). ...	9
3.3 FORMACION BETULIA (Qpb).....	9
3.4 DEPOSITOS ALUVIALES (Qal) .....	9
4. HIDROGEOLOGÍA.....	10
4.1 GENERALIDADES .....	10
4.2 NIVELES ACUIFEROS DE LA FORMACIÓN MORROA. ....	11
5. BALANCE HÍDRICO.....	12
6. RED DE MONITOREO .....	14
6.1 MONITOREO DE NIVELES.....	14
6.2. PARÁMETROS HIDRODINÁMICOS DEL ACUÍFERO MORROA. ....	16
6.3 MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA .....	17
7. CARACTERIZACION HIDROQUÍMICA E ISOTÓPICA.....	17
7.1 HIDROQUIMICA.....	17
7.2 ISOTOPOS.....	18
7.3 HIDROQUIMICA E ISOTOPIA DEL NIVEL A.....	19
7.4 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL. ....	25
8. ACTIVIDADES FUTURAS PARA COMPLEMENTAR EL ESTUDIO.....	27

## **1. INTRODUCCION**

La principal fuente de abastecimiento de agua de los habitantes del Departamento de Sucre los constituyen las aguas subterráneas, las cuales son captadas por medio de pozos profundos, pozos artesanos o manantiales.

Uno de los acuíferos más importantes, es el acuífero Morroa, el cual constituye la única fuente de abastecimiento de agua potable más asequible, de donde se abastecen más de quinientos mil (500.000) habitantes de las zonas urbanas y rurales de los Municipios de Ovejas, Los Palmitos, Morroa, Corozal, San Juan de Betulia, Sincelejo y Sampués.

El principal problema lo constituye la degradación del recurso por sobreexplotación y posible contaminación por actividades antrópicas. Lo primero se evidencia por el descenso continuo del nivel del agua en los pozos, el cual registra una tasa de descenso de 4 m/año en la mayoría de los pozos y en otros de hasta 17 m/año, poniendo en serio peligro la sostenibilidad del recurso. Con respecto a lo segundo, el acuífero de Morroa presenta una vulnerabilidad alta a la contaminación y se ha detectado varios fuentes potenciales de contaminación sobre la zona de recarga como: los vertimientos de aguas residuales en algunos arroyos que atraviesan la zona de recarga (Arroyo Grande de Corozal y Arroyo Morroa); la disposición inadecuada de residuos sólidos; el desarrollo urbanístico en las zonas de recarga del acuífero (los cascos urbanos de los Municipios de Ovejas, Los Palmitos, Corozal, Morroa, Sincelejo y Sampués); las estaciones de gasolina y los cementerios; las actividades agrícolas y ganaderas; los pozos abandonados sin sellar o inadecuadamente sellados.

La problemática se debe en parte al manejo no planificado del acuífero; que se traduce en una explotación intensiva, poco técnica y no controlada; pero la causa mas incidente, es la carencia de un Plan de Manejo concertado con los actores beneficiados del recurso que garantice la sostenibilidad del agua subterránea al futuro.

Teniendo en cuenta lo anterior, la Corporación Autónoma Regional de Sucre, CARSUCRE, se encuentra Formulando el Plan de Manejo de Aguas Subterráneas, PMAS, del acuífero, en el sector Sincelejo, Corozal y Morroa, con el apoyo del Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA, el Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MVDT, la asesoría permanente del INGEOMINAS, la colaboración del IDEAM y la participación de la Gobernación de Sucre, Universidad de Sucre, CECAR y el municipio de Morroa.

El propósito del proyecto es garantizar la sostenibilidad de la oferta del agua subterránea en calidad y cantidad para consumo humano, usos agropecuarios, industriales y comerciales, bajo los principios de equidad y eficiencia.

La principal estrategia que se ha empleado es el fortalecimiento institucional de la Corporación Autónoma Regional de Sucre, CARSUCRE, en el manejo integrado del agua subterránea para disminuir a través de un proceso de gestión participativa el riesgo de degradación del recurso.

Los principales resultados esperados son:

Mejoramiento de la capacidad institucional de planificación de la Corporación Autónoma Regional de Sucre, CARSUCRE, para asegurar la sostenibilidad de los acuíferos.

Un Plan de Manejo Integrado de Aguas Subterráneas formulado e implementado exitosamente por CARSUCRE con la participación activa de la comunidad, para prevenir la degradación del recurso.

Un Modelo hidrogeológico del acuífero Morroa elaborado y confirmado a partir de la información geológica, geofísica, hidrogeológica, hidráulica, hidroquímica e isotópica.

## 2. GENERALIDADES

### 2.1. LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

El Departamento de Sucre se encuentra localizado en la parte nor-occidental de Colombia, en la región de la Costa Caribe. El área de estudio está localizada en la parte central del Departamento y comprende los Municipios de Ovejas, Los Palmitos, Corozal, Morroa, Sincelejo y Sampués; tiene un área total de 1120 km<sup>2</sup>, ubicada dentro de las coordenadas geográficas X1=1'500.000, X2=1'540.000, Y1=846.000 y Y2=880.000.

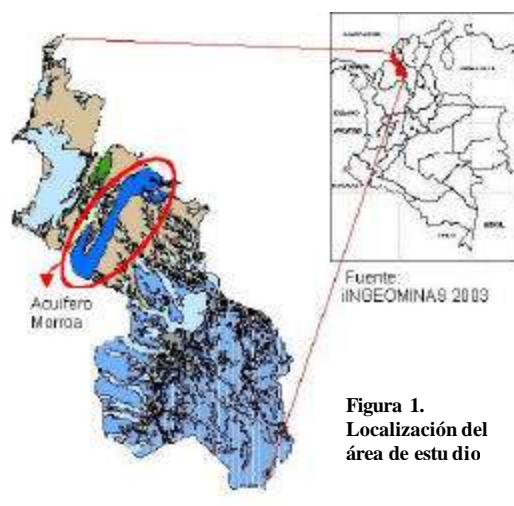


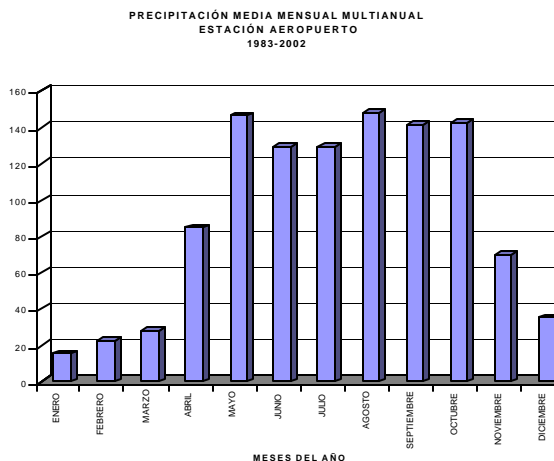
Figura 1.  
Localización del  
área de estudio

### 2.2. HIDROLOGIA

**2.2.1 Hidrografía.** La red hidrográfica del área de estudio está conformada por un sistema de corrientes superficiales temporales (solo llevan agua en las épocas de lluvia). Las corrientes que tienen agua perenne, es porque llevan aguas residuales domésticas e industriales, como el Arroyo Grande de Corozal, el cual recibe las aguas negras de Los Municipios de Sincelejo, Corozal y Morroa; el Arroyo Caracolí, sobre el cual se vierten las aguas residuales del Municipio de Los Palmitos; el Arroyo Canoas, donde se vierten las aguas negras del Municipio de Sampués; y el Arroyo Mancomoján que lleva las aguas residuales del Municipio de Ovejas.

Todos estos arroyos, atraviesan la zona de recarga del Acuífero Morroa.

**2.2.2 Información hidroclimática.** El clima es típico de una formación alternativamente húmeda y seca, con alternancia de bosques secundarios, pocos relictos de bosque primario, matorrales y dominantes áreas de pastizales. La temperatura promedio en la zona es de 28 °C y la precipitación anual es de 1000-1200 mm. Según Holdridge, citado por De La Ossa (1998); se cataloga como bosque seco Tropical (bs-T), perteneciente al sistema Bioma Azonal de Tierras Bajas (Pedobioma de Sabanas), con formaciones climáticas de piso Isomegatérmico.”<sup>1</sup>



**2.2.3 Precipitación.** La zona presenta una precipitación media 1056 mm anuales, la cual se distribuye en forma irregular durante los meses del año (figura 2). Se distinguen dos épocas climáticas en el año: una seca de diciembre a marzo y otra lluviosa de mayo a octubre, con un pequeño veranillo en junio y julio

## 2.3 DEMANDA

Para determinar la demanda de agua de la población que se abastece del acuífero Morroa, se tomó como referencia las proyecciones de población realizadas por el DANE entre los años 1995 y 2005 y el censo de las comunidades rurales que se abastecen del acuífero Morroa, realizado por FINAGUAS en el año 2002. Con base a las proyecciones se determinó la demanda según lo exige “El reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico”<sup>2</sup>.

En la cuadro 1 se presenta los resultados de los cálculos de demanda realizados en los municipios de Sincelejo, Corozal, Morroa, Los Palmitos, Ovejas, San Juan de Betulia y Sampués.

De esta manera se obtiene que la demanda de agua total en todo el acuífero Morroa es 1340 lps, mientras que la demanda de agua en el área crítica, conformada por el campo de pozos de Sincelejo, Corozal, Morra y San Juan de Betulia, es 1057 lps equivalentes a un 78.9% de la demanda total.

## 2.4 OFERTA HÍDRICA

El sector más crítico del acuífero Morroa se encuentra en la zona del campo de pozos de los acueductos de los municipios de Sincelejo, Corozal, Morroa y Betulia; Esta zona tiene

<sup>1</sup> Cárdenas y Garrido, 1997. “Determinación del Riesgo por Contaminación Acuífero Morroa en el Área Sincelejo, Corozal, Morroa”. Tesis de Grado para optar el título de Ingenieros Agrícolas. Universidad de Sucre, Sincelejo.

<sup>2</sup> Ministerio de Desarrollo Económico, RAS 2000.

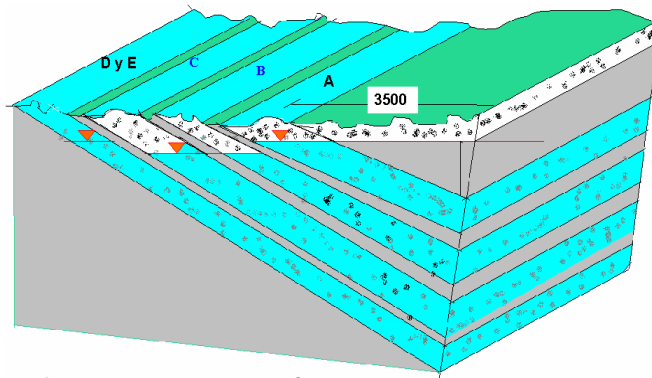
**Cuadro 1. Demanda de agua teniendo en cuenta los parámetros del RAS 2000**

Municipios	Zona	Población (hab.)	Nivel Complejidad	Dotación Neta (l/hab-día)	Año 2003			Dotación Bruta (l/hab-día)	Demanda (l/s)	Demanda (m3/día)
					Institucional, industrial (l/hab-día) 5- 10%D.N.	Corrección temperatura (l/hab-día) 15%D.N.	Dotación Neta corregida (l/hab/día)			
<b>Sincelejo</b>	<b>Cabecera</b>	251,127	Alto	180	18	27	225	281	817.47	70,629.5
	<b>Chochó</b>	3,607	Bajo	130	7	20	156	195	8.14	703.3
	<b>Las Palmas</b>	468	Bajo	120	*	18	138	173	0.93	80.8
<b>Corozal</b>	<b>Cabecera</b>	50,590	Medio Alto	160	16	24	200	250	146.38	12,647.5
	<b>Pileta</b>	1,168	Bajo	130	7	20	156	195	2.64	227.7
	<b>El Mamón</b>	1,792	Bajo	130	7	20	156	195	4.04	349.5
	<b>Cantagallo</b>	567	Bajo	120	*	18	138	173	1.13	97.8
	<b>Don Alonso</b>	1,419	Bajo	130	7	20	156	195	3.20	276.7
	<b>Las Tinas</b>	527	Bajo	120	*	18	138	173	1.05	91.0
<b>Morroa</b>	<b>Cabecera</b>	9,423	Bajo	150	15	23	188	234	25.56	2,208.5
	<b>Las Flores</b>	430	Bajo	120	*	18	138	173	0.86	74.3
	<b>Bremen</b>	908	Bajo	120	*	18	138	173	1.81	156.6
	<b>S. Cali</b>	667	Bajo	120	*	18	138	173	1.33	115.1
	<b>Las Hatos</b>	205	Bajo	100	*	15	115	144	0.34	29.5
	<b>El Rosario</b>	145	Bajo	100	*	15	115	144	0.24	20.8
	<b>El Rincón</b>	245	Bajo	100	*	15	115	144	0.41	35.2
	<b>Cambimba</b>	100	Bajo	100	*	15	115	144	0.17	14.4
<b>Los Palmitos</b>	<b>Total</b>	28,632	Medio Alto	150	15	23	188	234	77.67	6,710.6
<b>Ovejas</b>	<b>Total</b>	29,602	Medio Alto	150	15	23	188	234	80.30	6,938.0
<b>Sampués</b>	<b>Total</b>	45,959	Medio Alto	150	15	23	188	234	124.67	10,771.6
<b>S. J. Betulia</b>	<b>Total</b>	15,188	Medio Alto	150	15	23	188	234	41.20	3,559.7
<b>TOTAL</b>		<b>442,769</b>							<b>1,340</b>	<b>115,737.9</b>

\* Para las poblaciones pequeñas no se hizo corrección por el aspecto Institucional e Industrial.

un ancho promedio de 7 km. y se extiende desde el sur de los Palmitos hasta el norte el corregimiento de Don Alonso a lo largo de 19 km., ocupando una superficie de 131 km<sup>2</sup> aproximados.

Para calcular la oferta hídrica en este sector del acuífero Morroa se calcularon las reservas elásticas y de almacenamiento de cada una de los niveles acuíferos, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones (Ver figura 3): Tanto los niveles acuíferos como el buzamiento que presentan cada uno son continuos y constates; debido a que los resultados isotópicos, de



**Figura 3. Esquema acuífero Morroa**

infiltración y permeabilidad y balances hídricos, indican una recarga muy baja (7 a 34 mm/año), se consideró una recarga nula; se toma como referencia el coeficiente de almacenamiento para cada capa, el calculado en los pozos que característicamente captan cada una estas; el espesor promedio de las capas permeables y la porosidad sea tomó de los informes presentados por FINAGUAS y CARSUCRE (2001); no se tuvo en cuenta el posible goteo a partir de las capas semipermeables que separan los niveles acuíferos y el goteo desde la Formación Betulia suprayacente. Y se asumió una franja lateral de 3,5 km. hacia el este desde el afloramiento del nivel A; no obstante por obvias razones toda esta cantidad de agua almacenada no se puede extraer, por lo que se estima que el máximo nivel dinámico que se pueda alcanzar no debe sobrepasar los 200 metros para que la explotación del acuífero sea técnica, económica y ambientalmente posible. De esta forma las reservas explotables del acuífero se muestran en el cuadro 2<sup>3</sup>

**Comentario:** Incluir diagrama y no colocar la tabla sino los resultados y la referencia es la tesis

**Cuadro 2. Reservas del acuífero Morroa, sector Sincelejo, Corozal y Morroa.**

<b>Nivel</b>	<b>Reservas elásticas (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Reservas Almacenadas (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Reservas Totales (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Reservas Explotables (m<sup>3</sup>)</b>
<b>A</b>	7'390.759	1.444'950.000	1.452'340.759	419.587.522
<b>B</b>	4'037.866	957'885.000	961'922.866	149.926.366
<b>C</b>	23'958.003	319'295.000	343'253.003	56.451.106
<b>D y E</b>	3'127.560	525'616.000	528'743.560	93.726.841
<b>Total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>38'514.188</b>	<b>3.247'746.000</b>	<b>3.286'260.188</b>	<b>719.691.835</b>

<sup>3</sup> Herrera, Pacheco y Villegas, 2003 "Caracterización Hidráulica del Acuífero Morroa a través de Pruebas de Bombeo". Universidad de Sucre, Sincelejo

### 3. GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO

En el Departamento de Sucre afloran rocas sedimentarias y sedimentos no consolidados de origen marino, transicional y continental, con edades que van desde el Cretáceo Superior al Cuaternario. En la zona de estudio la principal Formación que aflora es la Formación Morroa la cual suprayace a la Formación Sincelejo Superior e infrayace a la Formación Betulia (figura 4).

#### 3.1 FORMACION SINCELEJO.

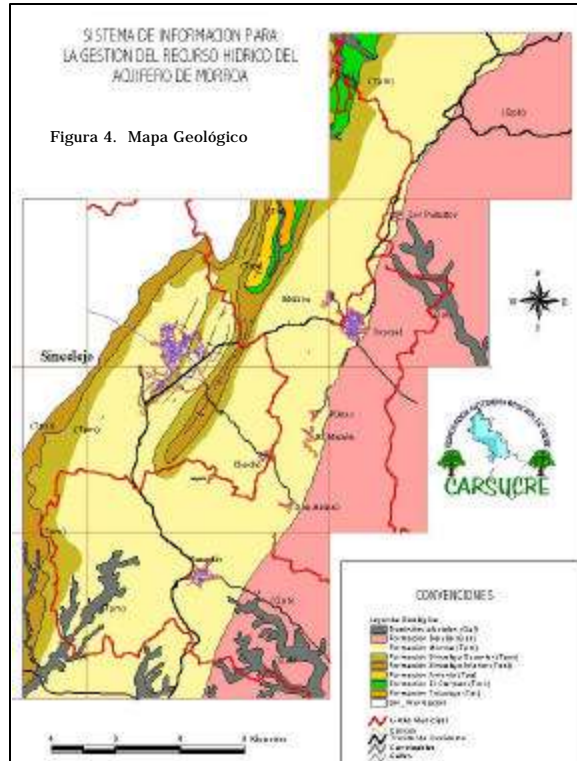
Aflora en la zona central y occidental del área de estudio, conformando un sistema de colinas alargadas en dirección noreste, de topografía abrupta, con pendientes muy fuertes y vertientes cortas; son comunes los caballetes. Esta formación se compone de dos conjuntos principales que son:

**3.1.1 Formación Sincelejo Inferior (Tpsi).** En la parte occidental y norte se encuentra conformando los flancos de un pliegue anticlinal y en la parte central el núcleo del anticlinal de Sincelejo. "...Litológicamente consta de un conjunto de areniscas arcillosas 8"sucias" con cemento arcilloso-calcareo, capas conglomeráticas y un conjunto arcilloso..."<sup>4</sup>

#### 3.1.2 Formación Sincelejo Superior

**(Tpss).** Está conformada "...por una serie de areniscas micáceas de grano fino a medio, poco cementadas con cemento arcilloso, alternando con areniscas conglomeráticas compuestas por cantos de liditas y cuarzo, mejor cementados, donde el cemento calcáreo es dominante"<sup>5</sup>.

Estructuralmente esta formación se encuentra suprayaciendo la Formación Sincelejo Inferior e infrayaciendo la Formación Morroa; conformando los flancos de los pliegues anticlinales y sinclinales que afectan a formaciones de origen marino mas antiguas (Formaciones Toluviejo, Tet, y El Carmen, Tmc). Es muy característico el gran control estructural que presenta por lineamientos y fracturas. Al igual que la Formación Sincelejo Inferior es muy pobre en cuanto a producción de agua, la cual generalmente es de regular calidad físico- química.



<sup>4</sup> Estudio Hidrogeológica del Flanco Nororiental de la Serranía de San Jacinto y de la Zona Litoral del Golfo de Morrosquillo. Tomo I: Generalidades Geología. Convenio Colombo-Holandés. Bogotá, 1991. Pág. 11.\_

<sup>5</sup> Ibid., p. 12.

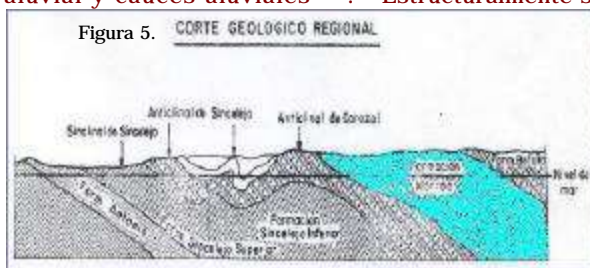


Recientemente, Clavijo y Otros (citados por Barrera, 2002), proponen dividir la Formación Sincelejo en un Miembro Inferior que incluye el Sincelejo Inferior y Superior de Kassem y un Miembro Superior que incluye la Formación Morroa.

A la Formación Sincelejo se le ha asignado en base a fauna una edad Plioceno (Werenfels, 1926), Mioceno superior - Plioceno (D' PORTA, 1962) y Plioceno Superior alto (Duque-Caro).

### 3.2. FORMACIÓN MORROA O MIEMBRO SUPERIOR DE SINCELEJO. (Tpm).

Aflora en toda la zona de estudio, formando una franja amplia y alargada que se extiende en dirección N 10° E, con un promedio de 3 km de ancho. Es sobre esta formación que se encuentran localizada las cabeceras municipales de Sincelejo, Corozal, Morroa, Los Palmitos y Sampués. Se caracteriza por presentar una topografía ondulada formada por un sistema de colinas bajas alargadas, de pendientes suaves a moderadas y vertientes cortas, alternando con valles pequeños poco profundos. Litológicamente esta formación está constituida principalmente por "capas de areniscas friables y conglomerados poco consolidados, intercalados con capas de arcillolitas, producto de la sedimentación detrítica en un ambiente típico de abanico aluvial y cauces aluviales"<sup>6</sup>. Estructuralmente se encuentra conformando un gran monoclinial (Figura 5) con rumbo N 25° E y buzamientos variables desde 5° a 20° al SE. El buzamiento aumenta hacia la base, a medida que se acerca al contacto con la Formación Sincelejo Superior, a la cual suprayace aparentemente en forma discordante.



### 3.3 FORMACION BETULIA (Qpb).

Aflora en la parte oriental del área de estudio, y se encuentra suprayaciendo en aparente concordancia a la Formación Morroa. Se caracteriza por presentar colinas muy suaves de poca altura con topografía plana a ligeramente ondulada que descienden ligeramente hacia el sureste, morfología típica de las Sabanas Sucre. Litológicamente está constituida por una secuencia monótona de arcillas abigarradas con intercalaciones de arcillas arenosas, arcillas con gravas y delgadas capas y lentes de arenas arcillosas. INGEOMINAS (200), ha propuesto subdividir la unidad en un conjunto arcilloso hacia la base y un conjunto arenoso hacia la parte superior.

### 3.4 DEPOSITOS ALUVIALES (Qal)

Se localizan a lado y lado de los principales arroyos de la zona; en general son de poco espesor y están formados por arenas sueltas, gravas, arcillas y limos, producto de la sedimentación detrítica de estas corrientes. El principal depósito aluvial es el de los

<sup>6</sup> HERRERA, P. Héctor M. Vulnerabilidad a la contaminación del Acuífero de Morroa. V Foro Institucional sobre el Agua Subterránea. ACOAGUA, Santafé de Bogotá: 1994.

Arroyo Corozal, Canoas (al sur) y Mancomoján (al norte), que atraviesa una parte de la zona de recarga del acuífero.

Se caracterizan por una serie de arenas mal gradadas, con intercalaciones de arcillas con espesores que varían entre 0 y 15 metros.

#### 4. HIDROGEOLOGÍA

##### 4.1 GENERALIDADES

El acuífero de Morroa, es un acuífero complejo, continuo y de extensión regional, constituido por capas semiconfinadas y confinadas de areniscas y conglomerados poco consolidados, intercalados con capas de arcillolitas, producto de la sedimentación detrítica en un ambiente típico de abanico aluvial y cauces aluviales. Estructuralmente este acuífero se encuentra dispuesto en forma monoclinal con dirección general N 25° E y buzamientos entre 5 y 20° hacia el oriente (figura 5) Tiene un espesor variable de hasta 500 m y se han calculado transmisividades entre 7.5 y 603 m<sup>2</sup>/día<sup>7</sup>, conductividades hidráulicas entre 4 y 12 m/día<sup>8</sup> y coeficientes de almacenamiento del orden de 1.1 x 10<sup>-3</sup> y 1.1 x 10<sup>-4</sup>

El agua de este acuífero es considerada apta para el consumo humano, de acuerdo a las normas establecidas por el Ministerio de Salud en el Decreto 1594/84 y se han clasificado como aguas bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas sódicas (INGEOMINAS, 1992). Según los resultados de los estudios realizados por CARSUCRE a finales del año 2000<sup>9</sup>, la explotación del acuífero de Morroa, en el sector de Sincelejo, Corozal y Morroa, es muy intensa y se ha concentrado en una zona específica (campo de pozo de Corozal). Actualmente en esta área, existen 30 pozos profundos activos, 7 inactivos y 36 abandonados con profundidades entre 150 y 400 m, los cuales, extraen caudales entre 5 y 60 lit/seg., para un caudal total de extracción de 650 lit/seg, con un régimen de bombeo de 24 horas continuas. Los niveles estáticos se encuentran entre 50 y 85 m de profundidad y los niveles de bombeo entre 80 y 120 m. El descenso promedio de los niveles estáticos medidos dentro de los pozos está entre 4 m/año y 15 m/año.

Teniendo en cuenta la descripción hidrogeológica de la Formación Morroa, realizada por INSFOPAL en la década del 70, el estudio hidrogeológico realizado por el INGEOMINAS en el 1992, las tesis de grado

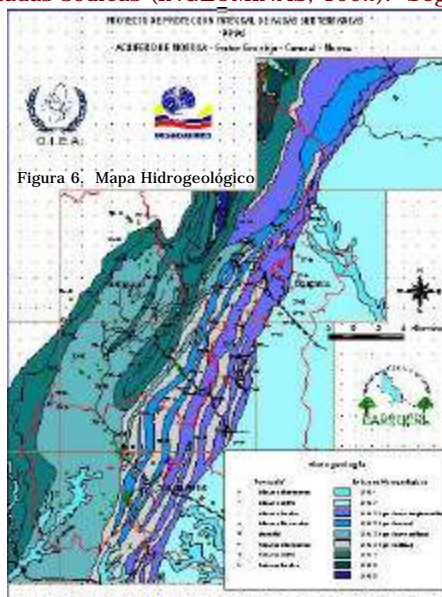


Figura 6. Mapa Hidrogeológico

<sup>7</sup> INGEOMINAS, 1992. Evaluación Hidrogeológica del Acuífero de Morroa.

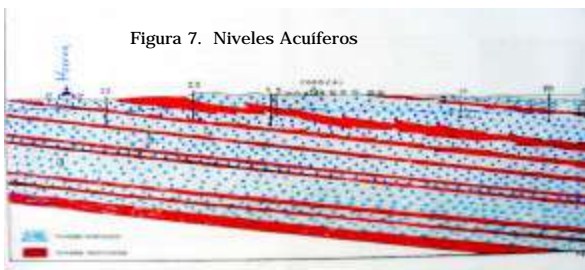
<sup>8</sup> Pacheco y Villegas, 2003. Caracterización Hidráulica del Acuífero Morroa. Universidad de Sucre, CARSUCRE, Sincelejo.

<sup>9</sup> FINAGUAS, 2000. Sistema de Información para la Gestión del Acuífero de Morroa. Sincelejo.

desarrolladas por estudiantes de la Universidad de Sucre, los estudios hidrogeológicos realizados por consultores particulares, FINAGUAS, la información de las perforaciones, se subdividió el Acuífero de Morroa en cuatro grupos principales: Morroa Areno-conglomerática: la conforman los niveles acuíferos A y B; Morroa Arenosa: corresponde con los niveles acuíferos C y D; Morroa Areno-arcillosa: Constituida por los niveles E y F; Morroa Arcillosa: La conforman las capas y lentes de arcilla que separan los niveles acuíferos de la formación (Ver figura 6 y 7).

#### 4.2 NIVELES ACUÍFEROS DE LA FORMACIÓN MORROA.

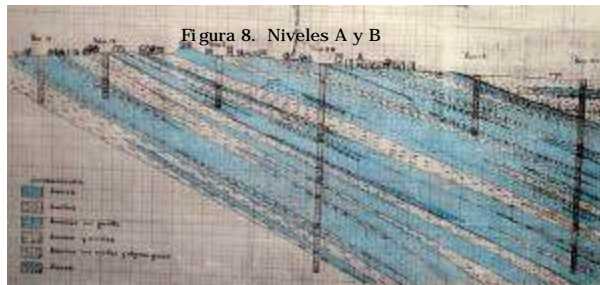
**Nivel Acuífero A.** Este nivel se encuentra hacia el techo de la Formación Morroa, en contacto con la Formación Betulia y se correlaciona con los niveles A y B definidos en el estudio del INSFOPAL. El casco urbano de los Municipios Corozal y de Los Palmitos se encuentra sobre este nivel acuífero y las comunidades de Pileta, El Mamón y Don Alonso.



Litológicamente está compuesto por areniscas líticas de grano fino hasta grueso de color gris claro y pardo, con lentes conglomeráticos y algunas capas y lentes de arcillas. El espesor de las capas permeables varía entre 30 a 226 m., con buzamientos hacia el oriente entre 5 y 10°. Presentan una permeabilidad primaria alta y tiene una disposición

estructural favorable a la recarga y al almacenamiento de agua subterránea. Con pruebas de bombeo se han calculado conductividades hidráulicas de 2.8 m/día. Desde el sector de Piletas hasta Don Alonso se subdividen en tres niveles acuífero A1, A2 y A3, que luego se unen para conformar un solo nivel en el área de Sampués y subdividiéndose hacia el sur (Chinú) en dos niveles.

**Nivel Acuífero B.** Este nivel se encuentra debajo del nivel A, separado de ésta por un lente de arcilla y se correlaciona con los niveles C y D definidos en el estudio del Insfopal. El casco urbano del Municipio de Morroa y el corregimiento de Chochó se encuentra sobre este nivel acuífero. Litológicamente está



compuesto por areniscas muy friables de grano fino a medio de color amarillo a ocre, con lentes y capas de gravas sueltas hacia el techo y delgadas capas de arcilla finamente estratificadas. El espesor de las capas permeables varía entre 38 y 164 m., con buzamientos hacia el oriente entre 10° y 15°. Presentan una permeabilidad primaria moderada a alta y tiene una disposición estructural favorable a la recarga y al almacenamiento de agua subterránea. Con pruebas de bombeo se han calculado conductividades hidráulicas de 0.5 m/día. Hacia el sur en el área de Sampués se subdivide en los niveles acuífero B1 y B2. Este nivel acuífero es el que presenta una mayor explotación en el área de estudio.

**Nivel Acuífero C.** Este nivel se encuentra debajo del nivel B, separado de ésta por una capa de arcilla y se correlaciona con los niveles E y F definidos en el estudio del INSFOPAL. Litológicamente está constituido por areniscas líticas finas de color gris, areniscas líticas medias ferruginosas, lentes y capas de gravas de color gris amarillento areniscas arcillosas muy friables y algunos lentes de arcillolitas. El espesor de las capas permeables varía entre 40 y 60 m., con buzamientos hacia el oriente 15°. Presentan una permeabilidad primaria alta y tiene una disposición estructural favorable a la recarga y al almacenamiento de agua subterránea. Este nivel también se explota, sobre todo en la zona norte, por medio de canteras para la extracción de materiales de construcción.

**Niveles Acuíferos D y E.** Están separados del nivel acuífero C por una capa de arcilla y entre sí por un lente arcilloso. Se correlacionan con el nivel G definido en el estudio del INSFOPAL. Litológicamente está constituido por areniscas líticas medias de color amarillo grisáceo algo consolidadas, areniscas finas arcillosas, algunos lentes conglomeráticos y lentes arcillosos. El espesor de las capas permeables varía entre 40 y 50 m. para el nivel D y de 40 a 60 m. para el nivel E, con buzamientos hacia el oriente de 15°. Presentan una permeabilidad primaria baja a moderada (nivel D) y moderada a alta (nivel E) y tienen una disposición estructural favorable a la recarga y al almacenamiento de agua subterránea. El pozo 44-IV-C-PP-06 capta la parte media superior del nivel D; y el pozo 44-IV-D-PP-39 capta los dos niveles acuíferos D y E, con caudal de 20 l/seg. Aproximadamente a 2 km estos niveles acuíferos en superficie se unen con el C prolongándose en forma de franja delgada 3 km al norte de Los Palmitos, de donde vuelven a ampliarse, haciéndose difícil su diferenciación.

**Nivel Acuífero F.** Se encuentra ubicado hacia la base de la Formación Morroa aflorando desde el noroccidente del casco urbano de Morroa hasta el sur del corregimiento de Bremen. Está separado del nivel acuífero E por una capa de arcilla y entre sí por lentes arcillosos. Se correlacionan con el nivel H definido en el estudio del INSFOPAL. Litológicamente está constituido por areniscas líticas finas a medias algo consolidadas, areniscas finas arcillosas dentro de las cuales son comunes las concreciones endurecidas de areniscas calcáreas, algunos lentes conglomeráticos consolidados y lentes arcillosos, con buzamientos hacia el oriente entre 15 y 25°. El espesor de las capas permeables se desconoce debido a que es la base de la Formación Morroa y no se han reportado pozos profundos que capten este nivel. Por sus características litológicas se presume una permeabilidad primaria baja y una disposición estructural favorable a la recarga y al almacenamiento de agua subterránea. Actualmente es captado por 5 pozos artesanos de poca profundidad y calidad organoléptica buena. Durante el trabajo de campo se reportaron dos manantiales de este nivel acuífero (44-IV-C-MA-03 en el sector de Las Flores y el 44-IV-C-MA-01 en el sector de La Peñata). Como se puede observar en el mapa hidrogeológico, en la zona comprendida entre Los Palmitos hasta El Piñal, los niveles acuíferos diferenciados en la parte central y sur no tienen continuidad al norte porque aún no se han hecho estudios hidrogeológicos detallados que permitan diferenciarlos.

## 5. BALANCE HÍDRICO

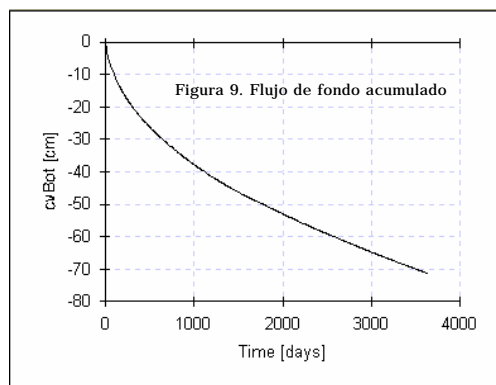
En el acuífero Morroa se han realizado varios balances hidrológicos sencillos, teniendo en cuenta la precipitación, la escorrentía y la evapotranspiración. De todos estos parámetros la precipitación es el que tiene más datos y de mayor confiabilidad. Aunque no se tienen

mediciones directas de la escorrentía, se han hecho buenas aproximaciones teniendo en cuenta la topografía y el tipo de suelos. La evapotranspiración es el parámetro más difícil de calcular y en los balances presentados se ha determinado a partir de los datos de evaporación, humedad relativa, temperatura, velocidad del viento, de la estación del Aeropuerto de Corozal y aplicando diferentes fórmulas, como la de García López, Tornethwaitwaite y Turc, etc.,

El INSFOPAL (1980), reporta para la cuenca del Arroyo Corozal en un área de 702 km<sup>2</sup>, una infiltración eficaz de 34 mm. INGEOMINAS (1992), hace el balance hídrico para varios tramos del acuífero así:

<b>Zona del Acuífero Morroa</b>	<b>Recarga anual (mm)</b>
Corozal - Los Palmitos - El Bongo	115.2
Ovejas	179
Chinú - Sampués - Sincelejo	92.9
Chochó - Morroa - Corozal	59.3

Para FINAGUAS (2001), la recarga calculada a partir de un balance hidrológico sencillo es de 39.8 mm/año.



Como resultado del trabajo realizado en el Taller sobre Recarga de Acuíferos, realizado en Cali en abril del 2003, se hizo una modelación para determinar la recarga del acuífero, utilizando el software HYDRUS - 1D Versión 2.0. Para esta simulación se introdujeron datos diarios de precipitación y evaporación de 10 años, datos de la textura de los materiales encontrados en un apique y completados con los datos de la perforación de un piezómetro. Los resultados obtenidos indican que la recarga en el punto considerado durante los 10 años fue 70 mm/año.

Rodríguez et al (2003 en preparación), calcularon para once (11) puntos sobre la zona de recarga del Acuífero de Morroa infiltraciones lentas a moderadamente rápidas. Generalmente los 20 primeros cm del suelo están muy compactos por mal manejo de la tierra con prácticas agrícolas y ganaderas inadecuadas.

Cuando se compara la cantidad de agua que se extrae actualmente en el acuífero con los datos de recarga calculados en la zona de Sincelejo, Corozal y Morroa, se evidencia claramente la intensa explotación a que está actualmente sometido el acuífero, lo que explica los descensos continuos en los pozos.

## 6. RED DE MONITOREO

Con la asesoría del Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero Ambiental y Nuclear, INGEOMINAS y un experto del Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA, se diseñó la red de monitoreo para el acuífero de Morroa, con el fin de hacer seguimiento a los niveles del agua del acuífero y a la calidad del mismo.

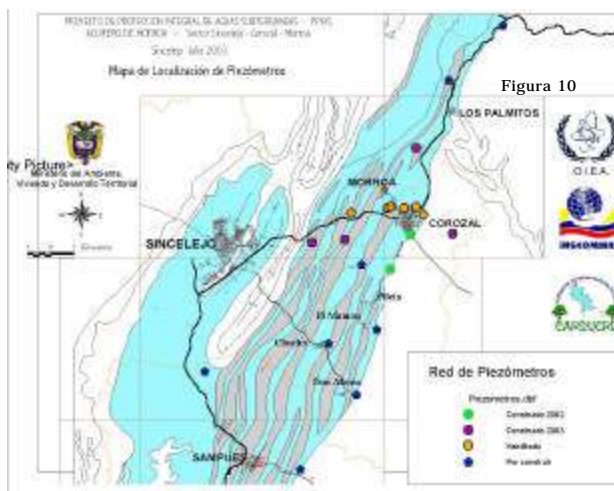
Lo que se pretende con esta red de monitoreo es obtener una serie histórica de datos de niveles y de calidad del agua, que permitan conocer las variaciones temporales y espaciales de la calidad del agua y del flujo del agua dentro del acuífero, y así, poder definir las acciones que se deben implementar a corto, mediano y largo plazo, para evitar el deterioro del recurso, tanto en calidad como en cantidad.

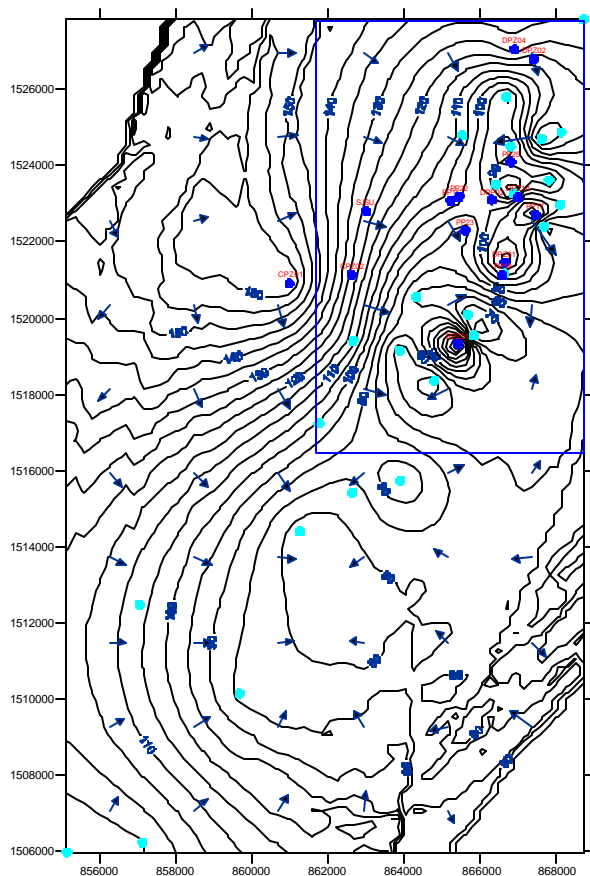
Esta red de monitoreo está compuesta por: 13 piezómetros, seis de los cuales eran pozos abandonados que CARSUCRE habilitó como piezómetros (ver figura 10); y los otros siete fueron construidos por CARSUCRE, con la firma Pozoscol Ltda. y en convenio con la Gobernación de Sucre; cuarenta y tres pozos de producción, y dos totalizadores de aguas lluvias.

Los piezómetros se han localizado de forma estratégica, de tal manera que sirvan para monitorear el acuífero tanto en sentido E-W como N-S y determinar relación aguas superficiales-aguas subterráneas, comprobar la existencia de aporte de aguas residuales del arroyo Grande de La Sabana al acuífero Morroa; determinar si hay aporte de lixiviados que se generan en el basurero de Corozal, el cual se encuentra sobre la zona más permeable del acuífero Morroa Tanto a los pozos como a los piezómetros se les ha tomado muestras para análisis físico - químicos, de metales y de isótopos como oxígeno 18, deuterio, tritio y algunos de carbono 14; También hacen parte de esta red de monitoreo dos estaciones pluviométricas, una ubicada en ovejas y otra en corozal, a las cuales se les hizo análisis de oxígeno 18 y deuterio cada mes durante un año, con el fin de elaborar la línea meteórica local.

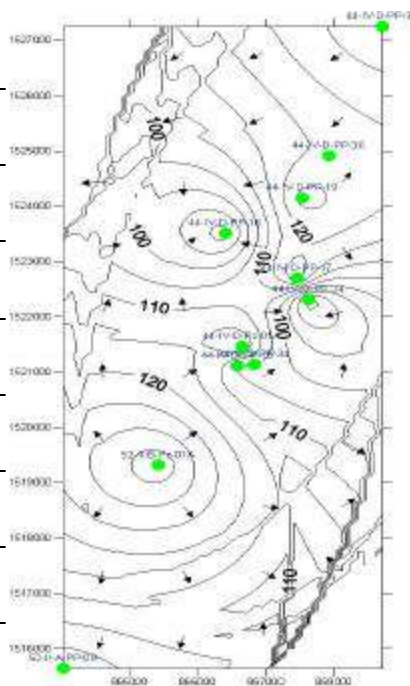
### 6.1 MONITOREO DE NIVELES.

Para el monitoreo de los niveles, la red la conforman 44 puntos, de los cuales 13 son piezómetros y 31 son pozos de producción debidamente instrumentados. En la figura 11 se presenta el mapa de isoniveles de todos los puntos, incluyendo pozos y piezómetros y en la figura 12 el mapa de la superficie del agua, utilizando los niveles de los piezómetros solamente.





**Figura 11. Mapa piezométrico del acuífero Morroa con datos de pozos de producción**



**Figura 12. Mapa piezométrico con medidas de Piezómetros.**

**Variación espacial de los niveles:** Como puede observarse la dirección general del flujo natural del acuífero (nw - se) ha sido modificada localmente por los pozos de bombeo, sobre todo en la zona del campo de pozos de Sincelejo, Corozal y Morroa. Esto evidencia la explotación intensiva del acuífero en esta zona (figura 11). En el mapa de isoniveles del Nivel acuífero A (figura 12), los pozos de bombeo también generan modificaciones a las líneas de flujo. En este mapa es interesante observar la zona de recarga que hay alrededor del piezómetro 52-II-B-PZ-01, generada posiblemente por los sistemas de riego que hay en las fincas de los alrededores.

**Variación temporal de los niveles:** el monitoreo continuo de los niveles a los pozos de producción, ha permitido calcular las tasas de descenso para periodos continuos de explotación de los pozos, y evidencian claramente cuál es el sistema de explotación más adecuado. En la figura figura 13 se presenta la variación de los niveles del pozo 52-II-A-PP-15, durante un año de monitoreo, calculándose una tasa de descenso de 4 m/año.

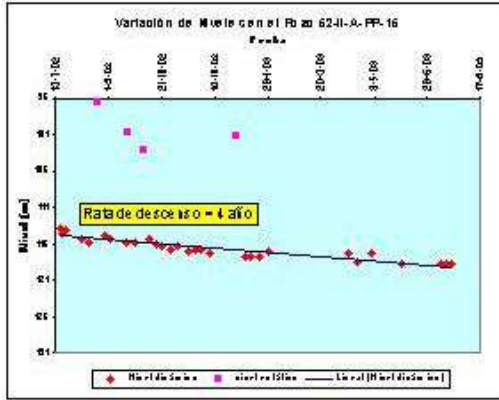


Figura 13. Variación de niveles Pozo 52-II-A-PP-15

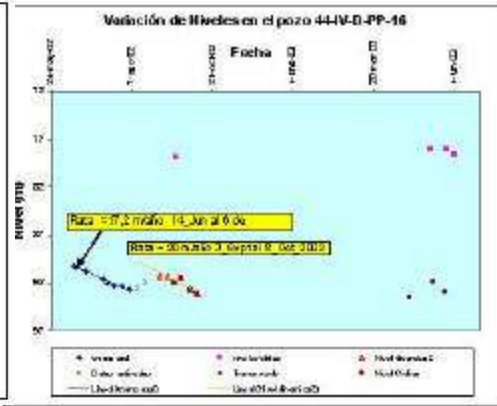
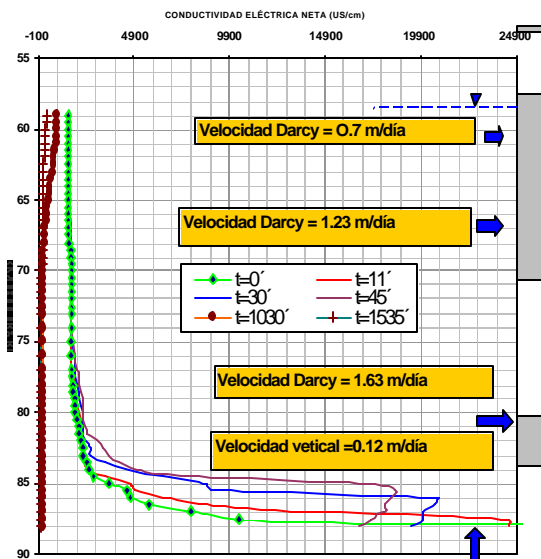


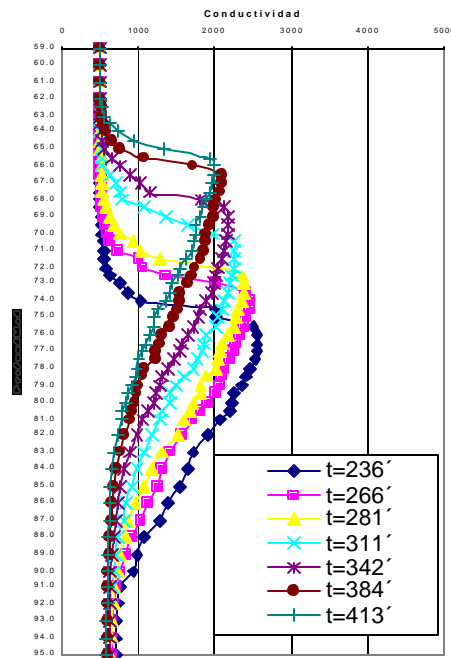
Figura 14. Variación de niveles Pozo 44-IV-D-PP-16

En el caso del pozo 44-IV-D-PP-16 (figura 14) que es el único pozo legalizado de Aguas de la Sabana, puede notarse que mientras el pozo ha sido explotado con un régimen de bombeo continuo, los descensos son considerables, llegándose a calcular ratas de descenso de 17.2 y 20 m por año. Es importante señalar que desde que este pozo se está explotando cíclicamente, con un régimen de bombeo de 18 horas/día, no se presentan descensos considerables.

## 6.2. PARÁMETROS HIDRODINÁMICOS DEL ACUÍFERO MORROA.



Gráfica 15 y 16. Variación de la concentración de NaCl en el piezómetro 44-IV-D-PZ-22. A) Marcado de toda la columna. B) Inyección puntual.





Se realizó en el piezómetro 44-IV-D-PP-22 un ensayo de dilución con marcado de toda la columna (gráfica 15) y un ensayo de dilución puntual, utilizando como trazador NaCl (figura 16).

El flujo horizontal tiene magnitud de hasta 1.63m/d, lo que indica la alta conductividad hidráulica de la franja de acuífero que lo alimenta. La presencia de flujos verticales se debe a los diferentes niveles acuíferos que alimentan al pozo, además indica que estos tienen diferente confinamiento.

En presencia de flujo vertical en un pozo, la velocidad de ascenso o descenso se ve afectada por los diferentes tramos de filtros que tenga el pozo, entre más tramos tenga este el valor calculado de velocidad va a ser menor debido a la pérdida de trazador que se da en cada tramo. En caso de entrada de un agente contaminante al acuífero se podrá estimar el desplazamiento de este utilizando las velocidades halladas en estos ensayos.

### 6.3 MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Hasta el momento se han realizado dos campañas de monitoreo de calidad de agua en el acuífero Morroa, una a principios de abril del 2002 y otra en abril de 2003. En el capítulo siguiente se presentan los resultados y análisis de estos monitoreos.

## 7. CARACTERIZACION HIDROQUÍMICA E ISOTÓPICA

### 7.1 HIDROQUÍMICA

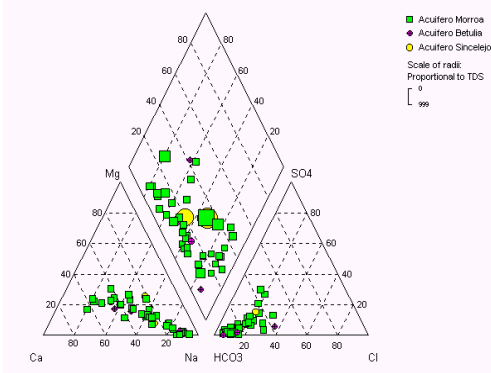


Figura 17. Diagrama de Piper

Los resultados de la primera campaña realizada en abril de 2002, muestran la existencia de dos grupos principales de agua, una bicarbonatada cálcica y otra bicarbonatada sódica. El proceso químico dominante en el acuífero es el intercambio iónico de Ca por Na (figura 17). Es importante anotar que las aguas de la mayoría de los pozos de la zona de Corozal, Sincelejo y Morroa que captan aguas hasta los 120 m de profundidad son bicarbonatadas cálcicas y la de los pozos mas profundos son bicarbonatadas sódicas.

Sin embargo, esta relación no se cumple para los pozos de Ovejas (al norte), porque la granulometría es más gruesa con tiempo de residencia menores; ni para el sector de Sampedrés (al sur), debido probablemente a que se han alcanzado las condiciones de equilibrio.

## 7.2 ISOTOPOS

La línea meteórica local (LML) está cerca y paralela a la línea meteórica mundial de precipitación (figura 18). La ecuación de la LML es:  $d^2H = 8.3 \cdot d^{18}O + 8.3$ . Claramente puede observarse que existen dos grupos de agua, una que se encuentra sobre la línea meteórica local y otra que ha sufrido una ligera evaporación. No se encontró ninguna relación entre  $^{18}O$  y la profundidad o la conductividad, esto se debe a que los pozos muestreados están captando niveles diferentes del acuífero, es decir que hay una mezcla de aguas.

Los valores de tritio entre 0.86 y 1.67 indican que las aguas del acuífero Morroa tienen una edad mayor de 50 años. Los resultados de  $^{14}C$  muestran una actividad entre 51.9 y 87.7 %, utilizando un modelo sencillo sin mezcla de la ley de decrecimiento se determinó una edad entre 836 y 5168 años, esto indica que la recarga actual es casi inexistente, por lo tanto se tiene que cambiar el sistema de explotación actual (bombeo continuo), y se debe implementar acciones que permitan garantizar la sostenibilidad del recurso, como obras de recarga artificial, entre otras.

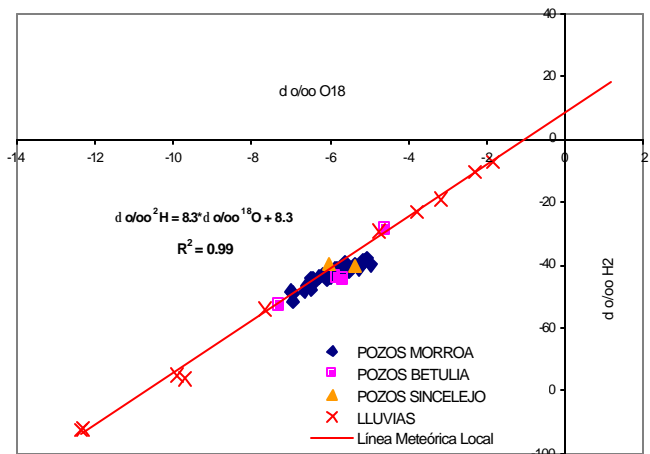
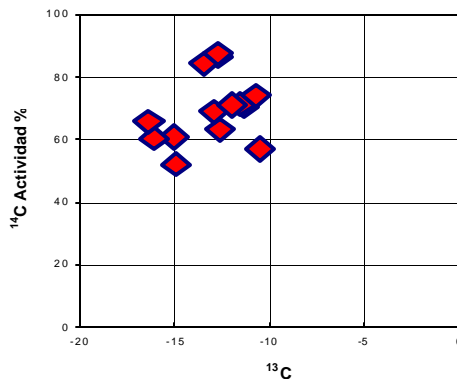


Figura 18. Relación isotópica  $^2H$  y  $^{18}O$  acuífero Morroa

Como los valores de  $^{13}C$  son relativamente negativos (entre  $-10.5$  y  $-16.4$ ) se supone preliminarmente que no hay influencia de carbonatos de origen primario (figura 19).

Figura 19. Relación  $^{14}C/^{13}C$



### **7.3 HIDROQUÍMICA E ISOTOPIA DEL NIVEL A**

Debido a que los pozos muestreados en la primera campaña captan diferentes niveles acuíferos de Morroa, se programó un muestreo de aguas para análisis hidroquímico e isotópico solamente del nivel A (nivel que se encuentra en el techo del acuífero), para mejorar el modelo hidrogeológico del acuífero. Para tal fin se seleccionaron 16 pozos para análisis fisicoquímicos y 11 pozos para análisis isotópicos de  $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{13}\text{C}$  y  $^{14}\text{C}$ .

**7.3.1. Química.** La selección del muestreo se hizo para determinar las variaciones espaciales tanto en el sentido Norte - Sur, como Oriente - Occidente. Los pozos muestreados captan el acuífero desde 65 m hasta 390 m de profundidad. En el cuadro 3 se presentan los resultados de los análisis físico-químicos.

**7.3.1.1. Interpretación de los datos según los diagramas de Stiff.** En los diagramas de Stiff (figura 20) se presentan las aguas muestreadas. Los pozos menos profundos y cercanos a la posible zona de recarga, se caracterizan por ser de tipo bicarbonatada cálcica mientras que los pozos mas profundos tienen agua bicarbonatada sódica. Las aguas de los piezómetros 44-IV-D-PZ 14 y 44-IV-D-PZ-17, que son de tipo geoquímico diferente, están asociadas con una posible contaminación. Es muy clara la diferencia entre las aguas de los pozos, el arroyo Corozal y el agua lluvia, así como la de los pozos que tienen indicios de contaminación.

**Cuadro 3. Resultados físico-químicos Nivel A**

CODIGO	LOCALIZACION	SENTIDO	X	Y	Profundidad Muestreo	Distancia Zona Recarga	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Fe (mg/l)	HCO3 (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	PO4 (mg/l)	CO3 (mg/l)	pH	TWA	Cond (umhos/cm)
52-II-B-Pz-01	Antiguo Basurero	N-S	8540001513000		62	351.3	32	10.0	36	21.4	0.2	246	17.2	4.7	0.9	0.01	0	7.5	30.3	496
44-IV-D-Pz-17	Pz Finca La Rosita	E-O	8674501522700		72	316.7	90	14.0	71	24.0	0.2	410	29.6	25.5	2.3	0.01	0	7.15	31	842
44-IV-D-PP-32	Quembor	N-S	8687101527840		86	334	22	1.6	80	13.9	0.2	285	7.9	13.4	1.0	0.06	0	6.78	30.1	515
44-IV-D-Pz-14	Troncal en Corozal	E-O	8669901523160		100	431.9	34	4.5	175	29.7	0.2	233	138	77.4	88.1	0.02	0	7.06	31.5	1252
52-II-A-PP-10	Pileta	N-S	8639801516680		106	501	34	4.2	79	18.8	0.2	290	25.2	10.5	13.5	0.01	0	7.26	31.1	640
52-II-A-PP-09	Mamón	N-S	8647001515720		108.6	383	30	10.0	40	17.6	0.2	223	13.8	7.3	0.5	0.01	0	7.55	28.5	457
44-IV-D-PP-16	Liceo	E-O	8668001524100		141.5	691.1	56	2.5	20	4.2	0.2	163	10.6	3.6	0.6	0.01	0	7.94	30.1	326
44-IV-D-PP-34	Cartagena de Indias	N-S	8666401521160		170	662.3	65	2.5	24	6.0	0.2	195	19.2	6.6	1.0	0.01	0	7.88	31.1	429
44-IV-D-PP-36	Carabineros	N-S	8681201524880		229	1030.8	27	5.5	47	11.4	0.2	220	9.2	3.7	0.7	0.07	0	7.48	30.5	406
44-IV-D-PP-24	Corazón de Jesús	E-O	8676701522400		231	869.6	85	2.5	16	1.9	0.2	163	31.6	17.8	0.5	0.02	0	8.2	30.8	452
44-IV-D-PP-28	Los Palmitos	N-S	8690901528810		72		38	10.0	109	28.0	0.2	275	62.6	30.6	66.5	0.01	0	7.17	30.1	873
44-IV-D-PP-19	Corozal	N-S			105		42	10.0	48	16.0	0.2	282	9.4	5.0	0.5	0.01	0	7.07	30.7	525
52-II-B-PP-01	Finca La Cruz	N-S	8608201506420		350		56	3.0	30	7.0	0.2	208	11.4	6.4	0.6	0.03	0	7.7	30.2	405
52-II-A-PP-07	Don Alonso	N-S	8629701511030		85		62	12.0	76	26.0	0.2	297	66.9	8.9	27.4	0.01	0	7.44	29.6	827
44-IV-D-Pz-01	Cartagena de Indias	N-S	8666401521160		65		137	13.5	55	27.5	0.2	411	92.3	40.7	4.0	0.01	0	7.37	29.4	1042
44-IV-C-Pz-01A	Bremen A				15		170	1.3	8.5	0.3	0.2	155	102	53.9	0.5	0.30	33.4	8.85	29	802
44-IV-C-Pz-01B	Bremen B				65		200	1.5	20	2.4	0.2	375	59.2	9.8	0.5	0.12	22.9	8.04	29.5	899
Arroyo Grande	Ay. Bremen						175	44.5	69	13.3	0.2	532	133	9.6	1.5	12.5	0	7.64	29.2	1505
Arroyo Grande	Salida Corozal-Betulia						165	41.0	61	14.1	0.2	528	135	12.0	1.9	10.2	0	7.77	31.6	1438
Lluvias	Agua lluvia Corozal Sep		8675911524693				0.9	1.6	2.8	0.4	0.2	5.1	2.1	0.7	3.0	0.19	0	6.98		19.1

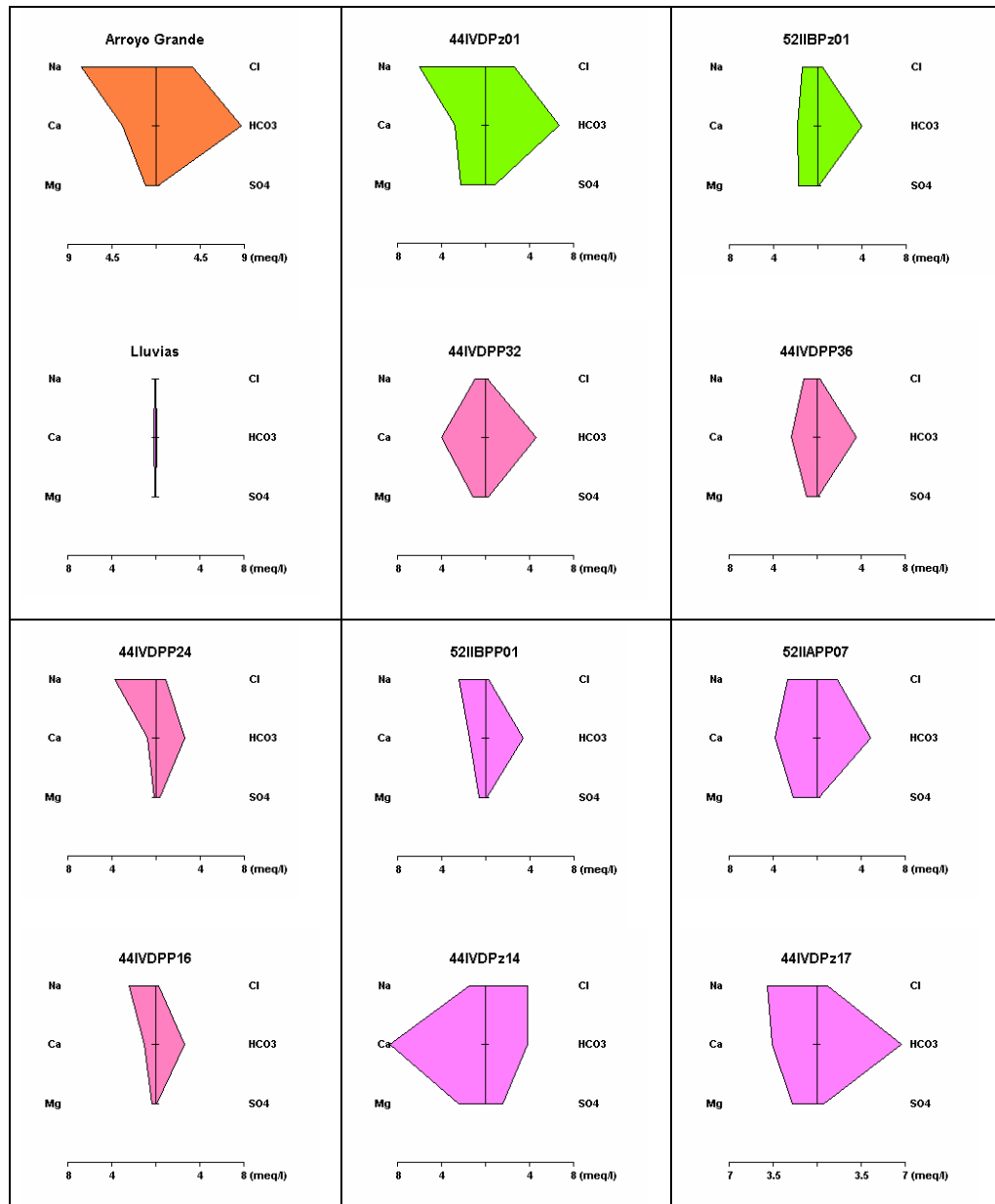
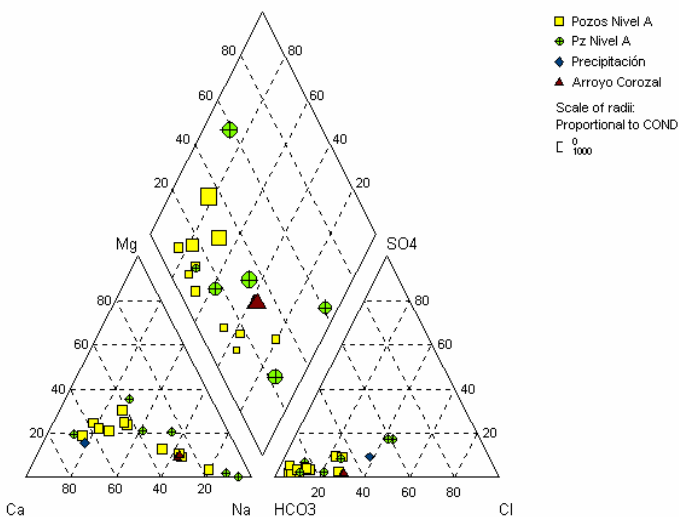


Figura 20. Diagramas de Stiff del nivel I A del acuífero Morroa



### 7.3.1.2 Interpretación de datos según diagrama de Piper.

En el diagrama de Piper (figura 21) se observa que el proceso dominante es también el intercambio catiónico de Ca por Na, como es el comportamiento general de todo el acuífero. Pero las muestras que difieren de este comportamiento están afectadas por actividades antrópicas.

Figura 21. Diagrama de Piper Nivel A del acuífero Morroa.

### 7.3.1.2 Variación espacial de la concentración de los cloruros (mg/l).

Por las condiciones naturales del acuífero no deben presentarse concentraciones de cloruros relativamente altas, y sin embargo en el agua de algunos pozos se presentaron concentraciones hasta de 138 mg/l (cuadro 3 y la figura 22). Los pozos que tienen mayores concentraciones, se han explicado por contaminación local, asociada con fugas de alcantarillas y aguas residuales sin tratamiento.

En la figura 23 claramente puede observarse que la CE se mantiene en el mismo rango a medida que se aleja de la zona de recarga del Acuífero de Morroa, debido a mayor tiempo de residencia. Los piezómetros 14 y 17 presentan valores anómalos, posiblemente relacionados con la contaminación detectada y atribuida a saneamiento in situ y aguas residuales sin tratamiento.

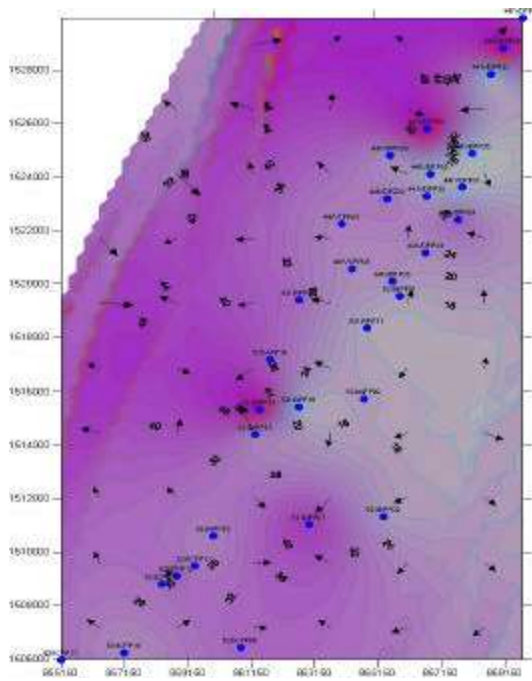
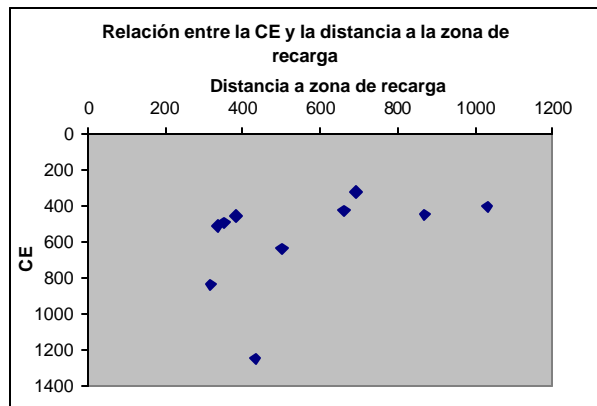


Figura 22. Mapa de isocloruros Nivel A



**Figura 24. CE Vs Distancia a la recarga**

**Cuadro 4. Resultados isotópicos nivel A del acuífero Morroa, aguas lluvias y superficiales**

	CODIGO	d o/oo <sup>18</sup> O	d o/oo <sup>3</sup> H	d o/oo <sup>13</sup> C	d o/oo <sup>14</sup> C	
	44IVDPP16	- 6.15	- 43.1	- 14.14		
	44IVDPP24	- 6.05	- 43.7	- 14.72		
	44IVDPP32	- 6.31	- 43.7	- 17.61		
	44IVDPP34	- 5.91	- 41.9	- 13.6		
	44IVDPP36	- 5.38	- 39.7	- 13.17		
	44IVDPZ14	- 5.78	- 40.5	- 15.81		
	44IVDPZ17	- 6.16	- 42.7	- 15.39		
	52IIAPP09	- 6.11	- 43.1	- 15.72		
	52IIAPP10	- 5.73	- 40.7	- 14.82		
	52IIBPZ01	- 5.17	- 38.6	- 13.32		
AGUAS LLUVIAS COROZAL	Marzo- 02	- 1.82	- 7			
	Abril- 02	- 3.79	- 23			
	Mayo- 02	- 7.64	- 54.1			
	Junio- 02	- 12.3	- 92			
	Julio- 02	- 3.18	- 18.9			
	Agosto- 02	- 5.98	- 38.6			
	Septiembre- 02	- 5.91	- 36.5			
	Octubre- 02	- 5.41	- 32.9			
	Noviembre- 02	- 6.14	- 36.7			
	Diciembre- 02	- 1.21	3.1			
	AGUAS LLUVIAS OVEJAS	Marzo- 03	- 1.7	- 4.9		
		Marzo- 02	- 2.29	- 10.4		
Abril- 02		- 4.77	- 29.1			
Mayo- 02		- 12.34	- 92.5			
Junio- 02		- 9.91	- 75			
Julio- 02		- 9.71	- 76.2			
Agosto- 02		- 3.75	- 23.4			
Septiembre- 02		- 4.18	- 23.8			
Octubre- 02		- 6.07	- 40.1			
Noviembre- 02		- 7.06	- 48.3			
Diciembre- 02		- 1.55	- 5.6			
Marzo- 03		- 1.88	- 8.2			

### 7.3.2 RESULTADOS ISOTÓPICOS NIVEL A

**Análisis de los resultados isotópicos.** La línea meteórica local se construyó con los resultados de los análisis isotópicos de la estación de Corozal, tomados desde marzo del 2002 hasta marzo del 2003. En un año se tiene una variación isotópica de  $\delta^{18}\text{O}/\text{oo}$  entre -1.21 a -12.3 en la estación de Corozal. La LML está muy cerca y es paralela a la LMM. Sobre los 12 meses la composición ponderada de la lluvia en  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  es de -6.14/-41.14 o/oo para la estación de Corozal. En la figura 24, se observa que la lluvia ponderada de Corozal, está sobre la LML y sobre la mayoría de los pozos; esto muestra que las condiciones climáticas cuando se infiltró el agua en el Nivel A tienen las mismas condiciones de lluvia actual. También se observa algunos puntos que sugieren una posible ligera evaporación y una relativa amplia variación isotópica de las aguas de los pozos están orientados en sentido N-S con los que están orientados en sentido E-W.

Figura 24. Composición isotópica pozos Nivel A del Acuífero Morroa

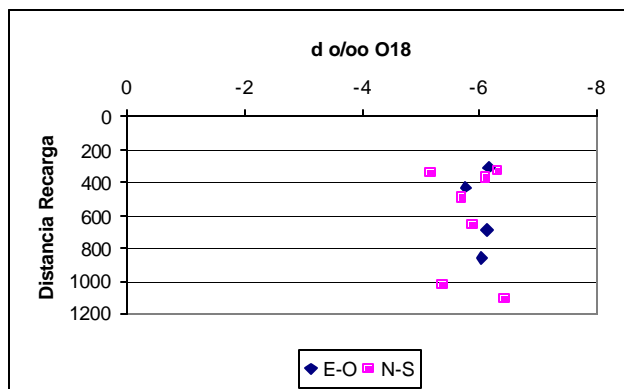
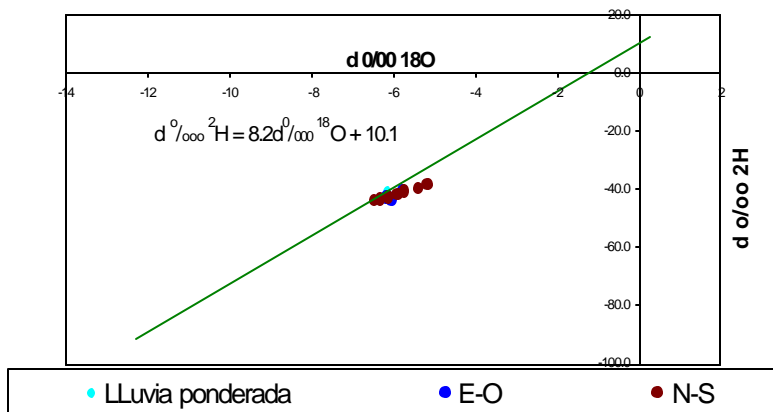
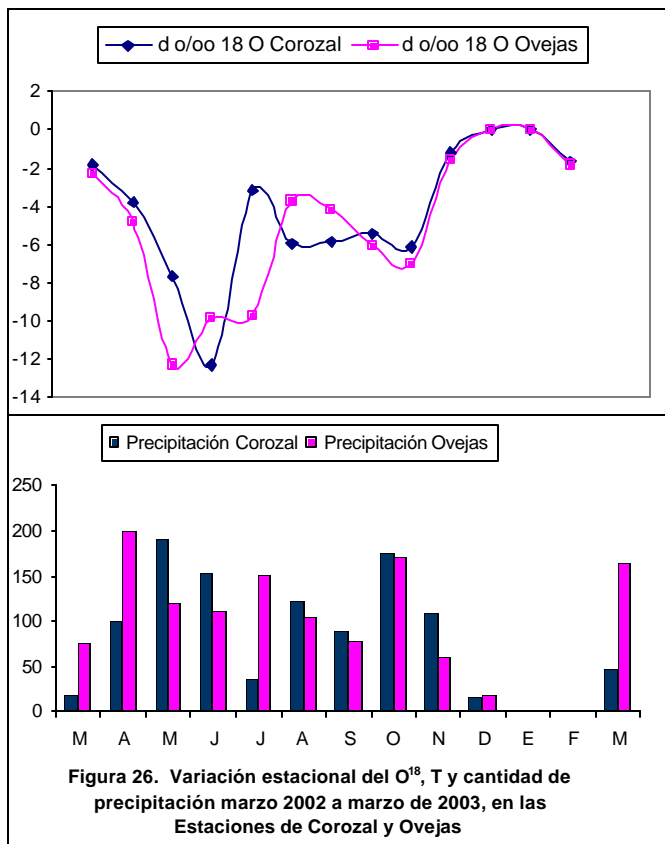


Figura 25. Relación  $\delta^{18}\text{O}$  con la distancia a la Recarga

En la grafica 25, se observa que no hay variación significativa del  $\delta^{18}\text{O}$  con la distancia a la zona de recarga, la variación está entre -5 y -7, lo que muestra que la composición de las aguas del nivel A del acuífero Morroa corresponden a un mismo tiempo climático.



Comparando las variaciones mensuales de  $\delta \text{o/oo O}^{18}$  del agua lluvia de la estación de Corozal, con los valores mensuales de la precipitación y la temperatura en el período de marzo de 2002 a marzo de 2003 (figura 26), se puede concluir que hay una relación inversa. Durante los meses secos hay un efecto de enriquecimiento de  $\text{O}^{18}$  y durante los meses de mayor precipitación hay un empobrecimiento de  $\text{O}^{18}$ .



#### 7.4 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL.

Hasta el momento se tiene un modelo hidrogeológico conceptual del campo de pozos de Corozal y Sincelejo (figura 27). En términos generales, la evapotranspiración es mucho más alta que la precipitación y la recarga directa, y ésta mucho menor que la escorrentía y que la extracción actual. Se supone entradas adicionales al acuífero, de aguas residuales y contaminadas a través de los cauces de los arroyos y de las capas permeables que afloran en la zona, de las capas suprayacentes semipermeables y a través de los pozos abandonados sin sellar o mal sellados (figura 27). También se infiere una recarga por goteo desde las capas arcillosas y limosas del acuífero Morroa y de la Formación Betulia suprayacente.

Es muy probable que por la explotación intensiva del acuífero, se esté induciendo flujos o recargas desde los niveles inferiores, lo que explicaría las edades más antiguas encontradas (5000 años).

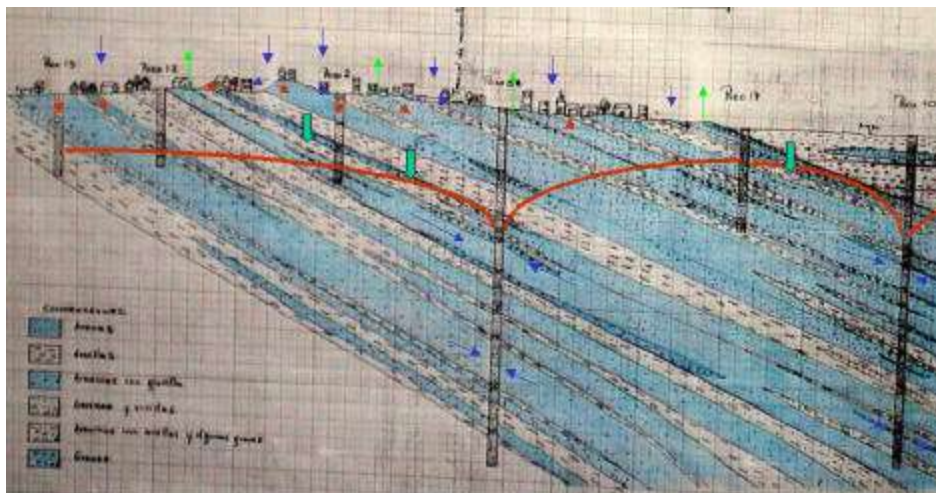
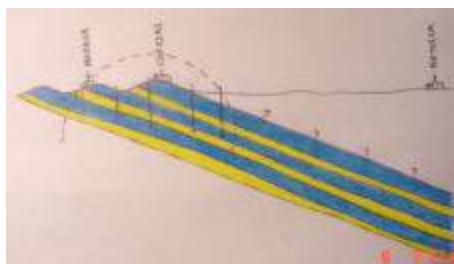


Figura 27. Modelo hidrogeológico conceptual preliminar

Los resultados obtenidos hasta ahora han contribuido a mejorar el conocimiento del acuífero en su zona de recarga y han planteado tres posibles modelos hidrogeológicos del acuífero, que podrán definirse solamente a partir del estudio geofísico aplicando sismica de reflexión de poca profundidad hasta 1000 m, que se realizará en la zona oriental del acuífero:

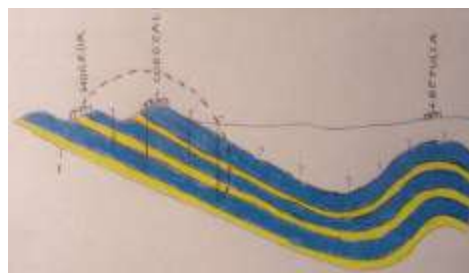
#### Modelo Hidrogeológico Conceptual 1:



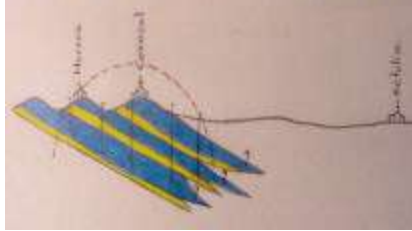
En este modelo se supone que las capas continúan buzando constantemente hacia el oriente, conformando un monoclinio. El estudio geofísico definiría la continuidad de estas capas y la profundidad a la cual se pueden perforar nuevos pozos en la zona oriental.

#### Modelo Hidrogeológico Conceptual 2:

Este modelo hidrogeológico supone que la disposición estructural del acuífero Morroa hacia el oriente está conformada por un pliegue sinclinal. Esta es la estructura más favorable para el almacenamiento de aguas subterráneas.



### Modelo Hidrogeológico Conceptual 3:



Este modelo es el más desfavorable de todos, aquí se plantea un cambio litofacial de las capas del acuífero con pinchamiento de las capas más permeables. Si se llega a comprobar este modelo, necesariamente se tendrían que utilizar otras fuentes alternativas de abastecimiento, si se quiere garantizar el suministro de agua a los habitantes de esta zona.

## 8. ACTIVIDADES FUTURAS PARA COMPLEMENTAR EL ESTUDIO

- ☞ Estudio geofísico en la parte oriental del acuífero
- ☞ Vulnerabilidad a la contaminación
- ☞ Determinación carga contaminante
- ☞ Balance hídrico
- ☞ Modelación matemática
- ☞ Construcción de más piezómetros.
- ☞ Limpieza sellamiento y/o rehabilitación de pozos abandonados
- ☞ Estudio con trazadores
- ☞ Evaluación de la recarga utilizando varios métodos.
- ☞ Modelo de Manejo Integral de Aguas Subterráneas