

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLOGICO -MINERAS

RESUMEN DEL ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE
LA MEDIA Y BAJA GUAJIRA

Informe 1906.1

Por:

ALCIDES HUGUETT GRANADOS

CONVENIO BILATERAL ENTRE LOS GOBIERNOS DE
COLOMBIA Y HOLANDA

Proyecto:

ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN ALGUNAS POBLACIONES
DE LOS DEPARTAMENTOS DE ATLANTICO, BOLIVAR, CORDOBA Y SUCRE

Coordinadores del Proyecto:

C. Alejandro Ulloa C.
INGEOMINAS - COLOMBIA

Hugo R. Schoute
TNO - DGV - INSTITUTE OF APPLIED GEOSCIENCE - HOLANDA

Edwin Gómez V.
EMBAJADA DE HOLANDA

Febrero de 1988

CONTENIDO

| | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| RESUMEN | 50 |
| 1. INTRODUCCION | 50 |
| 1.1. GENERALIDADES | 50 |
| 1.2. OBJETIVOS | 51 |
| 1.3. LOCALIZACION DEL AREA | 51 |
| 1.4. INVESTIGACIONES ANTERIORES | 51 |
| 2. GEOGRAFIA FISICA | 53 |
| 2.1. GEOMORFOLOGIA | 53 |
| 2.2. HIDROLOGIA | 53 |
| 2.2.1. CLIMA Y METEOROLOGIA | 53 |
| 2.2.2. AGUAS SUPERFICIALES | 57 |
| 2.2.3. CAUDALES E INFILTRACION | 58 |
| 3. GEOLOGIA | 59 |
| 3.1. UNIDADES LITOLÓGICAS | 59 |
| 3.1.1. GRANULITA DE LOS MANGOS (PEg) | 59 |
| 3.1.2. FORMACION CORUAL (TRpc) | 59 |
| 3.1.3. FORMACION RANCHO GRANDE (TRr) | 59 |
| 3.1.4. FORMACION CHETERLO (Jmch) | 59 |
| 3.1.5. FORMACION JIPI (Jsj) | 59 |
| 3.1.6. BATOLITO DE PATILLAL (Jcm) | 59 |
| 3.1.7. RIODACITA DE LOS TABANOS (Jt) | 59 |
| 3.1.8. VOLCANITAS INDIFERENCIADAS (KJv) Y VOLCANITAS DE IPAPURE (Kiv) | 59 |
| 3.1.9. GRUPO CALCAREO (Ksc) | 60 |
| 3.1.10. FORMACION UITPA (Tmu) | 60 |
| 3.1.11. FORMACION MONGUI (Tpm) | 60 |
| 3.1.12. DEPOSITOS DE LLANURA ALUVIAL (Qll) | 60 |
| 3.1.13. DEPOSITOS DE CAUCE ALUVIAL (Qca) | 60 |
| 3.1.14. DEPOSITOS DE BARRA (Qb) | 60 |
| 3.1.15. DEPOSITOS DE PLAYON (Qp) | 60 |
| 3.1.16. DEPOSITOS DE DUNAS (Qd) | 60 |
| 3.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL | 60 |
| 3.3. GEOLOGIA HISTORICA | 61 |
| 4. GEOELECTRICA | 61 |
| 4.1. GENERALIDADES | 61 |
| 4.1.1. REGION DE DIBULLA | 62 |
| 4.1.2. REGION DE RIOHACHA | 62 |
| 4.1.3. REGION DE MANAURE | 62 |
| 4.1.4. REGION DE MAICAO | 62 |
| 4.1.5. REGION DEL CERRO LA TETA | 62 |
| 4.2. CORTES GEOELECTRICOS | 62 |
| 4.2.1. CORTE A-A' | 63 |
| 4.2.2. CORTE B-B' | 63 |
| 4.2.3. CORTE C-C'-C'' | 63 |
| 4.2.4. CORTE D-D'-D'' | 64 |
| 4.2.5. CORTE E-E'-E'' | 64 |
| 5. INVENTARIO, NIVELACION Y TOMA DE NIVELES ESTACIONALES DE POZOS Y ALJIBES | 64 |

| | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| 6. UNIDADES HIDROGEOLOGICAS | 65 |
| 6.1. CONJUNTO CUATERNARIO (Q) | 65 |
| 6.2. CONJUNTO DETRITICO TERCARIO (T) | 66 |
| 6.3. CONJUNTO CALCAREO (K) | 66 |
| 6.4. CONJUNTO DETRITICO MESOZOICO (M) | 66 |
| 6.5. CONJUNTO IGNEO-METAMORFICO (IM) | 67 |
| 7. GEOHIDROQUIMICA | 67 |
| 7.1. GENERALIZADADES | 67 |
| 7.1.1. CONDICION GEOHIDROQUIMICA DEL AGUA FREATICA LIBRE | 64 |
| 7.1.2. CONDICION GEOHIDROQUIMICA DEL AGUA CONFINADA | 69 |
| 7.2. CLASIFICACION DEL AGUA SUBTERRANEA PARA IRRIGACION | 69 |
| 8. ESTUDIO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS CON TECNICAS ISOTOPICAS | 71 |
| 8.1. MUESTREO, RESULTADOS E INTERPRETACION DE LOS ANALISIS DE ISOTOPOS ESTABLES | 71 |
| 8.2. INTERPRETACION PRELIMINAR DEL CONTENIDO DE TRITIO | 74 |
| 9. PERFORACION | 77 |
| 9.1. EQUIPOS UTILIZADOS | 77 |
| 9.2. POZOS PERFORADOS | 77 |
| 10. DEFINICION DE LOS SISTEMAS DE AGUAS SUBTERRANEAS | 77 |
| 10.1. ACUIFERO LIBRE | 81 |
| 10.1.1. FLUJO Y PRODUCCION DEL ACUIFERO LIBRE | 81 |
| 10.2. ACUIFERO CONFINADO | 81 |
| 10.2.1. FLUJO Y PRODUCCION DEL ACUIFERO CONFINADO | 82 |
| 11. CONCLUSIONES | 82 |
| 12. BIBLIOGRAFIA | 83 |

FIGURAS

| | |
|---|----|
| 1. Mapa de localización del área de estudio | 52 |
| 2. Velocidad del viento promedio anual (m/s). 1972 - 1975 | 55 |
| 3. Isoyetas y localización de estaciones de serie larga | 56 |
| 4. Precipitación media mensual en las estaciones de serie larga | 57 |
| 5. Evaporación promedio mensual. 1951 - 1973 | 58 |
| 6. Diagrama para la clasificación de las aguas para riego | 72 |
| 7. Localización de los puntos de muestreo y valores obtenidos para ² H en unidades f D | 74 |
| 8. Distribución de los resultados de los análisis de isótopos estables | 76 |

TABLAS

| | |
|---|----|
| 1. Areas de las cuencas adentro y afuera de la zona de estudio | 58 |
| 2. Intervalos de resistividad y sus correlaciones hidroquímicas | 63 |

| | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| 3. Límites de potabilidad (ppm) según normas internacionales para aguas potables | 70 |
| 4. Análisis físico-químicos de muestras de aguas subterráneas profundas | 71 |
| 5. Resultado de los análisis de isótopos estables | 75 |
| 6. Pozos construidos en la Media y Baja Guajira durante el proyecto | 78 |

PLANCHAS
(en bolsillo)

1. Mapa Geológico de la Media y Baja Guajira .
2. Mapa de profundidad del techo de la unidad geoelectrica con resistividades mayores de 10 ohm-m.
3. Cortes Geoelectricos.
4. Mapa hidrogeológico de la Media y Baja Guajira.

RESUMEN

Con base en los objetivos expuestos en el proyecto "Abastecimiento de agua Potable en algunas poblaciones de los departamentos de Atlántico, Bolívar, Córdoba y Sucre" producto de un Convenio de Cooperación Técnica entre los gobiernos de Colombia y Holanda firmado en el año 1985, se elaboró el presente informe que corresponde a una síntesis del "Estudio Hidrogeológico de la Media y Baja Guajira Colombiana - Fase 2" realizado por INGEOMINAS y el TNO - DGV de Holanda entre los años 1977 y 1978.

El estudio se llevó a cabo en el departamento de la Guajira, dentro del área comprendida por las estribaciones de la Serranía de Cocinas al norte y las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta al sur, teniendo como límite occidental el mar Caribe, y oriental la frontera con Venezuela.

Durante el proyecto se realizaron investigaciones geológicas, hidrológicas, geoelectricas, hidroquímicas, isotópicas e hidrogeológicas, con el fin de evaluar los recursos de aguas subterráneas, en vista de las necesidades de aguas para todos los usos, en esta región del país.

Por motivos ajenos al INGEOMINAS y TNO-DGV hubo necesidad de suspender el proyecto a finales del año 1978, pero la información obtenida hasta ese momento complementada con la del proyecto "Exploración de Acuíferos de la alta y Media Guajira" permite asegurar que se dispone de un volumen apreciable de agua subterránea que aún no se ha podido cuantificar.

A través de las diversas etapas del proyecto se lograron definir cinco unidades hidrogeológicas, de las cuales dos se consideran potencialmente acuíferas, debido a su buena porosidad primaria y permeabilidad moderada a alta y se denominan como Conjunto Cuaternario (Q) y Conjunto Detrítico Terciario (T).

La unidad Conjunto Cuaternario (Q) representa a todos los depósitos cuaternarios

de origen continental que conforman la parte plana de la Media y Baja Guajira, en donde se comprobó la presencia de un acuífero libre de baja producción, con agua en general de tipo clorurado sódico. Esta agua se considera apta para el consumo humano, hacia la parte sur y central del área de estudio, pero es im potable por su alto contenido en cloruros, desde la parte central hacia el norte y en las zonas cercanas a la costa.

La unidad Conjunto Detrítico Terciario (T) está constituida por rocas sedimentarias de origen marino que afloran principalmente al sur de Riohacha, donde se comportan como zonas de recarga, y en el resto del área aparecen cubiertas por los depósitos cuaternarios. En esta unidad se ha desarrollado un acuífero confinado que puede producir altos caudales de agua clorurada sódica, potable en las regiones cercanas a las áreas de recarga e im potable hacia la parte norte, donde el contenido en cloruros sobrepasa el máximo tolerable por el organismo humano.

Las tres restantes unidades hidrogeológicas, denominadas Conjunto Calcáreo (K), Conjunto Detrítico Mesozoico (M) y Conjunto Igneo Metamórfico (IM), únicamente afloran en las áreas de recarga situadas en los extremos norte y sur del área investigada, careciendo de importancia como acuíferos debido a su fuerte compactación. En el extremo sur estas unidades se encuentran afectadas tectónicamente por la falla de Oca, la que origina en ellas una porosidad secundaria por fracturamiento a lo largo de la zona de falla y sirviendo además como zonas de infiltración del agua superficial proveniente de la sierra Nevada de Santa Marta, alimentando mediante flujos subterráneos principalmente al acuífero confinado.

1. INTRODUCCION

1.1. GENERALIDADES

Con base en las negociaciones bilaterales de cooperación técnica entre los gobiernos de Colombia y Holanda, efectuadas durante el año 1985, fue creado un nuevo proyecto de carácter hidrogeológico

co denominado "Abastecimiento de Agua potable en algunas de las poblaciones de los departamentos de Atlántico, Bolívar, Córdoba y Sucre" que plantea entre sus objetivos, la divulgación de los resultados de algunas de las investigaciones hidrogeológicas realizadas en años anteriores, con la cooperación técnica holandesa.

Bajo el anterior contexto se preparó el presente informe, que resume el trabajo "Estudio Hidrogeológico de la Media y Baja Guajira" elaborado por INGEOMINAS con la cooperación del TNO-DGV de Holanda.

El Ministerio de Minas y Energía a través del Instituto Nacional de Investigaciones Geológico - Mineras, INGEOMINAS, ejecutó trabajos de exploración de aguas subterráneas en la Alta y Media Guajira durante el período comprendido entre los años 1971 y 1975, con el fin de dar solución a la escasez de agua potable para el consumo humano e irrigación en esa vasta región del país e iniciar así su desarrollo socio-económico. Como complemento de esta exploración, mediante un convenio bilateral entre los gobiernos de Colombia y Holanda, se inició en 1973 la investigación geoelectrica del área en referencia.

Con base en los resultados obtenidos en la investigación geoelectrica, se celebró un segundo acuerdo para ejecutar a partir de 1977 el proyecto "Evaluación de Acuíferos en la Media y Baja Guajira - Fase 2". Este proyecto buscaba cuantificar el potencial acuífero determinado en el anterior proyecto y recomendar los parámetros para su explotación con el fin de evitar su deterioro por salinización de sus aguas. El proyecto Fase 2 se inició de acuerdo al Plan de Operaciones en la fecha pactada, pero fue suspendido en el año de 1978 por razones de orden público en dicha región.

Las instituciones ejecutivas del proyecto fueron la División de Hidrogeología del Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras (INGEOMINAS), por Colombia y el TNO - DGV, Institute of Applied Geoscience de Holanda.

1.2. OBJETIVOS

Los objetivos iniciales del proyecto fueron:

Evaluar el potencial de agua subterránea para lograr el desarrollo socio-económico integral de la Guajira.

Suministrar agua potable a la comunidad indígena.

Para cumplir con estos objetivos se realizaron estudios geológicos, geofísicos, hidrogeológicos, hidroquímicos, isotópicos e hidrogeológicos.

1.3. LOCALIZACION DEL AREA

El área de estudio tiene una superficie de 6.000 km². Los vértices del polígono que delimita el área tienen las siguientes coordenadas (Fig. 1):

| | | | |
|-----|----------|-------------|-------------|
| A - | Cardón | X:1'810.000 | Y:1'199.000 |
| B - | Matajuna | X:1'779.500 | Y:1'225.000 |
| C - | Majayura | X:1'726.700 | Y:1'195.000 |
| D - | Dibulla | X:1'738.600 | Y:1'085.000 |

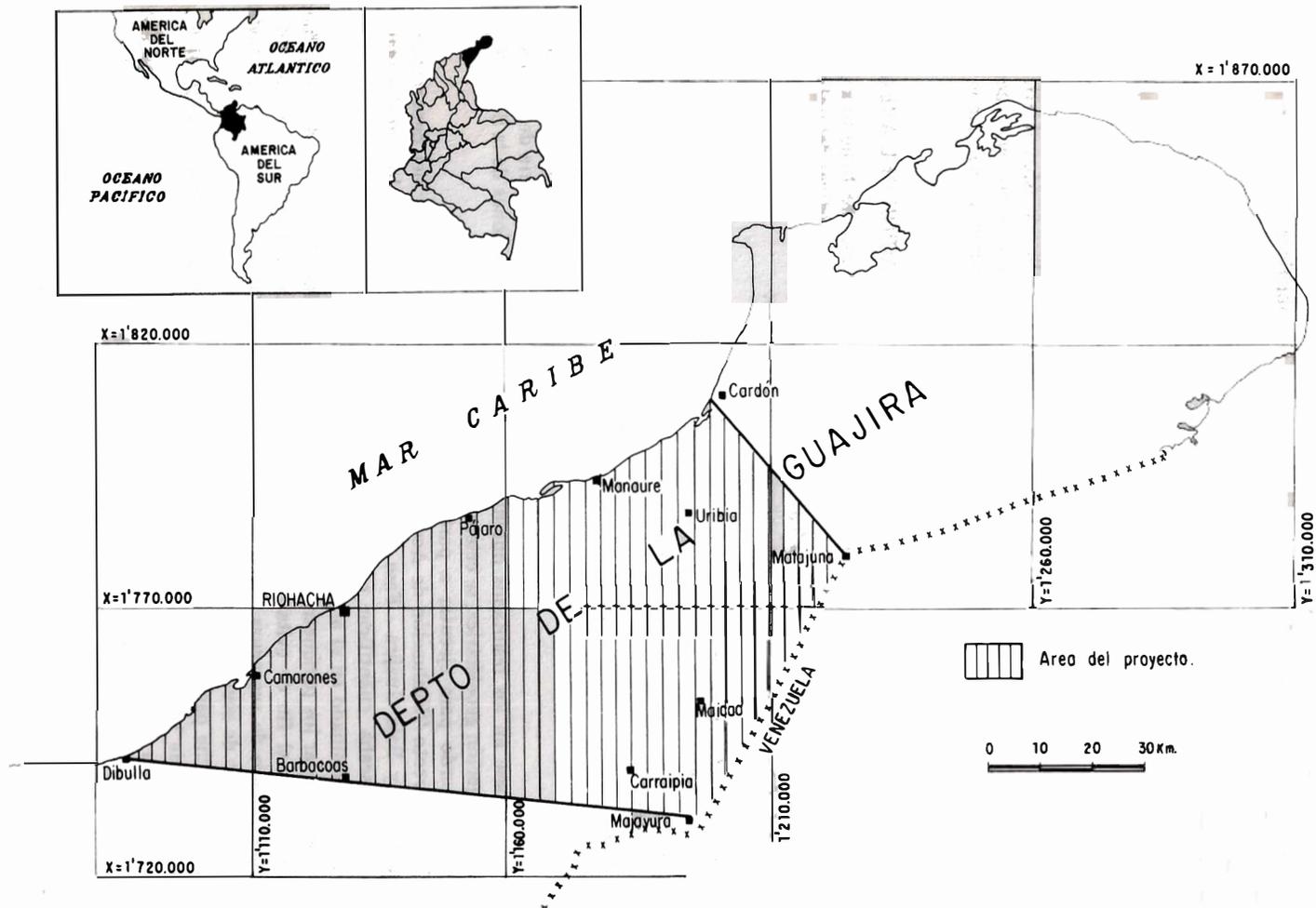
La mayor parte es plana y limita al W con el mar Caribe, al E con la frontera venezolana, al N con la Serranía de Cocinas y al Sur con las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta.

Riohacha (capital del departamento), Maicao y Uribia, son las localidades más importantes que se encuentran dentro del área. La mayor parte de las vías de comunicación terrestre con las otras zonas dentro y fuera del área son destapadas, siendo muy difícil su acceso durante las temporadas de lluvias.

1.4. INVESTIGACIONES ANTERIORES

Existen algunos informes hidrogeológicos de carácter regional que describen en forma generalizada las posibilidades de explotación de aguas subterráneas en el departamento de la Guajira. Diezeman (1951) realiza un estudio sobre el abastecimiento de agua en la Guajira; Diezeman (1952) señala el procedimiento técnico para la perforación

FIG. 1: Localización del área de estudio.



de algunos pozos y el mismo autor en el año 1954 recomienda las posibilidades de aprovechamiento de aguas subterráneas en varios sitios de la Guajira.

Raasveldt (1955), presenta un mapa geológico-morfológico adaptado al estudio de aguas, en el que separa áreas con posibilidades acuíferas. Diezeman (1955), elabora un informe preliminar sobre aguas subterráneas en varias poblaciones de la Guajira, y Manjarrés (1964) realiza un estudio geohidrológico de todo el departamento. Por último, Tenjo (1970) localiza varias áreas favorables para extraer agua subterránea en Riohacha y Maicao, e Irving (1972) elabora un mapa geológico de la península de la Guajira.

Posteriormente INGEOMINAS realizó diferentes estudios regionales en la Media y Baja Guajira con el fin de determinar las posibilidades de aguas subterráneas. Como resultado de estos estudios se elaboraron informes geológicos, hidrológicos, hidroquímicos y geoelectrónicos, que sirvieron de base para la compilación del estudio hidrogeológico de la Media y Baja Guajira hecha por Robles et al. (1983) y posteriormente en la preparación del presente trabajo. Los anteriores informes fueron elaborados por Valencia et al. (1975); Mosquera et al. (1976); Jousma y Serrano (1978); Carreño y Csonka (1980) y Carreño (1980).

2. GEOGRAFIA FISICA

2.1. GEOMORFOLOGIA

El territorio de la Media y Baja Guajira presenta en general una morfología plana, constituida por una extensa llanura aluvial cuaternaria con geoformas de carácter deposicional (MOSQUERA et al, 1976) creando la acción del viento dunas alineadas en dirección noreste y la acción del agua, formación de playones y barras en las partes litorales y terrazas aluviales y cauces aluviales en las no litorales. En la parte suroccidental se presentan pequeñas colinas subredondeadas constituidas por rocas terciarias de origen mari-

no y hacia los extremos norte y sur, se encuentra limitada por una región montañosa desértica en el norte y boscosa en el sur, conformadas por rocas desde terciarias hasta precámbricas.

2.2. HIDROLOGIA

La serie de datos hidrológicos y meteorológicos existentes hasta la fecha de iniciado el estudio, fueron evaluados por Jousma y Serrano (1978) con una serie de observaciones de pocos años, lo que se convirtió en una limitante para el cálculo de un balance hídrico.

Los ríos Ranchería, Tapias, Camarones, Carraipía y la quebrada de Moreno que nacen en las montañas al sur del área de estudio, fluyen la mayor parte del año debido al exceso de precipitación sobre la evapotranspiración en la zona montañosa de la Baja Guajira. En cambio, los ríos que nacen en la Media Guajira son intermitentes o efímeros, fluyendo solamente en las estaciones húmedas. El agua superficial que no infiltra en el subsuelo, corre en parte hacia el Mar Caribe y en parte hacia el Golfo de Venezuela.

2.2.1. CLIMA Y METEOROLOGIA

La mayor parte de la Media y Baja Guajira pertenecen al clima de estepa muy caliente con lluvias zenitales y vegetación xerofítica (Bsw-h, clasificación según Koppen). El valor de la temperatura es relativamente uniforme, pero muestra un pequeño decrecimiento hacia el sur. En las medias mensuales no se encuentra gran variación y la oscilación durante el año no sobrepasa el 15% mientras que en intervalos largos de tiempo es del orden del 20%. Las medias máximas mensuales, que en general ocurren en julio, casi nunca sobrepasan los 38°C y las medias mínimas no bajan a menos de 17°C. Las temperaturas diarias en los períodos observados tienen una amplitud máxima de 14 hasta 39,2 grados, pero la oscilación diaria en general no sobrepasa los 10°C.

En la Media y Baja Guajira los vientos soplan durante todo el año y su régimen se

encuentra condicionado por los alisios provenientes del noreste.

Con base en los datos arrojados por las estaciones en Manaure, Uribia, Matitas, La Arena, Carraipía y La Paulina, se han calculado las velocidades medias mensuales del viento para el período comprendido entre 1972 y 1975 (Fig. 2).

Puede observarse que la distribución anual presenta dos períodos de alta velocidad: uno de diciembre a marzo y el otro más corto en julio, que generalmente registra las más altas, llegando a presentarse velocidades absolutas hasta de 12,5 m/s. Estos dos períodos coinciden como era de esperarse con los de más baja precipitación, ya que la mayor velocidad y la relativa menor humedad disminuye la condensación del agua atmosférica. Las épocas de baja velocidad coinciden con las de alta pluviosidad pues la humedad recogida en el océano alcanza a precipitarse con mayor facilidad; este período de velocidades mínimas ocurre entre octubre y noviembre, justamente al tiempo del invierno fuerte.

En general la dirección predominante del viento es del este, y en menor grado del noreste y sureste, a excepción de La Paulina, donde los vientos parecen ser canalizados en dirección NE-SW por la Serranía de Perijá y la Sierra Nevada de Santa Marta.

Puede notarse también que las estaciones situadas al norte como Manaure y Uribia, registran velocidades más altas con respecto a las del sur como Carraipía, La Paulina y Matitas. La estación La Arena presenta velocidades relativas mayores, posiblemente por su proximidad a las estribaciones de la Sierra Nevada.

En cuanto a la precipitación, en la Media y Baja Guajira se presentan dos estaciones húmedas y dos secas. El período más húmedo es en los meses de septiembre, octubre y noviembre cuando hay mayor precipitación. Otro período con cifras relativamente altas se presenta en los meses de mayo y junio. Las épocas de sequía prevalecen durante los meses de diciembre hasta abril inclusive y en menor intensidad en julio.

Al sur del área el invierno parece un poco más largo que al norte, de tal manera que agosto muchas veces forma el primer mes de invierno y diciembre el último. Allí hay un incremento en la precipitación debido a que los vientos provocan lluvia orográfica en las zonas aledañas a la Sierra Nevada de Santa Marta. Esto puede verse en las isoyetas del período 1972 - 1975 (Fig. 3).

Algunas de las estaciones climatológicas existentes tienen series largas que permiten una investigación de frecuencias de precipitación media anual (Fig. 3 y 4).

En Manaure, situado al norte de la región, en la costa, y a 4 m sobre el nivel del mar, la precipitación media anual en el período de 1940 - 1975 fue de 378 mm. La más alta precipitación anual fue de 1285 mm en 1955 (con 411 mm en septiembre), la más baja 51 mm en el año 1957 en el mismo período. La estación más húmeda es de los meses de septiembre, octubre y noviembre, cuando precipita el 71% de la lluvia. Los meses secos son de enero hasta abril, y julio.

En Uribia, situado en el centro de la Media Guajira, a 22 m s.n.m., la precipitación media anual en el período de 1937 - 1974 fue de 377 mm. El valor máximo de 635 mm fue registrado en 1945 y el mínimo de 81 mm en 1947. En los meses de septiembre, octubre y noviembre se encuentra 58% de la lluvia y en los meses de abril hasta junio inclusive, un 25%. Los demás meses son relativamente secos. En Matitas, situado en el suroeste del área a una altura de 40 m s.n.m., la precipitación media anual registrada en el período de 1964-1975 fue de 1237 mm. El año más húmedo de este período fue 1969 con 2103 mm de lluvia y el más seco fue 1972 con 543 mm. El 63% de la lluvia precipita en los meses de agosto hasta noviembre inclusive; otro 23% en los meses de mayo y junio.

En Cuestecita, situado en el sur del área a una altura de 100 m s.n.m., la precipitación media anual registrada en el período de 1960 - 1975 fue de 996 mm. En este período el año más húmedo fue 1969 con

Vm = Velocidad Media Anual

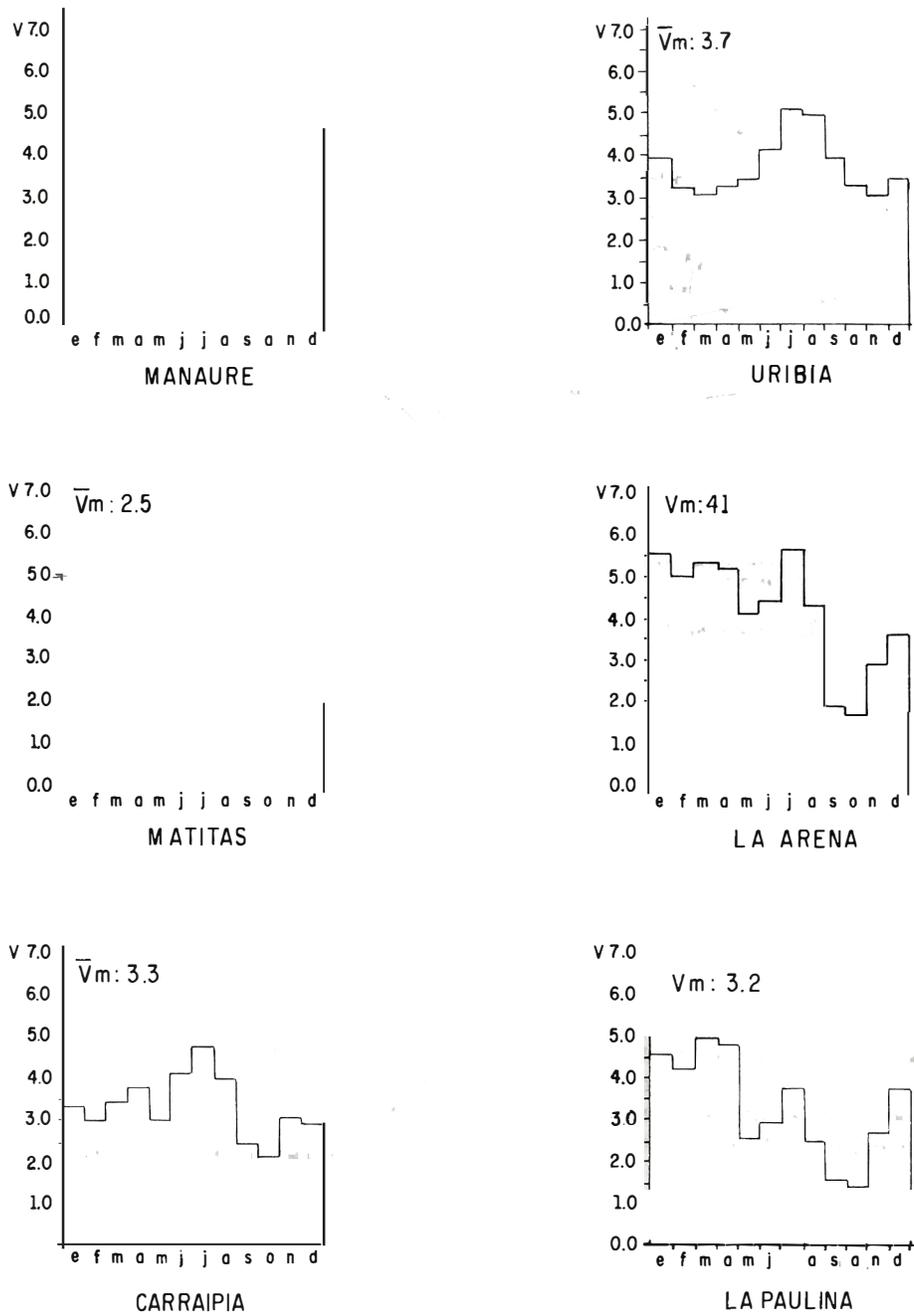


FIG. 2: Velocidad del viento promedio anual (m/s). 1972 - 1975

Pa: = Precipitación Media Anual

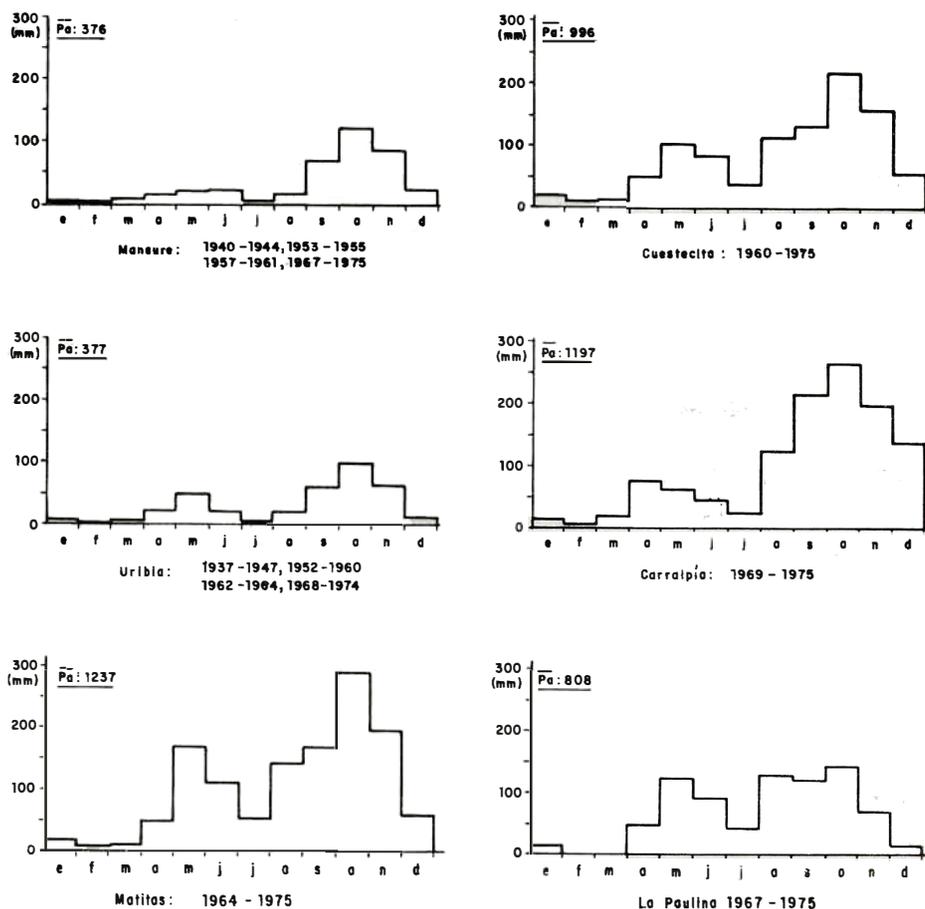


FIG. 4: Precipitación media mensual en las estaciones de serie larga.

Sierra Nevada de Santa Marta considerada como una región lluviosa, hasta 1980 mm en la región comprendida desde la Falla de Oca hacia el norte (Media y Baja Guajira) considerada como región seca.

2.2.2. AGUAS SUPERFICIALES

Los ríos, quebradas y arroyos de la zona de estudio pueden ser divididos en dos grupos:

- a) Los ríos provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta y que pasan a través de la zona de la Falla de Oca. Debido al exceso de precipitación so-

bre la evapotranspiración estos ríos fluyen la mayor parte del año; los más importantes son: El río Tapias, el río Camarones, la quebrada Moreno, el río Ranchería y el río Carraipía.

- b) Los ríos, quebradas y arroyos que nacen dentro de la zona de estudio funcionan como sistemas intermitentes, fluyendo solamente en las estaciones húmedas, los más importantes son: el Brazo Jotomahana del río Ranchería, el Arroyo Tayayo y el Arroyo Kutamahana.

Importante para el régimen de los ríos del grupo a) en el área de estudio, la sedi-

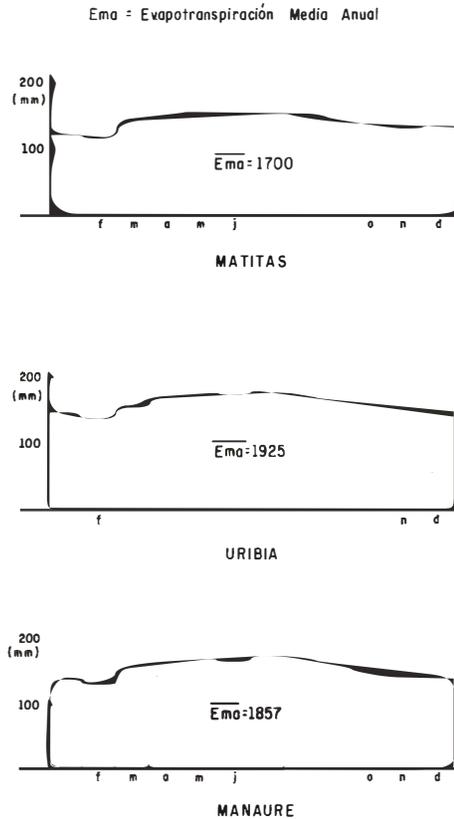


FIG. 5: Evaporación promedio mensual (1951 - 1973).

mentación y las influencias correspondientes al agua subterránea, es la relación entre el área de las cuencas afuera de la zona de estudio, en general en las montañas, y el área adentro. Estas relaciones se muestran en la Tabla 1.

TAB. 1: Areas de las cuencas adentro y afuera de la zona de estudio.

| CUENCA | ADENTRO km ² | AFUERA km ² |
|--------------------|----------------------------|---------------------------|
| Río Tapias | 115 | 600 |
| Río Camarones | 350 | 90 |
| Quebrada de Moreno | 750 | 300 |
| Río Ranchería | 650 | 2.400 |
| Río Carraipía | 280 | 50 |

2.2.3. CAUDALES E INFILTRACION

Para la determinación de los caudales en algunas corrientes superficiales, se realizaron aforos en los río Ranchería, Camarones y la quebrada de Moreno, durante la época de estiaje.

Como una primera aproximación se observó que los aforos efectuados en fechas iguales tanto aguas arriba como aguas abajo, en cada una de las anteriores corrientes, indicaban una gran pérdida de caudal a medida que ellas fluyen. Obviamente esto podría deberse a fenómenos de olas pero es un hecho evidente que los ríos de la Guajira durante los períodos secos, a veces llegan a consumirse totalmente en cercanías a su desembocadura mientras que unos pocos kilómetros aguas arriba fluyen normalmente, lo que comprueba la infiltración directa de los ríos en épocas de sequía.

Se efectuaron medidas de infiltración con limnígrafo en las regiones situadas arriba y abajo de la Falla de Oca y en la zona de falla.

En la región situada arriba de la Falla de Oca existen dos cuencas donde se espera infiltración directa de bastante importancia, la cuenca del río Camarones y la cuenca de la quebrada de Moreno. De acuerdo a las medidas, el almacenamiento en el río Camarones y en su cauce decrece a causa de la infiltración o de la evapotranspiración, hasta que llega a cero, esperándose una infiltración mayor en los tiempos húmedos que en los secos.

En la región situada abajo de la Falla de Oca se observó que el río Ranchería en gran parte de su trayecto, se encuentra en contacto con los acuíferos superficiales y durante los tiempos secos una gran cantidad de agua se infiltra en estas capas, conteniendo el acuífero superficial agua de buena calidad en los alrededores del río.

La zona de la Falla de Oca, por su misma estructura, se considera una área de infil-

tración donde los ríos que la cruzan (Camarones, Ranchería, Carraipía y la quebrada de Moreno), pierden agua.

3. GEOLOGIA

La información geológica está basada en el estudio realizado por Mosquera et al. (1976). El área de estudio corresponde en su mayor parte a una región plana donde solamente afloran algunas rocas terciarias y sedimentos cuaternarios. Hacia los extremos norte y sur del área existe una gran variedad de rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, que se describen someramente con el fin de conocer las áreas de recarga.

3.1. UNIDADES LITOLÓGICAS

A continuación se describen en orden cronológico, de la más antigua a la más reciente, las unidades litológicas cartografiadas en el área de estudio (Plancha 1).

3.1.1. GRANULITAS DE LOS MANGOS (PEg)

Afloramientos de esta unidad se presentan casi inmediatamente al sur de la Falla de Oca, en el área de Dibulla. Su litología consta esencialmente de neises y anfibolitas que se encuentra en relación discordante con las Volcanitas Indiferenciadas del Cretáceo y con sedimentos del Cuaternario. Son de edad Precámbrica.

3.1.2. FORMACION CORUAL (TRpc)

También aflora al sur de la Falla de Oca en la parte suroccidental del municipio de Dibulla. Consta de diabasas, basaltos oscuros, limolitas y grawacas negras. Se encuentra en contacto inconforme con sedimentos del Cuaternario. Es de edad Permo-Triásica.

3.1.3. FORMACION RANCHO GRANDE (TRr)

Aparece a unos 10 km al norte del cerro de La Teta en el área del mismo nombre. Su constitución litológica es de areniscas compactas de grano fino a grueso que gradan a conglomerados con cantos de cuarzo y ro-

cas metamórficas, en matriz arenosa, limolitas micáceas con intercalaciones de lavas riódacíticas de grano fino a medio y calizas arenosas con intercalaciones de limolitas y areniscas cuarcíticas. Está en contacto fallado con rocas sedimentarias de la Formación Cheterló (Jurásico) e infrayace inconformemente a sedimentos inconsolidados del Cuaternario. Pertenece al Triásico.

3.1.4. FORMACION CHETERLO (Jmch)

Al igual que la anterior, aflora al norte del cerro de La Teta, contigua a la Formación Rancho Grande. Consiste en rocas sedimentarias compuestas por areniscas de grano fino a medio con intercalaciones de limolitas y shales. Sus límites son fallados con las formaciones Jipi al techo y Rancho Grande en la base. Es de edad Jurásico Medio.

3.1.5. FORMACION JIPI (Jsj)

Se encuentra en la parte norte del área del cerro de La Teta. Consta de areniscas calcáreas, compactas de grano fino a medio, limolitas, calizas y shales. Está en contacto fallado con la Formación Cheterló y en relación discordante con la Formación Uitpa (Terciario) y con sedimentos del Cuaternario. Tiene edad Jurásico Superior.

3.1.6. BATOLITO DE PATILLAL (Jcm)

Este cuerpo de edad jurásica aflora al sur de la Falla de Oca. El batolito conformado por una cuarzomonzonita y una cuarzo-diorita se encuentra en relación discordante con las formaciones cretácicas y terciarias adyacentes.

3.1.7. RIODACITA DE LOS TABANOS (Jt)

Se encuentra al sur de la Falla de Oca, junto al Batolito de Patillal. Consiste en una lava afanítica pálida con una textura fluidal que en su parte interior a veces se hace porfirítica. Pertenece al Jurásico.

3.1.8. VOLCANITAS INDIFERENCIADAS (KJv) Y VOLCANITAS DE IPAPURE (Kiv)

Rocas volcánicas no diferenciadas afloran al sur de la Falla de Oca y están en relación discordante con rocas metamórficas del

Precámbrico (Granulitas de Los Mangos) en su lado occidental y con depósitos del Cuaternario en su parte nororiental, donde se encuentran constituyendo el cerro de La Teta, conociéndose allí como Volcanitas de Ipapure con las cuales están relacionadas algunos diques riolíticos. Se les considera pertenecientes al Cretáceo.

3.1.9. GRUPO CALCAREO (Ksc)

Esta conformado por rocas sedimentarias cretáceas las cuales afloran al sur de la Falla de Oca. Comprende las formaciones La Luna, Maraca y Apón. Está compuesto por calizas de color negro a gris, macizas y compactas. Pertenecen al Cretáceo Superior.

3.1.10. FORMACION UIPTA (Tmu)

Aflora en las regiones de Hipanaruhu y Orochón, situadas a unos 25 km al E y NE de la población de Manaure. Su litología está caracterizada por arcillolitas grises, verduzcas y moradas con capas de yeso selenita e intercalaciones de calizas. Al oriente de la localidad de Piedras, en el área de Manaure, consiste en una arenisca calcárea con horizontes pequeños de calizas conglomeráticas de un espesor de 2,50 m y al oriente de Santa Rosa, también en el área de Maure, la arenisca en parte se vuelve ferruginosa.

3.1.11. FORMACION MONGUI (Tpm)

Está compuesta por sedimentos terciarios situados al sur de la carretera troncal del Caribe con afloramientos bien definidos en la región de Monguí, constituidos por arcillolitas arenosas semicompactas, intercaladas con areniscas de grano medio a grueso y conglomerados semicompactos, con cantos de tamaño de 1/2 a 5 cm de origen ígneo, encerrados en una matriz areno-arcillosa.

3.1.12. DEPOSITOS DE LLANURA ALUVIAL (QU)

Cubren las capas terciarias, conformando una gran llanura con sedimentos de tipo arcillo-arenoso, de origen fundamentalmente aluvial y en parte eólico.

3.1.13. DEPOSITOS DE CAUCE ALUVIAL (Qca)

Están conformados por sedimentos areno-arcillosos, acumulados en la franja de acción de los ríos y arroyos. Merecen mención los del río Ranchería, por ser los de mayor extensión.

3.1.14. DEPOSITOS DE BARRA (Qb)

Consisten en estrechas acumulaciones de arena de poco espesor presentes a lo largo de la línea de costa, principalmente entre las localidades de Manaure y Cardón.

3.1.15. DEPOSITOS DE PLAYON (QP)

Conformados por sedimentos semiconsolidados que se encuentran en alrededores de las salinas de Manaure, compuestos por arcillas arenáceas grises verduzcas y arcillas plásticas. Se presentan como geoformas planas.

3.1.16. DEPOSITOS DE DUNAS (Qd)

Son acumulaciones de arenas eólicas de poco espesor depositadas en dirección E-W y en general situadas sobre la llanura aluvial, principalmente al norte de la carretera troncal del Caribe.

3.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

El área de la Media y Baja Guajira se considera delimitada por dos grandes estructuras: la Falla de Oca y la Falla de Cuisa. La primera separa el Macizo de Santa Marta y la Serranía de Perijá de la región baja plana, y afecta rocas del Cretáceo Superior, y del Terciario al sur de Riohacha. La segunda, con dirección similar, separa la Media de la Alta Guajira. Ambas son el resultado de procesos tectónicos ocurridos a fines del Cretáceo y comienzos del Terciario. Existen también sistemas de fallas preterciarias, con dirección SSW-NNE, cubiertas en la Media Guajira por depósitos posteriores.

Los plegamientos deducidos a partir de datos geofísicos de compañías petroleras son:

- 1) El anticlinal de Ranchería, conformado por capas del Mioceno, cuyo eje tiene un rumbo N-S cerca de Buenavista.
- 2) Estructura sinclinal situada hacia el occidente, constituida por capas miocenas y pliocenas e interrumpida por la Falla de Oca.
- 3) Estructura sinclinal ubicada hacia el oriente del anticlinal de Ranchería. Su extremo oriental se sitúa cerca a Cuisa, en la Serranía de Cocinas.

3.3. GEOLOGIA HISTORICA

En la Media y Baja Guajira rocas del Conjunto Igneo - Metamórfico evidencian una complejidad en su historia geológica desde el Precámbrico hasta el Terciario, cuya cronología general indica metamorfismo de alto grado, sedimentación, volcanismo e intrusiones posteriores.

El Precámbrico se manifiesta por un metamorfismo de alto grado. Luego existe un hiato hasta el Paleozoico Superior, debido probablemente a fenómenos combinados de tectonismo y erosión durante ese lapso. En el Permo-Triásico aparece la Formación Corual, la cual presenta rasgos de actividad ígnea.

Durante el Triásico ocurre una sedimentación continental de capas rojas sobre rocas ígneas, las cuales parecen haber sufrido una erosión preliminar. Hay durante ese lapso una actividad volcánica esporádica al depositarse la Formación Rancho Grande sobre la Corual, bajo condiciones continentales de tipo fluvial.

En el período Jurásico se forma una depresión tectónica con dirección E-W llamada Fosa de Cocina y se depositan allí más de 500 m de sedimentos detríticos, representados en las formaciones Cheterló y Jipi; esta sedimentación se presenta bajo condiciones marinas someras. A finales del Jurásico o principios del Cretáceo se presenta una actividad ígnea representada en el Batolito de Patillal, la Riodacita de Los Tábanos y las

Volcanitas de Ipapure o Indiferenciadas. Durante el Cretáceo superior ocurre una transgresión marina, originando una sedimentación poco profunda, la cual constituye el Grupo Calcáreo. A finales del Cretáceo y comienzos del Terciario se presentó una orogenia (larámica) que ocasionó, entre otros, el retiro del mar, intrusiones ácidas y desarrollo de extensas fallas tales como la de Oca y Cuisa, las cuales dieron lugar a la conformación de la Cuenca de Riohacha. En el Mioceno el mar invadió el continente depositando en algunos lugares más de 3.000 m de sedimentos.

La regresión comienza antes de terminar la depositación total de la Formación Uitpa. Posterior a la orogenia del Plioceno (Radaniana), se depositó un espesor delgado de sedimentos que constituyen la Formación Monguí, la cual cubre la Media Guajira. En el Pleistoceno cesa la sedimentación marina y comienza una depositación continental litoral, fluvial y eólica que dan origen a las geoformas existentes actualmente.

4. GEOELECTRICA

4.1. GENERALIDADES

La información geoelectrica aquí expuesta, está basada en los estudios de Valencia et al. (1975), Carreño y Csonka (1980) y Carreño (1980). La información se trató de sintetizar en un mapa (Plancha 2) donde se indican las profundidades, con respecto al nivel del terreno, a partir de las cuales se encuentran resistividades mayores de 10 ohm-m. En el mapa por razones de legibilidad se colocaron únicamente los sondeos eléctricos verticales con sus respectivos números, el valor de resistividad (Ohm-m) y la profundidad (metros) a partir de la cual se encontraría el anterior valor de resistividad.

Para la Media y Baja Guajira la correlación propuesta entre resistividad de la formación y salinidad del agua subterránea, indica que valores de resistividad mayores de 10 Ohm-m, significan una saturación con agua poco dulce a dulce con un contenido en

cloruros menor de 600 ppm. Las zonas con esta situación fueron cartografiadas en el mapa con líneas de igual profundidad de 50, 100, 150 y 200 m. Aquellas zonas donde se detectaron resistividades menores de 10 ohm-m (contenido en cloruros mayor de 600 ppm o saturación con agua desde salobre a salada) fueron separadas únicamente por una línea límite.

Con el fin de visualizar mejor la distribución en el mapa de las unidades geoelectricas con valores mayores de 10 ohm-m, se dividió el área de estudio en cinco regiones denominadas: Dibulla, Riohacha, Manaure, Maicao y Cerro de LaTeta.

4.1.1. REGION DE DIBULLA

Se encuentra ubicada al suroccidente del área investigada y comprende desde la Falla de Oca al sur, hasta la localidad El Horno al nororiente (SW de Riohacha). En esta región las capas o unidades geoelectricas con valores de resistividad mayores de 10 ohm-m se encuentran separadas de la zona costera, por el límite de las unidades geoelectricas con valores de resistividad menores de 10 ohm-m (agua desde salobre a salada).

En los alrededores de las localidades de Campaña, Pelechúa, Guaracoa, Tigrera, Comejenes, El Muerto, Anaime, Camarones y La Isla, la profundidad de la capa mayor de 10 ohm-m se encuentra desde unos metros hasta 100 m. En la localidad El Horno (Hacienda La Gloria) la profundidad es mayor de 100 m.

4.1.2. REGION DE RIOHACHA

Esta región corresponde a la parte centro-occidental del área y cubre desde los alrededores del municipio de Riohacha en el suroccidente, hasta las inmediaciones de las salinas de Manaure en el nororiente. Hacia el oriente está limitada por una línea que une a la loma El Salado cercana a la Falla de Oca con la localidad de Limuna.

Las unidades geoelectricas que indican presencia de aguas subterráneas poco dulces a dulces, se encuentran en casi toda la región con excepción de los márgenes costeros y en los sitios aledaños a la loma El Salado. Las

unidades o capas más someras (menos de 50 m de profundidad) aparecen entre las localidades de Ritachón y Quiebrapalos y entre Riohacha y el corregimiento El Pájaro.

4.1.3. REGION DE MANAURE

La región de Manaure hasta la localidad El Cardón en el extremo noroccidental, y los alrededores del municipio de Uribia, en el oriente. En cercanías de Manaure aparecen capas geoelectricas con resistividades menores de 10 ohm-m, que indican aguas subterráneas salobre a salada.

En los alrededores de uribia, la unidad geoelectrica con resistividad menor de 10 ohm-m se encuentra a partir de unos cuantos metros hasta 70 m de profundidad, constituyendo un acuífero superficial, donde el contenido en cloruros varía de 600 a 900 ppm.

4.1.4. REGION DE MAICAO

Constituye el extremo suroriental del área de estudio desde las inmediaciones del municipio de Maicao. La zona principal con resistividades mayores de 10 ohm-m se encuentra localizada únicamente al norte de Maicao, sin embargo hacia el sur se encuentran algunas zonas aisladas, especialmente entre Maicao y Carraipía.

4.1.5. REGION DEL CERRO LA TETA

Está situada en el extremo nororiental del área. Allí se presentan varias zonas con valores de resistividad de 10 ohm-m a partir de los 100 y 150 m de profundidad, por lo que se espera contengan agua subterránea poco dulce.

4.2. CORTES GEOELECTRICOS

Para el área de la Media y Baja Guajira, se elaboraron cinco cortes geoelectricos con una dirección NNW-SSE (Plancha 3) para poder mostrar la ubicación de las diferentes unidades geoelectricas con sus correspondientes valores de resistividad y su correlación hidroquímica. Para la correlación hidroquímica (Tabla 2) se tomaron los valores de resistividad basados en el estudio de Carreño y Csonka (1980).

TAB. 2: Intervalos de resistividad y sus correlaciones hidroquímicas.

| RESISTIVIDAD DE LA UNIDAD (Ohm-m) | CORRELACION HIDROQUIMICA | CLORUROS (ppm Cl) |
|-----------------------------------|--------------------------|-------------------|
| < 5 | Agua salobre a salada | > 1000 |
| 5 - 10 | Agua salobre | 1000 - 600 |
| > 10 | Agua poco dulce a dulce | < 600 |

En cada uno de los cortes se incluyen perforaciones que indican la composición litológica del subsuelo. Además, los registros físicos de las perforaciones sirvieron para la comprobación de la interpretación de los sondeos geoelectricos.

Los cortes presentan límites muy agudos debido a que la escala vertical está exagerada 40 veces en relación a su escala horizontal. En la realidad (escala 1:1) dichos límites son prácticamente planos.

4.2.1. CORTE A-A'

Va desde el punto Jipa, en la zona costera de la región de Manaure hasta Huampeshi en el límite oriental de la región del Cerro La Teta. En el corte se establece una correlación de resistividades y profundidades con los pozos 9 II D-52 Uribia y 9 II D-53 Uribia en su parte occidental, y con el pozo 10 III B-1 Huampeshi en su parte oriental, quedando el corte dividido en dos partes debido a una discontinuidad geoelectrica.

La parte ubicada al noroeste de la discontinuidad, se caracteriza por la presencia de una capa superficial con valores de resistividad menores de 10 ohm-m, indicando una saturación con agua salobre con más de 600 ppm de cloruros. El mayor espesor de esta capa (60 a 80 m) se encuentra desde los alrededores de Uribia hacia el sureste. Por debajo de la capa en referencia, existe una unidad geoelectrica con valores de resistividad menores de 5 y 10 ohm-m que indican una saturación con agua salobre a salada (contenido de cloruros mayor de 1000 ppm). Hacia el sureste de la discontinuidad la situación cambia radicalmente, ya que además de adelgazarse el espesor de la capa

con resistividad menor de 10 ohm-m, por debajo de ella aparece la capa geoelectrica con resistividad menor de 5 ohm-m, que de acuerdo con la correlación hidroquímica (Tabla 2) estaría saturada con agua salobre a salada.

4.2.2. CORTE B-B'

Se extiende desde Punta Chucupa (corregimiento El Pájaro) en la costa, hasta unos 4,5 km al noreste de Paraguachón en la frontera con Venezuela. Atraviesa los siguientes pozos: 8 II C-1 Limuna, 9 IV A-14 Huarahima y 15 Bis I A-1 Anaraipa.

Los intervalos de resistividad y sus correlaciones hidroquímicas (Tabla 2) muestran para este corte lo siguiente: El subsuelo en la zona costera tiene resistividades menores de 5 ohm-m (saturado con agua salobre a salada) y desde aquí hasta el pozo 9 IV A-14 Huarahima la resistividad de la unidad es mayor de 10 ohm-m, conteniendo agua subterránea poco dulce a dulce. Más hacia el sureste, la parte superior, hasta 100 y 150 m de profundidad, contiene agua salobre con una transición lateral a agua salada y a partir de esta profundidad, vuelven a encontrarse capas con resistividades mayores de 10 ohm-m (agua poco dulce a dulce).

4.2.3. CORTE C-C''

Va desde la costa hasta la quebrada Candelaria, en la frontera Venezolana, al oriente de Maicao. Cruza por los siguientes pozos: 8 III B-1 Aruatapahi; 9 III D-1 Las Palmeras; 15 II B-1 Maicao y 15 Bis I A-1 Aranaipa.

En la zona costera y en la zona aledaña a la frontera con Venezuela, el corte indica

la presencia hasta los 100 m de profundidad, de capas con valores de resistividad menores de 5 ohm-m, es decir saturadas con agua salobre a salada y en la parte central una capa delgada con resistividad mayor de 10 ohm-m (agua dulce a poco dulce) encima de una capa saturada con agua salobre (resistividad de la capa entre 5 y 10 ohm-m).

La mayor parte del área que atraviesa este corte, está saturada con agua poco dulce a dulce a profundidades mayores de 100 m.

4.2.4. CORTE D-D''

Se extiende desde la costa de Riohacha hasta el noreste de Majayura, al sur de Maicao. Pasa por los siguientes pozos: 8 III C-3 Texas, 8 III C-4 Curtidivi Texas, 8 III D-1 Aremasahin, 14 II A-1 Ouriakal 1 y 15 D-1 Guayabal.

El corte muestra las siguientes características: La parte noroccidental contiene, con la excepción de unos lentes salobres a salados, predominantemente agua poco dulce a dulce. La parte oriental al contrario está saturada principalmente con agua salobre y su extremo con agua salada.

4.2.5. CORTE E-E''

El corte se extiende desde la localidad El Horno en la región de Dibulla hasta Majayura en la región de Maicao, atravesando los pozos 14 I A-1 Moján 15 III B-1 Siruma y 15 IV C-1 El Jordán.

La situación en este corte es muy parecida a la del anterior, agua salobre a salada en la zona costera y salobre en la zona suroccidental. Hacia la parte central se encuentra un cuerpo extenso saturado con agua poco dulce a dulce (resistividad de la unidad mayor de 10 ohm-m).

5. INVENTARIO, NIVELACION Y TOMA DE NIVELES ESTACIONALES DE POZOS Y ALJIBES

Como parte del estudio hidrogeológico realizado, se llevó a cabo un inventario de pozos y aljibes en toda el área del proyecto. Se hicieron levantamientos topográficos para

determinar sus coordenadas y cotas y se tomaron niveles estacionales, en cada uno de ellos.

Con el control de niveles estacionales se obtiene una idea de la magnitud de las variaciones estacionales y del uso del agua subterránea, que en el área del proyecto es fundamentalmente doméstico. Las medidas del nivel piezométrico sirven para conocer la superficie piezométrica, dirección del flujo, gradiente hidráulico, recarga y descarga del acuífero.

Las actividades de inventarios en la Media y Baja Guajira se llevaron a cabo entre abril de 1977 y marzo de 1978. Los pozos y aljibes existentes inventariados fueron 431, además de los 20 pozos perforados, en esta área, durante el proyecto "Exploración de Acuíferos de la Alta y Media Guajira" y 30 en el presente proyecto para un total de 481.

Los pozos perforados por INGEOMINAS fueron entubados en PVC con diámetros de 2 pulgadas (piezómetros) y 6 pulgadas, y los restantes en acero generalmente con diámetro de 6 pulgadas.

La información recolectada consiste principalmente en la identificación, ubicación, profundidad, diámetro, uso y si era posible litología, diseño y pruebas de bombeo de los pozos y aljibes. Durante esta etapa se contó con la valiosa cooperación de PROAGUAS (Provisión de Aguas de la Guajira, IFI).

Para los pozos construidos en el proyecto "Exploración de Acuíferos de la Alta y Media Guajira" se usó la siguiente nomenclatura:

Gju EA - 23

| | |
|----|---|
| Gj | Departamento de la Guajira. |
| u | Municipio de Uribia |
| EA | Exploración de Acuíferos. |
| 23 | Número de orden del pozo perforado durante el proyecto. |

En el proyecto objeto de este informe, INGEOMINAS adopta una nueva nomencla-

tura para evitar confusiones con la creación principalmente de departamentos y municipios, la cual se presenta a continuación:

- 8 III B-1-4 Aruatapahi
 8 III B = Número de la Plancha 1:25.000
 1 = Número de orden del pozo en la Plancha 1:25.000. Se numeran de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.
 4 = Número de piezómetros que tiene el pozo.

Aruataphi = Nombre de la localidad.

- 1 = Número de orden del pozo. Este se usa cuando hay más de un pozo en una misma localidad. En lo posible se les numera de acuerdo a la fecha de perforación.
 A = Cuando por motivos técnicos es necesario perforar otro pozo se usa la letra A. Esto porque algunas veces la información es diferente.

Durante el tiempo comprendido entre febrero de 1977 y julio de 1978, se realizó el levantamiento topográfico que permitió localizar con sus coordenadas y cotas, 304 pozos y 21 aljibes.

Con base en lo anterior, se tomaron los niveles estacionales durante los períodos de marzo a abril (época de verano) y de octubre a noviembre (época de invierno) del año 1977. También se tomaron niveles en la época de verano correspondiente a los meses de febrero y marzo de 1978.

Las medidas de niveles estáticos observadas durante los meses de marzo (verano) y noviembre (invierno) del año 1977, señalan que el nivel freático en la Media y Baja Guajira desciende en la época de verano entre 0,50 y 1,50 m. El mayor descenso se presenta en el sector comprendido por las localidades de Sirranhira y Carraipía al suroccidente de Maicao, y aproximadamente 18 km al suroccidente de Uribia en los "Bajos de Pasajerrhu".

6. UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

En el presente capítulo se describen las características generales de las cinco unidades hidrogeológicas en que ha sido dividida el área de la Media y Baja Guajira, de acuerdo únicamente con el tipo de porosidad y grado de permeabilidad de sus componentes litológicos, ya que no fue posible determinar todos y cada uno de los parámetros de los acuíferos, debido a que el proyecto fue interrumpido por razones ya conocidas.

Cada unidad hidrogeológica (Plancha 4) está representada por una o varias unidades geológicas pertenecientes al mismo ambiente de depositación, con semejanza en la calidad del agua subterránea en ella(s) almacenada y que están, por supuesto, conectadas hidráulicamente debido a su posición estratigráfica o estructural. Estas unidades son: Conjunto Cuaternario (Q), Conjunto Detrítico Terciario (T), Conjunto Calcáreo (K), Conjunto detrítico Mesozoico (M) y Conjunto Igneo-Metamórfico (IM).

6.1. CONJUNTO CUATERNARIO (Q)

Esta unidad hidrogeológica se encuentra conformada por todos los sedimentos cuaternarios (depósitos de Llanura Aluvial, de Cauce Aluvial, de Barra, de Playón y de Dunas) que constituyen la parte plana de la Media y Baja Guajira. Litológicamente se compone hacia el techo de arenas lodosas, arenas cuarzosas de grano muy fino a grueso y de gravas y guijarros constituidos por areniscas calcáreas y no calcáreas. Hacia la base aparecen arenas arcillosas cuarzosas de grano fino a grueso y arcillas areno-limosas. El espesor total de la unidad varía de 50 a 70 m y su ambiente de depositación es continental.

Estructuralmente la unidad hidrogeológica Conjunto Cuaternario, se encuentra en capas horizontales que tienen una porosidad primaria y moderada permeabilidad, desarrollando acuíferos libres de carácter regional, conocidos en el estudio de Robles et al. (1983) como Acuífero Freático. Su fuente principal de recarga es el agua lluvia infiltrada.

da directamente, y en menor proporción las provenientes de las corrientes superficiales que en la mayor parte de la Guajira, son torrenciales y efímeras.

En general el agua subterránea almacenada en la unidad Conjunto Cuaternario se considera salobre, con un contenido en cloruros entre 600 y 1000 ppm, exceptuándose las zonas aledañas a la línea de costa donde el agua es salada y las márgenes de algunos ríos que fluyen la mayor parte del año, como es el caso de la parte baja del río Ranchería, cuyas márgenes almacenan agua poco dulce a dulce como resultado de la granulometría gruesa y uniforme de los sedimentos o a la mayor lixiviación de los mismos.

6.2. CONJUNTO DETRITICO Terciario (T)

La unidad hidrogeológica denominada Conjunto Detrítico Terciario, está representada por las formaciones Uitpa y Monguí de edad Terciario Superior y ambiente marino poco profundo, constituidas por rocas sedimentarias poco friables con porosidad primaria y permeabilidad moderada a alta. Litológicamente consiste en gruesas intercalaciones de arcillolitas arenosas cuarzosas, de grano fino a muy grueso, de color gris azulado; de areniscas calcáreas de grano medio a muy grueso, a veces ligeramente conglomeráticas con restos fósiles y esporádicamente piritita y por arcillolitas de color gris azulado.

La unidad en mención aflora principalmente en el suroccidente del área investigada, entre la ciudad de Riohacha y la Falla de Oca, y en muy poca proporción al nororiente de Manaure, comportándose esos afloramientos como zonas de recarga ya que en el resto del área está cubierta por la unidad hidrogeológica Conjunto Cuaternario. Forma parte importante del acuífero denominado en el Informe de Robles et al. (1983) como Acuífero Confinado. Su principal fuente de recarga proviene de los flujos subterráneos profundos, de carácter regional originados desde la Falla de Oca y por flujos subterráneos locales provenientes de sus afloramientos.

El ambiente de depositación marino de la unidad Conjunto Detrítico Terciario (T) hace que el agua en ella almacenada sea salada en las regiones alejadas de las áreas de recarga, como sucede en los alrededores del municipio de Uribia, donde el agua subterránea del acuífero confinado tiene un contenido en cloruros entre 1300 y 2000 ppm mientras que en las regiones más cercanas a las áreas de recarga, como los alrededores de la ciudad de Riohacha y las zonas aledañas a la Falla de Oca, el agua del acuífero tiene entre 400 y 600 ppm en cloruros, considerándose poco dulce a dulce.

6.3. CONJUNTO CALCAREO (K)

Con el nombre Conjunto Calcáreo (K) se define una unidad hidrogeológica, compuesta por una secuencia de rocas sedimentarias compactas con porosidad secundaria por fracturamiento y disolución y permeabilidad baja, constiuida por caliza, chert, arcilla calcárea e intercalaciones de arenisca con concreciones calcáreas, depositadas en un ambiente marino durante el Cretáceo. Esta unidad corresponde a lo que se conoce en el capítulo de geología como Grupo Calcáreo y aflora únicamente hacia el extremo suroriental del área de recarga aledaña a la Falla de Oca.

La importancia hidrogeológica de la unidad se debe al hecho de estar afectada tectónicamente por la Falla de Oca, convirtiéndose en una zona de infiltración profunda del agua lluvia, a través posiblemente de sus fracturas y a través de la misma zona de falla.

6.4. CONJUNTO DETRITICO MESOZOICO (M)

La unidad hidrogeológica descrita como Conjunto Detrítico Mesozoico, consiste en una serie de rocas sedimentarias muy compactas, compuestas por arcillolita interestratificada con cuarcita, arenisca, lentes de caliza y conglomerado masivo, que representa a las formaciones Rancho Grande, Cheterló y Jipi de edad Mesozoica.

La anterior unidad aflora en la zona de recarga situada en el extremo nororiental del área investigada, caracterizándose por presentar porosidad secundaria local con fracturamiento en los lugares afectados por pequeñas fallas, pero regionalmente se considera impermeable.

6.5. CONJUNTO IGNEO-METAMORFICO (IM)

Se denomina con este nombre al conjunto de unidades geológicas de origen ígneo-metamórfico y volcánico de edad Precámbrica hasta Cretácica; el conjunto está conformado por la Granulita de Los Mangos, la Formación Corual, el Batolito de Patillal, la Riodacita de Los Tábanos, Volcanitas Indiferenciadas y Volcanitas de Ipapure, que sólo desarrollan una porosidad secundaria por fracturamiento especialmente en la zona cercana a la Falla de Oca, considerándose impermeable en el resto del área.

La unidad Conjunto Igneo-Metamórfico, aflora principalmente al sur del área investigada, a lo largo de la Falla de Oca, y en menor extensión hacia el oriente del municipio de Uribia, cerca a la frontera con Venezuela. Su interés hidrogeológico está condicionado solamente a la zona de fractura de la Falla de Oca, por donde se supone que ocurre la principal recarga del acuífero confinado de la Media y Baja Guajira.

7. GEOHIDROQUIMICA

7.1. GENERALIDADES

En el estudio geohidroquímico se procesaron los datos de los análisis físico-químicos de las muestras de aguas subterráneas tomadas entre los años 1971 y 1974 y en 1977, durante los proyectos Guajira Fase I y Fase II respectivamente, tratando de encontrar una distribución de los diferentes tipos hidroquímicos del agua subterránea y la explicación posible de su génesis, así como determinar su grado de potabilidad para el consumo humano y su aplicación en la irrigación.

La calidad físico-química del agua subterránea limita en gran parte las posibilidades para su uso y los factores que en ella influyen son: la composición química original del agua que recarga los acuíferos, el ambiente de depositación y constitución litológica de los acuíferos y los procesos tales como recarga, duración del flujo subterráneo y descarga. La interpretación se realiza con los resultados analíticos de las muestras de agua freática tomadas en 155 pozos y 5 aljibes y 10 muestras de agua subterránea profunda tomadas en pozos.

7.1.1. CONDICION GEOHIDROQUIMICA DE LAS AGUAS FREATICAS O LIBRES

Los depósitos cuaternarios que afloran en la Media y Baja Guajira, se depositaron en un ambiente continental, aunque una parte de ellos estuvieron sujetos a inundaciones del agua de mar en las zonas costeras. Estos depósitos se encuentran encima de un gran relleno terciario, conformado por rocas de origen marino.

La recarga con agua dulce proveniente de la infiltración directa del agua lluvia y de la escorrentía superficial, reemplaza esta agua salada. Sin embargo, en la Media y Baja Guajira este proceso sucede muy lentamente, principalmente debido a sus características climatológicas y litológicas las cuales permiten poca infiltración de agua lluvia en el subsuelo. Localmente el acuífero freático se recarga por agua proveniente de ríos, pero debido a que las corrientes superficiales son en su mayor parte intermitentes y efímeras, no pueden suministrar agua dulce al subsuelo todo el año; el volumen de la recarga de estos acuíferos con agua dulce, aumenta hacia la parte sur del área de estudio, donde se pueden encontrar ríos perennes que fluyen desde las montañas de la Sierra Nevada de Santa Marta.

En la Plancha 4 se puede ver que según contenido de cloruros presentado en los diagramas de Stiff, las muestras de aguas freáticas se encuentran en dos zonas fácilmente diferenciables: una zona situada en la parte sur y central del área de estudio, caracterizada

por presentar aguas poco dulces de diferentes tipos geoquímicos como clorurado sódico, bicarbonatado sódico, bicarbonatado clorurado sódico y clorurado cálcico, y otra zona ubicada al norte que contiene aguas salobres a saladas de tipo clorurado.

En la parte sur de la Media y Baja Guajira a lo largo de su límite con la Sierra Nevada de Santa Marta, las aguas subterráneas son poco dulces y contienen calcio como catión principal; los aniones más abundantes son cloruros, bicarbonatos sulfatos. La composición química está influenciada en gran parte por aguas subterráneas y superficiales que fluyen desde la Sierra Nevada de Santa Marta y agua proveniente de la precipitación local. La Plancha 4 muestra que las aguas freáticas más al norte contienen sodio y cloruro como iones principales, indicando que la influencia de la recarga de los acuíferos freáticos con agua dulce disminuye hacia el norte. Desde cerca a Riohacha la recarga con agua dulce probablemente no es suficiente para lixiviar todos los iones de sodio y cloruro que contiene el agua de origen marino, almacenada en el acuífero freático.

La parte central del área de estudio se caracteriza por contener aguas poco dulces de diferentes tipos, con bicarbonato y cloruro como aniones importantes y por aguas salobres de tipo clorurado sódico.

El agua dulce proveniente de la precipitación e infiltración desde los ríos y probablemente de las aguas subterráneas que fluyen desde la Sierra Nevada de Santa Marta, diluyeron el agua el agua salada originalmente atrapada en los sedimentos y cambiaron su composición química. La dilución de las aguas produjeron aguas poco dulces, todavía de tipo clorurado sódico. La composición química de las aguas se modificó además por procesos de sustitución y de cambio de bases. Al principio las aguas subterráneas en los sedimentos del acuífero fueron saladas y de tipo clorurado sódico y la composición de las arcillas de los sedimentos estaba en equilibrio con la composición del agua, o sea, tenían un alto contenido de sodio. Después las aguas principalmente de tipo bicarbonatado cálcico recargaron los acuíferos y reemplaza-

ron las aguas saladas de los sedimentos. Si esta sustitución es completa, el agua subterránea llega a ser de tipo bicarbonatado cálcico. Sin embargo, por medio de procesos de cambio de bases se sustituyó muchas veces el sodio por calcio en las arcillas estableciendo un nuevo equilibrio entre la composición química del agua subterránea y la de las arcillas. Este cambio de bases causa un aumento en la concentración de sodio en el agua subterránea, de modo que la composición química se caracteriza por el tipo bicarbonatado sódico.

En la zona norte del área de estudio se encuentran aguas salobres. Esta zona de agua salobre corresponde a la parte de la Media Guajira que estuvo influenciada en el Cuaternario por invasión marina, lo que permitió que se quedaran atrapadas aguas saladas, produciendo altas concentraciones de sodio y cloruro. Además la formación de Dunas con arenas contaminadas de sal, permiten infiltraciones de agua salada por lixiviación del agua proveniente de las lluvias.

Se observa al noreste de Uribia que las aguas salobres contienen una concentración de sulfatos relativamente elevada, aunque se clasifican como cloruradas sódicas (Pozos 10 I C-1 Ichien No. 2, 9 II B-3 Veinte de Julio No. 2, 9 II B-2 Mehera No. 1 y 99 II B-5 Mehera Privado). Probablemente los acuíferos freáticos se alimentan también parcialmente por aguas provenientes de las rocas sedimentarias de la Formación Uitpa, la cual aflora al norte de Uribia. Esta formación presenta, entre otras, intercalaciones de yeso (MOSQUERA et al, 1976).

Localmente en la zona salobre se encuentran aljibes o pozos que suministran aguas poco dulces como por ejemplo, el aljibe 9 II A-9 y los pozos 9 II D-6 Proaguas, 9 II D-7 Ac. Uribia 2, 9 II D-8 Uribia 1 y 9 II D-16 Colquit - Escuela Vocacional, los cuales se hallan cerca del arroyo Kutamahana. Este fenómeno se debe a que el agua del arroyo Kutamahana, de tipo intermitente, se infiltra en el subsuelo y así diluye las aguas subterráneas originalmente salobres y modifica su composición química; se observa que son de tipo clorurado, con un elevado contenido de bicarbonato.

La variación espacial de las características químicas regionales está indicada por la transición gradual entre la zona con aguas poco dulces y la zona con aguas salobres a saladas, encontrándose en la zona de transición agua poco salobre, por ejemplo las muestras de agua de los pozos 81 V C-2 El Hacha, 9 III D-2 Vrinachy, 9 III B-1 Guararachón, 9 I D-7 Marirainkirru, 9 IV A-2 Karekaremana, 9 IV C-2 Boyacá o Kasuto 2, 9 IV C-7 Caucharain, 9 IV D-1 Otonchon y 9 IV A-13 Morcisi.

Comparando los análisis físico-químicos de las muestras de agua freática con los límites recomendados de potabilidad presentados en la Tabla 3 y además relacionándolos con las dos zonas en las que se ha dividido el área de estudio, según el contenido de cloruros, se observa que hacia la parte sur todas las muestras de agua con concentraciones en cloruros por debajo de 600 ppm, están dentro del límite aceptable de potabilidad, pero hacia la parte central se encuentran algunas veces aguas poco dulces con altos contenidos de manganeso y/o hierro que no se consideran recomendables para su uso.

Las aguas freáticas almacenadas en la zona norte, sobrepasan en general el límite aceptable de 600 ppm de cloruros y por lo tanto se clasifican en su mayoría como químicamente impotables.

7.1.1.2. CONDICION GEOHIDROQUIMICA DE LA AGUA CONFINADA

Las aguas profundas se encuentran en el acuífero confinado, compuesto de areniscas calcáreas a veces conglomeráticas y arcillolitas arenosas del Terciario, que se recarga probablemente a través de la Falla de Oca, con agua subterránea dulce proveniente de la Sierra Nevada de Santa Marta. Los análisis de las muestras de agua tomadas en los pozos que captan el acuífero confinado, indican que son poco dulces y se clasifican como aguas cloruradas sódicas y bicarbonatadas sódicas. Esto sucede en los pozos ubicados al sur de área de estudio y los alrededores de Riohacha, ya que hacia la parte norte, como por ejemplo en los alrededores de

Uribia el agua subterránea del acuífero es salada con un contenido en cloruros entre 1300 y 2000 ppm. Las rocas terciarias que conforman el acuífero confinado son de origen marino y al principio fueron saturadas por aguas saladas marinas, pero después la recarga con agua dulce las ha venido diluyendo, principalmente en dirección sur a norte.

El agua subterránea contenida en los 6 pozos con filtros en el acuífero confinado (Tabla 4) ubicados en cercanías a Riohacha, se clasifica como tolerable para el consumo humano, a excepción del agua subterránea del pozo 8 IV C-10 que tiene un contenido en hierro en solución mayor de 0,3 ppm.

7.2. CLASIFICACION DEL AGUA SUBTERRANEA PARA IRRIGACION

La clasificación para irrigación de las aguas subterráneas de la Media y Baja y Guajira está basada en el gráfico de la Figura 6, que contempla los valores de índice de sodio RAS y la conductividad eléctrica.

Las características de las aguas freáticas en la zona sur de la línea Riohacha-Maicao son en general de medio y alto peligro de salinidad y bajo peligro de sodización. Estas aguas se pueden usar en casi todos los suelos y con cultivos que tengan tolerancia media a las sales.

En la parte central del área se clasifican como de alto a muy alto peligro de salinidad y medio a muy alto peligro de sodización. Las aguas freáticas de la zona norte contienen las mayores concentraciones de sales solubles de la región investigada.

Los pocos análisis físico-químicos de agua subterránea del acuífero confinado (Tabla 4) muestran altos peligros de salinidad y variables peligros de sodización según la clasificación para riego.

Las aguas de alto a muy alto peligro de salinidad y medio peligro de sodización se pueden usar solamente en suelos bien drena-

TAB. 3: Límites de Potabilidad (ppm) según Normas Internacionales para Aguas Potables (Tomado de American Water Works Association, 1975).

| SUSTANCIAS | U.S. PUBLIC HEALT SERVICE, 1962 | | ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD, EUROPEA | | ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD, INTERNACIONAL, 1963 | | | OBJETIVOS PARA EL AGUA DE CALI- DAD POTABLE RE- COMEND. POR LA A W W A, 1968 |
|---|------------------------------------|-----------------------|--|------------------------|--|------------------|-----------------------|--|
| | LIMITE RECOM. | LIMITE DE TOLERAN. | LIMITE RECOMEN. | LIMITE DE TOLERANC. | LIMITE RECOM. | LIMITE ACEPT. | LIMITE DE TOLERAN. | |
| Turbiedad | 5 | — | — | — | 5 | 10 | — | 5 |
| Sólidos disueltos | — | — | 500 | 1.500 | — | — | — | 0,05 |
| Calcio (Ca) | — | — | — | — | 75 | 200 | — | — |
| Cloruros (Cl) | 250 | — | 350 | — | 200 | 600 | — | — |
| Dureza (expresada en CaCO ₃) | — | — | 100-500 | — | — | — | — | 80 - 100 |
| Concentración de iones de hidrógeno (pH) | — | — | — | — | 7,8-8,5 | 6,5-9,2 | — | — |
| Hierro (Fe) | 0,3 | — | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 1,0 | — | < 0,05 |
| Magnesio (Mg) | — | — | 125 | — | 50 | 150 | — | — |
| Sulfato de Mg y Na | — | — | — | — | 500 | 1.000 | — | — |
| Manganeso (Mn) | 0,05 | — | 0,1 | — | 0,1 | 0,5 | — | < 0,01 |
| Nitratos (NO ₃) | 45 | — | 50 | — | — | 45 | — | — |
| Sulfatos (SO ₄) | 250 | — | 250 | — | 200 | 400 | — | — |

TAB. 4: Análisis físico-químicos de muestras de aguas subterráneas profundas (en ppm).

| POZO N.º. | FECHA TOMA DE MUESTRA | PROMEDIO (m) | CONDUCTIVIDAD. ESPECÍFICA | SOLIDOS DISUELTOS (ppm) | DUREZA TOTAL EN CaCO ₃ | | | | | | | | | | |
|------------|-----------------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|---|-----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| | | | | | | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Fe ⁺⁺ | Mn ⁺⁺ | Cl ⁻ | NO ₃ ⁻ | HCO ₃ ⁻ | SO ₄ ⁼ |
| 8 IV C-10 | XI-28-74 | — | 1203 | 818 | 51,00 | — | — | 7,54 | 7,68 | 0,51 | 0,05 | 217,00 | 4,32 | 259,86 | 53,33 |
| 8 IV C-10 | XI-30-74 | — | 1163 | 792 | 52,00 | — | — | 14,34 | 3,84 | 0,36 | 0,05 | 213,00 | 4,24 | 253,76 | 50,67 |
| 14 I C-5 | XII 1-74 | 311 | 935 | 666 | 78,00 | — | — | 7,54 | 14,04 | 0,30 | 0,19 | 112,00 | 4,24 | 276,94 | 62,67 |
| 14 I C-5 | XII-2-74 | 311 | 1026 | 1012 | 90,00 | — | — | 16,22 | 11,76 | 0,30 | 0,17 | 154,00 | 4,28 | 257,42 | 64,67 |
| 8 III C-22 | IX-18-76 | 271 | 1702 | 1073 | 186,61 | 285,00 | 10,00 | 34,33 | 24,19 | 0,08 | < 0,05 | 443,04 | 2,80 | 200,81 | 72,40 |
| 14 I A-1 | — | 336 | 734 | 516 | 53,90 | 166,00 | 11,80 | 13,20 | 5,02 | 0,10 | 0,10 | 120,60 | 8,00 | 156,20 | 13,00 |
| 14 I A-1 | — | 336 | 1008 | 643 | 73,50 | 220,00 | 2,60 | 17,60 | 7,08 | 0,05 | < 0,02 | 205,80 | 4,50 | 244,00 | 41,00 |
| 8 III B-1 | — | 311 | 869 | 643 | 132,30 | 146,00 | 4,40 | 37,40 | 9,31 | 0,00 | < 0,02 | 156,10 | 7,00 | 280,60 | 12,00 |
| 8 III C-4 | X-27-77 | — | 2033 | 1308 | 229,55 | 379,00 | 5,90 | 34,37 | 54,06 | 0,30 | < 0,05 | 493,45 | 1,50 | 219,60 | 172,00 |
| 8 III C-3 | X-27-77 | — | 1343 | 690 | 72,73 | 285,00 | 3,00 | 12,50 | 9,95 | 0,10 | < 0,05 | 309,63 | 0,50 | 289,32 | 21,00 |

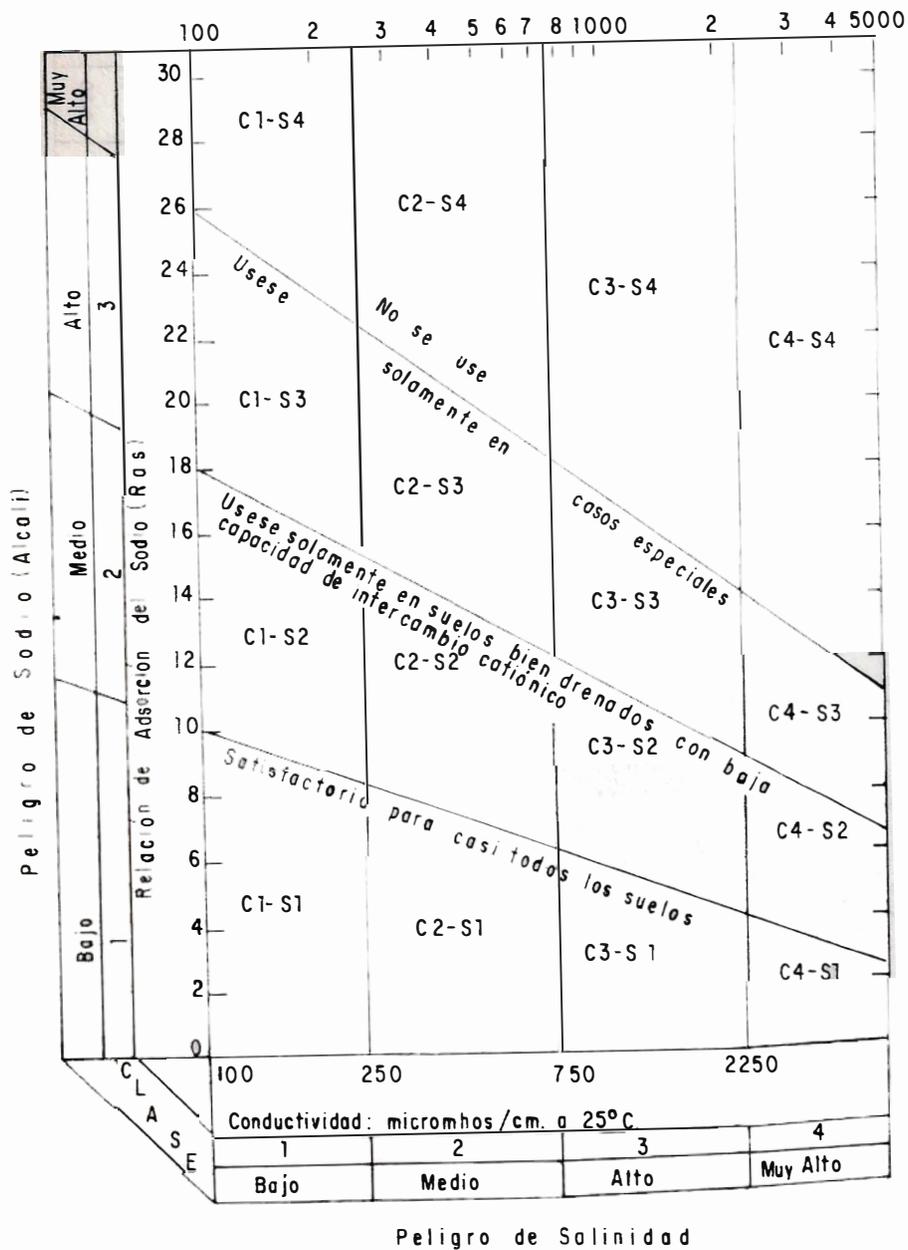


FIG. 6: Diagrama para la clasificación de las aguas para riego.

dos con baja capacidad de intercambio catiónico y con cultivos tolerantes a las sales. Cuando el peligro de sodización es muy alto deben usarse solamente en suelos yesíferos con cultivos muy tolerantes a las sales.

Prescindiendo de los altos valores de salinidad y sodización de la mayor parte de las aguas subterráneas de la Media y Baja Guajira, también se deben tener en cuenta las características climatológicas del área para evaluar el uso eventual de estas aguas para riego. La precipitación relativamente baja e irregularmente distribuida con grandes fluctuaciones anuales y la alta evaporación no son favorables con respecto a su utilización para riego.

En general los suelos arcillosos son los que presentan mayores problemas frente a la calidad del agua, debido a que su drenaje siempre es deficiente y por lo tanto la lixiviación del exceso de sales acumuladas se dificulta considerablemente.

8. ESTUDIO DE AGUAS SUBTERRANEAS CON TECNICAS ISOTOPICAS

Para investigar la recarga, descarga, dirección de flujo y edad del agua subterránea en el área investigada, se contrataron con el Instituto de Asuntos Nucleares (IAN) estudios con técnicas isotópicas, consistentes en el muestreo e interpretación de los resultados, de los análisis de isótopos estables de 42 muestras, ejecutados por el Institut Fur Radiohidrometric de Munich, y en la interpretación preliminar del contenido de tritio en 13 muestras de aguas subterráneas, analizadas en la Comisión Nacional de Energía Atómica de Buenos Aires, Argentina. Toda esta información se tomó del informe elaborado por Rodríguez et al. (1980).

8.1. MUESTREO, RESULTADO E INTERPRETACION DE LOS ANALISIS DE ISOTOPOS ESTABLES

Con el fin de tener bases comparativas de interpretación regional, se tomaron mues-

tras de agua en pozos someros y profundos, jagüeyes, manantiales, precipitación local y agua lluvia representativa de la Sierra Nevada de Santa Marta y de la Serranía de Perijá (Fig. 7). La Tabla 5 presenta el resultado de los análisis de Oxígeno-18 y Deuterio (Hidrógeno-2). En la Figura 8 se observa la distribución de las muestras graficadas en el sistema de coordenadas cartesianas de acuerdo con los estandar internacionales.

Las muestras de precipitación de ocho meses de los años 1977 y 1978 (Tabla 5) incluyen todo el rango de variación existente en las muestras de agua subterránea, lo cual dificulta la interpretación, que en este caso se ha hecho suponiendo que la infiltración actual es despreciable.

De acuerdo a la interpretación realizada, las muestras números 14, 19 y 21 (Fig. 8) que fueron tomadas de jagüeyes, indican que han estado sometidas a evaporación. La muestra número 37 tomada en las salinas de Manaure, que se encuentra bastante alejada de la línea de precipitación, señala alta evaporación.

Las muestras tomadas de los ríos, se agrupan en dos, las de aquellos que drenan la Sierra Nevada de Santa Marta (localizados en el extremo inferior izquierdo del gráfico de la Figura 8) con mayor desviación isotópica, y las de aquellos que drenan la Serranía de Perijá con mayor concentración de isótopos pesados, en el agua.

Las muestras de la quebrada Moreno que drena la parte más baja de la Sierra Nevada, señalan la máxima desviación. Esto podría indicar flujo subterráneo desde la Sierra Nevada a lo largo de la zona de falla.

Las muestras de agua subterránea igualmente se clasifican en dos, aquellas muestras tomadas de pozos someros agrupados en un área y las tomadas en pozos profundos, agrupadas todas en el extremo inferior izquierdo del gráfico.

Las aguas de los pozos someros tienen las siguientes características: Las muestras

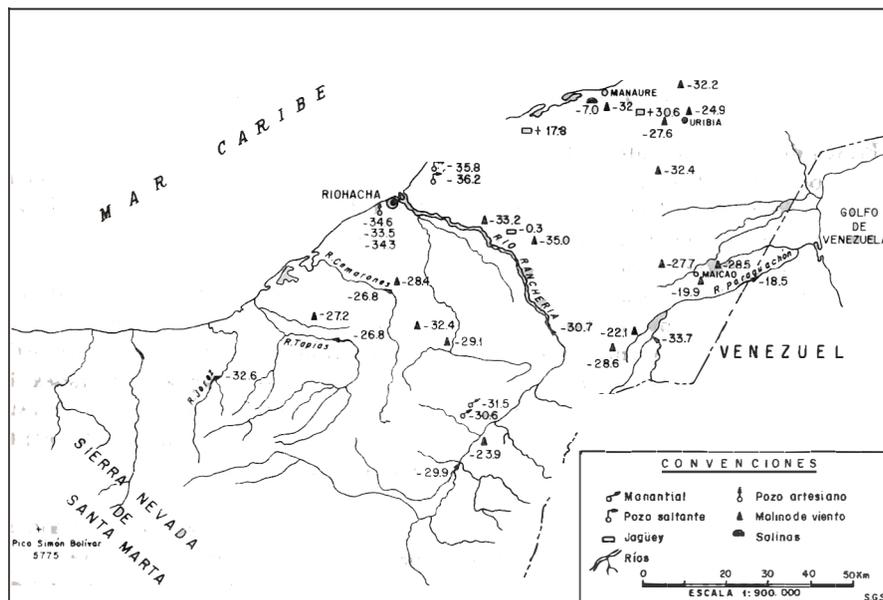


FIG. 7: Localización de los puntos de muestreo y valores obtenidos para ^2H en unidades $\int\text{D}$.

13 y 15 tomadas de los molinos 8 III D-15 Aremasahín y 14 II-A 2 Motín, indican posiblemente agua infiltrada del río Ranchería. Las muestras 20, 24, 38 y 40 tomadas en la zona nororiental del área de estudio, muestran una desviación mayor que la de todos los molinos localizados en la parte central del proyecto, lo cual puede indicar que es agua de la Sierra Nevada que fluye por el subsuelo y se percola hacia arriba a lo largo de la zona de fallas localizada en el área mencionada, o bien que es agua precipitada en el Pleistoceno.

Tales características conducen a la conclusión de que el agua almacenada en el acuíferos confinado, proviene de la Sierra Nevada de Santa Marta por percolación directa a través de rocas fracturadas, o por infiltración y percolación de los cursos superficiales en la zona de la Falla de Oca.

El origen se confirma con los análisis de Carbono-14, los cuales señalan que el agua es de origen moderno o sea que la recarga ha ocurrido recientemente.

8.2. INTERPRETACION PRELIMINAR DEL CONTENIDO DEL TRITIO

El IAN realizó una interpretación preliminar del contenido de Tritio en muestras de agua subterránea. Teniendo en cuenta que en algunos de los pozos muestreados la profundidad es desconocida y que no se obtuvo análisis de Tritio para la precipitación, las conclusiones a las que se puede llegar no son completas.

Se puede considerar que el agua superficial (15 - 30 m) es un agua moderna con un contenido de tritio de 4,5 unidades que corresponden a una edad aproximada de 20 años. Se puede suponer que es agua proveniente de infiltración local. Para aguas profundas (150 - 180 m) se encontraron niveles de tritio más bajos del orden de 0,7 U.T. lo que indica que el agua se ha precipitado hace 50 años aproximadamente. Para aguas más profundas (200 - 230 m) se encontraron niveles de Tritio del orden de 3 unidades.

TAB. 5: Resultados de los análisis de isótopos estables (Tomado RODRIGUEZ, et al, 1980).

| Muestra No. | δD (o/oo) | δO^{18} (o/oo) | Muestra No. | δD (o/oo) | δO^{18} (o/oo) |
|-------------|-------------------|------------------------|-------------|-------------------|------------------------|
| 1 | 28.4 | 4.41 | 22 | - 27.6 | - 4.33 |
| 2 | 26.8 | 4.22 | 23 | +10.0 | +0.38 |
| 3 | 32.4 | 5.00 | 24 | - 32.4 | - 4.86 |
| 4 | 29.1 | - 4.49 | 25 | 8.0 | - 1.78 |
| 5 | 35.7 | - 5.34 | 26 | - 26.5 | - 4.13 |
| 6 | 30.7 | 4.70 | 27 | 18.5 | - 3.50 |
| 7 | 28.6 | 4.77 | 28 | - 28.5 | - 4.26 |
| 8 | 22.1 | 4.04 | 29 | 19.9 | 3.17 |
| 9 | 23.7 | 4.31 | 30 | 30.2 | - 5.06 |
| 10 | 27.2 | - 4.15 | 31 | - 30.6 | 5.02 |
| 11 | 26.8 | - 4.60 | 32 | 31.5 | 5.07 |
| 12 | 32.6 | - 5.30 | 33 | 29.9 | - 4.73 |
| 13 | 33.2 | - 5.03 | 34 | 23.9 | 4.10 |
| 14 | 0.3 | +1.44 | 35 | 34.6 | - 5.01 |
| 15 | 35.0 | - 5.27 | 36 | 33.5 | 4.91 |
| 16 | 27.7 | - 4.45 | 37 | 7.0 | +2.48 |
| 17 | 36.2 | - 5.27 | 38 | 32.2 | - 4.78 |
| 18 | 35.8 | - 5.18 | 39 | 24.9 | 3.84 |
| 19 | +17.8 | +5.64 | 40 | 31.4 | - 4.96 |
| 20 | - 32.0 | - 5.31 | 41 | 34.3 | 5.02 |
| 21 | +30.6 | +6.74 | 42 | 10.9 | - 1.91 |

Precipitación 1977, 1978

| | | | | | |
|-----------------|--------|--------|------------|--------|--------|
| Agosto 1977 | - 54.2 | 7.36 | Abril 1978 | + 5.6 | +0.61 |
| Septiembre 1977 | - 33.8 | 5.18 | Mayo 1978 | - 24.6 | 3.91 |
| Octubre 1977 | - 39.4 | 5.76 | Junio 1978 | - 21.9 | - 3.14 |
| Noviembre 1977 | - 37.1 | - 5.93 | Julio 1978 | - 45.4 | - 6.41 |

El agua de los pozos profundos tiene similares características isotópicas que las de precipitación en la Sierra Nevada de Santa Marta, las cuales poseen mayor desviación delta con respecto al agua de mar. Esto permite inferir, en principio, que el agua del acuífero confinado proviene de la Sierra Nevada de Santa Marta, o bien podría ser agua precipitada en el Pleistoceno cuando la temperatura del globo era inferior.

Esta última posibilidad se puede confirmar o descartar con análisis del carbono-14. Los resultados hasta ahora, indican que el agua es de origen moderno y se descarta por lo tanto, la posibilidad de que sea agua precipitada en el Pleistoceno.

Con base en el muestreo y análisis preliminar y comparando la composición isotópica del agua del acuífero confinado, con la

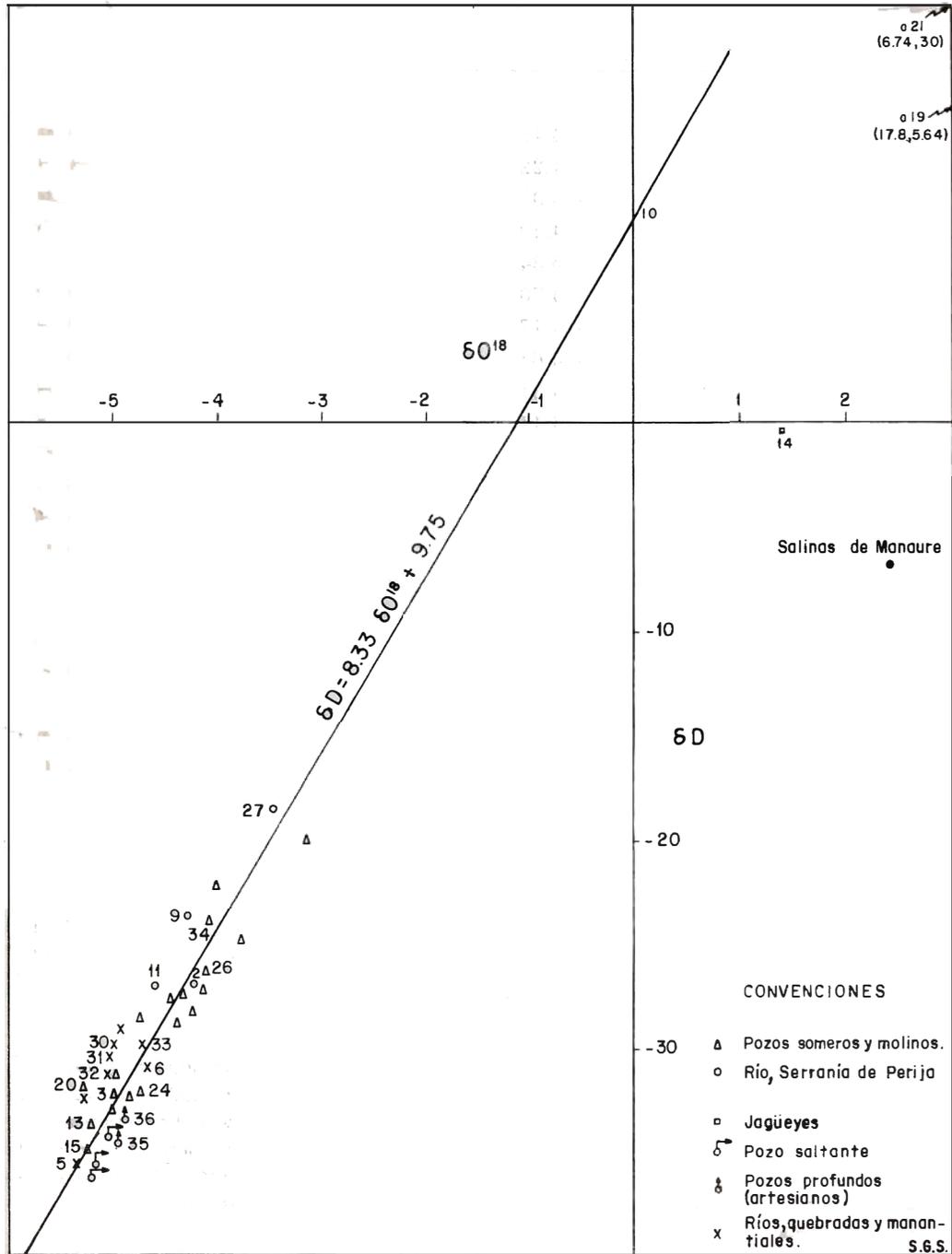


FIG. 8: Distribución de los resultados de los análisis de isótopos estables.

de los ríos y quebradas provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta, se observa que tiene una mayor desviación delta, lo cual significa que se precipitó a una altura mayor que la altura de precipitación del agua tomada de los ríos.

9. PERFORACION

Después de haber evaluado la información geológica, hidrológica, geoelectrica, geohidroquímica y el inventario de puntos de agua, como también las necesidades de agua potable para el consumo de la población guajira, se programó una red de sitios de perforación que servirían como pozos de estudios hidrológicos, de observación y de producción.

Es importante aclarar que por motivos de fuerza mayor no se perforaron todos los pozos planificados, ni se terminaron completamente algunos de los perforados y por lo tanto fue imposible obtener toda la información deseada. Las labores de limpieza y desarrollo que fue posible realizar en algunos pozos se llevaron a cabo pero mucho tiempo después de haber sido construidos, y por ello los parámetros hidráulicos obtenidos de esas labores son bastante aproximados.

9.1. EQUIPOS UTILIZADOS

Para la perforación y construcción de los pozos se utilizaron tres equipos, un Failing 1500 con una capacidad de perforación de 450 m de profundidad con un diámetro de 12" como máximo; un Portadrill 501 con una capacidad de perforación de 200 m con un diámetro de 9" y un equipo Portadrill 502 con una capacidad de perforación de 300 m con un diámetro máximo de 10".

Para los registros geofísicos de pozos se utilizó un equipo TNO con sondas de potencial espontáneo, resistividad, gama, diámetro y flujo y para la limpieza y desarrollo un compresor Gardner Denver con capacidad de 60 pies cúbicos por minuto y una presión de 150 p.s.i.

9.2. POZOS PERFORADOS

Durante la etapa de perforación del proyecto, fueron construidos un total de 29 pozos. Para estudio hidrológico se construyeron 11 pozos con profundidades entre 16 y 56 m, entubados con tubería ciega y filtros PVC de 2 pulgadas y 6 pulgadas de diámetro, y 12 pozos de observación (piezómetros) con profundidades entre 80 y 336 m, entubados con tubería y filtros PVC de 2 pulgadas de diámetro.

Se perforaron y construyeron además 6 pozos de producción con profundidades que varían entre 57 y 305 m, entubados con tubería ciega y filtros PVC de 6 y 4 pulgadas de diámetro respectivamente, a excepción del pozo 8 III C-3 Texas Riohacha entubado en acero con tubería ciega de 8 pulgadas y filtros de 6 pulgadas de diámetro.

En la Tabla 6 se presentan algunas características de cada uno de los anteriores pozos.

10. DEFINICION DE LOS SISTEMAS DE AGUAS SUBTERRANEAS

Con base en todas las investigaciones descritas y realizadas por INGEOMINAS en la Media y Baja Guajira con miras a la exploración de las aguas subterráneas, y en especial teniendo en cuenta las características de las unidades hidrogeológicas y la condición geohidroquímica del agua en ellas almacenada, se pudieron definir en esta área dos tipos de acuíferos, uno libre y otro confinado.

Debido a la interrupción del proyecto, no fue posible determinar todos los parámetros hidráulicos de los acuíferos, con el fin de hacer una evaluación del potencial de agua subterránea como era el objetivo inicial, por tal razón en el presente capítulo sólo se plantean en forma general algunas de las propiedades hidrogeológicas de los dos sistemas de aguas subterráneas, al parecer existentes en el área investigada.

TAB. 6: Pozos construídos en la Media y Baja Guajira durante el Proyecto.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------------------------------------|--------------------|--|----------------------------------|-----------------------------|---|--|--|
| Pozo Número | Profundidad (m) | Localización (filtros) (m) | Tipo de Acuífero que penetra | Limpieza y desarrollo | Caudal Ext. durante la limpieza o prueba (l/s) | U s o | Observaciones |
| 8 II C-1 LIMUNA | 302 | 261 - 259 198 - 196 143 - 138 67,8 - 65,8 | Acuífero confinado y freático | — — Sí | — — — | Observac. Observac. Producc. Observac. | Colapsado en 193,50 m. |
| 8 III B-1 ARUATAPAHÍ | 311 | 271 - 269 184 - 182 125 - 120 52 - 50 | Acuífero confinado y freático | — — — Sí | — — — 1,3 | Observac. Observac. Producc. Observac. | Colapsado en 71,80 m. Colapsado en 86,30 m. Tapado |
| 8 III C-2 INGEOMINAS B. FAMILIAR | 294 | 276 - 274 248 - 246 231 - 229 191 - 189 34 - 32 | Acuífero confinado y freático | Sí Sí Sí Sí Sí | — — — — — | Producc. Producc. Producc. Producc. Producc. | |
| 8 III C-3 TEXAS RIOHACHA | 265 | 255,73 - 246,15 239,75 - 220,23 216,13 - 207,58 202,13 - 192,21 | Acuífero confinado | — Sí — | — 25 — | — Producc. | |
| 8 III C-4 TEXAS CURTIDIVI | 145 | 139,50 - 129,66 119,96 - 101,31 | Acuífero freático | — Sí | — 0,5 | — Producc. | |
| 8 III C-5 INGEOMINAS B. FAMILIAR | 200,68 | 189,50 - 188,50 145 - 144 | Acuífero confinado y freático | Sí Sí | — — | Observac. Observac. | Colapsado en 179,30 m Seco |
| 8 III C-6 INGEOMINAS B. FAMILIAR | 80 | 74 - 73 32 - 31 | Acuífero freático | Sí Sí | — — | Observac. Observac. | Los caudales fueron de- masiado pequeños |
| 8 III D-1 AREMASAHIN | 305 | 138 - 112 | Acuífero freático | Sí | — | Producc. | |
| 9 II D-52 URIBIA | 150 | 36,42 - 31,42 | Acuífero freático | Sí | — | Producc. | |
| 9 II D-53 URIBIA | 57,10 | 32,5 - 22,5 | Acuífero freático | Sí | — | Producc. | |

Continúa

Continuación Tab. 6.

| | | | | | | | |
|-------------------------|--------|--|-------------------------------------|---------------------|----------------------|--|--|
| 9 III D-1 LAS PALMERAS | 433 | 362,00 - 360,00 224,00 - 219,00 126,00 - 124,00 64,50 - 62,50 | Acuíferos confinados y freáticos | Sí — Sí Sí | — — — — | Observac. Producc. Observac. Observac. | Colapsado en 172,20 m Colapsado en 56,20 m. |
| 10 III B-1 HUAMPESHI | 305 | 218,50 - 223,50 134,00 - 131,60 | Acuífero confinado y freático | — Sí | — 1,8 | Producc. Observac. | Colapsado en 52,07 m. |
| 14 IA-1 MOJAN | 336 | 324,00 - 322,00 172,20 - 170,70 167,00 - 162,00 32,00 - 30,00 | Acuífero confinado y freático | Sí — Sí — | 1,5 — 3,0 — | Observac. Observac. Produc. Observac. Seco | |
| 14 IIA-1 OURIAKAL 1 | 294,85 | 276 - 274 188 - 186 105 - 103 32 - 27 | Acuífero confinado y freático | Sí — — — | — — 0,1 — | Observac. Observac. Observac. Produc. | Seco Seco |
| 14 IIA-2 OURIAKAL 2 | 34 | 15,50 - 12,50 | Acuífero Freático | — | — | Estud. Hidrol. | |
| 14 IIA-4 OURIAKAL 4 | 56 | 31 - 29 | Acuífero freático | — | — | Estud. Hidrol. | |
| 14 IIA-5 OURIAKAL 5 | 39 | 28 - 26 | Acuífero freático | — | — | Estud. Hidrol. | |
| 14 IIA-6 OURIAKAL 6 | 42 | 34,87 34,00 | Acuífero freático | — | — | Estud. Hidrol. | |
| 14 IIA-7 OURIAKAL 7 | 43 | 28,87 - 24,00 | Acuífero freático | — | — | Estud. Hidrol. | |
| 14 IIA-8 OURIAKAL 8 | 38,60 | 33,83 - 29,00 | Acuífero freático | — | — | Estud. Hidrol. | |
| 14 IIA-9 OURIAKAL 9 | 38,60 | 31,70 26,70 | Acuífero freático | — | — | Estud. Hidrol. | |
| 15 BIS I A-1 ARANAPAIPA | 354 | 283 - 278 173 - 171 78 76 | Acuífero confinado y freático | — — — | — — — | Observ. Observ. Observ. | Lleno de piedra. Lleno de piedra. Lleno de piedra. |

Continua

Continuación Tab. 3.

| | | | | | | | |
|---------------------|--------|--|----------------------------------|------------------|------------------|---|---|
| 15 I D-1 GUAYABAL | 302 | 226 - 224 175 - 171 99 - 94 52 - 50 | Acuífero confinado y freático | — — — — | — — — — | Observac. Observac. Producc. Observac. | Lleno con arena y palos Lleno con arena y palos Colapsado en 38,40 m Lleno con arena y palos |
| 15 II B-1 MAICAO | 304 | 179 - 174 81 - 79 | Acuífero freático | — — | — — | Observac. Observac. | |
| 15 II B-1 SIRUMA 1 | 29,50 | 26,50 - 21,50 | Acuífero freático | — | — | Estudios Hidrol. | |
| 15 III B-2 SIRUMA 2 | 16,00 | 14,50 - 9,50 | Acuífero freático | — | — | Estud. Hidrol. | |
| 15 III B-3 SIRUMA 3 | 19,00 | 9,34 - 0,40 | Acuífero freático | — | — | Estudios Hidrol. | |
| 15 III B-4 SIRUMA 4 | 18,00 | 14,21 - 9,34 | Acuífero freático | | | Estudios Hidrol. | |
| 15 IV C-1 EL JORDAN | 276,30 | 265,17 - 258,00 251,28 - 246,50 161,39 - 161 97,39 - 95 | Acuífero confinado y freático | — — — — | — — — — | Producc. Producc. Observac. Observac. | Se intentó limpiarlos y desarrollarlos pero se encontraron con lodo seco y no fue posible llevar carrotanque. |

10.1. ACUIFERO LIBRE

Se encuentra localizado en la unidad hidrogeológica denominada Conjunto Cuaternario (Q), Plancha 4, conformando la parte plana de la Media y Baja Guajira. El techo del acuífero es bastante irregular y va desde unos pocos metros hasta más o menos 50 m de profundidad. Su base se encuentra entre 70 y 100 m (Plancha 3).

Como ha sido descrito en el capítulo de Geohidroquímica, el Acuífero Libre de acuerdo a su contenido en cloruros se ha subdividido en dos zonas. Una zona que ocupa la parte sur y central del área, donde el contenido en cloruros del agua subterránea varía de 300 a 600 ppm, y otra zona que ocupa la parte norte aproximadamente a partir de una línea que una a las localidades de Riohacha, la ranchería Maunashirra en el sector nor-central y Maicao donde el contenido de cloruros es mayor de 600 ppm, considerándose el agua impotable.

Cuando el agua subterránea tiene valores cercanos a los 300 ppm en cloruros la resistividad de la capa geoelectrica potencialmente acuífera, varía de 8 a 22 ohm-m. Cuando el contenido en cloruros se encuentra entre 350 y 600 ppm la capa geoelectrica tiene valores de resistividad de 5 a 11 ohm-m. Esta agua se considera poco dulce a salobre y apta para el consumo humano.

10.1.1. FLUJO Y PRODUCCION DEL ACUIFERO LIBRE

El mayor porcentaje de recarga del acuífero proviene del agua lluvia infiltrada directamente durante el corto tiempo de invierno, con la excepción de aquellas zonas aledañas a los cauces de los ríos que fluyen durante la mayor parte del año, donde aquellos se convierten en su principal fuente de recarga.

Las líneas isopiécicas (Plancha 4) construidas a partir de las medidas de niveles estáticos obtenidos entre los periodos de marzo a abril y octubre a noviembre de 1977 y de febrero a marzo de 1978, indican un mo-

vimiento radial del agua subterránea desde la zona de la Falla de Oca, en el sur del área de estudio, hacia el mar Caribe en el noroccidente y el Golfo de Venezuela al nororiente. Las curvas isopiécicas se separan a medida que se alejan de la falla, lo que permite suponer que la transmisividad del Acuífero Libre aumenta desde la zona de la falla hacia ambas líneas de costa, donde ocurre su descarga natural.

La descarga artificial se lleva a cabo a través de pozos que se explotan con caudales de 1 a 7 l/s y capacidades específicas entre 0,01 y 1,6 l/s/m respectivamente. La transmisividad promedio del acuífero es de 30 m²/día.

Los pozos con menor caudal, alrededor de 400, se explotan en su gran mayoría con molinos de viento, siendo el agua utilizada fundamentalmente para el consumo de la población indígena dispersa en pequeñas rancherías, y para el abrevadero de sus animales. Los de mayor caudal se explotan con bombas y su agua es utilizada en el consumo doméstico de algunas poblaciones y en menor proporción en el regadío de pequeñas granjas.

10.2. ACUIFERO CONFINADO

El acuífero Confinado está constituido por la unidad hidrogeológica denominada Conjunto Detrítico Terciario (T), Plancha 4, cubierta en la mayor parte del área por la unidad hidrogeológica Conjunto Cuaternario (Q). El techo del acuífero saturado con agua poco dulce a salobre (menor de 600 ppm en cloruros) se presenta aproximadamente en el área de Riohacha a 180 m de profundidad; hacia la parte norte del área de estudio, principalmente en los alrededores del municipio de Uribia, el techo aparece a los 190 m de profundidad. En esta última región el acuífero se encuentra saturado con agua salada (contenido en cloruros entre 1300 y 2000 ppm).

Cuando el acuífero anteriormente mencionado, se encuentra saturado con agua poco dulce a salobre, el valor de resistividad de

la capa geoelectrica varía de 10 a 23 ohm-m. El agua es de tipo clorurada sódica, moderadamente dura con mediana concentración de sólidos en solución y se encuentra dentro de los límites máximos tolerables por el organismo humano.

10.2.1. FLUJO Y PRODUCCION DEL ACUIFERO CONFINADO

Debido a que no se han perforado muchos pozos que capten el Acuífero Confinado no fue posible construir un mapa de curvas isopiécicas y de líneas de flujo; sin embargo se puede afirmar que su recarga no proviene del acuífero libre que le suprayace, debido a que la mayoría de los pozos son saltantes, lo que permite plantear que el área de recarga está en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta a lo largo de la Falla de Oca y hacia el sur de Riohacha donde la topografía se vuelve más alta, como lo confirman también las mediciones isotópicas. Si esto es cierto, la dirección del flujo subterráneo del Acuífero Confinado podría ser algo semejante al flujo del Acuífero Libre y por lo tanto su descarga natural sería también hacia el mar Caribe y posiblemente el Golfo de Venezuela.

Por ahora son muy pocos los pozos que se encuentran en explotación y que penetran el Acuífero Confinado. En la ciudad de Riohacha existen unos cuatro pozos que producen un caudal entre 25 y 85 l/s con una capacidad específica que varía de 0,78 a 1,4 l/s/m; el agua es utilizada para el consumo de la población. Los valores de transmisividad allí obtenidos tienen un promedio de 800 m²/día. Un pozo construido en cercanías de Uribia a una profundidad de 245 m, produjo un caudal de aproximadamente 75 l/s y una capacidad específica de 1,3 l/s/m, pero el agua es im potable por su alto contenido en cloruros (1300 ppm).

11. CONCLUSIONES

En la Media y Baja Guajira se definieron dos sistemas de aguas subterráneas, el primero constituido por un Acuífe-

ro Libre y el segundo por un Acuífero Confinado.

La unidad hidrogeológica Conjunto Cuaternario (Q) conforma el Acuífero Libre cuyo techo se encuentra desde unos pocos metros hasta 50 m de profundidad y su base entre 70 y 100 m de profundidad. En general el agua almacenada es de tipo clorado sódico y moderadamente dura, considerándose potable hacia la parte sur y central del área donde el contenido en cloruros es menor de 600 ppm e im potable hacia el norte y en cercanías a la costa, donde el contenido en cloruros sobrepasa los 600 ppm.

La unidad hidrogeológica Conjunto Detrítico Terciario (T) conforma el Acuífero Confinado cuyo techo aparece entre 180 y 190 m de profundidad desconociéndose su espesor. Almacena agua potable en las zonas cercanas a las áreas de recarga, e im potable hacia el norte donde el contenido en cloruros alcanza los 2000 ppm.

El Acuífero Libre es recargado en la mayor parte del área por el agua proveniente de la precipitación. Algunas corrientes superficiales que fluyen durante casi todo el año también recargan el acuífero, pero sólo alcanzan a mejorar la calidad del agua subterránea en las zonas aledañas a esos cauces.

El Acuífero Confinado se recarga a través de flujos subterráneos regionales provenientes desde el sur a partir de la zona de la Falla de Oca, por donde se infiltra el agua superficial que viene de la Sierra Nevada de Santa Marta.

El Acuífero Libre no produce caudales mayores de 7 l/s y actualmente es explotado por cerca de 420 pozos, la mayoría de ellos con molinos de viento que producen 1 l/s en promedio por pozo. El agua es utilizada para el abastecimiento de pequeñas comunidades y el abrevadero de sus animales.

El Acuífero Confinado se encuentra prácticamente inexplorado. En la actualidad extraen agua de este acuífero no más de cinco pozos ubicados en la ciudad de Riohacha que producen caudales entre 25 y 85 l/s/m, utilizándose el agua para el consumo de la población.

En el Acuífero Confinado, pozos con caudales superiores a los 30 l/s no se deben contruir a distancias menores de 1000 m, ya que producen un descenso a largo plazo hasta 1000 m de distancia en ausencia de recarga.

Para cualquier programa socio-económico de la Media y Baja Guajira se debe considerar la disponibilidad de las aguas subterráneas pero teniendo en cuenta que las reservas no son inagotables y que una sobre-explotación induciría a la contaminación de los acuíferos con agua salada. Por lo tanto se recomienda que las autoridades competentes se hagan cargo del control y manejo del recurso mediante una reglamentación de la explotación.

12. BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN WATER WORLD ASSOCIATION
1975.- *Control de Calidad y Tratamiento del Agua*. McGraw-Hill, Instituto de Estudio y Administración Local. Madrid.
- CARREÑO, J., 1980.- *Informe Geofísico área de Dibulla*. Informe 1784. Ingeominas, Bogotá.
- CARREÑO, J. y CSONKA, J., 1980.- *Informe Geofísico área del cerro de La Teta*. Informe 1788. Ingeominas. Bogotá.
- DIEZEMANN, W., 1951.- *Abastecimiento de agua en la Guajira*. Informe 721, Instituto Geológico Nacional. Bogotá.
- , 1952.- *Anotaciones sobre explotación de aguas subterráneas en la Guajira*. Informe 818. Instituto Geológico Nacional. Bogotá.
- , 1954.- *Breves anotaciones sobre la posibilidad del aprovechamiento de aguas subterráneas en varios sitios de la Guajira*. Informe 1058. Instituto Geológico Nacional. Bogotá.
- , 1955.- *Informe preliminar sobre un estudio de aguas subterráneas en las poblaciones de Riohacha, Dibulla, La Punta y Camarones, Guajira*. Informe 1137. Instituto Geológico Nacional. Bogotá.
- IRVING, E., 1972.- *Mapa Geológico de la Península de la Guajira (compilación)*. Escala 1:100.000, Ingeominas. Bogotá.
- JOUSMA, G. y SERRANO, S., 1978.- *Investigación hidrológica de la Media y Baja Guajira*. Informe 1751. Ingeominas. Bogotá.
- MANJARRES, G., 1964.- *Geohidrología de la Guajira*. Informe 1460. Serv. Geol. Nal., Bogotá.
- MOSQUERA, F., et al, 1976.- *Exploración de Acuíferos de la Alta y Media Guajira. Capítulo I, Geología*. Informe 1668. Ingeominas, Bogotá.
- RAASVELDT, H.C., 1954.- *Mapa geológico-morfológico de la Península de la Guajira especialmente adaptado al estudio de aguas*. Informe 1088. Instituto Geológico Nacional. Bogotá.
- ROBLES, E. et al, 1983.- *Estudio hidrogeológico de la Media y Baja Guajira*. Informe 1906. Ingeominas. Bogotá.
- RODRIGUEZ, C., SEILER, K. y STICHLER, W., 1980.- *Estudios hidrológicos cualitativos y cuantitativos mediante isótopos estables en Colombia*. Interamerican Symposium on Isotope Hydrology. Agosto 1980. Bogotá.
- TENJO, S., 1970.- *Localización de áreas favorables para extraer agua subterránea para los acueductos de Riohacha y Maicao, Guajira*. Carta Técnica 0020. Ingeominas, Bogotá.
- VALENCIA, M., RESTREPO, L. y CARREÑO, J., 1975.- *Evaluación de Acuíferos de la Alta y Media Guajira. Capítulo II, Prospección Geofísica*. Informe 1668. Ingeominas, Bogotá.