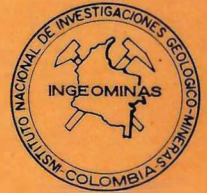


ISSN - 0120 - 1425

BOLETIN GEOLOGICO



GEOTECTONICA Y EVOLUCION DE LA REGION NOROCCIDENTAL COLOMBIANA

Por:

Hermann Duque Caro

INVESTIGACION HIDROLOGICA DE LA MEDIA Y BAJA GUAJIRA

Por:

Gerrit Jousma y Sergio Serrano T.

Volumen 23, No. 3, pp. 1 - 80, 1980
Bogotá - Colombia
ISSN - 0120 - 1425

Bol. Geol.
Ingeominas

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

BOLETIN GEOLOGICO

INDICE GENERAL

	Página
H. Duque C. Geotectónica y Evolución de la Región Noroccidental Colombiana	4 - 37
G. Jousma Investigación Hidrológica de la Media y Baja Guajira S. Serrano T.	39 - 80

EDITOR
Alberto Villegas Betancourt
Geólogo

Volumen 23 No. 3, pp. 1 - 80, 1980
Bogotá - Colombia
ISSN - 0120 -1425

Bol. Geol.
Ingeominas

Precio de cada ejemplar:	En Ingeominas	\$ 200,00 (US \$ 5,00)
	Vía Aérea	\$ 250,00 (US \$ 6,50)

El Boletín Geológico se publica en tres (3) números cada año, en un formato de 17 x 24 cm.

Derechos Reservados por:

INGEOMINAS: Instituto Nacional de Investigaciones Geológico - Mineras.
Carrera 30 No. 51-59, Apartado Aéreo No. 4865 - Bogotá, D. E. Colombia S. A.

*La responsabilidad de los conceptos emitidos en esta publicación
corresponde exclusivamente a sus autores*

Editor
Alberto Villegas Betancourt
Geólogo

Editado e impreso por Ingeominas

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

**GEOTECTONICA Y EVOLUCION DE LA REGION
NOROCCIDENTAL COLOMBIANA**

INFORME No. 1750

Por:

HERMANN DUQUE CARO



El presente trabajo fue publicado por la Asociación Americana de Geólogos del Petróleo (A.A.P.G.), Memoir 29, bajo el título "Geological and Geophysical Investigations of Continental Margins, 1979

BOGOTA, 1978

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	7
AGRADECIMIENTOS	7
1. INTRODUCCION	7
2. ELEMENTOS TECTONICOS MAYORES	11
2.1. REGION ESTABLE O DE PLATAFORMA	11
2.1.1. ALTOS DE CICUCO Y DE EL DIFICIL	11
2.1.2. GEOFRACTURA DE PLATO Y DEPRESION TECTONICA DE SUCRE	13
2.1.3. LINEAMIENTOS CONTROLADOS POR EL BASAMENTO	13
2.2. REGION INESTABLE O GEOSINCLINAL	15
2.2.1. CINTURON FRAGMENTADO DE SAN JACINTO	15
2.2.2. CINTURON DE SINU	21
2.3. PALEOSURCOS	22
2.3.1. LINEAMIENTO DE ROMERAL	23
2.3.2. LINEAMIENTO DE BOLIVAR	23
2.3.3. LINEAMIENTO DE SINU	24
2.3.4. LINEAMIENTO DE COLOMBIA	24
3. EVOLUCION GEOLOGICA	24
3.1. CRETACEO TARDIO-PALEOCENO (Cansoniense temprano)	24
3.2. PALEOCENO - EOCENO MEDIO (Cansoniense medio y tardío)	25
3.3. OROGENIA PRE-ANDINA (Eoceno medio)	25
3.4. EOCENO TARDIO - OLIGOCENO (Carmeniense temprano)	25
3.5. DIASTROFISMO OLIGOCENO - MIOCENO	28
3.6. MIOCENO TEMPRANO A MEDIO (Carmeniense medio)	28
3.7. MIOCENO TARDIO - PLIOCENO (Carmeniense tardío)	28
3.8. OROGENIA ANDINA (Plio-Pleistoceno)	32
3.9. PLEISTOCENO - HOLOCENO (Tubariense)	32
4. CONCLUSIONES GENERALES	34
5 REFERENCIAS CITADAS	36

FIGURAS

1. Mapa Índice del área de estudio	8
2. Elementos fisiográficos del noroccidente de Colombia	9
3. Geología general del noroccidente de Colombia	10
4. Elementos tectónicos mayores del noroccidente de Colombia	12
5. Estratigrafía regional del noroccidente de Colombia	14
6. Relación estructural propuesta entre el Cinturón de San Jacinto y la Cresta Beata	18
7. Comparación de secciones estructurales a través del Cinturón de San Jacinto y de la Cresta Beata	19

8. Paleogeografía del noroccidente de Colombia, entre el Cretaceo tardío y el Paleoceno (Cansoniense temprano)	26
9. Paleogeografía del noroccidente de Colombia inmediatamente después de la Orogenia pre-Andina (Eoceno medio)	27
10. Paleogeografía del noroccidente de Colombia durante el Eoceno tardío - Oligoceno (Carmeniense temprano)	29
11. Paleogeografía del noroccidente de Colombia durante el Mioceno temprano- Mioceno medio (Carmeniense medio)	30
12. Paleogeografía del noroccidente de Colombia durante el Mioceno tardío - Plioceno (Carmeniense tardío)	31
13. Paleogeografía del noroccidente de Colombia inmediatamente después de la Orogenia Andina (Plioceno-Pleistoceno)	33
14. Evolución tectónica y sedimentaria del noroccidente de Colombia	35

* * *

RESUMEN

Dentro de la costa noroccidental colombiana se pueden reconocer dos elementos geotectónicos principales: a) una región estable o plataforma que suprayace a una corteza continental (no plegada), y b) una región inestable o ge sin linal que suprayace a una corteza oceánica (plegada).

La plataforma se ha subdividido en cuatro zonas estructurales muy prominentes: Los altos de Cicuco y El Difícil, la geofractura de Plato y la depresión tectónica de Sucre, que a su vez están controlados tectónicamente por siete lineamientos mayores del basamento con direcciones N, N20°E, N40°E, N55°W y N20°W.

La región geosinclinal comprende la porción costera occidental adyacente a la plataforma, y se ha dividido en dos elementos estructurales: el cinturón fragmentado de San Jacinto de edad Eoceno medio, con una dirección N20°E y que posiblemente se extiende mucho al norte dentro del mar Caribe, y el cinturón de Sinú de edad Plio-Pleistoceno, paralelo al cinturón de San Jacinto hasta el área de Cartagena - Barranquilla donde toma una dirección más hacia el NE, siempre paralelo a la línea de costa.

Estas formas estructurales están limitadas por tres lineamientos geomorfológicos: Romeral, Sinú y Colombia, los que considero de importancia crítica para entender la evolución tectónica y sedimentaria de esta región del Caribe colombiano. Estos tres elementos geomorfológicos, también los considero como remanentes de antiguos **surcos** o **paleosurcos** que fueron migrando sucesivamente hacia el occidente y cuyo relleno sedimentario turbidítico fue levantado y deformado progresivamente durante las orogénias pre-Andina y Andina. Así mismo, los cambios bruscos lito-faciales asociados con los márgenes de los paleosurcos, muestran una migración progresiva hacia el occidente a partir de las litofacies de la plataforma, a medida que aumenta el acrecimiento continental.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es un resumen aproximado de 10 años continuos de observaciones en el campo y de razonamiento geológi-

co sobre la costa noroccidental de Colombia. Para su elaboración se contó con el apoyo decisivo de las directivas del Ingeominas, además de la ayuda de mucha información no publicada y discusiones con colegas tanto del Instituto como de la industria del petróleo.

Quiero agradecer muy especialmente a Mario Yori, geofísico de Ecópetrol y a personal de Aquitaine por facilitar y discutir la información sísmica del Valle Inferior del Magdalena; a Geocolombia por su valioso patrocinio y facilidades de campamento en sus instalaciones del Alto Sinú, de la misma manera que al geólogo Alberto Flórez por su guía e información sobre la misma región.

Una versión inglesa de este trabajo fue presentada en Galveston, U. S. A. por gentil invitación y patrocinio de la Universidad de Texas y de la American Association of Petroleum Geologists, durante la Conferencia sobre Márgenes Continentales, realizada en el mes de enero de 1977, y que será publicado en la Memoria de la A.A.P.G. titulada: Continental Rises and Slopes.

1. INTRODUCCION

La costa noroccidental de Colombia está localizada en la esquina noroccidental de Suramérica y a su vez corresponde al margen suroriental de la llamada Cuenca de Colombia en el Caribe (Fig. 1). La región está limitada al oriente por la Sierra de Santa Marta, y al sur por las estribaciones septentrionales de las cordilleras Central y Occidental de los Andes colombianos (Fig. 2).

Para una referencia inicial, en la Figura 3 se ilustran los rasgos geológicos generales de la región, aunque muchos de los que se describen más adelante, se encuentran ocultos en profundidad.

La fisiografía de la región está caracterizada y delineada por tres elementos topográficos principales (Fig. 2):

1. Un **Sistema Montañoso** que además de las cordillera Central y Occidental, también incluye las serranías costeras de Abibe - Las Palomas, con una elevación máxima de 2.200 m en el Alto de Quimarí, y las serranías interiores de San Jacinto, San Jerónimo y Luruaco. Estas

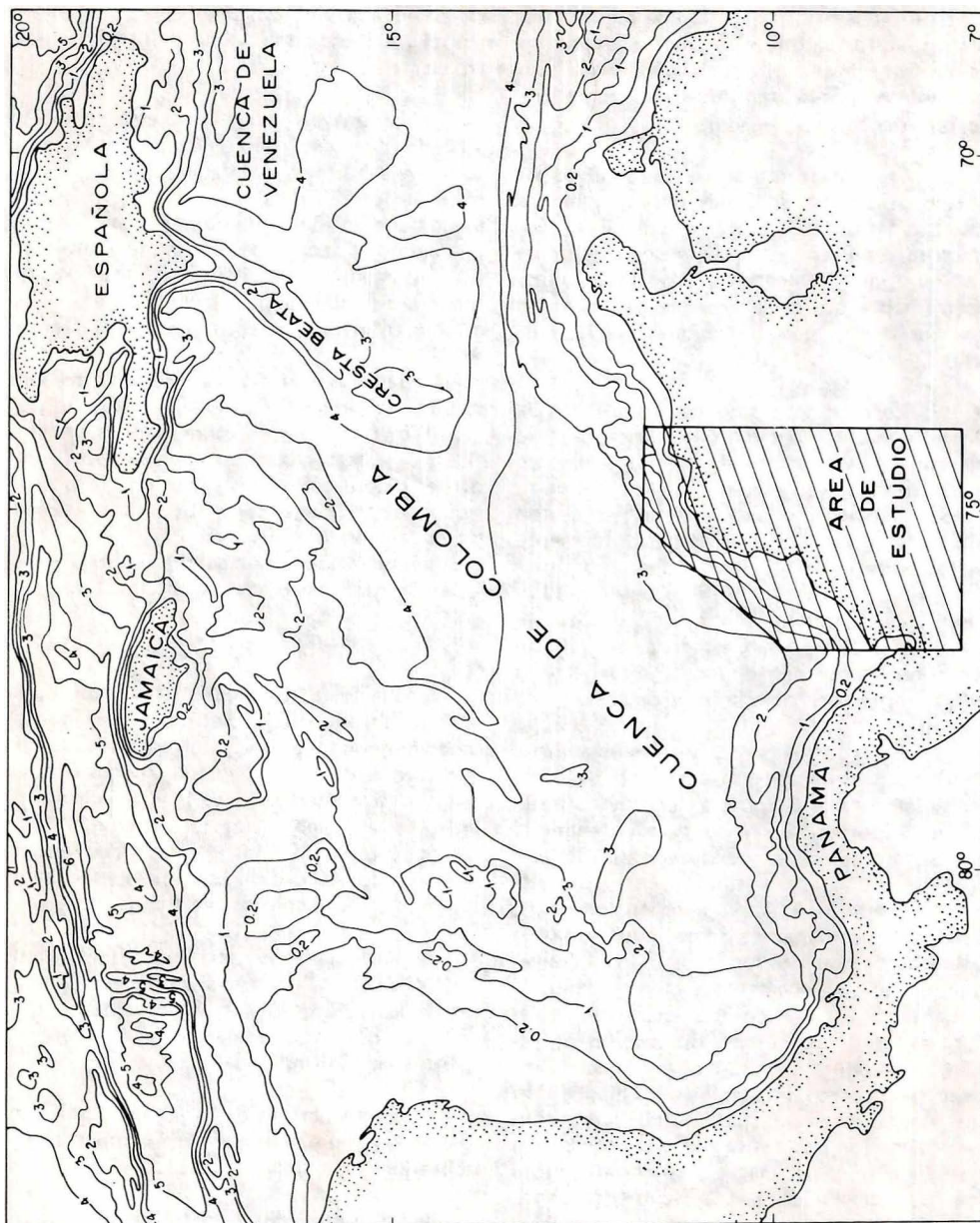


FIGURA 1. Mapa índice (Batimetría de la Oficina Oceanográfica Naval de E.U.A., 1975).

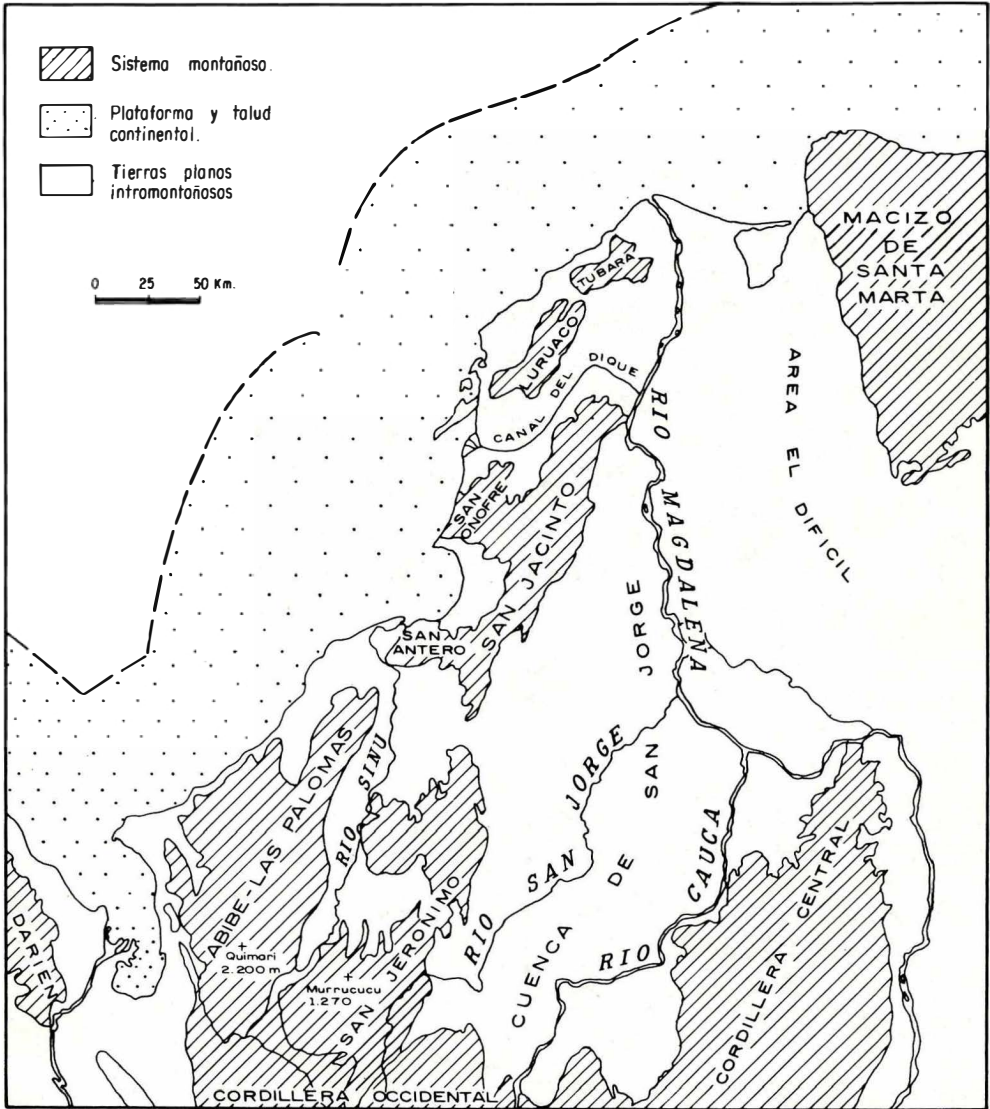


FIGURA 2.

Elementos fisiográficos del noroccidente de Colombia.

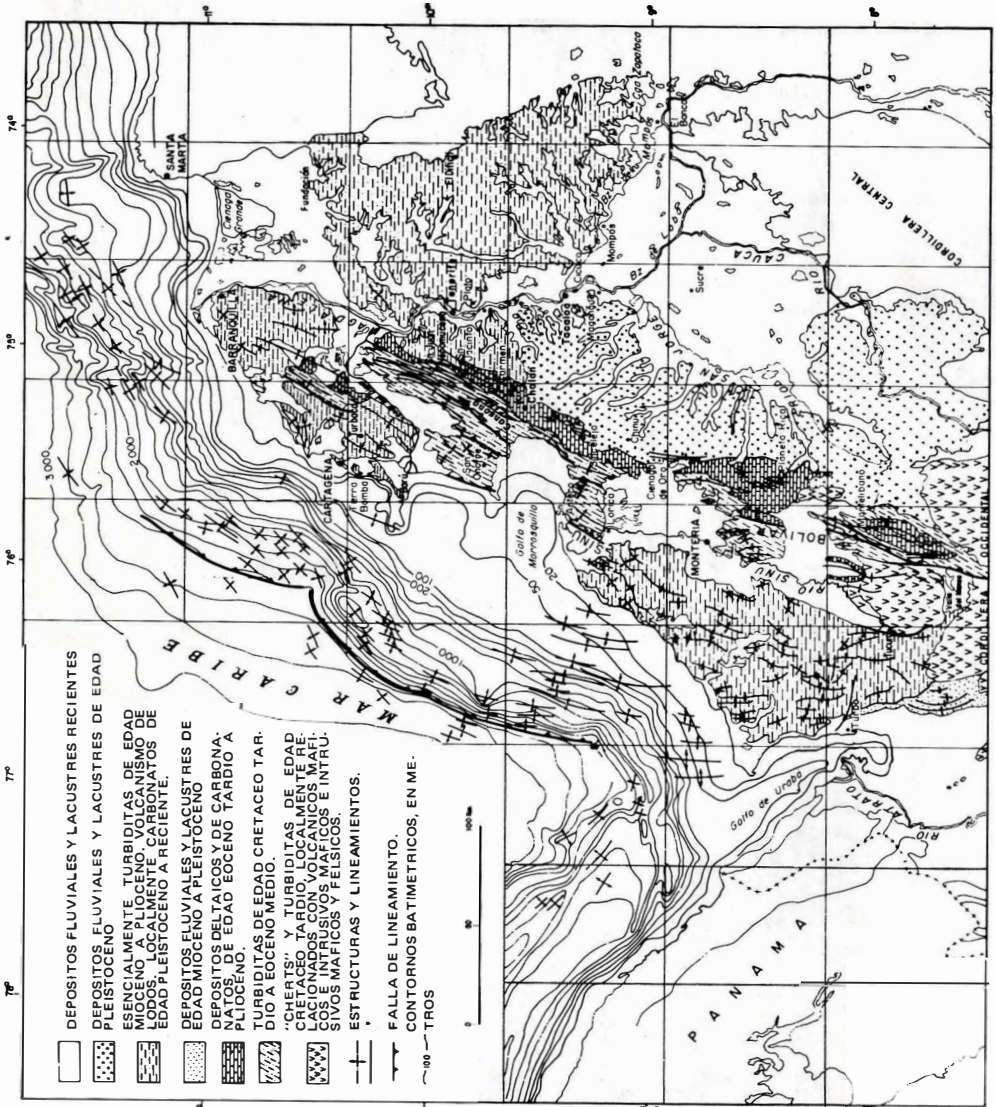


FIGURA 3. Geología general del noroccidente de Colombia (los ejes de plegamientos mar afuera son de Case y Holcombe, 1975, y de compañías petroleras).

aumentan en altitud hacia el sur hasta alcanzar 1.270 m en el Cerro Murrucucú y parecen representar una continuación septentrional poco prominente de la Cordillera Occidental.

2. **Plataforma y Talud Continentales**, constituidos por un prisma sedimentario de gran espesor y que se extiende hacia el mar desde la línea de costa.
3. **Tierras Planas Intramontañosas** que están principalmente ocupadas por terrenos cenagosos y por sistemas fluviales tales como los ríos Magdalena, Cauca, San Jorge y Sinú, además del Canal del Dique.

Hasta la fecha, muy poca es la información conocida que trate de la estructura y estratigrafía regionales de esta esquina noroccidental de Suramérica, cuya comprensión considero de vital importancia para la interpretación de la geología histórica del área Caribe suroccidental, y en particular, para interrelacionar la geología de costa con la geología submarina. Entre las publicaciones con información limitada se pueden mencionar las de Durán (1964), Zimmerle (1968), Shepard et al. (1968), Krause (1971), Shepard (1973), y Case (1974).

El objetivo principal de este estudio es el de describir e interrelacionar las características estructurales sedimentarias más distintivas tanto de las áreas costeras como de las submarinas, en un intento de definir más claramente la evolución geológica de esta esquina suroccidental del Caribe.

2. ELEMENTOS TECTONICOS MAYORES

Para los fines de este trabajo, los rasgos topográficos anteriores se han reagrupado en dos elementos geotectónicos principales (Fig. 4): una región estable o de plataforma que suprayace a una corteza continental (no plegada), y una región geosinclinal que suprayace a una corteza oceánica (plegada).

2.1. REGION ESTABLE O DE PLATAFORMA

Esta región coincide con el llamado Valle inferior del Magdalena y se encuentra limitada al occidente por los anticlinorios de San Jerónimo, San Jacinto y Luruaco, fisiográficamente

denominados **serranías**, y al oriente y al sur por los altos de Santa Marta y de San Lucas (Figs. 2 y 4). La topografía es eminentemente plana, cenagosa y muy susceptible a las inundaciones que frecuentemente son causa de desastres para los habitantes de la región.

La Plataforma comprende cinco elementos tectónicos, cuatro de los cuales son muy prominentes: el alto de Cicuco, el alto de El Difícil, la geofractura de Plato y la depresión tectónica de Sucre (Fig. 4). El elemento restante corresponde al extremo meridional de la región, entre la depresión tectónica de Sucre y las estribaciones de las Cordillera Central, donde la información disponible es insuficiente para definirla con precisión.

2.1.1. ALTOS DE CICUCO Y DE EL DIFICIL

Estos dos altos de plataforma bajo el subsuelo coinciden respectivamente con las áreas de la Cuenca de San Jorge (Fig. 2) y de El Difícil (DUQUE-CARO, 1973, 1975) y están compuestos de rocas ígneas félsicas y metamórficas con una edad de Paleozoico a Cretáceo tardío, según correlaciones con edades absolutas de la Cordillera Central y de la Sierra de Santa Marta, geológicamente relacionadas (IRVING, 1971). Un aspecto muy característico de estos altos es el de estar bordeados en sus flancos por una pendiente muy pronunciada, lo que se puede observar en los contornos de basamento (Fig. 4), específicamente en los costados nororiental y suroriental de alto de Cicuco y a lo largo del costado occidental del alto de El Difícil; el costado oriental de este último alto está limitado por la falla de Chimichagua (Fig. 4). Las cimas de estos altos de basamento en la plataforma son prácticamente horizontales y comúnmente controladas por fallamientos en bloques, tal y como se interpreta de los datos sísmicos, no publicados, de compañías de petróleo.

Hasta la fecha no se ha encontrado ninguna evidencia que indique la presencia de estratos de edad anterior al Oligoceno sobre estos altos de basamento. La secuencia estratigráfica tanto en el alto de Cicuco como en el de El Difícil comienza con 800 a 1.200 m de facies de carbonatos de edad Oligoceno a Mioceno medio, con inclusiones ocasionales de calizas arrecifales descansando directamente sobre el basamento cristalino.

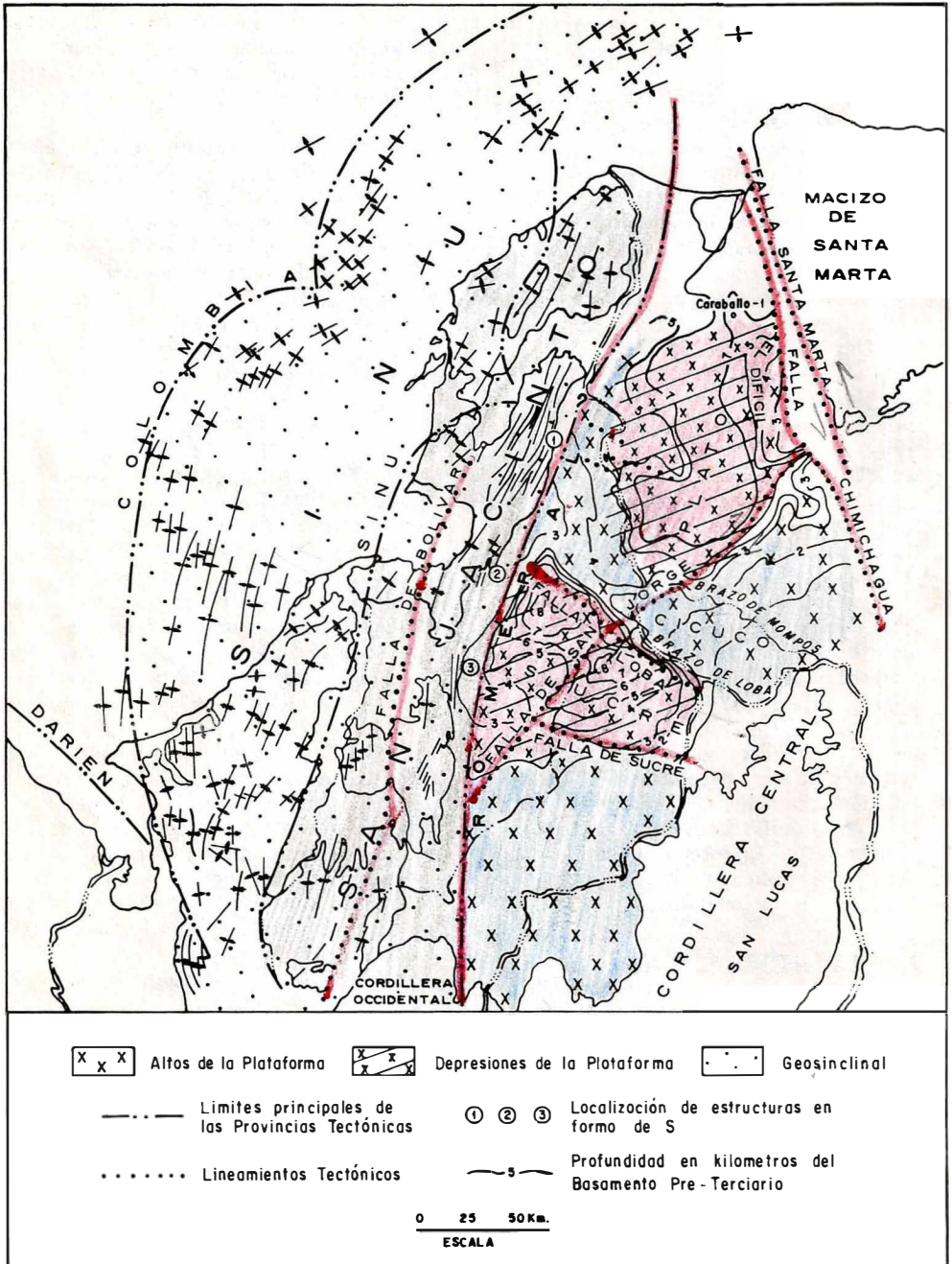


FIGURA 4. Elementos tectónicos mayores del noroccidente de Colombia (ejes de plegamientos marcados fuera son de Case y Holcombe, 1975, y de compañías petroleras).

Estos estratos están cubiertos por sedimentos fluvio-lacustres de edad Pleistoceno a Reciente con espesor hasta 1.500 m (Fig. 5). El espesor total de toda la secuencia no pasa de los 3.000 m ya sea en el área de Cicuco como en la de El Difícil y en general se trata de una secuencia de sedimentos no plegados. Los perfiles sísmicos desafortunadamente no publicados, de las compañías de petróleo, muestran reflectores casi horizontales con flexiones suaves y muy amplias, siempre paralelas al reflector del basamento.

2.1.2. GEOFRACTURA DE PLATO Y DEPRESION TECTONICA DE SUCRE

Dentro del área de la plataforma se han identificado depresiones muy grandes y profundas. La septentrional y más grande, tiene una dirección general norte-noroeste y se ha denominado geofractura de Plato (Fig. 4). Coinciden con la llamada fosa de Plato (DUQUE-CARO, 1973, 1975, 1976), se extiende hacia el norte de Cicuco entre el Brazo de Mompós y el alto de El Difícil, y está delineada por el contorno de 5 km del basamento pre-Terciario (Fig. 4). Con base en información sísmica, que como se dijo anteriormente no está publicada, se ha podido determinar que esta geofractura es una depresión muy profunda dentro de la plataforma, rellena con sedimentos de un espesor aproximado hasta de 7 km o más a lo largo de la zona axial (Fig. 4). La sección estratigráfica general, únicamente determinada a partir de los registros eléctricos y muestras de zanja de los diferentes pozos perforados en el área, está compuesta de 1.000 a 1.500 m de sedimentos fluvio-lacustres de edad Pleistoceno a Reciente y más de 3.000 m de turbiditas (DUQUE-CARO, 1976) de edad Mioceno a Plioceno. El Pozo Caraballo-1, localizado muy cerca de la proyección superficial del contorno de basamento de 7 km (Fig. 4), atravesó aproximadamente 4.000 m de sedimentos eminentemente turbidíticos de edad Mioceno a Pleistoceno. La presencia de estas turbiditas sugiere que esta geofractura se comportó como un cañón submarino durante el Terciario tardío, asociado con el antiguo sistema fluvial del Río Magdalena, tal y como se discutirá más adelante.

En mi opinión, la geofractura de Plato se originó como consecuencia de la separación relativa de la sierra de Santa Marta y de la Cordillera Central durante el Terciario

tardío. Esta hipótesis está sugerida por los siguientes hechos: 1) Las calizas y facies de carbonatos que descansan sobre el basamento tanto en Cicuco como en El Difícil tienen características litológicas, sedimentarias, ambientales y cronológicas similares (Fig. 5). 2) El contorno de basamento de 5 km (Fig. 4) alrededor del alto de El Difícil exhibe una forma similar al curso del Río Magdalena, al norte de Cicuco entre Tacaloa y Tenerife (Fig. 3); el curso a su vez parece estar controlado, entre estas dos localidades por el mismo contorno de 5 km. 3) La falla de San Jorge (Fig. 4) limita el extremo meridional de la geofractura y coincide también con el contorno de 5 km. De esta manera sugiere que este lineamiento se pudo comportar como una falla de rumbo (**strike slip fault**) a lo largo de la cual tuvo lugar la separación relativa entre la Cordillera Central y la sierra de Santa Marta. 4) Las turbiditas que rellenan esta depresión y relacionadas al sistema antiguo fluvial del Río Magdalena, pudieran ser una consecuencia del nuevo episodio sedimentario durante y después de la abertura de este accidente geomorfológico.

La depresión tectónica de Sucre, localizada al sur del Brazo de Loba, tiene características como las de un graben, fallado en bloques y controlado marginalmente por las fallas de Loba y de Sucre (Fig. 4). El máximo espesor de los sedimentos cenozoicos que rellenan esta depresión se estima en 8 km. Las características estratigráficas y sedimentarias, similares a las de la geofractura de Plato (Fig. 5), sugieren que esta depresión también se pudo comportar como un antiguo cañón submarino durante el Terciario tardío.

2.1.3. LINEAMIENTOS CONTROLADOS POR EL BASAMENTO

El área de la plataforma está entrecruzada por varios lineamientos estructurales resultantes del fallamiento del basamento, con direcciones N, N20°E, N55°W, y N40°E (Fig. 4), que coinciden con el modelo de los observados en la Cordillera Central (BARRERO et al., 1969; IRVING, 1971). El más notable es el de Romeral, que aparenta ser la extensión más septentrional del lineamiento estructural N a N20°E, reconocido por Barrero et al. (1969) hacia el sur del área de estudio, y que será discutido más adelante; el de San Jorge, con una dirección N40°E de aproximadamente

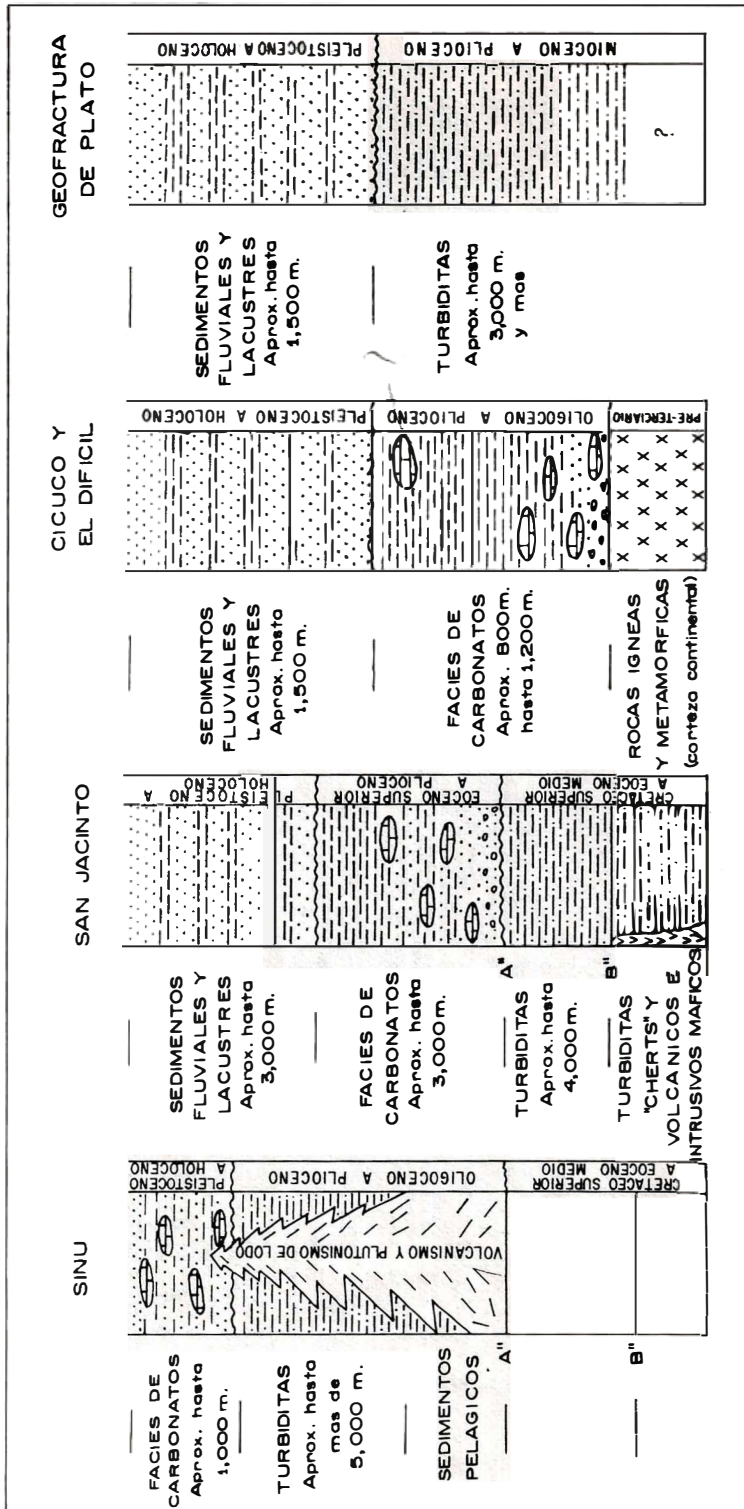


FIGURA 5.

Estratigrafía regional al noroccidente de Colombia.

te 250 km de longitud, geomorfológicamente relacionado al curso del Río San Jorge y al límite suroriental de la geofractura de Plato, y sobre el cual pienso que se trata de una falla de rumbo dextrorsa, a lo largo de la cual tuvo lugar la separación relativa entre la sierra de Santa Marta y la Cordillera Central; y los lineamientos de **Loba** y de **Sucre**, con una dirección $N55^{\circ}W$ (Fig. 4), que limitan y controlan el graben de la depresión tectónica de Sucre. Además de los lineamientos anteriores, en la Figura 4 se han ilustrado algunos otros no bautizados, con base en la información sistemática no publicada de compañías de petróleo.

En el costado oriental de la geofractura de Plato ocurren otros dos lineamientos estructurales, las fallas de Chimichagua y de Santa Marta (CAMPBELL, 1968), con una dirección $N20^{\circ}W$. Estas direcciones tectónicas parecen estar ausentes en el patrón tectónico direccional N, $N20^{\circ}E$, $N40^{\circ}E$ y $N55^{\circ}W$ característico de la Cordillera Central, y restringidas a esta porción nororiental del norte de Colombia.

2.2. REGION INESTABLE O GEOSINCLINAL

La región geosinclinal, con sus enormes espesores de sedimentos, comprende la porción costera occidental adyacente a la plataforma (Fig. 4). Se ha dividido en dos elementos estructurales: el **cinturón fragmentado de San Jacinto** y el **cinturón de Sinú**, cada uno con sus características distintivas muy propias.

2.2.1. CINTURON FRAGMENTADO DE SAN JACINTO

Está localizado inmediatamente adyacente a la plataforma y comprende tres unidades estructurales, topográficamente no muy prominentes, que de sur a norte se han denominado como los anticlinorios de San Jerónimo, San Jacinto y Luruaco (Fig. 2), con una dirección general $N20^{\circ}E$, una longitud de 360 km y un ancho de 6 km aproximadamente. El núcleo de estos anticlinorios está constituido por rocas pelágicas de edad Cretáceo tardío, tales como "cherts" y limolitas, en algunas ocasiones con intercalaciones muy meteorizadas de flujos basálticos y diabásicos (DUQUE-CARO, 1973) que por lo general se encuen-

tran hacia la parte superior de una secuencia turbidítica de más de 2.000 m de espesor. Estas turbiditas contienen localmente algunos aportes de componentes terrígenos, tales como cuarzo y mica lo mismo que foraminíferos bentónicos de aguas someras (facies de *Siphogenerinoides*). La presencia de estas facies bentónicas, contrasta con la microfau-na pelágica, principalmente de radiolarios, de los cherts que se encuentran hacia el techo de la secuencia. Afloramientos de estas rocas pueden observarse muy bien en el anticlinorio de San Jerónimo, en las áreas de Tukurá de la región del Alto Sinú, en Montería y en Planeta Rica; y en el anticlinorio de San Jacinto, en las áreas de Lórica, y del cerro de Cansona al occidente del Carmen de Bolívar (Fig. 3). Estas rocas están asociadas con intrusivos máficos y ultramáficos en las vecindades de Planeta Rica y con intrusivos tonalíticos en el área de Chalán. Las rocas sedimentarias tienen una edad de Cretáceo tardío (DUQUE-CARO, 1972, 1973), mientras que las rocas ígneas intrusivas y extrusivas varían en edad desde el Cretáceo tardío hasta el Eoceno medio; estas dataciones están basadas en evidencias de campo y correlaciones con dataciones absolutas de rocas similares que tienen las mismas edades de la Cordillera Central (IRVING, 1971). Los "cherts" que se encuentran hacia el techo de la secuencia turbidítica tienen una edad que va desde Coniaciano hasta Campaniano y han sido correlacionados con el Horizonte sísmico reflector B" (DUQUE-CARO, 1975, 1976) debido a que presentan características litológicas y estratigráficas similares.

Reposando conformemente sobre estas capas del Cretáceo superior, se encuentra otra secuencia de turbiditas hasta de 4.000 m de espesor con una edad de Terciario temprano y con un ambiente de depósito de más de 4.000 m de profundidad de agua, el cual ha sido calculado con base en la profundidad de compensación del carbonato de calcio (DUQUE-CARO, 1972). Consisten en una sucesión rítmica de areniscas sucias y de arcillas arenosas y están compuestas de fragmentos de rocas volcánicas y metamórficas, cherts y serpentinitas detríticas las que han sido clasificadas como **grauvacas serpentiniticas** ("serpentinite graywakes") por Zimmerle (1968).

En algunas localidades del anticlino-

rio de San Jacinto, como Lorica y San Onofre (Fig. 3), se han reconocido capas de "chert" y de "shales" pelágicos, interestratificados con turbiditas de edad Eoceno medio lo que me ha sugerido una posibilidad de correlación con el Horizonte sísmico reflector A' de la cuenca de Colombia (DUQUE-CARO, 1975, 1976).

Las rocas más jóvenes reconocidas dentro del cinturón corresponden a facies de carbonatos de edad Eoceno tardío y a sedimentos fluvio-lacustres de edad Pleistoceno-Holoceno (Fig. 5). Las facies de carbonatos se encuentran aflorando principalmente en el flanco oriental del cinturón con una litología muy similar a la mencionada de los altos de Cicuco y de El Difícil. Esta secuencia de facies de carbonatos consiste principalmente en conglomerados, "shales", areniscas y calizas arrecifales, y alcanza un espesor total de 3.000 m. El ambiente de depósito, determinado con base en foraminíferos indicadores de profundidad, varía desde un ambiente nerítico muy somero hasta profundidades de 2.000 m (DUQUE-CARO, 1975). Las rocas en el flanco occidental del cinturón están constituidas únicamente por sedimentos muy finos con intercalaciones menores de calizas, depositados en profundidades que varían entre 1.000 y 2.000 m. Los sedimentos fluvio-lacustres de edad Pleistoceno-Holoceno están restringidos al flanco oriental e cinturón y tienen un espesor variable desde unos pocos cientos hasta miles de metros. En la presión tectónica de Sucre, el espesor de estos sedimentos se aumenta enormemente hasta 4.000 metros aproximadamente.

Como decía antes, el cinturón fragmentado de San Jacinto está compuesto estructuralmente por los anticlinorios de San Jerónimo, San Jacinto y Luruaco, tres elementos separados entre sí por terrenos cenagosos bajos, sin una conexión estructural aparente, lo que lo hace ver como un cinturón fragmentado. El tren estructural general es de N20°E y está caracterizado por anticlinales y sinclinales alargados y apretados, y por fallas normales y de cabalgamiento paralelas al rumbo regional. Estas características estructurales se encuentran muy bien expuestas en el anticlinorio de San Jacinto, fisiográficamente el más elevado de los tres anticlinorios. En el sur, hacia las estribaciones septentrionales de la Cordillera Occidental, la

estructura general del cinturón de San Jacinto muestra una deflexión hacia el occidente (hecho observable en las fotografías aéreas y en las imágenes de radar) en las vecindades del valle del Río Manso (Fig. 3) que sugiere la posibilidad de que este cinturón pudiera ser una unidad tectónica independiente de la Cordillera Occidental. A lo largo del flanco oriental del cinturón, se han podido observar estructuras muy peculiares en forma de S asociadas con el lineamiento de Romeral (Fig. 4). También se ha podido notar que la deformación tectónica en cada uno de los tres anticlinorios del cinturón de San Jacinto presenta diferentes grados de intensidad, lo que marca aún más la distinción entre cada una de estas tres unidades. De esta manera, el anticlinorio de San Jacinto exhibe la máxima compactación, particularmente en las secuencias del Cretáceo superior y Terciario inferior, donde los pliegues son muy pronunciados y las estructuras muy apretadas con fallas de cabalgamiento predominantes. Por el contrario, en los anticlinorios de Luruaco y parte norte de San Jerónimo, estas mismas características se presentan con menor intensidad.

En mi opinión, todos los fenómenos estructurales, tectónicos y magmáticos observados dentro del cinturón fragmentado de San Jacinto, tales como (1) las estructuras muy largas y apretadas, (2) la dirección estructural general y del fallamiento, paralelos al margen (lineamiento de Romeral) de la plataforma, y (3) el volcanismo y plutonismo de la misma manera paralelos al margen de la plataforma, sugieren que han sido principalmente el resultado de una interacción existente entre la corteza oceánica del Caribe suroccidental y la corteza continental del norte de Suramérica, a través de fuerzas tensionales y compresionales a lo largo del margen de la plataforma, especialmente durante la Orogenia pre-Andina (Eoceno medio, VAN DER HAMMEN, 1958), que levantó, plegó y modeló este cinturón.

Una de las características más notables y curiosas entre todas las que se han descrito en el cinturón de San Jacinto, y que se discutió parcialmente en un trabajo anterior (DUQUE-CARO, 1972, p. 19, Fig. 3), es la subdivisión estructural en tres elementos aislados por terrenos bajos cenagosos, sin co-

nexión estructural aparente en la superficie, que le da el aspecto de un cinturón fragmentado.

Yo creo que esta característica geomorfológica peculiar, es la expresión remanente de una antigua cadena volcánica submarina que bordeaba el margen de la plataforma durante el Cretáceo tardío - Terciario temprano, antes de la Orogenia pre-Andina. Esta hipótesis se apoya en las siguientes evidencias de campo: 1) Las capas de "cherts" y volcánicos asociados que afloran en la región, siempre se han cartografiado como núcleos estrechos de estructuras anticlinales; estos núcleos por lo general, siempre se encuentran rodeados por turbiditas de edad Terciario temprano (Fig. 3), y expresados geomorfológicamente por lomas "puntiagudas" muy distintivas. En algunas localidades, como en el área del golfo de Morrosquillo, lomas "puntiagudas" muy distintivas de "cherts" y limolitas, intensamente plegadas (micropliegues), aparecen emergiendo como masas aisladas de los terrenos planos circundantes. Seis pozos exploratorios se han perforado en esta áreas (Fig. 3) hasta una profundidad máxima de 3.000 m. Ninguno de los pozos 1 a 5 alcanzó el basamento ni atravesó sedimentos más antiguos que el Oligoceno. Sin embargo, el pozo No. 6, localizado muy cerca al No. 2 (2 km aproximadamente), alcanzó un basamento compuesto de "cherts" y volcánicos de edad Cretáceo tardío, a solo 300 m de profundidad. Una manera natural y sencilla de explicar este fenómeno, es por medio de estas lomas aisladas de origen volcánico. 2) La paleobatimetría del Cretáceo tardío - Terciario temprano, a lo largo del cinturón fragmentado de San Jacinto, parece haber sido controlada por altos topográficos de esta clase. En el área del cerro Cansona (Fig. 3), donde se presentan las mayores elevaciones topográficas del anticlinorio de San Jacinto, 800 m de altura sobre el nivel del mar, afloran lentejones de calizas arrecifales muy fracturadas y algo metamórficas de edad Cretáceo tardío, dentro de una secuencia de "cherts" y limolitas con intercalaciones volcánicas. Las evidencias macro y microfaunísticas encontradas en el área, tales como restos de equinoideos, amonitas y foraminíferos calcáreos planctónicos y bentónicos, sugieren una profundidad de las aguas muchísimo menor que la sugerida por la microfauna planctónica, exclusivamente silíceo (Radiolaria) que se encuentra en las elevacio-

nes topográficas bajas.

Además, a partir del estudio de la composición petrológica de las turbiditas del Terciario temprano que rodean los núcleos volcánicos, Brook (1974, p. 305) clasifica como **grauvacas pobres en cuarzo las grauvacas serpentínicas** de Zimmerle (1968), y sugiere que estas son indicativas de un arco **magmático de islas**. Aquí creo importante mencionar, que hasta la fecha no se ha llevado a cabo ningún estudio petrológico detallado, o de análisis químicos del cinturón fragmentado de San Jacinto, que permitan confirmar esta interpretación.

Después de todo lo anterior y en vista de las características de este cinturón, se me ocurren tres interrogantes: El cinturón fragmentado de San Jacinto comportándose como una cadena volcánica submarina, se extendió más hacia el norte dentro del área del Caribe?; la **cresta de Beata** pudiera ser su extensión más septentrional?; el cinturón de San Jacinto se extiende hacia el oriente a la **cresta de Curazao** y a la costa norte de Venezuela tal y como lo sugieren Roemer et al. (1976)?.

Yo creo que existen suficientes evidencias geofísicas, estructurales y litológicas que sugieren que las dos primeras ideas son posibles por las siguientes razones (Fig. 6):

a) Los lineamientos estructurales y fallamiento a lo largo de cinturón de San Jacinto en tierra y el fallamiento a lo largo de la **Cresta de Beata** bajo el mar (CASE y HOLCOMBE, 1975), poseen direcciones muy similares $N20^{\circ}E$, mientras que hacia el costado oriental de la **Cresta Beata**, Case y Holcombe (1975) ilustran direcciones estructurales $N20^{\circ}W$ a $N50^{\circ}W$, muy parecidas a las descritas anteriormente en la plataforma al oriente del cinturón de San Jacinto (Fig.6).

b) Ludwig et al. (1975, p. 119) destacan que las diferencias son muy notables en las velocidades estructurales existentes entre las cuencas de Colombia y de Venezuela, y que el **Horizonte sísmico reflector B** es una superficie **rugosa** en la cuenca de Colombia a diferencia de su contraparte típicamente **suave** en la cuenca de Venezuela (Fig. 7).

c) Duque-Caro (1973, 1976, en este trabajo) divide la costa noroccidental de Co-

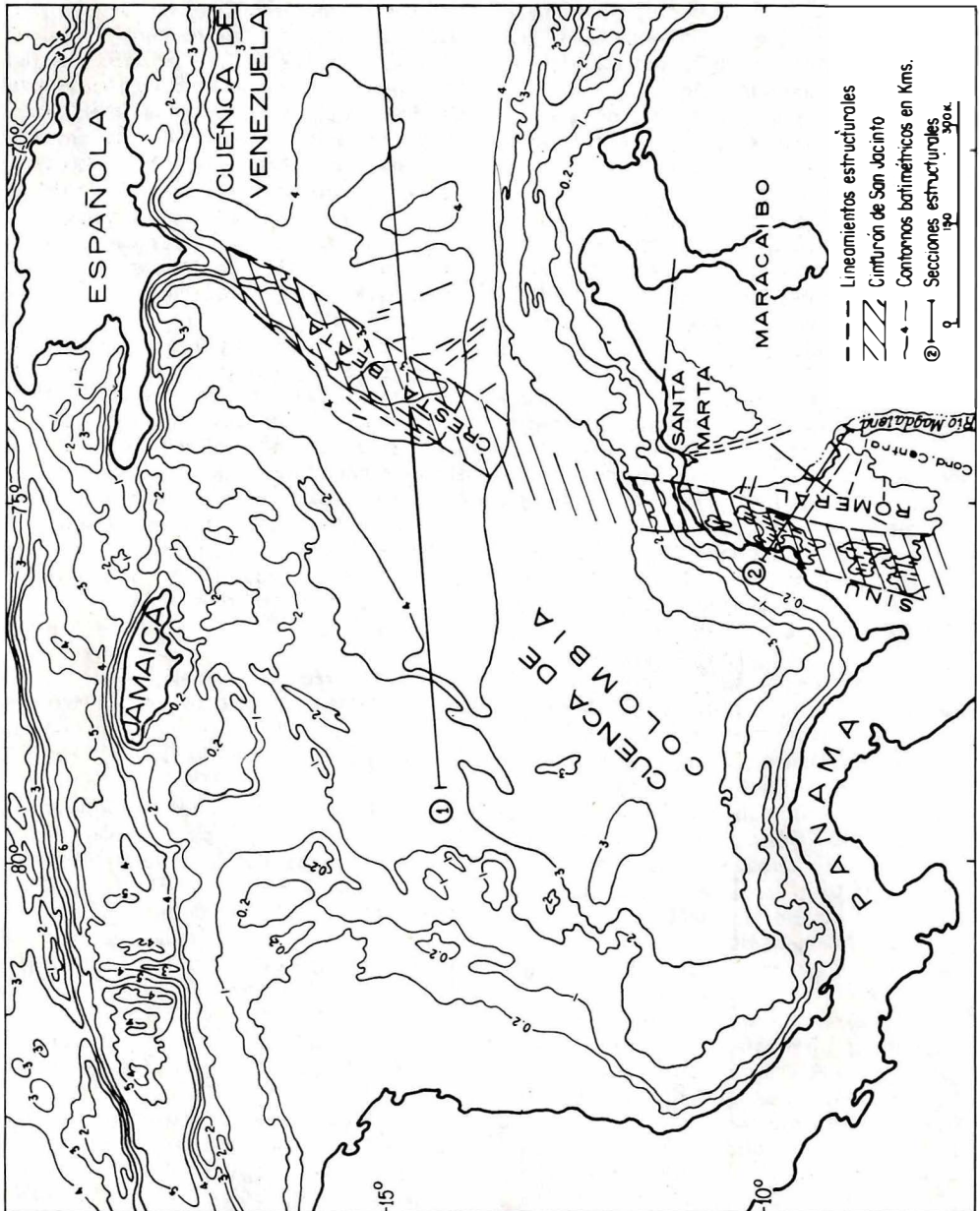


FIGURA 6. Relación estructural propuesta entre el cinturón de San Jacinto y la Cresta de Beata (mapa base modificado de Case y Holcombe, 1975).

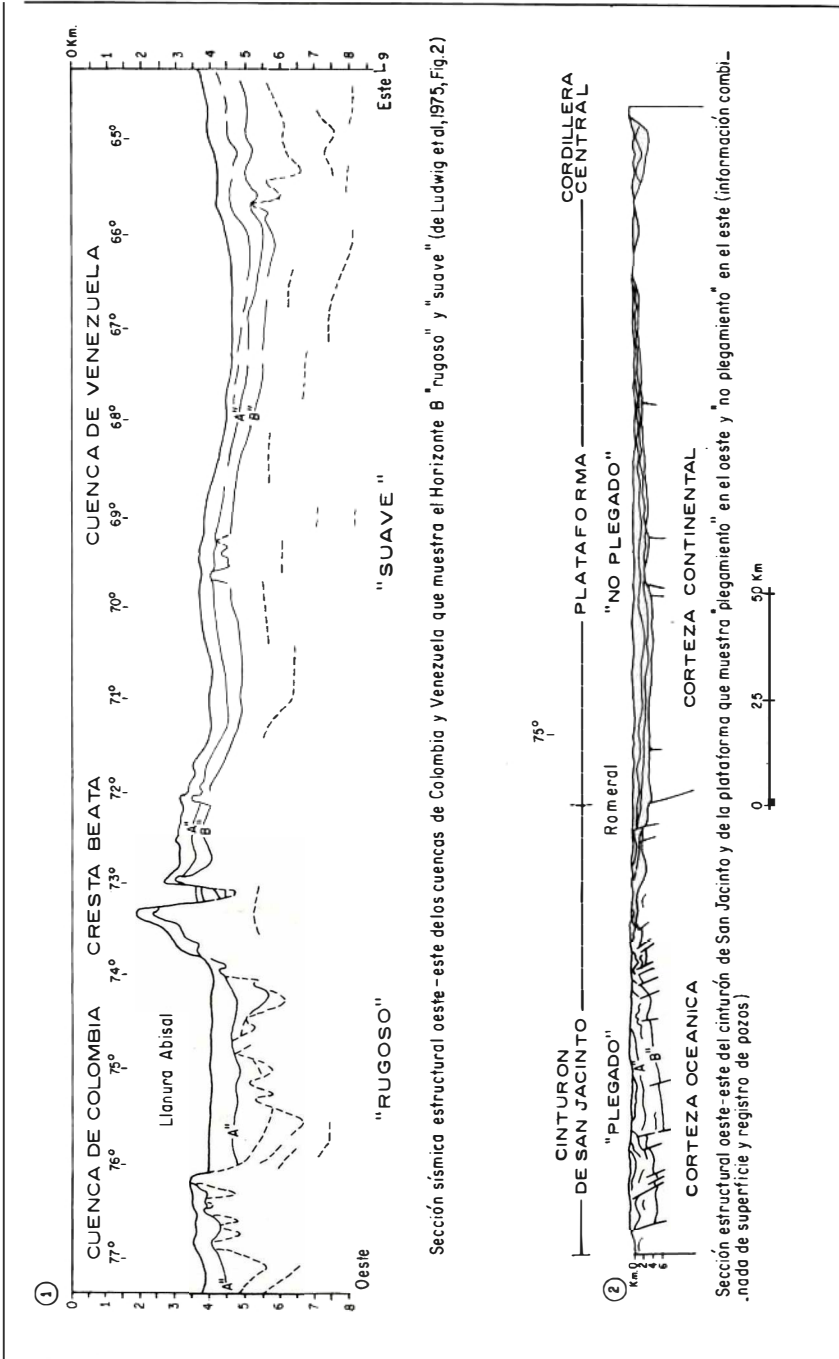


FIGURA 7. Comparación de secciones estructurales a través del cinturón de San Jacinto y de la Cresta Beata.

lombia en dos elementos tectónicos regionales muy distintivos: **plegado** (geosinclinal) al occidente y **no plegado** (plataforma) al oriente. En mi opinión, estos dos elementos estructurales se pueden comparar con los dos estilos estructurales generales de las cuencas de Colombia y de Venezuela (Fig. 7), en la forma como lo ilustran Ludwig et al. (1975, Fig. 2).

d) El cambio de estilo estructural entre el **rugoso** de la cuenca de Colombia y el **suave** de la cuenca de Venezuela, y el correspondiente entre las regiones **plegada** y **no plegada** del noroccidente colombiano, coinciden respectivamente con la Cresta de Beata y el cinturón fragmentado de San Jacinto (Figs. 6 y 7).

En esta forma, estas primeras cuatro evidencias conforman un esquema estructural muy distintivo y sugieren que tanto el cinturón de San Jacinto como la Cresta de Beata representan la zona límite entre una provincia tectónica oriental y otra occidental. Además:

e) A partir de los análisis de anomalías magnéticas, Christofferson (1973, p. 3228) sugiere que la existencia de una discontinuidad cortical mayor a lo largo de la parte media del tren de la Cresta de Beata, puede separar una región oriental de una occidental. En una forma similar, Watkins y Cavanaugh (1976) postulan una zona hipotética de falla NE-SW paralela a las fracturas de la Cresta de Beata y también paralela a la discontinuidad magnética de la cuenca de Colombia indicada por Christofferson (1973). Ellos relacionan esta interpretación con un cambio en el estilo estructural en el norte, que separa la isla Española oriental de la occidental, a lo largo de una línea (no ilustrada) más o menos paralela a la zona hipotética de falla, y en el sur, con el paralelismo que presenta la costa NW de Colombia y la zona hipotética de falla.

En resumen, todos los argumentos anteriormente expuestos, muestran grandes similitudes entre Colombia noroccidental y las áreas del Caribe inmediatamente al norte, sugiriendo así que la Cresta de Beata es una extensión septentrional del cinturón fragmentado de San Jacinto.

Uno de los rompecabezas más difíciles y controvertidos, hasta la fecha no suficiente ni convincentemente resuelto, es la composición cortical del Caribe, y algunas de sus características muy peculiares físicas y geofísicas, que lo hacen diferente de otras cuencas oceánicas. Dos puntos son fundamentales para explicar la composición cortical del Caribe: 1) los análisis de los perfiles de refracción sísmica han mostrado que la cuenca de Colombia posee una capa cortical mucho más gruesa que la de una cuenca oceánica típica, mientras que la capa cortical de la cuenca de Venezuela es apenas ligeramente más gruesa que la corteza oceánica típica (EWING et al., 1971; EDGAR et al., 1971; LUDWIG et al., 1975); y 2) que el comportamiento estructural del Horizonte sísmico reflector B'' en la cuenca de Venezuela es el de una superficie característicamente suave, en contraste con la superficie rugosa del basamento oceánico, típica de la mayor parte del Atlántico y gran parte del Pacífico (LUDWIG et al., 1975).

A pesar de que la composición de la corteza del Caribe se ha interpretado como de carácter oceánico, yo creo que las características corticales y estructurales, muy distintivas del noroccidente colombiano y la correlación anteriormente propuesta del cinturón fragmentado de San Jacinto con la Cresta de Beata, sugieren que el comportamiento estructural **suave y rugoso** del Horizonte B'' es una función del tipo de corteza debajo de dicha capa sísmica y, que tanto el cinturón fragmentado de San Jacinto como su extensión septentrional, la Cresta de Beata, representarían la zona límite entre dos tipos de corteza. La composición cortical de la cuenca de Venezuela se interpretaría por lo tanto como de carácter continental debido a su Horizonte B'' suave y a que sus características estructurales son similares a las del área de la plataforma en el sur (Fig. 6 y 7); la composición cortical de la cuenca de Colombia, sería interpretada consecuentemente como de carácter oceánico debido a su Horizonte B'' rugoso. Los basaltos y doleritas perforados en la profundidad del Horizonte B'', no representan necesariamente la corteza primordial, sino que reflejan el último evento ígneo mayor en la historia del Caribe, como ya ha sido argumentado por Ludwig et al. (1975, p. 1) y por Donnelly (1975).

2.2.2. CINTURON DE SINU

Inmediatamente al occidente y paralelo al cinturón de San Jacinto, se encuentra el cinturón de Sinú, con más de 500 km de longitud y hasta de 125 km de ancho en el área de estudio. Su tren estructural general es paralelo al del cinturón de San Jacinto en su extremidad meridional pero voltea hacia el noreste en el área de Cartagena - Barranquilla siguiendo la línea de costa (Fig. 4) y corta la dirección N20°E, más antigua (Eoceno medio) del cinturón de San Jacinto. Comprende los anticlinorios de Abibe - Las Palomas en tierra (Fig. 2) y la plataforma y talud continentales del área fuera de costa. El margen occidental de este cinturón coincide con el de cinturón deformado de Case (1974) y con el cambio batimétrico entre el talud de la plataforma y la llanura abisal (Figs. 2-4).

Las rocas de los afloramientos, primordialmente de edad Mioceno tardío a Plioceno (Fig. 5), consisten en su mayor parte en una secuencia turbidítica muy monótona de sedimentos muy finos que alcanzan más de 5.000 m de espesor y con un ambiente de depósito estimado entre los 1.000 y los 2.000 m de profundidad de agua, según análisis paleobatimétricos de foraminíferos (DUQUE-CARO, 1975). Suprayaciendo esta secuencia, se encuentra una facies de carbonatos de ambiente poco profundo con una edad de Pleistoceno-Holoceno, hasta 1.000 m de espesor¹, compuesta de "shales", calizas arrecifales, areniscas y conglomerados. A lo largo del borde oriental del cinturón, los conglomerados son "brechosos" y mal calibrados hacia el contacto con el cinturón de San Jacinto. Las calizas arrecifales parecen estar restringidas a la porción de tierra más septentrional del cinturón en el área de Cartagena-Barranquilla, donde están especialmente bien desarrolladas. Las evidencias fósiles más antiguas de foraminíferos hasta ahora encontradas en los afloramientos, indican una edad de Oligoceno tardío - Mioceno temprano. Estas faunas ocurren en lodolitas (mudstones) pelágicas con intercalaciones silíceas, que infrayacen las turbiditas en muestras de afloramientos inmediately al occidente del Canal del Dique (Figs. 2 y 3).

Estructuralmente, este cinturón es muy característico ya que está formado por anticlinales estrechos muy pronunciados, separados entre sí por sinclinales amplios y suaves. El rumbo general de los ejes de los anticlinales es más o menos paralelo a los márgenes oriental y occidental del cinturón (Fig. 4). La estructura se encuentra complicada por fallas normales, de cabalgamiento y transcurrentes, sin un patrón definido y en general relacionada con las estructuras anticlinales. Esto es particularmente notable hacia el sur, donde la densidad estructural aumenta. Esta extremidad meridional del cinturón es muy compleja y presenta un estrechamiento estructural, posiblemente relacionado con una interacción tectónica con los lineamientos estructurales NW-SE del Darién y el N-S de la Cordillera Occidental (Fig. 4), durante la Orogenia Andina (Plio-Pleistoceno), que también interpreto como la época durante la cual el cinturón del Sinú alcanzó su primer clímax de deformación y levantamiento. Otro fenómeno estructural interesante, está representado por la configuración batimétrica al noroccidente de Cartagena que parece reflejarse en una inflexión amplia del margen occidental del cinturón. Esta inflexión tiene su equivalente en tierra, en las expresiones geomorfológicas meridionales del Canal de Dique y del anticlinorio de Luruaco (Fig. 4).

Sin embargo, el fenómeno más característico e importante observado dentro del cinturón y que considero como el gestor principal de la estructura, es el **volcanismo y plutonismo de lodo**. Aquí considero importante hacer una aclaración al uso de estos términos. Prefiero utilizar el término **plutonismo de lodo**, en lugar de **diapirismo**, para acompañar el volcanismo de lodo (=volcanismo sedimentario de Kugler, 1968), no obstante que estos términos tradicionales siempre se han aplicado a fenómenos magmáticos. Tanto el plutonismo como el volcanismo, siempre se han asociado con la evolución estructural de la tierra, particularmente con la formación de cadenas de montañas. Tal es el caso del cinturón del Sinú donde el volcanismo y plutonismo de lodo están directamente relacionados y restringidos al levantamiento y deformación de este cinturón en particular

(1) Información muy reciente de pozos exploratorios en el área de Cartagena - Barranquilla, indican que estas facies pueden alcanzar hasta 4.000 m.

(cf. HIGGINS y SAUNDERS, 1974, p.148). Tanto en el área del Río Sinú en el sur, como en Cartagena - Barranquilla, en el norte, se pueden observar numerosos volcanes de lodo de diferentes tamaños, por lo general activos. Tierrabomba, Barú y otras islas que bordean el margen costero actual en el área de estudio, son también expresiones superficiales del **plutonismo** y **volcanismo** de lodo. Estos mismos fenómenos también han sido reconocidos a partir de registros sísmicos en tierra y en secciones de subsuelo, costa afuera, por diferentes autores como Shepard et al. (1968), Edgar et al. (1971), Krause (1971), Shepard (1973), entre otros.

El lodo arrojado por los volcanes de tierra, los que además presentan características muy similares a los volcanes de lodo de Trinidad (HIGGINS y SAUNDERS, 1974), es de origen pelágico, con una mezcla muy heterogénea de faunas fósiles, un contenido muy alto de agua, y una densidad baja, por lo común, inferior a $2,0 \text{ g/cm}^3$. La fracción de arcilla está principalmente compuesta de clorita y montmorillonita, donde esta última llega a representar hasta el 50% de la fracción de arcilla. En mi opinión este lodo proviene de un intervalo estratigráfico, denominado "shale de alta presión" por los geólogos e ingenieros de la industria del petróleo, el cual tradicionalmente se ha reconocido como la causa de muchos de los problemas mecánicos de estas perforaciones, precisamente debido a su alta presión. Este horizonte infrayace las turbiditas de edad Mioceno, y en los registros sísmicos tiene un aspecto transparente característico que permite identificarlo con relativa facilidad. Información geofísica más detallada acerca de las características de estos fenómenos, tales como de gravedad y de registros eléctricos, han sido descritos por Higgins y Saunders (1974), de volcanes de lodo muy similares de Trinidad. La edad asignada para este intervalo de lodo es de Oligoceno tardío - Mioceno temprano, con base en determinaciones de foraminíferos de las mezclas heterogéneas que son arrojadas a la superficie.

En cuanto a las causas que originaron este cinturón, Case (1974) discute tres posibles orígenes: 1) deslizamientos gravitacionales, 2) tectónica compresional relacionada con el "flujo lento" hacia el sur de la placa Caribe, y 3) un cizallamiento regional amplio, dextral, entre una placa Caribe que se

mueve hacia el oriente y una placa de Suramérica que se mueve hacia el occidente. Como se decía anteriormente, la estructura general del cinturón está controlada por el volcanismo y plutonismo de lodo, fenómeno considerado por Kugler (1968) como consecuencia de esfuerzos compresionales laterales (compresión orogénica), normales al margen del cinturón y sugeridos por la dirección estructural axial de los trenes del cinturón de Sinú. Estos esfuerzos han venido actuando continuamente, por lo menos desde el Cretáceo tardío y son la causa principal de la deformación de toda la región plegada noroccidental (cf. CASE, 1974, p. 738). La primera deformación importante y levantamiento notable del cinturón de Sinú, ocurrió durante el Plio-Pleistoceno (VAN DER HAMMEN, 1958: Orogenia Andina). Esta interpretación está apoyada en la sedimentación continua de carácter pelágico y turbidítico abisal, distintiva de este cinturón a partir del Cretáceo tardío hasta el Mio-Plioceno, en contraste con la sedimentación poco profunda de facies de carbonatos de edad Plio-Pleistoceno que la suprayace (Fig. 5). Estas facies de carbonatos tienen la característica de no estar plegadas, además de que su ambiente sedimentario parece haber sido controlado por antiguos altos topográficos plegados como resultado de los fenómenos deformacionales del **volcanismo** y **plutonismo** de lodo, particularmente durante la Orogenia Andina.

Después de describir las características generales de los cinturones de San Jacinto y de Sinú, aparecen dos fenómenos importantes, comunes a los procesos deformacionales de estos dos cinturones: 1) Esfuerzos compresionales laterales, normales al margen de la plataforma, y 2) Volcanismo y Plutonismo, donde el de San Jacinto es "ígneo" y el de Sinú es "sedimentario". Se pudiera añadir un tercer fenómeno también común y que es el de antiguos altos topográficos, que ha controlado la paleobatimetría y sedimentación a partir del Eoceno tardío y que es consecuencia de los fenómenos de volcanismo y plutonismo.

2.3. PALEOSURCOS

Los elementos geotectónicos descritos en las páginas anteriores se encuentran marginados entre sí por cuatro lineamientos aproximadamente paralelos, que además marcan un cambio brusco en el estilo estructural

de cada elemento. Estos lineamientos junto con sus características estructurales, sedimentarias, paleobatimétricas y geocronológicas, se han interpretado como expresiones de antiguos surcos marginales al continente.

2.3.1. LINEAMIENTO DE ROMERAL

Barrero et al. (1969) usaron el nombre de falla fundamental de Romeral para designar una zona de falla con una longitud de más de 800 km a partir del sur de Colombia hacia el norte, hasta el área de Montelíbano en el sur del área de estudio (Fig. 3), con un buzamiento hacia el este y que separa las cordilleras Central y Occidental. Una de las características más importantes que tiene esta zona de falla es que también separa dos ambientes o provincias geológicas: **continental** al oriente y **oceánica** al occidente. Irving (1971) modificó el trazo original de esta falla, sin considerar que las dos provincias geológicas son características. Duque-Caro (1973) reconoció estas dos provincias geológicas en la costa norte y prolongó el trazo original hacia el norte aproximadamente 140 km. La edad asignada a esta zona de falla por Barretero et al. (1969) fue de Cretáceo temprano.

Hasta ahora, **Romeral** siempre ha sido clasificada simplemente como una falla o una zona de falla. Yo creo que este accidente geológico es más que eso: no solamente presenta los rasgos del fallamiento sino que conlleva características estructurales, tectónicas y petrológico-sedimentarias claramente indicativas de un contacto con un rango mayor estructural entre las cortezas continental y oceánica.

El **Lineamiento de Romeral** en el área de estudio no es tan espectacular ni tan claramente reconocible como en el área donde fue descrita originalmente, ya que el rasgo geomorfológico principal está fosilizado por los depósitos terciarios y cuaternarios de la cuenca del San Jorge. Sin embargo se han podido observar algunas otras de sus características tanto en superficie como en el subsuelo que han permitido reconocerlo y prolongarlo más al norte:

a) Coincide con el límite occidental de la plataforma en el contacto con el cinturón de San Jorge el cual está marcado por un cambio muy claro en el estilo estructural de estos dos elemen-

tos: plegamiento en el cinturón y no plegamiento en la plataforma.

- b) Volcanismo máfico y plutonismo máfico, ultramáfico y tonalítico, asociado con cherts y turbiditas de edad cretáceo tardío - Eoceno medio hacia el oeste y ausencia de éstos hacia el este.
- c) Serpentinización de los intrusivos máficos y ultramáficos hacia el margen occidental, lo cual se puede observar muy claramente al sur de Planeta Rica.
- d) Ocurrencia de un cinturón metamórfico de bajo grado (facies de esquistos verdes) hacia el margen oriental del lineamiento, reconocido a partir de perforaciones exploratorias para petróleo, que en mi opinión corresponden a los esquistos de Gaira de la sierra de Santa Marta (IRVING, 1971).
- e) Cierres estructurales en forma de S, a lo largo del lineamiento (Fig. 4) posiblemente relacionados con un movimiento transcurrente N-S del mismo.

Este accidente, durante las etapas iniciales de su desarrollo fue un surco muy profundo, con una pendiente muy pronunciada en el talud continental que bordeaba el margen occidental de la plataforma. Esta interpretación está fundada en la ocurrencia de sedimentos abisales pelágicos y turbiditas de edad Cretáceo tardío - Eoceno medio al occidente, y no ocurrencia de los mismos ni de ningún tipo de sedimentos con esta misma edad sobre la plataforma al oriente (Fig. 5).

2.3.2. LINEAMIENTO DE BOLIVAR

Con este nombre (BECK, 1921, ZIMMERLE, 1968, IRVING, 1971) se ha designado una zona de falla inversa, paralela al lineamiento de Romeral y muy conspicua dentro de las turbiditas del Terciario inferior en el cinturón de San Jacinto (Figs. 3 y 4). Su expresión superficial es notable en los anticlinorios de San Jerónimo y San Jacinto, particularmente en este último donde se observan grandes bloques de "brecha" tectónica. Su buzamiento está orientado hacia el este y su trazo superficial termina bruscamente al norte del anticlinorio de San Jacin-

to, contra los depósitos cuaternarios del Canal del Dique, mientras que hacia el sur parece continuarse dentro de las estribaciones septentrionales de la Cordillera Occidental.

El hecho de que este lineamiento sea paralelo al de Romeral y que también sea una falla inversa buzando hacia el oriente, sugiere que el lineamiento de Bolívar pueda representar una de las posiciones de Romeral durante su migración hacia el occidente (cf. BURK, 1972), posiblemente en el Paleoceno tardío.

2.3.3. LINEAMIENTO DE SINU

Este accidente marca el límite occidental del cinturón de San Jacinto y lo separa del cinturón de Sinú (Fig. 4). En el sur, en el área del Alto Sinú, Hubach (1930) lo identificó como la falla de Tukurá, la cual es una falla de cabalgamiento que buza hacia el oriente y pone en contacto rocas del Cretáceo superior con rocas del Plio-Pleistoceno. Hacia el norte su expresión superficial está enmascarada por terrenos planos y cenagosos cuaternarios posiblemente suprayacentes, y en el surda la apariencia de estar controlando el curso del Río Sinú. Las siguientes características sirven para definirlo:

- 1) Marca el cambio de estilo estructural entre los cinturones de San Jacinto y Sinú.
- 2) El **volcanismo** y **plutonismo** de lodo común al occidente en el cinturón de Sinú, mientras que está completamente ausente al oriente en el cinturón de San Jacinto.
- 3) Ocurrencias de conglomerados mal calibrados y "brechosos" a lo largo del lineamiento, cerca a la expresión superficial del contacto con el cinturón de San Jacinto, tal y como se puede observar cerca e inmediatamente adyacente al flanco occidental del anticlinorio de Luruaco, por ejemplo el conglomerado de Pendales en el área de Luruaco, y más al sur en el área de Tukurá (Fig. 3) donde también afloran conglomerados con las mismas características a lo largo del margen occidental del Río Sinú.

De la misma manera que el lineamiento de Romeral, el de Sinú también se interpre-

ta como un antiguo surco marginal al cinturón de San Jacinto durante las etapas iniciales de su evolución. Esta interpretación está basada en la ocurrencia de sedimentos pelágicos y turbiditas abisales de edad Oligoceno tardío a Mioceno tardío - Plioceno hacia el occidente, y de facies de carbonatos de poca profundidad con la misma edad al oriente (Fig. 5).

2.3.4. LINEAMIENTO DE COLOMBIA

Este cuarto y último lineamiento corresponde al más occidental y separa el cinturón de Sinú de la llanura abisal (Fig. 4). Su expresión topográfica es submarina y coincide con el cambio batimétrico entre el talud del cinturón de Sinú y la llanura abisal. Otras características distintivas del lineamiento de Colombia son:

- 1) Marca el cambio entre el estilo estructural plegado del cinturón de Sinú al oriente y el estructural sencillo y no plegado del plano abisal.
- 2) Ausencia del fenómeno de **volcanismo** y **plutonismo** de lodo al occidente del lineamiento.

El lineamiento de Colombia también se ha interpretado como un antiguo surco (cf. CASE, 1974, p. 738) durante las etapas iniciales de su evolución, marginal al cinturón de Sinú. Separa los sedimentos pelágicos y turbidíticos abisales de edad Pleistoceno a Reciente del occidente, de las facies, principalmente de carbonatos con la misma edad del oriente, características de la plataforma del cinturón de Sinú y de las llanuras costeras.

3. EVOLUCION GEOLOGICA

La evolución geológica de la región noroccidental colombiana, se discutirá a partir del Cretáceo tardío solamente, ya que las limitaciones estratigráficas de la región no permiten considerar edades más antiguas. Los ciclos sedimentarios y los pisos propuestos por Duque-Caro (1972, 1975) se ilustrarán y correlacionarán con las edades clásicas europeas (Figs. 5 y 14).

3.1. CRETACEO TARDIO – PALEOCENO (Cansoniense Temprano)

El panorama paleogeográfico de la región durante este intervalo consistía en

áreas emergidas como la plataforma propiamente dicha, la Cordillera Central y la sierra de Santa Marta sujetas a erosión, y áreas sumergidas con un ambiente oceánico al occidente (Fig. 8).

El margen occidental de la plataforma estaba limitado por el surco de Romeral, muy pendiente, con una longitud de por lo menos 1.700 km, ya que no solamente comprendía la costa noroccidental sino que se extendía hacia el sur hasta el Golfo de Guayaquil, siempre bordeando el margen occidental de la Cordillera Central.

En el dominio oceánico al oeste de la plataforma tenía lugar una sedimentación pelágica con abundante microfauna planctónica, y de turbiditas constituidas principalmente por combinaciones de arcillas arenas y conglomerados con mucho aporte terrígeno. Los conglomerados se pueden observar espectacularmente en la serranía de Cansona (Fig. 3). El volumen sedimentario de las turbiditas fue muy notable, según los grandes espesores reconocidos en el área de Tucará, en el sur, donde sobrepasan los 2.000 m.

Fue también durante este intervalo de tiempo, que se depositaron los sedimentos silíceos ("cherts") que dieron origen al Horizonte de reflecto B, el cual, por lo general, siempre se encuentra localizado hacia la porción superior de las turbiditas.

Dentro del área de la plataforma existen dos áreas cuyo origen es muy complicado de explicar, y son las aquí llamadas geo-fractura de Plato y depresión tectónica de Sucre, con profundidades actuales máximas de 7 y 8 km respectivamente, sin ningún registro sedimentario del Cretáceo superior-erciario inferior. La ausencia de los sedimentos correspondientes a este intervalo, sugeriría que estas dos formas estructurales no existían durante el Cretáceo tardío - Paleoceno, indicando así que la sierra de Santa Marta pudo estar acoplada a la Cordillera Central durante esta época siguiendo la dirección del Brazo de Mompós (Fig. 3).

3.2. PALEOCENO - EOCENO MEDIO (Cansoniense medio y tardío)

Durante esta época, el área de la plataforma, la sierra de Santa Marta y la Cordillera Central continuaron por encima del ni-

vel del mar. Sin embargo, el surco de Romeral sufrió un hundimiento pronunciado como consecuencia de los esfuerzos compresionales normales al margen de la plataforma. Este hundimiento se reflejó naturalmente en un ambiente sedimentario mucho más profundo, con profundidades de agua superiores a los 4.000 m (DUQUE-CARO, 1972, 1975). Es precisamente a finales de este período, que tuvo lugar el depósito de los sedimentos silíceos que actualmente caracterizan el Horizonte sísmico reflector A" al occidente de la falla de Bolívar en las áreas de San Antero y San Onofre (Fig. 3). Al mismo tiempo, se produjo un volcanismo marginal a la plataforma, dando origen a una serie de conos volcánicos submarinos que de acuerdo a las observaciones planteadas en las páginas anteriores, corresponden a la fase inicial embrionaria del levantamiento del cinturón fragmentado de San Jacinto.

3.3. OROGENIA PRE-ANDINA (Eoceno medio)

Los esfuerzos compresionales laterales alcanzaron un clímax durante este evento diastrófico (VAN DER HAMMEN, 1958; IRVING, 1971), produciéndose como consecuencia el plutonismo tonalítico de Chalán, junto con un metamorfismo de bajo grado a lo largo del margen occidental de la plataforma (Zona de Romeral) y el primer levantamiento importante del cinturón de San Jacinto y de la Cordillera Occidental. Este levantamiento del orden de los 5.000 m de desplazamiento vertical, según cálculos de la profundidad de compensación del carbonato de calcio (DUQUE-CARO, 1972, 1973), dejó emergidas las áreas de San Antero, San Onofre y la Cordillera Occidental (Fig. 9). El flanco occidental del cinturón quedó separado de la llanura abisal por el nuevo surco de sinú, resultando así una migración al occidente del fenómeno originalmente descrito como surco de Romeral. La plataforma continuó emergida pero sufriendo un basculamiento hacia el occidente dando origen a la configuración inicial de la Cuenca de San Jorge.

3.4. EOCENO TARDIO - OLIGOCENO (Carmeniense temprano)

Como consecuencia de la Orogenia pre-Andina, la geografía de la costa noroccidental colombiana quedó modelada en tal forma, que el mar inició una invasión progre-

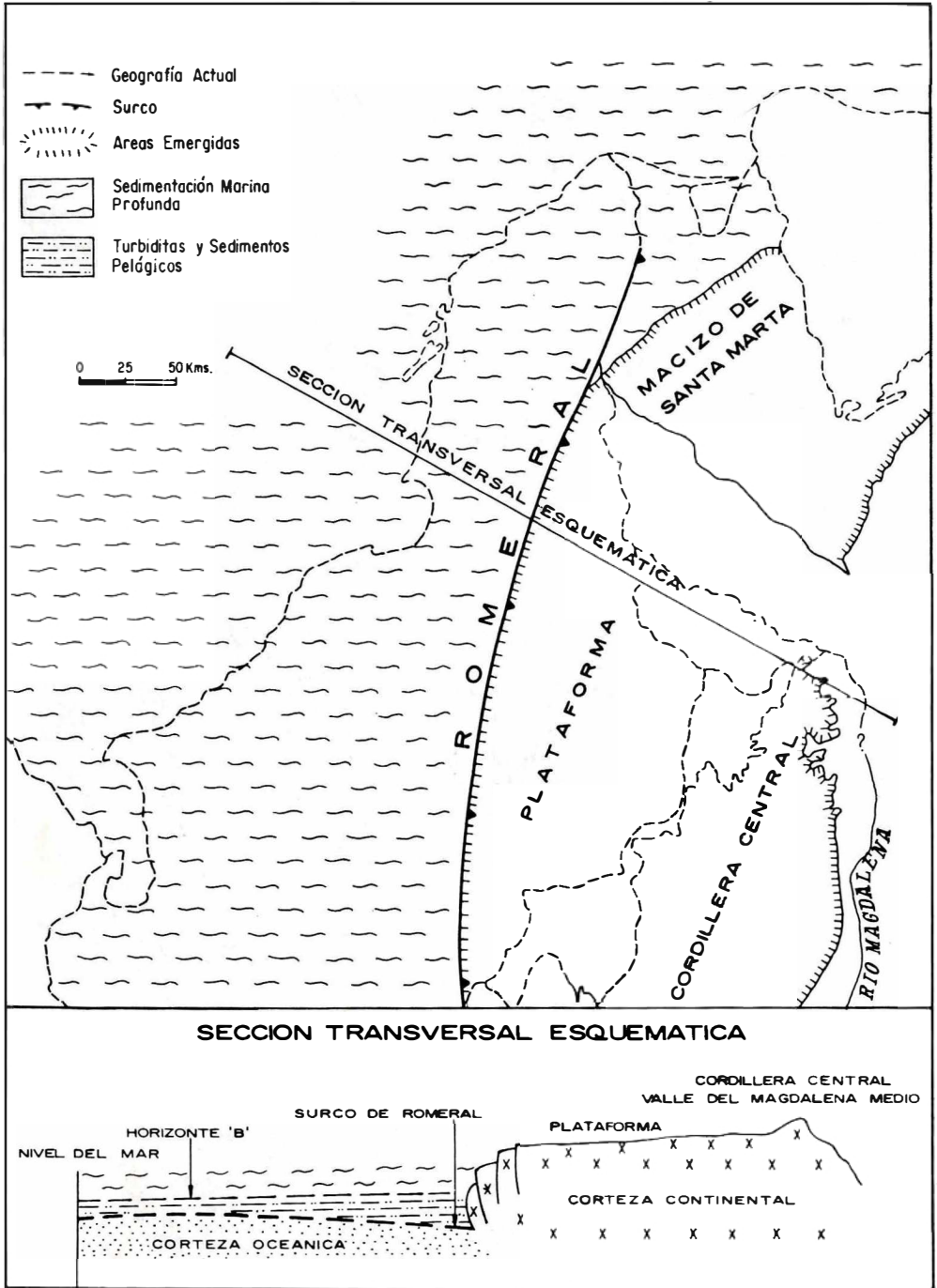


FIGURA 8. Paleogeografía del noroccidente de Colombia entre el Cretáceo tardío y el Paleoceno (Cansoniense temprano).

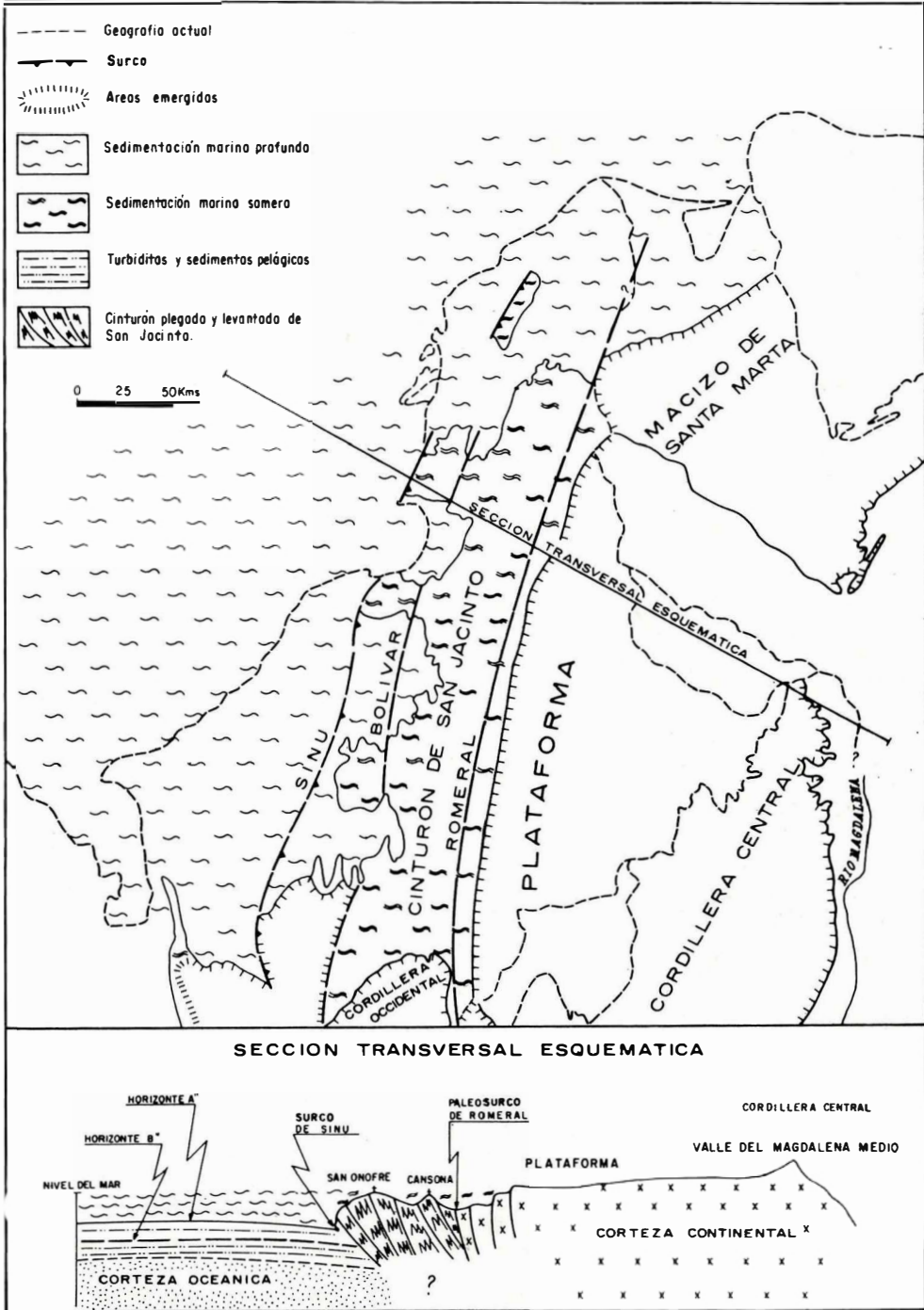


FIGURA 9. Paleogeografía del noroccidente de Colombia inmediatamente después de la Orogenia pre-Andina (Eoceno medio).

siva a la cuenca de San Jorge, desde el norte y el occidente. Comenzó desde el noroccidente con sedimentación de facies de carbonatos en el norte, con conglomerados, areniscas y "shales", lo mismo que calizas arrecifales, pasando en el sur a facies deltaicas en el área de Ciénaga de Oro (Fig. 10). Mientras tanto y hacia el oriente, el mar alcanzaba las partes más bajas a lo largo del margen de la plataforma. De esta manera se inició un nuevo ciclo sedimentario, el Carmenense (DUQUE-CARO, 1972, 1975).

El flanco oriental del anticlinorio de Luruaco, también fue un lugar favorable para el depósito de facies de carbonatos, de la misma manera que las depresiones del anticlinorio de San Jacinto en el flanco occidental.

A finales del Oligoceno, la sedimentación se hizo característicamente más profunda con el depósito de sedimentos arcillosos muy abundantes en fauna planctónica de foraminíferos y radiolarios de las zonas de *Globigerina ciperiensis* y porción inferior de la de *Globorotalia kugleri* (cf. DUQUE-CARO, 1975). Simultáneamente, al occidente del cinturón de San Jacinto, a lo largo del surco de Sinú, tenía lugar una sedimentación eminentemente pelágica con poco o ningún aporte terrígeno, compuesta por margas y lodos silíceos, muy ricos en radiolarios y foraminíferos planctónicos.

3.5. DIASTROFISMO OLIGOCENO-MIOCENO

Esta fase tectónica fue denominada así por Stainforth (1968) y corresponde a la fase proto - Andina de Van Der Hammen (1958). Fue una consecuencia inmediata de otro aumento en los esfuerzos compresionales existentes sobre los márgenes de la plataforma; se manifestó en el área de estudio con un basculamiento hacia el occidente de la plataforma y un nuevo levantamiento del cinturón de San Jacinto. Este basculamiento trajo como consecuencia un cambio brusco en la paleobatimetría con profundización de la cuenca, hecho muy notable a lo largo de la zona de Romeral y asociada con una invasión marina, que eventualmente cubriría toda el área de la plataforma (DUQUE-CARO, 1975).

3.6. MIOCENO TEMPRANO A MEDIO (Carmeniense medio)

Como consecuencia del diastrofismo anterior, se inició un nuevo ciclo sedimentario, el Carmenense medio, en la cuenca de San Jorge (área de la Plataforma). La invasión marina se extendió mucho más hacia el sur, hasta las estribaciones septentrionales de la Cordillera Occidental, y hacia el oriente sobre gran parte de la plataforma cubriendo los altos de Cicuco y de El Difícil. La sedimentación consistió principalmente en facies de carbonatos, muy similar al tipo de sedimentación iniciada durante el Eoceno tardío (Fig. 11).

La paleografía del flanco occidental del cinturón de San Jacinto no tuvo mayores variaciones, solamente la emergencia total de las partes que habían permanecido sumergidas hasta el Mioceno temprano; al occidente del surco de Sinú, se continuó la sedimentación pelágica característica del Eoceno tardío - Oligoceno (Carmeniense temprano).

3.7. MIOCENO TARDIO - PLIOCENO (Carmeniense tardío)

Esta época está asociada con una mayor inestabilidad en la región noroccidental colombiana, como consecuencia de los esfuerzos compresionales laterales (compresión orogénica de Kugler, 1968), cada vez más intensos, lo que trajo como resultado la separación relativa de la sierra de Santa Marta de la Cordillera Central a lo largo de la falla de San Jorge (Fig. 4) y la formación de la geofractura de Plato y de la depresión tectónica de Sucre. El Río Magdalena fue cambiado de su curso original (el cual se cree fue hacia el noreste, a la posición actual de la cuenca de Maracaibo), para verter sus aguas en la geofractura de Plato y depresión tectónica de Sucre, que a partir de este momento empezaron a comportarse como cañones submarinos: la sedimentación era de alta energía (turbiditas) con derrumbes y deslizamientos en gran escala, y por consiguiente un gran aporte sedimentario incrementado por el levantamiento de las áreas adyacentes (Fig. 12).

La sedimentación en la llanura abisal, inmediatamente al occidente del cinturón de San Jacinto y a lo largo del surco de Sinú fue

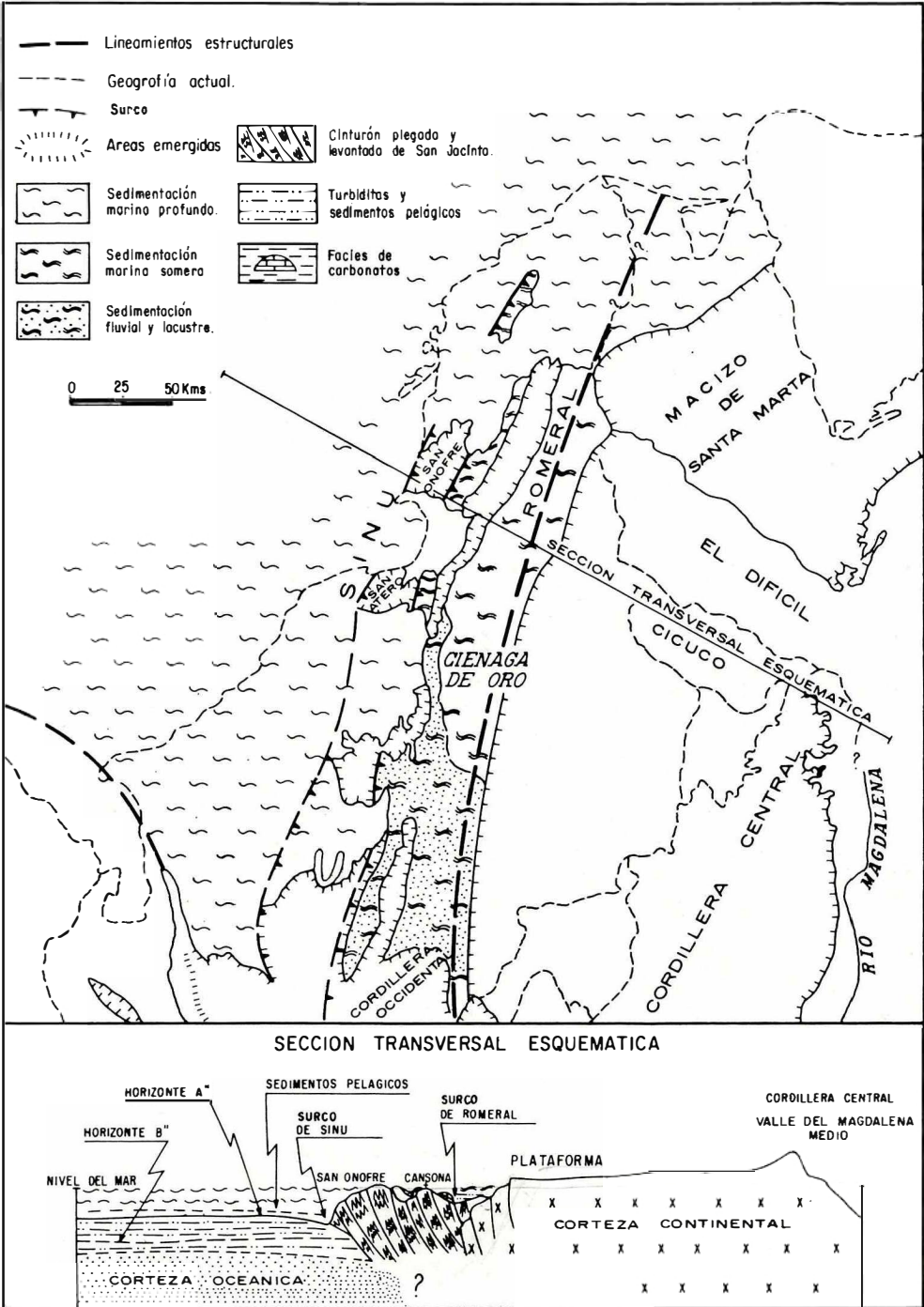


FIGURA 10. Paleogeografía del noroccidente de Colombia durante el Eoceno tardío - Oligoceno (Carmeniense temprano).

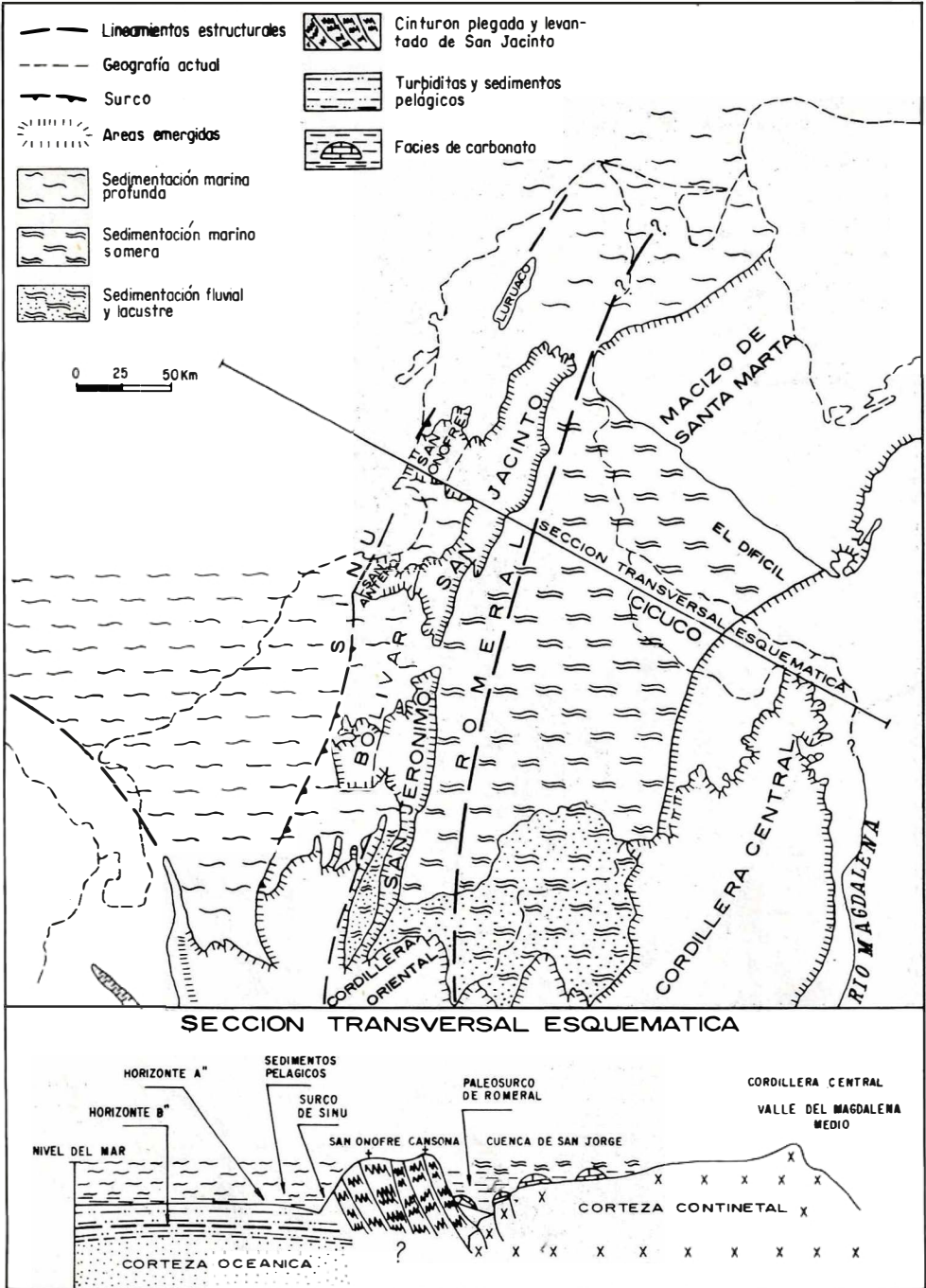


FIGURA 11. Paleogeografía del noroccidente de Colombia durante el Mioceno temprano - Mioceno medio (Carmeniense medio).

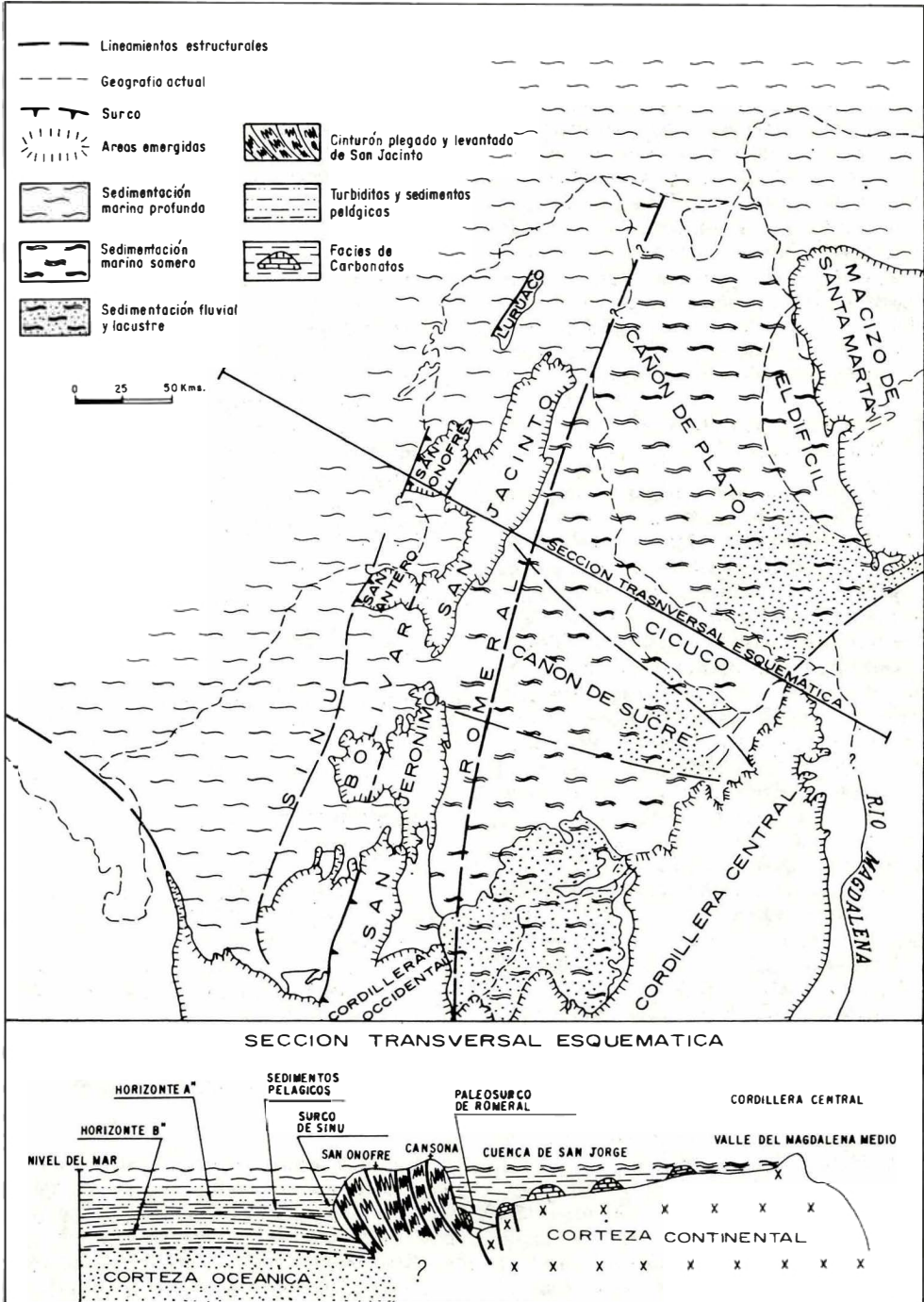


FIGURA 12. Paleogeografía del noroccidente de Colombia durante el Mioceno tardío - Plioceno (Carmeniense tardío).

eminentemente turbidítica con gran aporte terrígeno, donde los paleocañones de Plato, de Sucre y posiblemente otro importante localizado mas hacia el sur, se comportaron como enormes canales de descargue del gran volumen sedimentario procedente del interior del continente. Las máximas acumulaciones de sedimentos ocurrieron en el área del cinturón de Sinú donde sobrepasan los 5.000 m de espesor. Obviamente, los sedimentos clásticos más gruesos se depositaron muy cerca al margen continental, a lo largo del surco de Sinú, en las intersecciones con los cañones submarinos, particularmente los de Plato y Sucre. Los conglomerados que afloran en las áreas de Tucurá y Luruaco confirman este modelo de depósito.

3.8. OROGENIA ANDINA (Plio-Pleistoceno)

Este importante episodio orogénico de la evolución de los Andes colombianos (VAN DER HAMMEN, 1958, IRVING, 1972) se extendió septentrionalmente hasta el área de estudio, como consecuencia de otro clima diastrófico de los esfuerzos laterales compresionales existentes sobre la plataforma, que están controlando la evolución tectónica y sedimentaria del noroccidente colombiano (Fig. 13). Estos esfuerzos, además de levantamiento, plegamiento y fallamiento normales al esfuerzo principal, produjeron un fenómeno tectónico mucho más variado y complejo acompañado por fallamiento transcurrente y flexiones paralelas a los trenes estructurales mayores. Esta complejidad y variedad se debió primordialmente a que con el progreso del acrecimiento continental sobre los márgenes que bordean la cuenca de Colombia, el espacio dentro del cual se desarrollaban los esfuerzos compresionales se redujera y se apretara, produciendo así efectos más variados y complejos que los de las fases diastróficas precedentes.

Los siguientes fenómenos se consideran característicos y resultado de esta situación durante la Orogenia Andina:

- 1) **Volcanismo y plutonismo de lodo** dentro de la franja de sedimentos acumulados en el surco de Sinú, levantando y deformando inicialmente el cinturón, causando un cambio brusco en la batimetría (DUQUE-CARO, 1975, Fig. 3), y la formación del surco de Colombia a

lo largo del margen occidental. Se produce así otra nueva migración al occidente del surco original de Romeral.

- 2) Estrechamiento estructural del cinturón de Sinú en su extremo meridional e inflexión estructural en su parte media, posiblemente como resultado de esfuerzos compresionales convergentes.
- 3) Levantamiento y plegamientos completos de cinturón de San Jacinto, asociados con cierres estructurales en S a lo largo del flanco oriental, los que también parecen ser consecuencia de las mismas causas que dieron origen a la inflexión del cinturón de Sinú y al movimiento transcurrente a lo largo del lineamiento de Romeral. En el área de Barranquilla la dirección estructural N45° E del cinturón de Sinú está superpuesta ocultando así el tren estructural original N20° E del cinturón de San Jacinto (Fig. 4).
- 4) Emergencia sin plegamiento de la cubierta sedimentaria del área de la plataforma.
- 5) Corrimiento sinistral de la sierra de Santa Marta a lo largo del lineamiento de su nombre (cf. RAASVELDT, 1956; CAMPBELL, 1968).

3.9. PLEISTOCENO - HOLOCENO (Tubariense)

El ciclo sedimentario de Tubará (DUQUE-CARO, 1972, 1975) se inició durante esta época con una sedimentación marina en las porciones sumergidas del cinturón de Sinú. Esta sedimentación principalmente de facies de carbonatos, consistió en arenas, calizas arrecifales, "shales" y en menor cantidad conglomerados, depositados en un ambiente nerítico hasta de 200 m de profundidad de agua.

Mientras tanto, en la cuenca de San Jorge imperaba una sedimentación fluvial y deltáica a lo largo de canales remanentes del río dejados por los paleocañones de Plato y Sucre. Estos sedimentos alcanzaron espesores probables hasta de 4.000 m en el paleocañón de Sucre, hacia su parte más profunda en el flanco oriental del anticlinorio de San Jacinto. Las áreas adyacentes a los drenajes mayo-

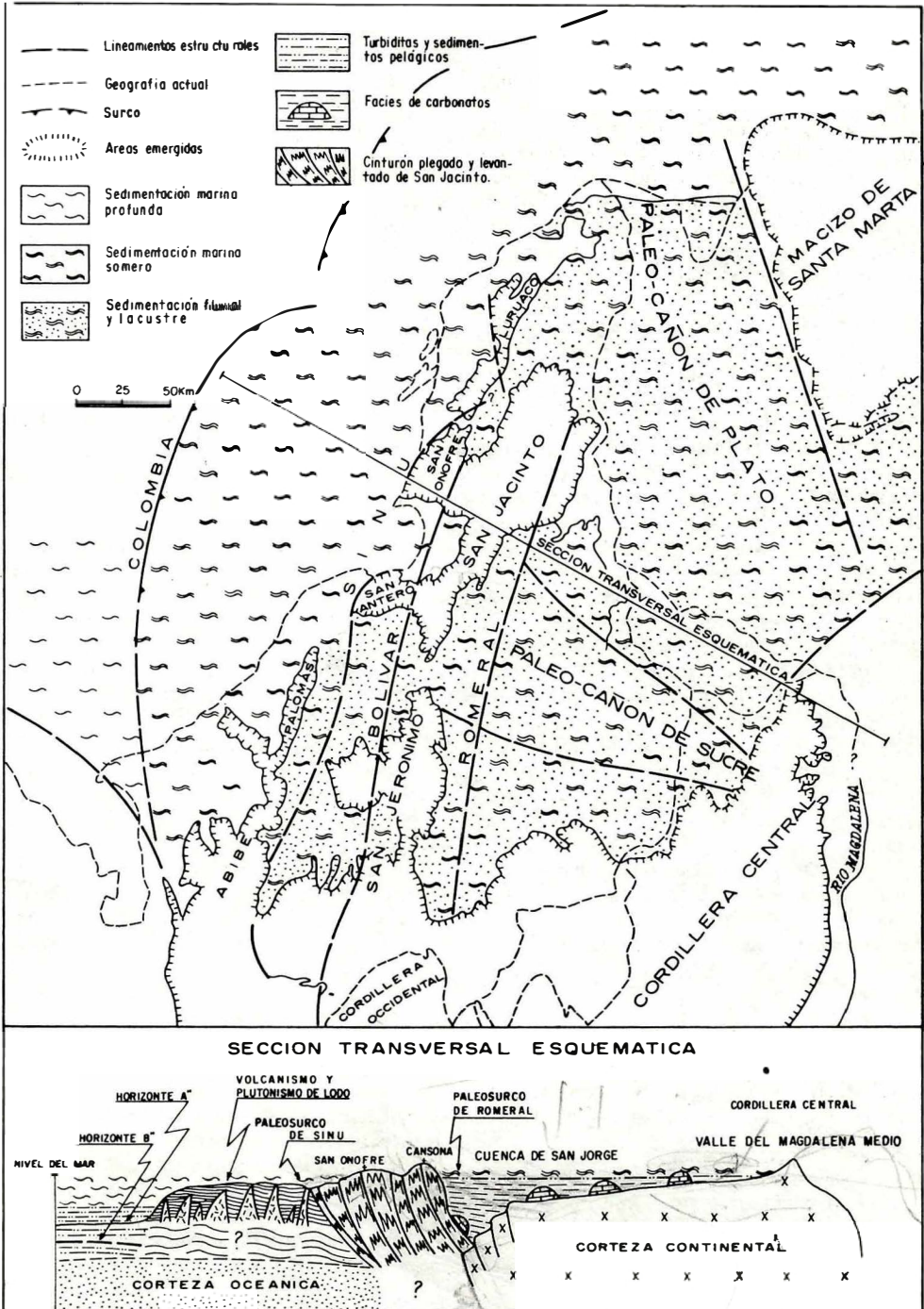


FIGURA 13. Paleogeografía del noroccidente de Colombia inmediatamente después de la Orogenia Andina (Plioceno - Pleistoceno).

res estuvieron caracterizadas por sedimentación lacustre.

En la llanura abisal, la sedimentación fue eminentemente turbidítica, según se deduce de algunas publicaciones como la de Edgar et al. (1971), entre otras. El cinturón de Sinú continuó emergiendo como consecuencia, tanto de la compresión lateral como de la alta presión almacenada dentro del cinturón ("shale de alta presión"). Esta situación hizo que el fenómeno de volcanismo y Plutonismo de lodo, causa principal de la deformación del cinturón, siguiera y aún siga activo (cf. HIGGINS y SAUNDERS, 1974, p. 148). Esto puede observarse actualmente en las continuas erupciones volcánicas explosivas de lodo a lo largo del cinturón, particularmente al occidente de Montería en el área de Arboletes (Fig. 3) y también en las elevaciones topográficas por encima del nivel del mar de las islas que bordean la llanura costera. Todas estas islas originadas por este fenómeno de volcanismo y plutonismo de lodo están recubiertas por facies de carbonatos principalmente hacia sus flancos. Dos ejemplos espectaculares observados en tierra son Loma de Piedra y la Loma de los Volcanes, con más de 200 m de altura sobre el nivel del mar y localizadas en el área de Turbaco cerca de Cartagena (Fig. 3). Otro ejemplo interesante de los esfuerzos verticales del plutonismo de lodo está en la isla de Tierra-bomba, inmediatamente al sur de Cartagena, con una elevación máxima de 80 m sobre el nivel del mar. Un nivel estratigráfico de una terraza de playa con una elevación de 3 m sobre el nivel del mar fue datado con C_{14} , dando como resultado una edad Holoceno (2.850 ± 150 años A.C.) según estudios de Porta et al. (1963).

4. CONCLUSIONES GENERALES

Con base en todo lo expuesto en este trabajo, se pueden plantear las siguientes conclusiones:

1. Acercamiento continental progresivo hacia el occidente, a lo largo del margen costero noroccidental colombiano, produciendo:
 - a. Mi ración hacia el occidente de la posición original inicial del paleosurco de omeral, sucesivamente a través de las posiciones de Bolívar, Sinú y Colombia.

- b. Migración en la misma dirección de la provincia sedimentaria correspondiente (Fig. 14), y
 - c. Levantamiento y delineamiento de los cinturones de San Jacinto, durante la Orogenia pre-Andina, y de Sinú durante la Orogenia Andina.
2. Dos tipos diferentes de ciclos sedimentarios se pueden distinguir, de acuerdo con las características de depósito reconocidas en la región:
 - a. Los que se desarrollaron en cada uno de los elementos geotectónicos que conforman la región inmediatamente después de cada evento diastrófico, y que están constituidos esencialmente por facies de carbonatos y por sedimentos fluvio-lacustres, y
 - b. Los que se desarrollaron en la llanura abisal al occidente de cada uno de los surcos y que comprenden sedimentos pelágicos y turbiditas (Fig. 14).
3. La paleobatimetría a lo largo de las áreas actualmente ocupadas por los cinturones de San Jacinto y Sinú estuvo controlada por altos estructurales antiguos de origen intrusivo y extrusivo, y la sedimentación del margen continental que avanzaba hacia el occidente, estuvo también fuertemente influida por turbiditas provenientes de paleocañones con una dirección provenientes de paleocañones con una dirección NW predominante, por lo menos desde el Cretáceo tardío.
4. Esfuerzos compresionales laterales, normales al margen continental, como resultado inmediato de la interacción existente entre las cortezas oceánicas del Caribe (cuenca de Colombia) y continental del norte de Suramérica, han sido la causa principal de todos los rasgos tectónicos, estructurales y sedimentarios reconocidos en el área de estudio, tales como plegamiento, levantamiento, fallamiento, geofracturamiento, volcanismo, plutonismo, etc., por lo menos desde el Cretáceo tardío.
5. Dos trenes estructurales diferentes convergen en la porción septentrional del

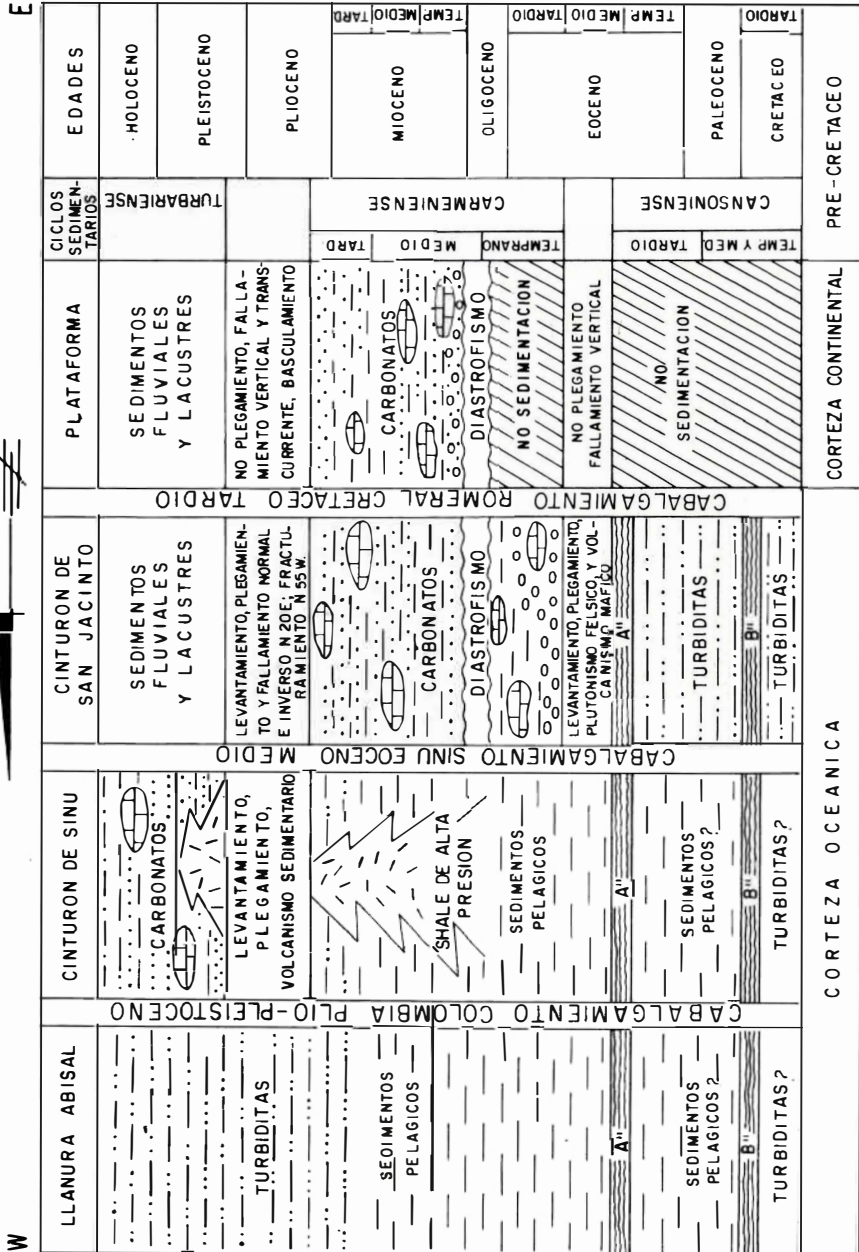


FIGURA 14. Evolución tectónica y sedimentaria del noroccidente de Colombia.

área de estudio (área de Barranquilla), como consecuencia de dos orogenias también diferentes: El tren del cinturón de San Jacinto con una direcció N20° E y con una edad de Eoceno medio (Orogenia pre-Andina), y el del cinturón del Sinú, con una dirección N45° E, paralelo a la línea de costa y con una edad de Plio-Pleistoceno (Orogenia Andina).

6. Los fenómenos como el fallamiento transcurrente, las flexiones estructurales y el geofracturamiento, se interpretan como la última etapa de la evolución tectónica del noroccidente colombiano durante la Orogenia Andina (Plio-Pleistoceno).
- 7 El cinturón fragmentado de San Jacinto se originó a partir de una antigua cadena volcánica submarina que se extendía hacia el norte incluyendo la cresta de Beata y separa dos provincias tectónicas diferentes, la oriental (cuenca de Venezuela) y la occidental (cuenca de Colombia), las que a su vez y en mi opinión, están fundadas respectivamente sobre cortezas continental y oceánica, de acuerdo con las características estructurales y geofísicas similares observadas tanto en el noroccidente colombiano como en las áreas de Caribe, inmediatamente al norte.
8. Antes del Mioceno tardío - Plioceno, la sierra de Santa Marta hacía parte continua de la Cordillera Central la cual se extendía hacia el noreste parte continua de la Cordillera Central dentro del Caribe. Sin embargo, durante el Terciario tardío, ocurrieron movimientos orogénicos produciendo fracturamiento y fallamiento transcurrente de este sistema montañoso, lo que trajo como consecuencia la separación relativa de la sierra de Santa Marta de la Cordillera Central a lo largo de la falla de San Jorge.

5. REFERENCIAS CITADAS

- BARRERO, D., ALVAREZ, J., T. KASSEM, 1969.- *Actividad ígnea y tectónica en la Cordillera Central*. Bol. Geol. (Bogotá), 17, (1-3): 145-173.
- BECK, A., 1921.- *Geology and oil resources of Colombia. The coastal plain*. Econ. Geol. (El Paso, Texas) 16: 457-473.
- BURK, C.A., 1972.- *Uplifted geosynclines and continental margins*. Geol. Soc. Am. Mem. (Boulder, Colorado) 132: 75-85.
- CAMPBELL, C. J., 1968.- *The Santa Marta wrench fault of Colombia and its regional setting*. Caribbean Geol. Conf., 4 Trinidad, 1965, Trans., p. 247-261.
- CASE, J. E., 1974.- *Major basins along the continental margin of northern South America*. in The geology of continental margins, Burk, C.A., and C.L. Drake, p. 733-741, Springer Verlag. Berlin - New York.
- CASE, J. E. and T. L., HOLCOMBE, 1975.- *Preliminary geologic-tectonic map of the Caribbean region*. U.S. Geol. Surv. open-file map, 75-146.
- CHRISTOFFERSON, E., 1973.- *Linear magnetic anomalies in the Colombia basin, central Caribbean sea*. Geol. Soc. Am. Bull. (Boulder, Colorado) 84 (10): 3217-3230.
- CROOK, K.A.W., 1974.- *Lithogenesis and geotectonics: the significance of compositional variation in flysch arenites (graywackes)*. in Modern and ancient geosynclinal sedimentation. Soc. Econ. Paleont. & Miner. (Chicago) Sp. Publ. 19: 304-310.
- DONNELLY, TH.W., 1975.- *The geological evolution of the Caribbean and Gulf of Mexico - some critical problems and areas*, in The ocean basins and margins, 3: The Gulf of Mexico and the Caribbean, A.E.M., Nairn and F. G. Stehli, New York, p. 663-685. Plenum Press.
- DUQUE-CARO, H., 1972.- *Ciclos tectónicos y sedimentarios en el norte de Colombia y sus relaciones con la paleoecología*: Bol. Geol. (Bogotá), 19 (3): 1-23.
- , 1973.- *Guidebook to the geology of the Montería area*. Col. Soc. Petrol. Geol. Geoph. Ann. Field Conf. 14, Bogotá, 1-49.

- , 1975.- *Los foraminíferos plactónicos y el Terciario de Colombia*. Rev. Esp. Micropal (Madrid) 7, (3): 403-427.
- , 1976.- *Características estratigráficas y sedimentarias del Terciario Marino de Colombia*. Congr. Lat. Geol. 2, Caracas, 1973, 945-964.
- DURAN, L. G., 1964.- *Ensayo de interpretación tectonofísica de la plataforma continental del Caribe*. Cالدasia (Bogotá), 9 (42): 138-150.
- EDGAR, N. T., EWING, J. I., J. HENNION, 1971.- *Seismic refraction and reflection in Caribbean sea*. Assoc. Petrol. Geol. Bull., (Tulsa, Oklahoma), 55 (6): 833-870.
- EWING, J.I., EDGAR, N.T., J.W. ANTOINE, 1971.- *Structure of the Gulf of Mexico an Caribbean*. en *The sea*, 4, pt. 2: Wiley-Intersci. New York, 321-358.
- HIGGINS, G. E., J. B., SAUNDERS, 1974.- *Mud volcanoes - their nature and origin*, in Contributions to the geology of the Caribbean and adjacent areas. Naturf. Ges. Basel, (Germany) Band 84, No. 1, p. 101-152.
- HUBACH, E., 1930.- *Informe geológico de Urabá*: Bol. Min. Petrol. (Bogotá), 4, (19-20): 26-136.
- IRVING, E. M., 1971.- *La evolución estructural de los Andes más septentrionales de Colombia*. Bol. Geol. (Bogotá), 19 (2): 1-89.
- KRAUSE, D. C., 1971.- *Bathymetry, geomagnetism, and tectonics of the Caribbean sea north of Colombia*. Geol. Soc. America Mem. (Boulder, Colorado) 130: 35-54.
- KUGLER, H. G., 1968.- *Sedimentary volcanism: Caribbean Geol. Conf. 4 Trinidad, 1965, Trans., p. 11-13.*
- LUDWIG, W.J., HOUTZ, R. E., J. I. EWING, 1975.- *Profiler-sonobououy measurements in Colombia and Venezuela basins, Caribbean sea*. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. (Tulsa, Oklahoma) 59, (1): 115-123.
- PORTA, J. DE, RICHARDS, H.G., E. SHAPIRO, 1963.- *Nuevas aportaciones al Holoceno de Tierrabomba*. Bol. Geol. (Bucaramanga) 12: 35-44.
- RAASVELDT, H. C., 1956.- *Fallas de rumbo en el nordeste de Colombia*. Rev. Petrol. (Bogotá), 7 (64): 19-26.
- ROEMER, L., BRYANT, W., D.FAHLQUIST, 1976.- *A geophysical investigation of the Beata Ridge: Caribbean Geol. Conf. 7, Guadalupe, 1974, Trans., p. 115-125.*
- SHEPARD, F.P., DILL, R.F., B.C., HEEZEN, 1968.- *Diapiric intrusions in foreset slope sediments off Magdalena delta Colombia*. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. (Tulsa, Oklahoma) 52 (11): 2197-2207.
- SHEPARD, F. P., 1973.- *Seafloor off Magdalena delta and Santa Marta area, Colombia*. Geol. Soc. Amer. Bull. (Boulder, Colorado) 84 (6): 1955-1972.
- STAINFORTH, R. M., 1968.- *Mid-Tertiary diastrophism in northern South America*. Caribbean Geol. Conf. 4, Trinidad, 1965, Trans., p.159-177.
- U. S. NAVAL OCEANOGRAPHIC OFFICE, 1975.- *Bathymetric map of the Caribbean region*. U. S. Geol. Surv., Washington. Open-file Map, 75-146.
- VAN DER HAMMEN, T., 1958.- *Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continentales y tectogénesis de los Andes colombianos*: Bol. Geol. (Bogotá) 6, (1-3): 67-128.
- WATKINS, J., T. CAVANAUGH, 1976.- *Implications of magnetic anomalies in the Venezuela basin*. Caribbean Geol. Conf. 7, Guadalupe, 1974, Trans., p. 127-138.
- ZIMMERLE, W., 1968.- *Serpentine graywackes from the north coast basin Colombia and their geotectonic significance*. N. Jb. Miner. Abh. (Sttugart) 109 (1-2): 156-182.

* * *

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

**INVESTIGACION HIDROLOGICA DE LA
MEDIA Y BAJA GUAJIRA**

INFORME No. 1751

Por:

GERRIT JOUSMA Y SERGIO SERRANO T.

BOGOTA, 1978



CONTENIDO

RESUMEN	44
1. INTRODUCCION	44
2. DESCRIPCION HIDROGEOLOGICA	44
3. DESCRIPCION HIDROLOGICA	45
3.1. METEOROLOGIA	45
3.1.1. PRECIPITACION	45
3.1.2. TEMPERATURAS	59
3.1.3. EVAPOTRANSPIRACION	59
3.1.4. VIENTOS	59
3.2. AGUAS SUPERFICIALES	59
3.3. AGUAS SUBTERRANEAS	60
4. MODIFICACION DE LOS LIMITES DEL PROYECTO	60
4.1. LIMITE SUR	61
4.1.1. REGION DE DIBULLA	61
4.1.2. REGION DE TOMARRAZON, BARBACOAS Y COTOPRIX	61
4.1.3. REGION DE CUESTECITA HASTA MAJAYURA	61
4.1.4. CUENCA DEL RIO RANCHERIA	61
4.2. LIMITE NORTE	61
5. INVESTIGACION HIDROLOGICA	61
5.1. GENERALES	61
5.2. BALANCE HIDRICO	62
5.3. PRECIPITACION	62
5.4. EVAPOTRANSPIRACION	63
5.5. CAUDALES (R _o y R _i)	63
5.6. INFILTRACION (I)	63
5.6.1. CUENCAS ARRIBA DE LA FALLA DE OCA	63
5.6.2. ZONA DE LA FALLA DE OCA	64
5.6.3. CUENCAS AGUAS ABAJO DE LA FALLA DE OCA	64
5.6.4. LOS AFLORAMIENTOS TERCARIOS AL NORTE DE LA FALLA DE OCA	65
5.7. RECAPITULACION	65
6. RESULTADOS OBTENIDOS	65
6.1. PRECIPITACION	66
6.2. EVAPORACION	66
6.3. NIVELES DE LOS RIOS	66
6.4. CAUDALES	66
7. BIBLIOGRAFIA	80

FIGURAS

1. Corte Hidrogeológico de la Media y Baja Guajira	46
2. Mapa Hidrogeológico	47
3. Precipitación media mensual en las Estaciones de Serie Larga (Manaure, Uri- bia y Matitas)	48
4. Precipitación media mensual en las Estaciones de Serie Larga (Cuestecita, Carraipía y La Paulina)	49
5. Distribución de frecuencias de precipitación ..	50
6. Mapa de Isoyetas medias anuales (1972-1975) .	51

	<u>Página</u>
7. Evapotranspiración media en estaciones típicas	52
8. Mapa de Isopiécicas freáticas	53
9. Precipitación media 1972 - 1975 en mm	54
10. Precipitación media 1972 - 1975 en mm	55
11. Precipitación media 1972 - 1975 en mm	56
12. Precipitación media 1972 - 1975 en mm	57
13. Correlación mensual de lluvias (1972-1975) en Estaciones de Himat	58
14. Precipitación registrada por INGEOMINAS durante 1977 - 1978 (El Abra, Juríakal)	67
15. Precipitación registrada por INGEOMINAS durante 1977 - 1978 (Wittuy, Aremasahin)	68
16. Precipitación registrada por INGEOMINAS durante 1977 - 1978 (Tomarrazón, Cotoprix)	69
17. Precipitación registrada por INGEOMINAS durante 1977 - 1978 (Siruma, Monguí)	70
18. Velocidad media del viento en mt/sg (1972 - 1975)	71
19. Mapa hidrológico general de la Media y Baja Guajira	72

TABLAS

I. Areas de las Cuencas adentro y afuera de la zona de estudio	60
II. Balances hídricos con motivo del estudio de infiltración	65
III. Estaciones del Proyecto	73
IV. Precipitación registrada intervalo 1972 - 1975 en mm	73
V. Lluvia registrada en estaciones del Proyecto intervalo 1977-1978	74
VI. Lluvia en Manaure	74
VII. Lluvia en Uribia	75
VIII. Lluvia en Matitas	75
IX. Lluvia en Cuestecita	76
X. Lluvia en Carraipía	76
XI. Lluvia en La Paulina	76

	Página
XII. Temperaturas °C	77
XIII. Valores medios de velocidad del viento 1972 - 1975	77
XIV. Niveles de agua en metros registrados en Aremasahin durante 1977-1978	77
XV. Niveles de agua en metros registrados en Aritayén durante 1977 - 1978.	78
XVI. Niveles de agua en metros registrados en Barbacoas durante 1977 - 1978	79
XVII. Niveles de agua en metros registrados en Camarones durante 1977 . . .	79
XVIII. Niveles de agua en metros registrados en Villa Martín	79
XIX. Aforos realizados hasta el momento . .	80

* * *

RESUMEN

El informe contiene un análisis preliminar de los factores climáticos e hidrológicos, como parte de la investigación hidrológica detallada del Proyecto de Evaluación de Acuíferos de la Media y Baja Guajira Fase 2.

Se expone el tratamiento de los datos recopilados hasta la fecha, así como la metodología a seguir en la investigación anterior del cálculo de la infiltración con base en balances hídricos.

1. INTRODUCCION

En enero de 1977 se comenzó el Proyecto Guajira II por acuerdo entre el Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras, INGEOMINAS, de Colombia y el Instituto de Investigaciones de Aguas Subterráneas, T.N.O., de Holanda.

Básicamente las investigaciones fueron orientadas hacia la evaluación de las reservas de agua subterránea, las necesidades, las alternativas de explotación y las consecuencias técnicas y económicas de dicha explotación en la Media y Baja Guajira. El estudio hidrológico, como parte de las investigaciones mencionadas, abarca el análisis de las cantidades de agua subterránea disponible y las consecuencias de extracción. Importantes aspectos en este estudio son la recarga y el almacenamiento de los acuíferos, y los fenómenos relativos al eventual agotamiento temporal.

La investigación se divide en las siguientes partes:

Estudio del clima, los caudales de los ríos e infiltración con base en balances de agua.

Estudio de las características de los acuíferos, cantidades y calidades de agua subterránea.

Estudio de las consecuencias de explotación de agua subterránea con base en un modelo hídrico económico.

Este informe trata la primera parte.

El estudio del clima de los caudales de los ríos y de los balances de agua, empe-

zó en enero de 1977 con un análisis de la situación y de los datos existentes. Con base en este análisis se tomaron los límites definidos del área de estudio y se planificó la instalación de una red de mediciones detalladas, por carecerse de datos, caudales, y de suficientes datos climatológicos.

La densificación de la red existente y el balance hídrico de la totalidad de la zona de estudio no era el propósito del Proyecto, por lo que las investigaciones se limitaron al sur de la zona, donde se espera la más importante infiltración; esta zona comprende el área de la Falla de Oca y las cuencas altas del Río Camarones y de la Quebrada de Moreno. Para obtener los datos necesarios se instalaron cuatro limnógrafos y diez pluviómetros.

A causa de una interrupción forzosa del Proyecto en marzo de 1978, la posibilidad de recolectar datos se limitó y por lo tanto el cálculo de un balance de agua no es posible. Sin embargo, las mediciones corrientes continúan.

2. DESCRIPCION HIDROGEOLOGICA

La zona de estudio abarca principalmente una fosa entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá al sur, y la Serranía de Cocinas al norte; está constituida por una serie sedimentaria, que en ciertos lugares sobrepasa los 2.000 m de espesor, constituida por arenas y calizas terciarias, de origen marino en su mayoría, con transición a sedimentos costeros y a depósitos costeros y depósitos continentales en las cercanías de la Sierra Nevada. Cubriendo estos sedimentos afloran rocas cuaternarias constituidas principalmente por sedimentos arcillosos y arenas eólicas que conforman una extensa llanura aluvial. En el suroeste del área de estudio (Fig. 2), los afloramientos del Terciario muestran, además de las capas arcillosas y arenosas, extensos conglomerados con cantos de tamaño fino a muy grueso; se supone que en esta área el terciario presenta una mayor permeabilidad y es más probable la percolación hasta los acuíferos profundos.

Fuera de estos afloramientos el terciario está cubierto por capas cuaternarias arcillo-arenosas, cuyo espesor no sobrepasa los 30 m; un estudio de detalle cerca del Río Ranchería, mostró que en la cuenca se en-

cuentran rellenos de arena gruesa y capas arcillosas como vestigios de antiguos lechos del cauce; se espera que este fenómeno se presente en las demás cuencas, pues a través de estos depósitos puede existir un contacto directo entre el agua superficial y la subterránea.

En el límite entre las cuarzomonzonitas, granodioritas grauvacas y rocas volcánicas impermeables de la Sierra Nevada y la Serranía de Perijá, y la Fosa del Norte se encuentra la Falla de Oca, que está cubierta por depósitos aluviales gruesos hacia el oeste de Cuestecita; en dichos depósitos se observó una altísima permeabilidad, que abre la posibilidad de flujos de agua de la Falla de Oca hacia el terciario al norte de esta falla (Fig. 1).

Cerca de Cuestecita, en la Serranía de Perijá se encuentran calizas y rocas calcáreas, limitadas al norte por la Falla de Oca, que muestran porosidad secundaria y fenómenos de karst; se presume que exista alguna infiltración desde esta región alta hacia la fosa, a través de la Falla. En la zona de Perijá las características del terciario no se pueden observar, pero al oeste de Cuestecita se presentan buenos afloramientos. Hacia el extremo norte del área de estudio afloran nuevamente rocas preterciarias puestas en contacto con la llanura aluvial a través de la Falla de Cuisa.

3. DESCRIPCION HIDROLOGICA

3.1. METEOROLOGIA

El clima de la Media y Baja Guajira se caracteriza por una precipitación anual de 400 mm al norte y unos 1000 mm al sur del área de estudio, temperaturas uniformes (la media anual es de 28°C) y vientos fuertes en todas las estaciones (TAHAL, 1967, IGAC, 1975).

3.1.1. PRECIPITACION

El clima en la Guajira muestra dos estaciones húmedas y dos secas. El período más húmedo es el de 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 desde diciembre hasta abril inclusive y en menor intensidad en julio.

Al sur de la región el invierno parece un poco más largo que al norte de tal manera que agosto muchas veces forma el primer mes del invierno y diciembre el último (Figs. 3 a 12, tablas 4 y 6 a 11).

Al sur 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. 6).

Algunas de las estaciones climatológicas existentes tienen series largas que permiten una investigación de frecuencias de precipitación media anual (Fig. 3 a 5).

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 la 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, situada en el centro de la Media Guajira, a 22 m sobre el nivel del mar, 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 el 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 de la región a una altura de 40 m sobre el nivel del mar, 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 2.103 mm de lluvia; el año 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 de la región a una altura de 100 m sobre el nivel del mar, la precipitación media anual registrada en el período de 1960 - 1975 fue de 996 mm. En es-

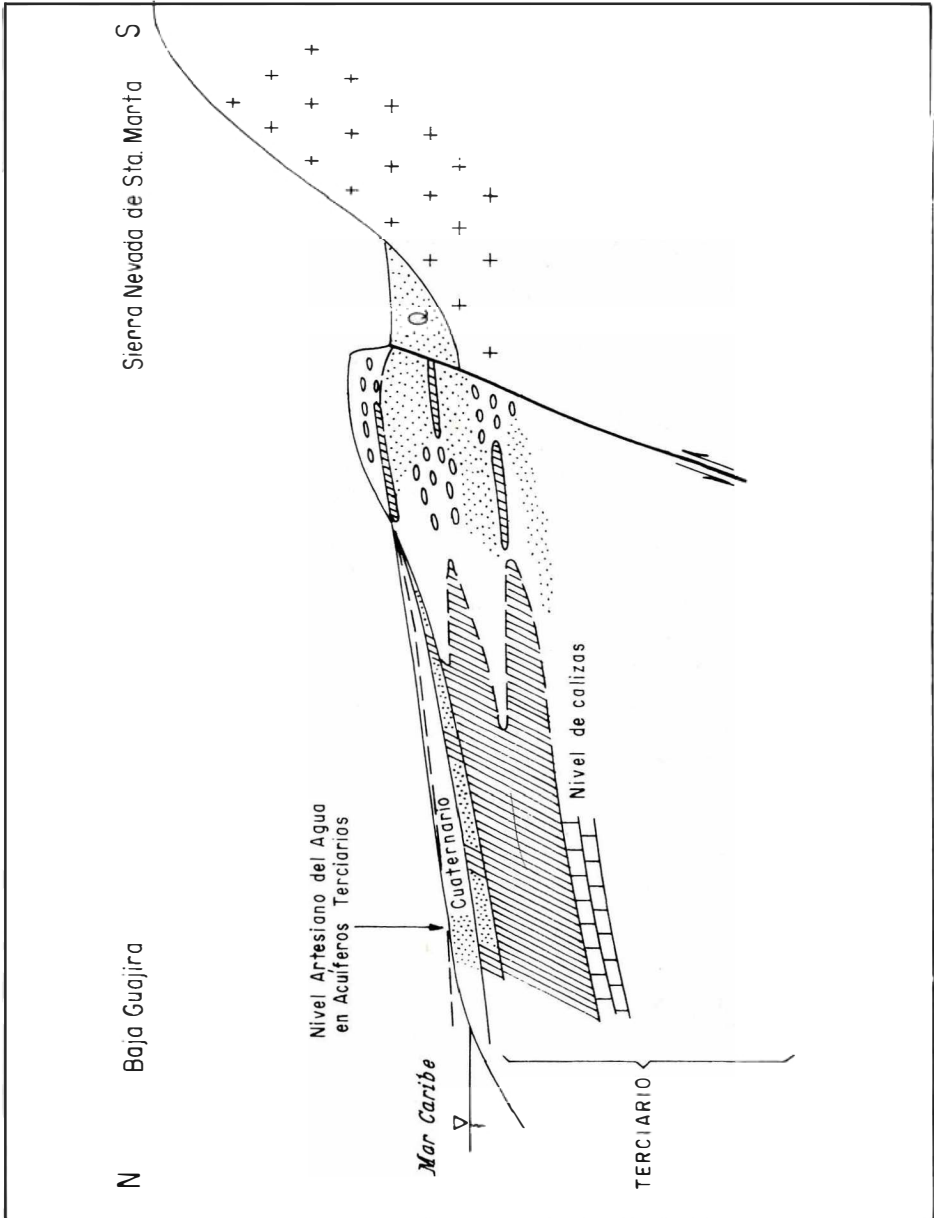
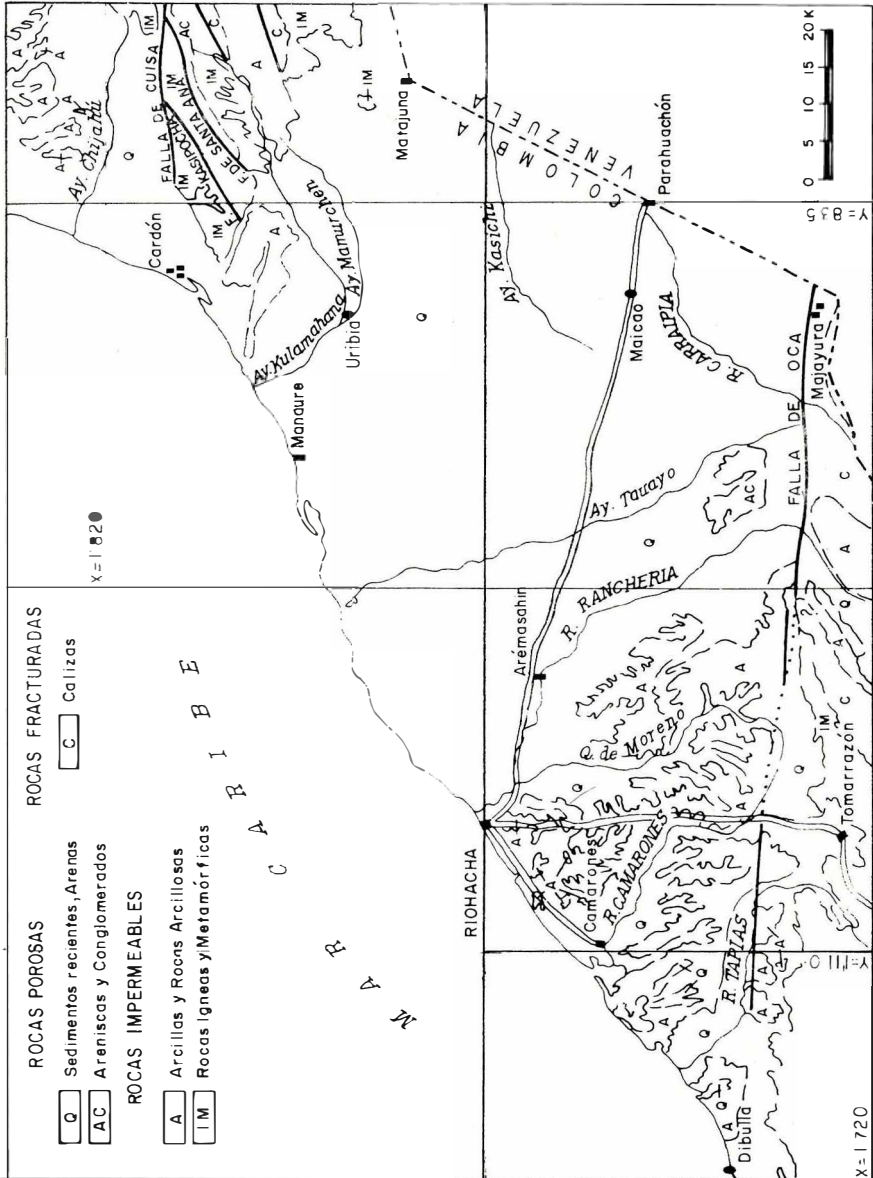


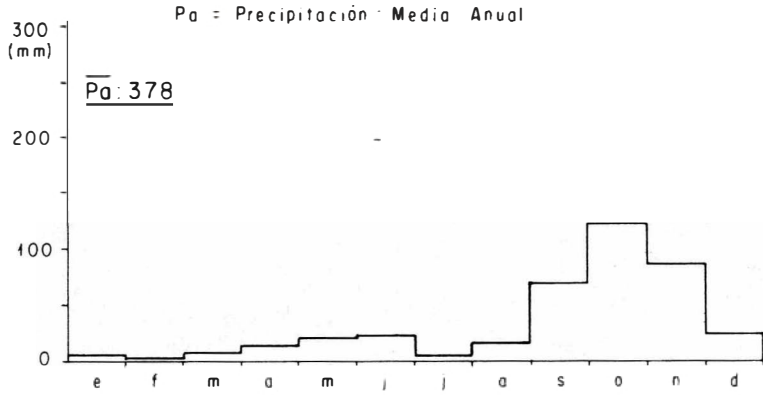
FIGURA 1.

Corte Hidrogeológico de la Media y Baja Guajira.

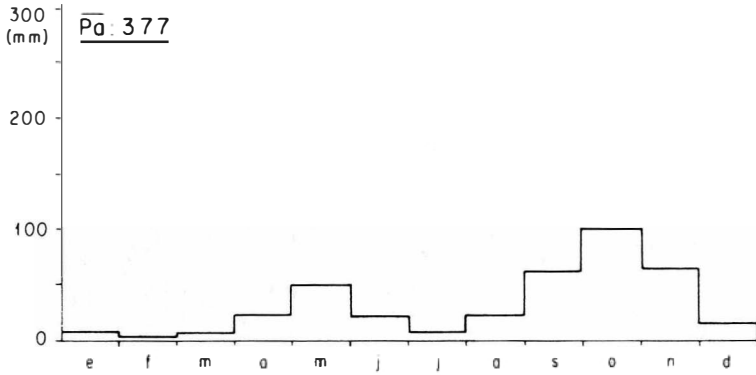


F GURA 2.

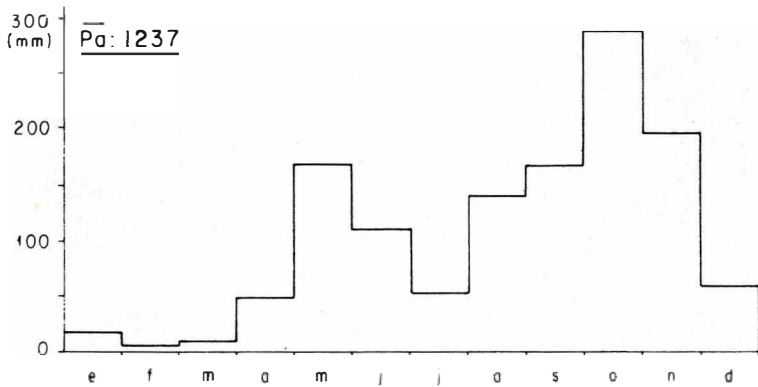
Mapa Hidrogeológico de la Media y Baja Guajira.



MANAURE: 1940 - 1944, 1953 - 1955
1957 - 1961, 1967 - 1975



URIBIA: 1937 - 1947, 1952 - 1960
1962 - 1964, 1968 - 1974



MATITAS: 1964 - 1975

FIGURA 3. Precipitación media mensual en las estaciones de Serie Larga.

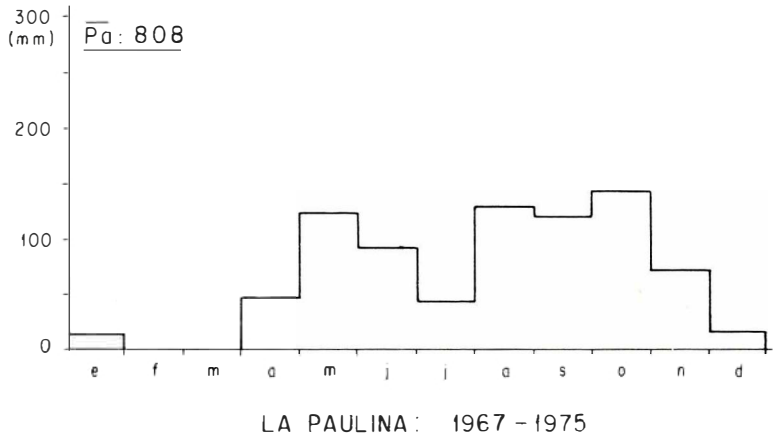
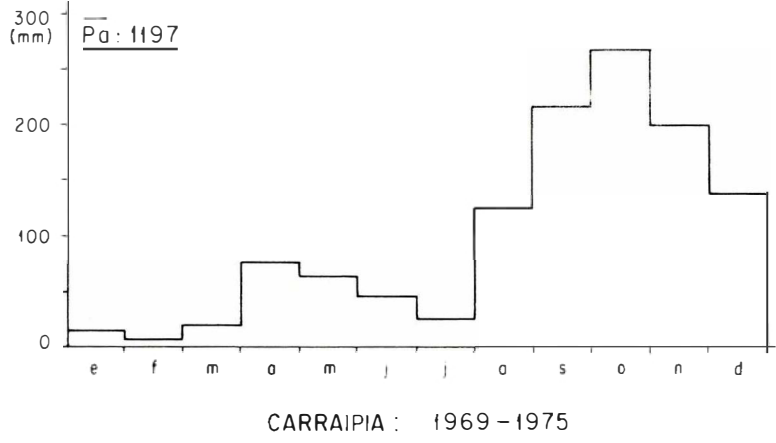
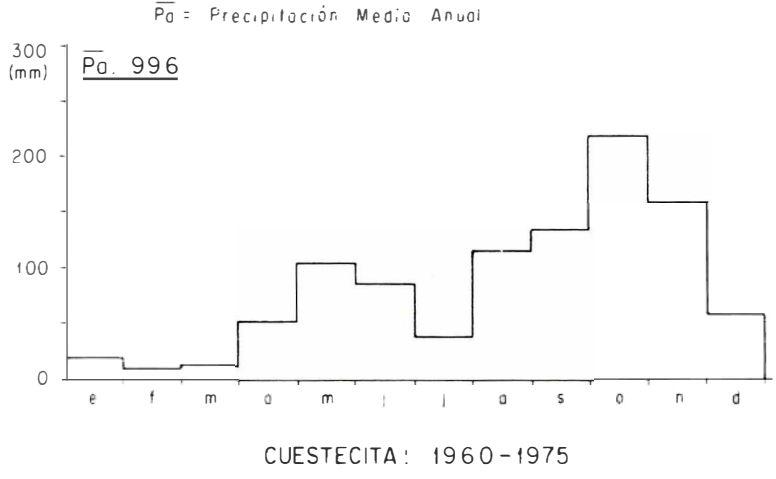


FIGURA 4. Precipitación media mensual en las estaciones de Serie Larga.

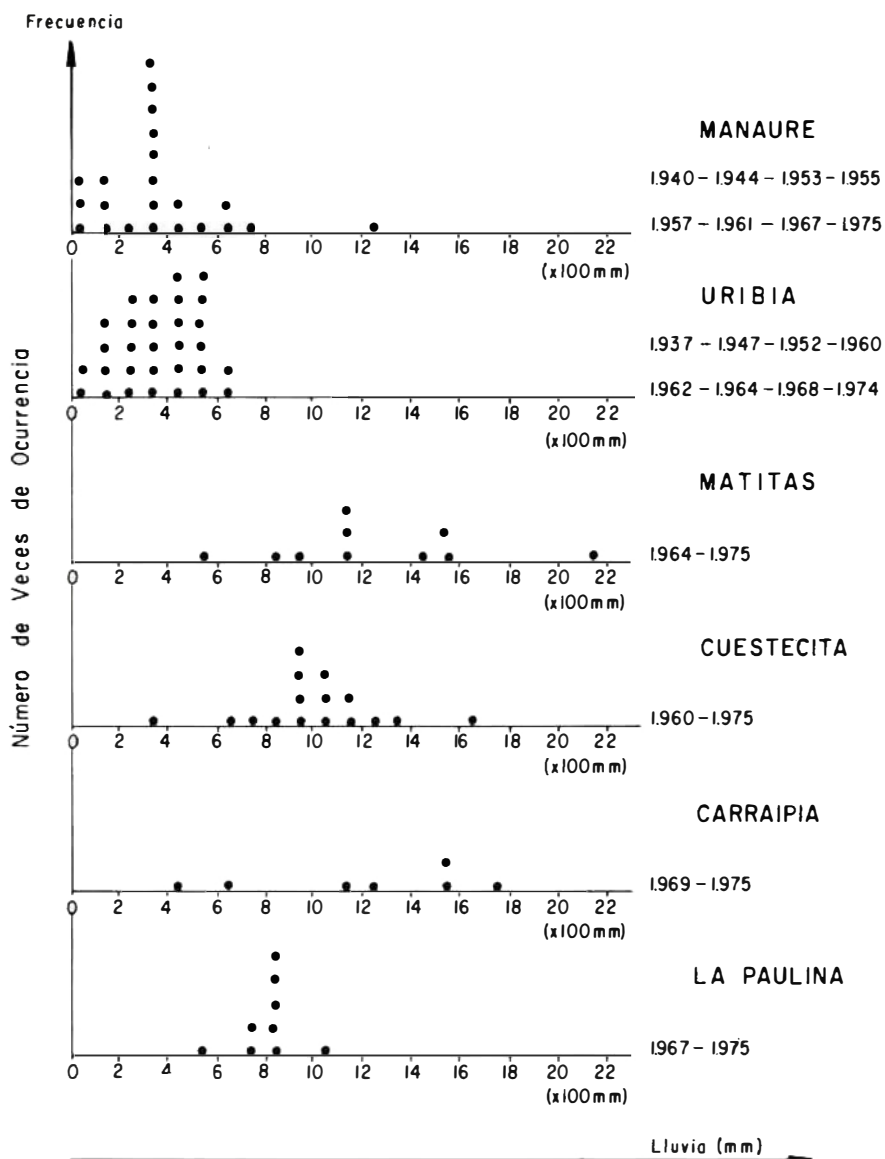


FIGURA 5.

Distribución de frecuencias de precipitación.

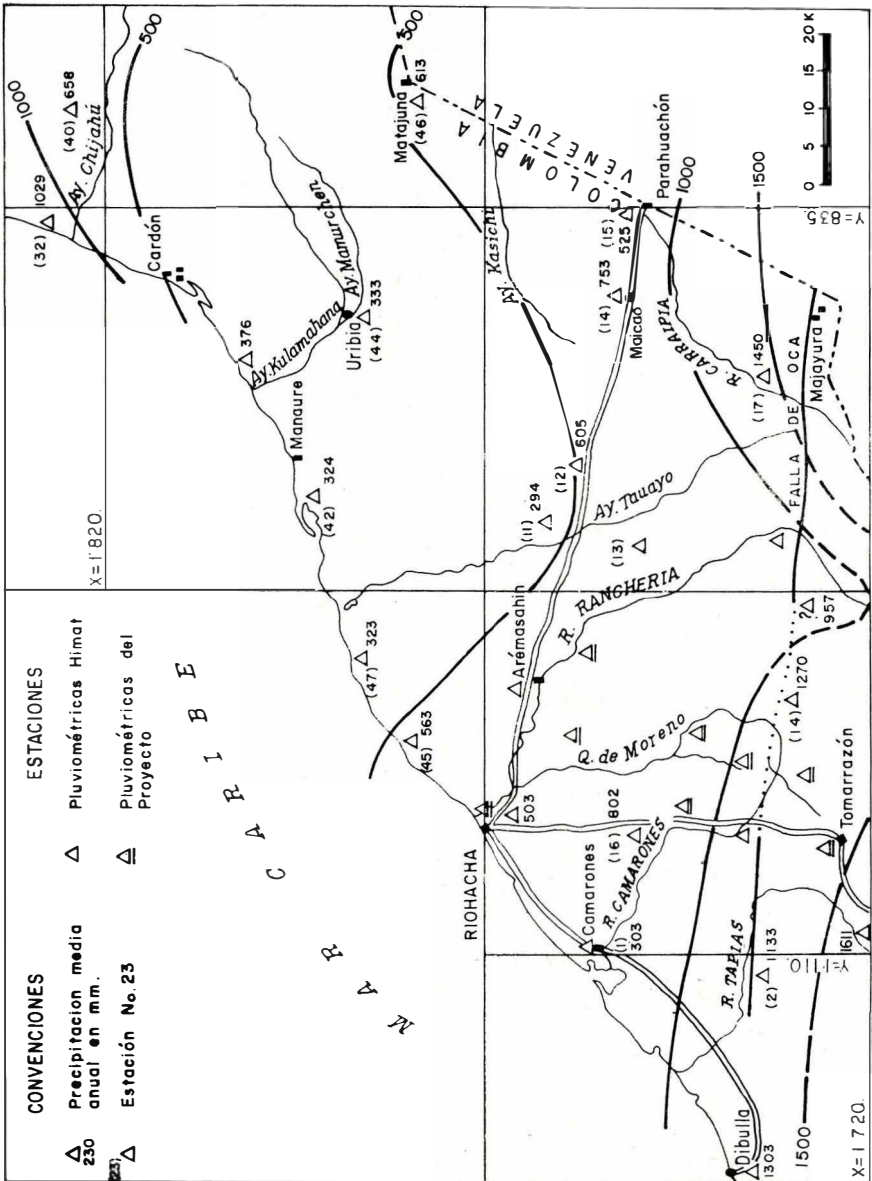


FIGURA 6.

Mapa de Isoyetas medias anuales (1972 - 1975)

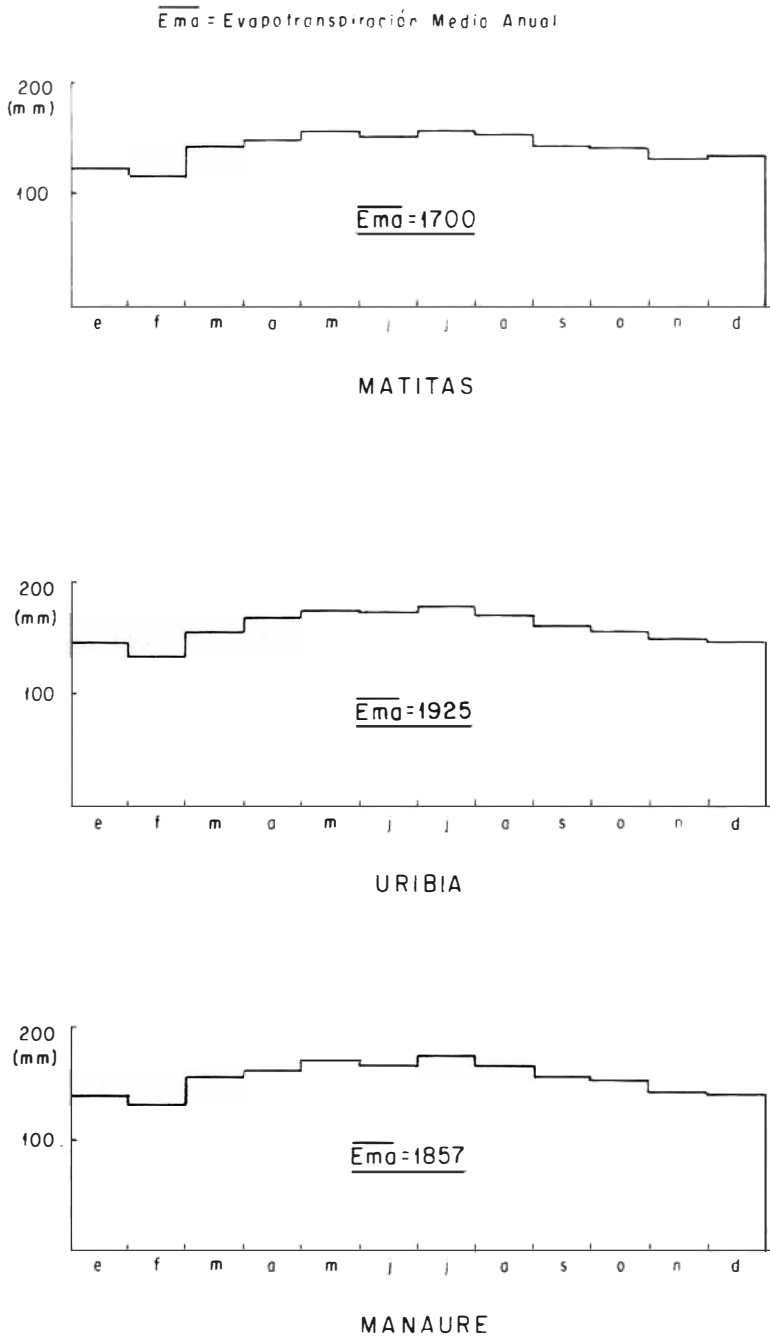


FIGURA 7. Evapotranspiración media en estaciones típicas (1951 - 1973).

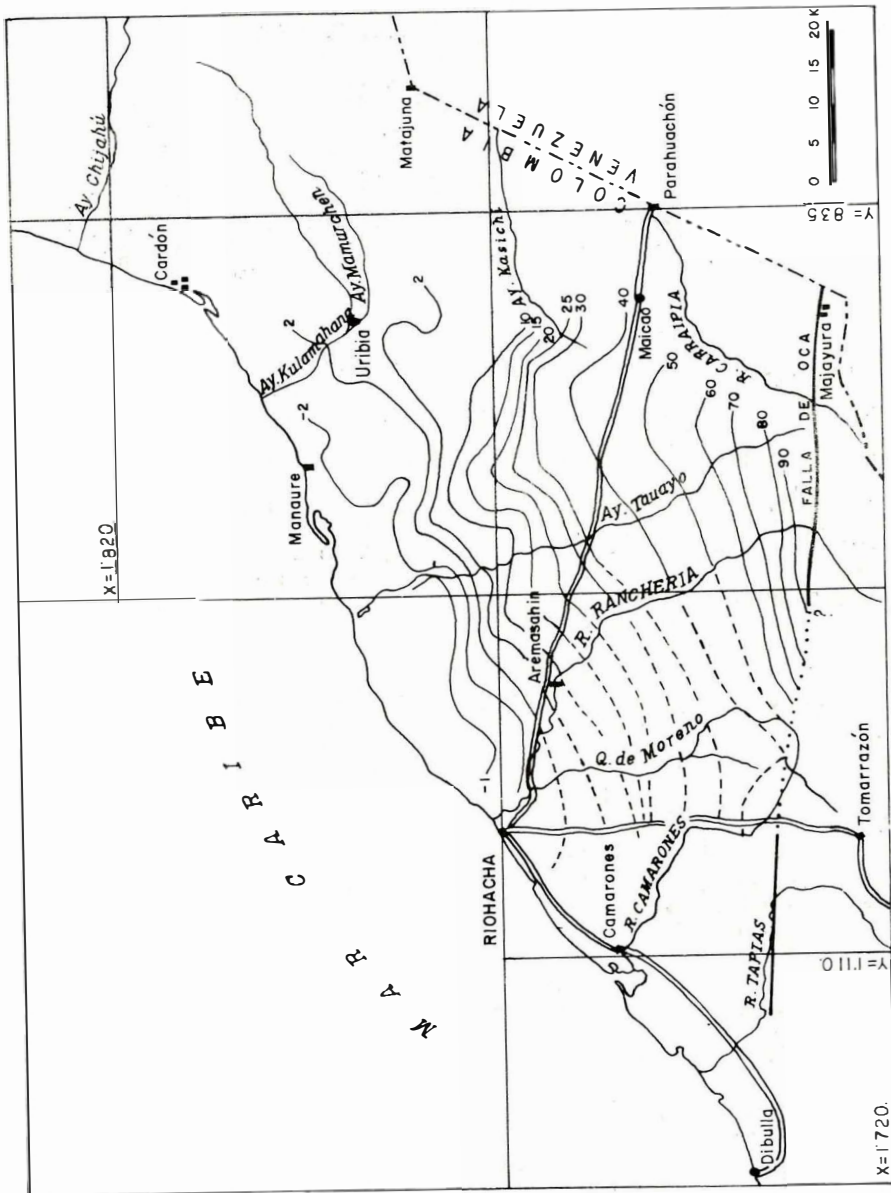


FIGURA 8.

Mapa de Isopiécicas freáticas

\bar{P}_a = Precipitación Media Anual
 (2) = Estación numero 2

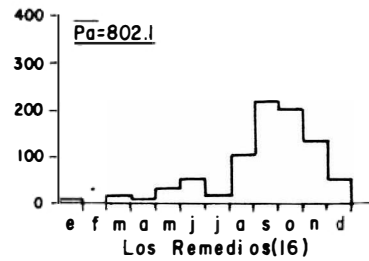
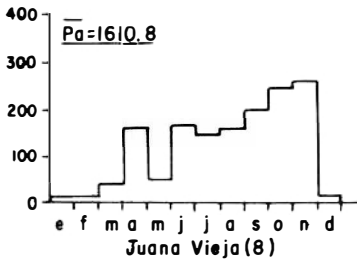
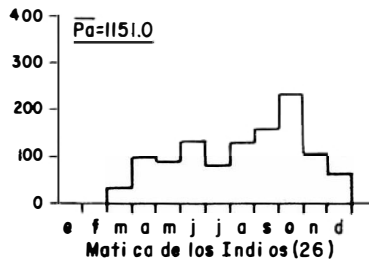
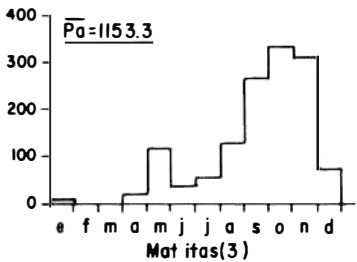
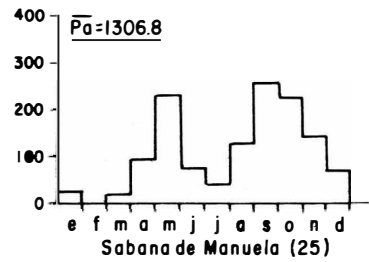
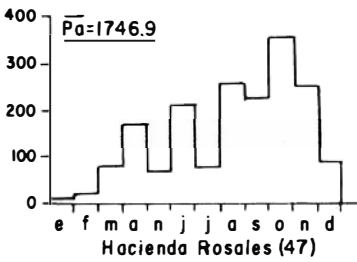
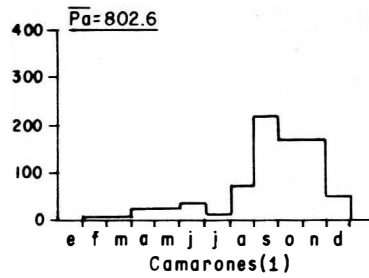
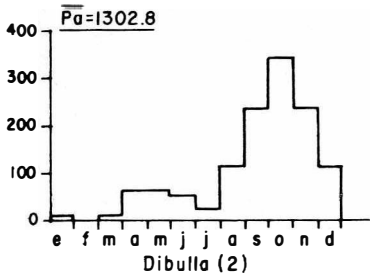


FIGURA 9. Precipitación media 1972 - 1975 (mm).

\bar{P}_a = Precipitación Media Anual
 (45) = Estación número 45

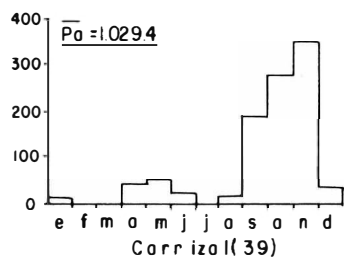
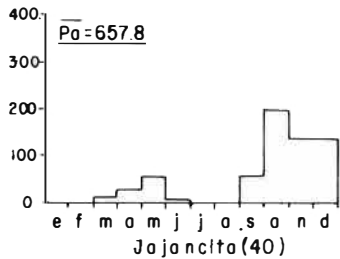
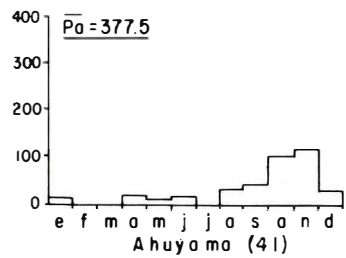
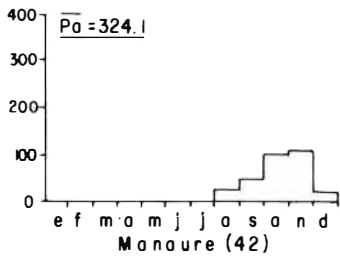
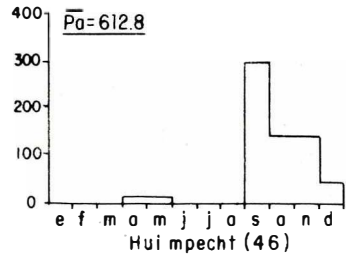
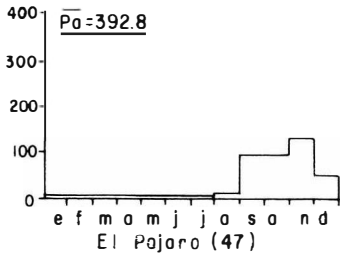
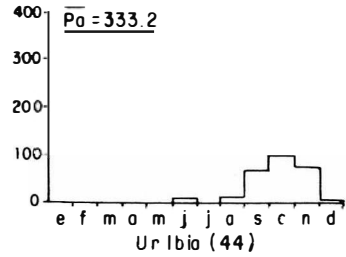
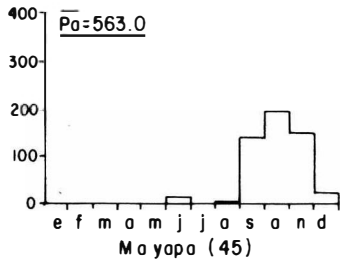


FIGURA 10.

Precipitación media 1972 - 1975 (mm).

\bar{P}_a = Precipitación medio Anual
 (18) = Estación número 18

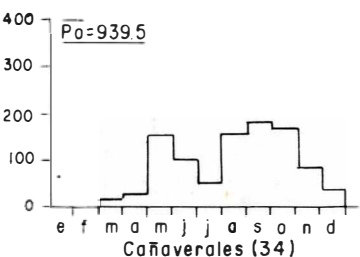
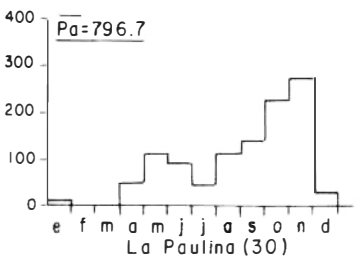
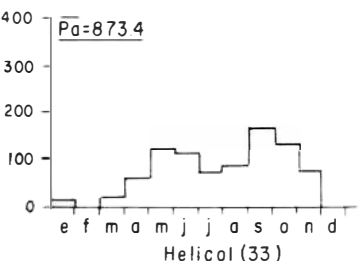
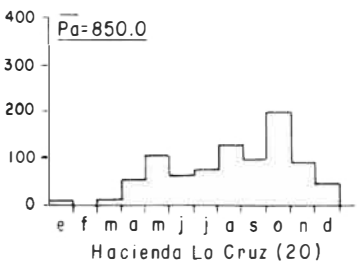
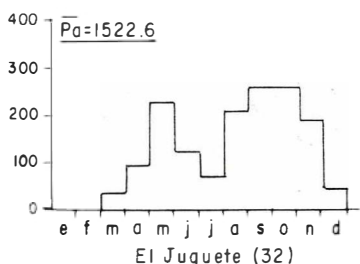
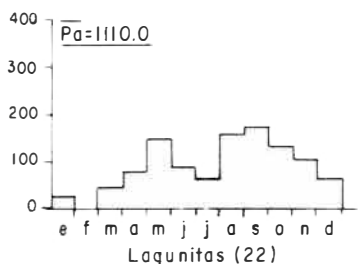
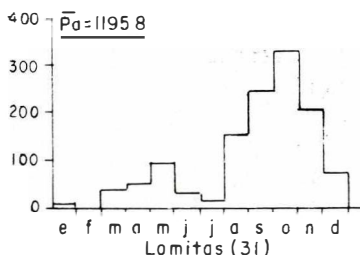
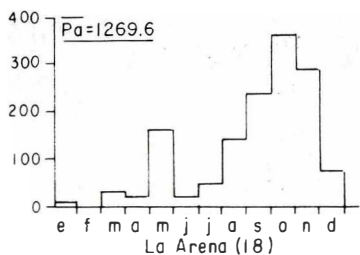


FIGURA 11.

Precipitación media 1972 - 1975 (mm).

\bar{P}_a = Precipitación, Media Anual
 (35) = Estación número 035

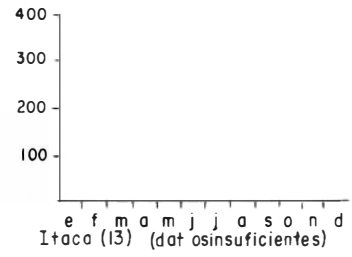
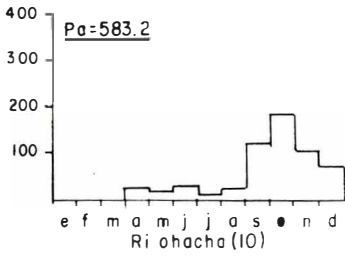
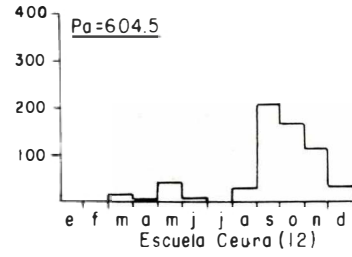
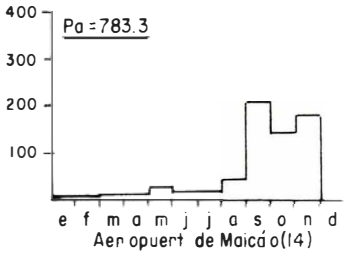
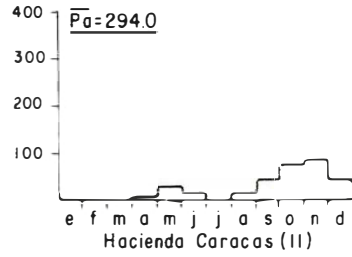
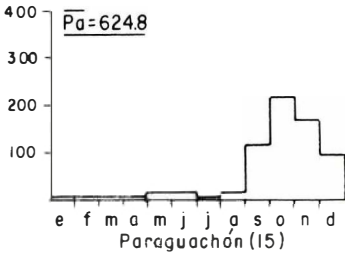
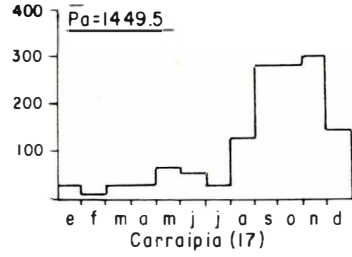
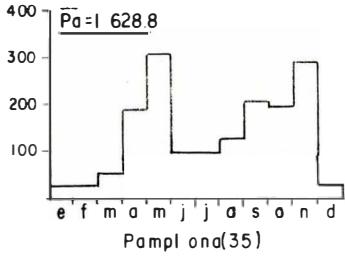


FIGURA 12.

Precipitación media 1972 - 1975 (mm).

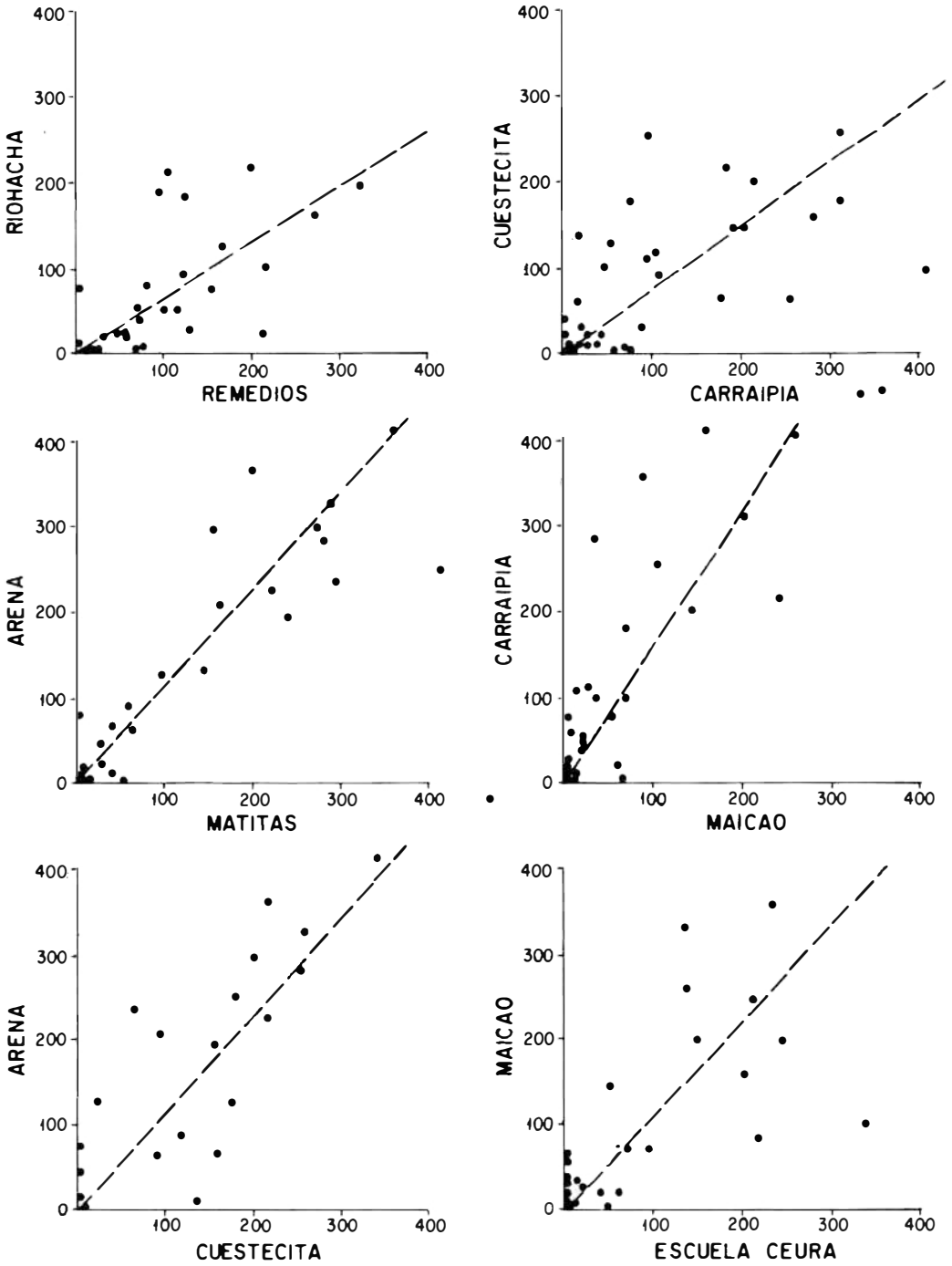


FIGURA 13. Correlación mensual de lluvias (1972 - 1975) en estaciones de HIMAT.

te período el año más húmedo fue 1969 con 1632 mm; el año más seco fue 1972 con 328 mm. La estación más húmeda es durante los meses de agosto hasta noviembre inclusive, cuando precipita 62 % de la lluvia. Otros meses húmedos son mayo y junio.

En Carraipía situado al suroeste de la región, a 110 m sobre el nivel del mar, la precipitación media anual en el período de 1969 - 1975 fue de 1197 mm. El año más seco fue 1971 con 497 mm. En los últimos cinco meses del año se concentró el 79% de la lluvia.

En la Paulina, situada al sur de la región a 160 m sobre el nivel del mar, la precipitación media anual registrada en el período de 1967-1975 fue de 808 mm. La variación anual parece más pequeña: un máximo de 1.037 mm en 1970 y un mínimo de 526 mm en 1967. De las dos estaciones húmedas la de agosto hasta noviembre inclusive contiene el 50% y la de mayo a junio el 26 % de la lluvia.

3.1.2. TEMPERATURAS

El valor de la temperatura en la Media y Baja Guajira es relativamente uniforme, pero muestra un pequeño decrecimiento hacia el sur (Tb. 12). En las medias mensuales no se encuentra gran variación y la oscilación durante el año no sobrepasa el 15% mientras en intervalos largos es del orden del 20%. Las medias máximas mensuales, que en general ocurren en julio, casi nunca sobrepasan los 36°C y las medias mínimas no bajan a menos de 17°C. Las temperaturas diarias en los períodos observados tienen una amplitud máxima entre 14 y 39,2 grados pero la oscilación diaria en general no sobrepasa los 10°C.

3.1.3. EVAPOTRANSPIRACION

La evapotranspiración potencial (Ep), calculada con base en la temperatura por el método de Thornthwaite muestra muy poca variación regional, aunque parece ser un poco menor en Matitas al Sur, con respecto a Uribia en el norte y Manaure en la costa (Fig. 7). La variación inicial de la media mensual es menor del 20%.

La evapotranspiración real (Ea) no puede superar a la precipitación, siendo una pequeña parte de la evapotranspiración po-

tencial (Ep); en el norte se espera que evapore con algún retraso la mayor parte de la precipitación a excepción de los aguaceros duros (Compárense los gráficos de P y Ep para Uribia, figuras 3 y 7).

3.1.4. VIENTOS

En la Media 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 (Tb. 13; Fig. 18).

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/sq. 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 (Figs. 9 a 12).

En general la dirección predominante 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 al norte como Manaure y Uribia registran velocidades más altas con respecto a las del sur como Carraipía, La Paulina y Matitas. La Arena presenta velocidades relativas mayores, posiblemente por su proximidad a las estribaciones de la Sierra Nevada.

3.2. AGUAS SUPERFICIALES

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

- a) Los ríos provenientes de la montaña que pasan a través de la zona de falla. Debido al exceso de precipitación sobre la evapotranspiración estos ríos fluyen la mayor parte del año; los más importantes son: el Río Tapias, el Río Camarones, La Quebrada de 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 de drenaje; estos solamente fluyen 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 sedimentación 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 aproximadas se presentan en la Tabla I.

TABLA I

AREAS DE LAS CUENCAS ADENTRO
Y AFUERA DE LA ZONA DE ESTUDIO

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

3.3. AGUAS SUBTERRANEAS

Con base en mediciones estacionales de niveles estáticos, se concluye que el agua freática fluye en dirección noroeste y noreste (Fig. 8).

Aunque se carece de esta información para los acuíferos profundos, no se esperan grandes diferencias en la imagen general. La división de aguas (Pl.19) que viene desde el límite sur pasando por Carraipía en dirección norte tomando luego hacia el noreste, también se presenta en las isopiécicas freáticas; al oeste de esta divisoria el agua

fluye en dirección del mar Caribe, mientras que al este fluye hacia el Golfo de Venezuela.

Vistas las condiciones hidrogeológicas (Fig. 1) y climatológicas existentes en la región, se asume que existe infiltración directa en las siguientes áreas:

En las cuencas de la Quebrada Moreno y del Río Camarones al sur de la Falla de Oca.

En los afloramientos terciarios en la parte sur del área de estudio directamente al norte de la Falla de Oca.

En las calizas cerca de Cuestecita y en la Serranía de Perijá.

No obstante la escasez de precipitación, también en el norte del área.

La infiltración desde los ríos puede ocurrir cuando estos están en contacto con capas permeables y se puede asumir que en este caso es sobre todo agua transportada desde la montaña, como puede observarse en el Río Camarones y en el Río Ranchería.

El agua infiltrada en el sur, solo fluye hacia el norte; en las regiones de capas impermeables (Fig. 1), parece que los potenciales de agua subterránea profunda son más altos que los del acuífero superficial, de mejor drenaje. Por esto se supone que más al norte se presenta un flujo vertical ascendente.

El drenaje del acuífero superficial ocurre durante y después de períodos de lluvia, siendo ésta la causa de que los ríos que inicialmente transportan agua superficial luego continúan fluyendo durante un tiempo; este hecho parece suceder en la región de la Quebrada de Moreno, y puede ser de mayor importancia en el Río Ranchería.

4. MODIFICACION DE LOS LIMITES DEL PROYECTO

La facilidad de la investigación hidrogeológica depende en gran parte de los límites de la zona del proyecto; los límites originalmente planteados especialmente al sur y al norte se modifican de acuerdo a factores

hidrogeológicos; los límites oeste (el mar) y este (la Frontera Colombo Venezolana) se consideran definitivos.

4.1. LIMITE SUR

4.1.1. REGION DE DIBULLA

En esta región se propuso un estudio geoelectrico limitado, la perforación de dos o tres pozos y mediciones de niveles estáticos en los pozos existentes, sin estudio hidrológico debido a que:

Las líneas isopiécicas estimadas y la divisoria de aguas superficiales al norte del Río Tapias (Pl.19), parecen mostrar que el agua subterránea de esta zona no influye mucho en la totalidad de la zona de estudio.

El estudio del régimen hidrológico del Río Tapias sería muy engorroso y el tiempo del proyecto es limitado para realizarlo.

4.1.2. REGION DE TOMARRAZON, BARBACOAS Y COTOPRIX

Las cuencas de los ríos Nuevo, Viejo y de la Quebrada de Moreno al sur de la Falla de Oca son consideradas como regiones de infiltración importantes; se prefiere un límite que incluya estas cuencas.

4.1.3. REGION DE CUESTECITA HASTA MAJAYURA

Es posible que las calizas cretáceas permitan infiltración por lo que igualmente se prefiere como límite la divisoria de aguas superficiales al sur de la Falla de Oca.

4.1.4. CUENCA DEL RIO RANCHERIA

Muy probablemente las aguas del Río Ranchería empiezan a influir en las aguas subterráneas de la Guajira desde la Falla de Oca. Por esta razón no creemos necesario investigar la totalidad de la cuenca del Ranchería, sino solamente la parte al norte de Cuestecita.

4.2. LIMITE NORTE

La mayor parte de las rocas de la Seranía de Cocinas son impermeables; se toma

la divisoria de agua superficial, incluyendo la cuenca del del arroyo Kutamahana.

5. INVESTIGACION HIDROLOGICA

5.1. GENERALES

La investigación está básicamente orientada al cómputo del agua subterránea disponible y por consiguiente abarca los acuíferos superficiales y profundos.

Este estudio contiene las siguientes clases de datos:

Precipitación, evaporación, temperatura y humedad del aire, vientos y brillo solar.

Caudales de los ríos.

Calidades de las aguas superficiales.

Extensión, espesor y profundidad de acuíferos y acuicierres, transmisividad, almacenamiento y resistencia hidráulica de las capas.

Potenciales, corrientes, alimentación, drenaje y calidades de las aguas subterráneas.

Al empezar se ignoraban las condiciones hidrogeológicas y los datos del agua subterránea profunda; estos se obtendrían durante el Proyecto. Se comenzó con medidas e investigaciones en la superficie que indicaran la forma y cantidad de alimentación y drenaje de las capas acuíferas. Estos estudios se realizaron con base en balances hídricos.

Con el fin de obtener datos en cuanto a la infiltración, se escogieron unas de las áreas donde esta parecía de mayor importancia, en el sur de la zona de estudio, para una investigación detallada:

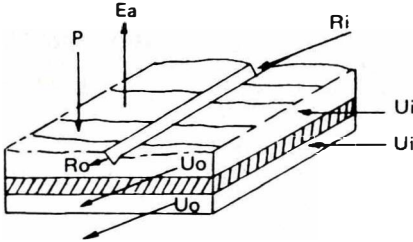
Las cuencas del Río Camarones y la Quebrada de Moreno aguas arriba de la Falla de Oca.

El área de la Falla de Oca donde los ríos Camarones y Ranchería y la Quebrada de Moreno la atraviesan.

Las cuencas del Río Camarones y Río Ranchería, aguas abajo de la Falla de Oca.

- Los afloramientos terciarios al norte de la Falla de Oca.

5.2. EL BALANCE HIDRICO



Esquema con los elementos para el cálculo del Balance Hídrico

El balance hídrico general de una cuenca se puede escribir como:

$$P - E_a + R_i - R_o + U_i - U_o = \Delta S \times \Delta U \quad (1)$$

en donde:

- P = Precipitación
- E_a = Evapotranspiración real
- R_i = Caudal del río que entra en la cuenca
- R_o = Caudal del río que sale de la cuenca
- U_i = Caudal del agua subterránea que entra en la cuenca.
- U_o = Caudal del agua subterránea que sale de la cuenca
- ΔS = Incremento en almacenamiento de agua superficial.
- ΔU = Incremento en almacenamiento de agua subterránea.

Si definimos la infiltración, I, como la cantidad de agua que percola de la superficie a las capas subterráneas, esta será, en la fórmula, igual a la suma de los términos de aguas subterráneas:

$$I = -U_i + U_o + \Delta U \quad (2)$$

Substituyendo en la fórmula (1), se obtiene:

$$P - E_a + R_i - R_o - I = \Delta S \quad (3)$$

Conociendo los términos P, E_a, R_i, R_o y ΔS, puede calcularse la infiltración, I.

Con base en la fórmula (3) la infiltración no siempre podrá determinarse con segu-

ridad; esto depende mucho de la precisión de los otros términos. Supongamos por ejemplo un error promedio de 10% en los términos y la situación siguiente: E_a = 0,6 P, R_i = 0, R_o = 0,3 P, ΔS = 0.

La infiltración, I, se calcularía como sigue:

$$\begin{aligned} I &= P - E_a + R_i - R_o - \Delta S \quad (4) \\ &= (P \pm 0,1 P) - (0,6 P \pm 0,06 P) - (0,3 P \pm 0,03 P) \\ &= (0,1 P \pm 0,19 P) \end{aligned}$$

El error (± 0,19) sería mayor que la diferencia calculada (0,1 P); en este caso supuesto, la infiltración puede determinarse únicamente excediendo el 19%. Como puede concluirse hay que poner mucha atención a los errores en mediciones y cálculos.

5.3. PRECIPITACION

Para un estudio de tipo regional sería necesaria una red pluviométrica de bastante densidad. Dado que en la red existente casi no hay correlación entre las cifras mensuales, y menos aún en las diarias, se puede concluir que esta red posiblemente da buenas indicaciones en isoyelas de tiempos largos (unos años) pero no para balances de agua de regiones y tiempo limitados.

Para una correlación mejor sería necesario ampliar la red por ejemplo hasta una densidad de 1 pluviómetro por cada 100 km² y calcular nuevamente la correlación. Sin embargo para una determinación de esta clase se requieren unos 70 meses, lo que significa unos 5 a 10 años de mediciones. Entonces dentro del Proyecto únicamente sería posible un cálculo muy aproximado. Además de esta limitación teórica los problemas prácticos como la obtención de sitios convenientes y observadores capaces serían muy difíciles de resolver. Con respecto a las dificultades mencionadas y a las limitaciones del Proyecto se debería pensar hacer el estudio regional de precipitación con base en la red existente.

Se pensó en una condensación de pluviómetros en las áreas escogidas para investigaciones detalladas. Se estimó obtener buenos resultados con una densidad de pluviómetros mayor o igual a 1/100 km².

La elección de instrumentos depende de los resultados requeridos. Aparte de los estudios detallados no fue necesario conocer en gran detalle la relación entre precipitación y caudal. En general se esperaban buenos resultados con pluviómetros totalizadores diarios que son mucho más baratos que los pluviógrafos.

Para los estudios de infiltración en la zona de la Falla de Oca se pensó en medir varias veces por día con una red más densa.

Los pluviómetros complementarios han sido ubicados teniendo en cuenta la posición de las estaciones existentes de HIMAT. En las regiones montañosas, las cuencas altas del Río Camarones y de la Quebrada de Moreno, se debían instalar a diferentes alturas para hallar la relación altura-precipitación.

5.4. EVAPOTRANSPIRACION

La evapotranspiración real es función de factores meteorológicos (brillo solar, presión atmosférica, humedad y temperatura de aire y velocidad del viento), factores de vegetación (clase y densidad) y de constitución del suelo (permeabilidad y perfil de humedad).

Solamente existen datos de los factores climatológicos en las estaciones de HIMAT; los datos de evaporación existentes difieren entre sí, pero permiten una interpolación. Teniendo en cuenta los objetos y límites del Proyecto se pensó en instalar unos tanques de evaporación intercalados entre los de HIMAT, en lugares donde se encontraran observadores capaces.

La ejecución de estas mediciones es más difícil, puesto que pueden resultar con errores grandes que distorsionen la imagen del fenómeno obtenido con base en las observaciones de HIMAT.

Los lugares donde se colocaron tanques de Evaporación fueron: La Escuela de Tomarrazón, el Colegio de Aremasahin y el Campamento en Riohacha.

5.5. CAUDALES (Ro y Ri)

Son los parámetros de más precisión ya que simplemente se obtienen por aforos convencionales con micromolinetete en los es-

tiajes, y con molinete de cazoletas en invierno, aprovechando puentes o bien con una lancha a motor. Sin embargo los cálculos se limitan a la accesibilidad de la región y la estabilidad de la sección de aforo al calibrar la curva de niveles-caudales.

El estudio se facilitará con los limnigrafos, al poder superponer las curvas de crecida y descarga para la evaluación de la infiltración. Una ayuda adicional se conseguirá comparando las mediciones con correntómetro y algunos aforos con isótopos que se ejecutarán en las áreas de estudios detallados y que a la vez servirán para controlar someramente la infiltración directa en épocas de estiaje.

5.6. INFILTRACION (I)

5.6.1. CUENCAS ARRIBA DE LA FALLA DE OCA

Hay dos cuencas arriba de la Falla donde se espera infiltración directa de bastante importancia: La Cuenca del Río Camarones y de La Quebrada de Moreno.

Estos ríos atraviesan esta falla en las cercanías de los puentes de Barbacoas y Villa Martín, que resultaron ser excelentes sitios para la medida de caudales, ya que registran la totalidad del agua que fluye en dichas cuencas aguas arriba de la Falla de Oca. Puesto que los caudales pueden variar mucho y a fin de obtener una precisión bastante alta, era necesario medir continuamente, lo que se solucionó con un limnógrafo.

La fórmula para el cálculo de la infiltración en las cuencas arriba sería la número (4), teniendo en cuenta que $R_i = 0$:

$$I = P - E_a - R_o - \Delta S$$

En tiempo seco ($P = 0$, $R_o = 0$) la fórmula se reduce a:

$$I + E_a = \Delta S \quad (5)$$

Como se puede ver, el almacenamiento en el río y en su cauce decrece a causa de la infiltración o de la evapotranspiración hasta que llegan a cero. La infiltración en estos tiempos secos no puede ser muy importante.

En tiempos húmedos se puede esperar una infiltración mayor según la fórmula 4. Como se dijo anteriormente, la seguridad con la que se puede fijar la infiltración depende mucho de la precisión de los otros términos. Esto requiere observaciones permanentes de lluvia y evaporación de bastante densidad e intensidad.

5.6.2. ZONA DE LA FALLA DE OCA

La zona de la Falla de Oca puede ser por su estructura un área de infiltración donde los ríos pierden agua. Para calcular esta infiltración a base de medidas en la superficie se aplica:

$$I = P \cdot Ea + Ri \cdot Ro \cdot \Delta S \quad (4)$$

Esto indica que hay que medir los caudales arriba y abajo de la zona de la Falla; las grandes variaciones en niveles y la necesidad de precisión en el cálculo requieren mediciones continuas. Cuando se planeó la instalación de los instrumentos de medición se presentaron las siguientes posibilidades:

- Instalación de un limnógrafo a cada lado de la Falla.
- Instalación de una mira a cada lado de la Falla.
- Instalación de una o dos miras en combinación con un limnógrafo.

La primera solución era muy costosa (aprox. \$ 40.000 por limnógrafo instalado); las dos últimas requerían muchas observaciones pero resultaban más económicas, por lo que se escogió la tercera.

Al mismo tiempo era necesario una determinación de la lluvia y evapotranspiración real; estos cálculos y especialmente el de la evapotranspiración son bastante complicados y posiblemente no muy precisos.

Debido a las condiciones difíciles de acceso en invierno y frente al problema de coleccionar durante todo el año datos precisos de evapotranspiración real (Ea), se debe medir intensivamente en períodos cortos durante cada estación. Así se obtendrán balances hídricos más precisos correspondientes a períodos cortos.

Este programa de mediciones detalladas se piensa completar con la perforación de dos filas de pozos de poca profundidad transversales a la dirección de flujo del río (unos 3 a 4 por fila), con el fin de establecer las relaciones entre el acuífero superficial y el río. Para esto se realizarán dos tipos de investigaciones:

- Mediciones estacionales de los niveles en los pozos en comparación con los niveles del río, con el fin de establecer los potenciales, las posibles épocas de carga (flujo hacia el río) o de drenaje (flujo desde el río) subsuperficial.
- Mediciones de la dirección y velocidad de flujo subterráneo por medio de inyección de isótopos en los pozos cercanos al río.

En la zona de Ouriakal ya se han perforado 2 filas, a distancias logarítmicas del eje del Río Ranchería, para realizar un estudio similar en esa zona.

Los trayectos escogidos para estas investigaciones son los siguientes: El Río Camarones entre Barbacoas y Arroyo Arena; La Quebrada de Moreno entre Villa Martín y Songó; el Río Ranchería entre Albania y Siruma.

En estos sitios hay que medir los caudales; las observaciones de las miras se correlacionarán con las de los limnógrafos planificados en Barbacoas y Villa Martín y las del limnógrafo del HIMAT en Cuestecita.

5.6.3. CUENCAS AGUAS ABAJO DE LA FALLA DE OCA

Para conocer las diferencias entre los términos de la Falla y la infiltración o drenaje de los acuíferos superficiales, se realizó también una investigación en las cuencas bajas de los ríos anteriormente mencionados.

El caudal del Río Camarones se puede medir en su cruce con la carretera Riohacha - Santa Marta; para esto fue necesario por las razones mencionadas antes, instalar un limnógrafo. Para determinar las variaciones de lluvia sobre la cuenca se debe tener una densidad de un pluviómetro por cada 100 km².

Debido a la dificultad de penetrar en la cuenca baja de la Quebrada de Moreno en estaciones húmedas y la imposibilidad de encontrar sitios apropiados para mediciones y observaciones capaces, se excluyó esta cuenca de un estudio hidrológico detallado.

El Río Ranchería se encuentra en contacto con los acuíferos superficiales en gran parte de su trayecto. Se ha observado que en tiempos secos, una gran cantidad de agua procedente de la montaña infiltra en estas capas y que el acuífero superficial contiene agua de buena calidad en los alrededores del río. Para conocer mejor el sistema de abastecimiento y drenaje del río a sus capas cercanas y las posibilidades que tienen estas para el aprovechamiento de agua, se realizaría un estudio del balance de agua entre Cuestecita y Aremasahin, lo que requirió una condensación de pluviómetros en la cuenca y un limnógrafo en Aremasahin. Además serían necesarias las líneas isopiécicas del agua subterránea en los alrededores del río; estas se dibujarían con base en estudios detallados ejecutados en tres series de pozos perforados a lo largo de secciones transversales al río.

5.6.4. LOS AFLORAMIENTOS TERCIARIOS AL NORTE DE LA FALLA DE OCA

La región de los afloramientos terciarios ocupa parte de las cuencas del Río Camarones y de la Quebrada de Moreno, donde se encuentra un sistema muy ramificado de

ríos que forman entre las lomas terciarias, llanuras de depósitos aluviales. El estudio de infiltración consistiría allí en una investigación de una cuenca representativa y los resultados se extrapolarían al área completa.

En la subregión escogida debería ser posible ejecutar la medida de caudales, precipitación, y evaporación; y determinar la relación entre la superficie de la zona de infiltración y la superficie de la zona impermeable. La cuenca de la Quebrada de Moreno es casi inaccesible después de algunos aguaceros y se adapta de manera limitada a estudios de detalle. En la cuenca del Río Camarones las condiciones son mejores y es posible obtener caudales totales e información más detallada sobre la precipitación; por lo tanto se seleccionó esta cuenca para el estudio.

5.7. RECAPITULACION

En la Tabla II se encuentran todas las investigaciones propuestas anteriormente. Las estaciones necesarias para efectuar estos estudios aparecen en la Tabla III y en el Mapa General (Pl. 19).

6. RESULTADOS OBTENIDOS

Como se ha dicho en la introducción, la posibilidad de recolectar datos se ha visto limitada, las series de mediciones en general son todavía muy cortas y muchas veces incompletas y además falta de información so-

TABLA II
BALANCES HIDRICOS CON MOTIVO DEL ESTUDIO DE INFILTRACION

CUENCA	AGUAS ARRIBA DE LA FALLA DE OCA	ZONA DE LA FALLA DE OCA	AGUAS ABAJO DE LA FALLA DE OCA
Río Camarones	Infiltración directa arriba de Barbacoas	Infiltración del río entre Barbacoas y el Abra	Balance de agua entre Barbacoas y Camarones
Quebrada de Moreno	Infiltración directa arriba de Villa Martín		
Río Ranchería		Infiltración del río entre Albania y Siruma	Infiltración y almacenamiento en las capas cercanas al río
Afloramientos Terciarios			Infiltración directa

bre las relaciones entre las series, como por ejemplo la existencia entre los niveles de los ríos y los caudales; es por lo tanto imposible analizar los datos existentes hasta el momento. Dependiendo de las actividades futuras, los cálculos se podrán completar.

Las mediciones realizadas durante el Proyecto, se resumen así:

6.1. PRECIPITACION

Las estaciones instaladas en julio de 1977, en los lugares propuestos anteriormente, solamente arrojan datos de más de seis meses. Las series de 8 de las 10 estaciones aparecen en las figuras 14 a 17 y la Tabla V, donde se calcularon los valores medios mensuales de estas estaciones. Parece ser que al sur de la región el invierno de 1977 fue un poco más húmedo que lo normal (compárense los valores de Cotaprix y Tomarrazón con las medidas de Matitas y Cuestecita, tablas VIII y IX. Las series de las estaciones de Barbacoas y Songó parecen incompletas y dudosas por lo tanto se eliminan.

6.2. EVAPORACION

Los tanques de evaporación de las estaciones de Tomarrazón, Aremasahin y Riohacha (INGEOMINAS) se instalaron en febrero de 1978, y por lo tanto los datos todavía no están disponibles.

6.3. NIVELES DE LOS RIOS

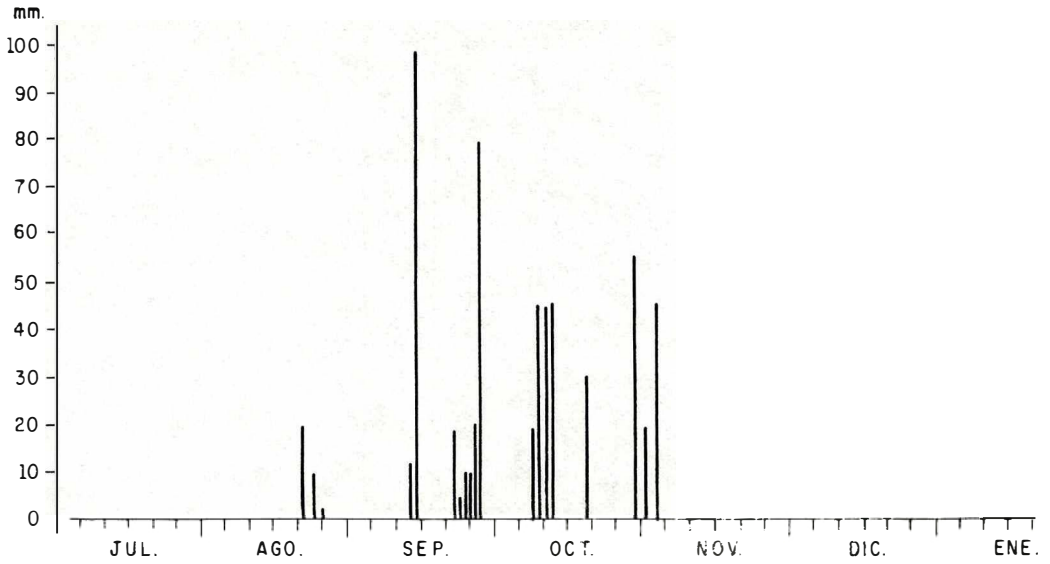
En julio de 1977 el INGEOMINAS instaló las miras de las siguientes estaciones: Barbacoas, El Abra, Camarones, Villa Martín,

Songó, Aritayén y Aremasahin. Los datos de estas estaciones, con excepción de El Abra y Songó, se encuentra en las tablas XIV - XVIII. Los de El Abra faltan por destrucción sería de esta mira; los de Songó y una gran parte de Villa Martín, por falta de un observador. Las miras de Albania, Siruma y Ouriakal, instaladas en febrero de 1978, son para investigaciones detalladas en la zona de la Falla de Oca y no producen datos en este momento.

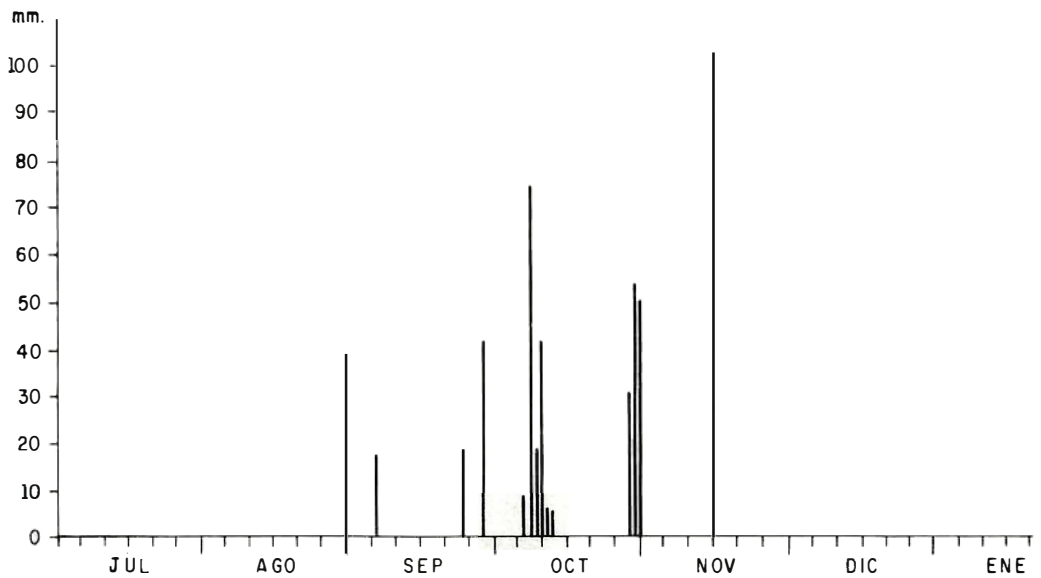
En febrero de 1978 se instalaron los cuatro limnigrafos y las miras anexas en las localidades de Barbacoas, Villa Martín y Camarones. Los datos de estos limnigrafos hasta ahora no ha sido posible coleccionarlos y por esta razón no son incluidos.

6.4. CAUDALES

Se han realizado algunos aforos en épocas de estiaje en los ríos Ranchería (Aritayén, Aremasahin, Albania, etc.), Camarones (Barbacoas, El Abra y Camarones) y la Quebrada de Moreno, cuyos resultados se resumen en la Tabla XIX. Nótese que al menos en primera aproximación, los aforos efectuados en fechas iguales aguas arriba y luego aguas abajo en cada corriente, indican una gran pérdida de caudal en los ríos a medida que fluyen; obviamente esto puede deberse a fenómenos de olas, pero es un hecho observable en los ríos de la Guajira en períodos sin lluvia, a veces llegando a consumirse totalmente en las cercanías de la desembocadura, mientras que unos pocos kilómetros agua arriba fluyen normalmente. Esto es una evidencia de la infiltración desde los ríos en épocas de sequía.

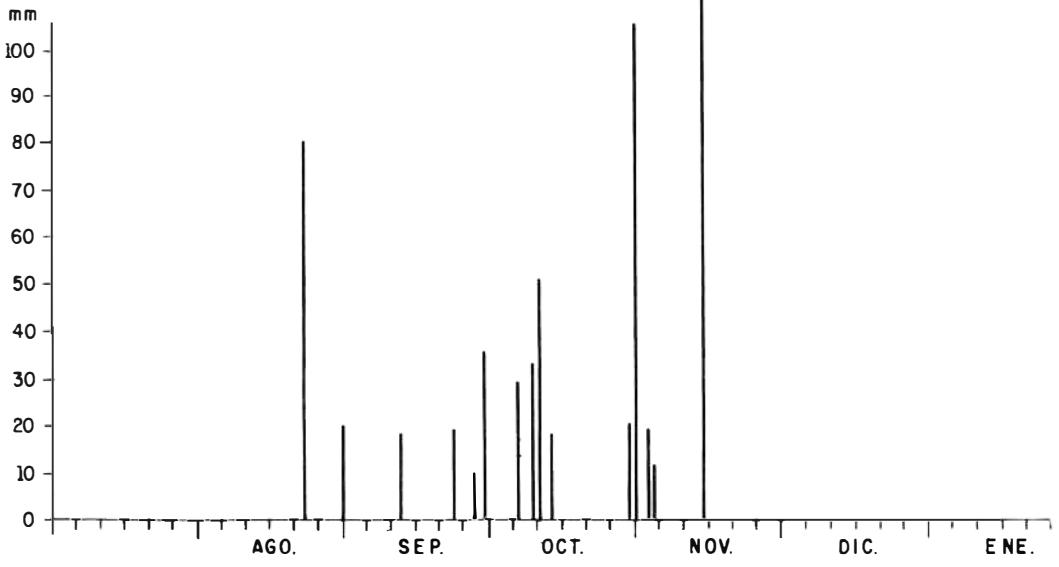


El Abra

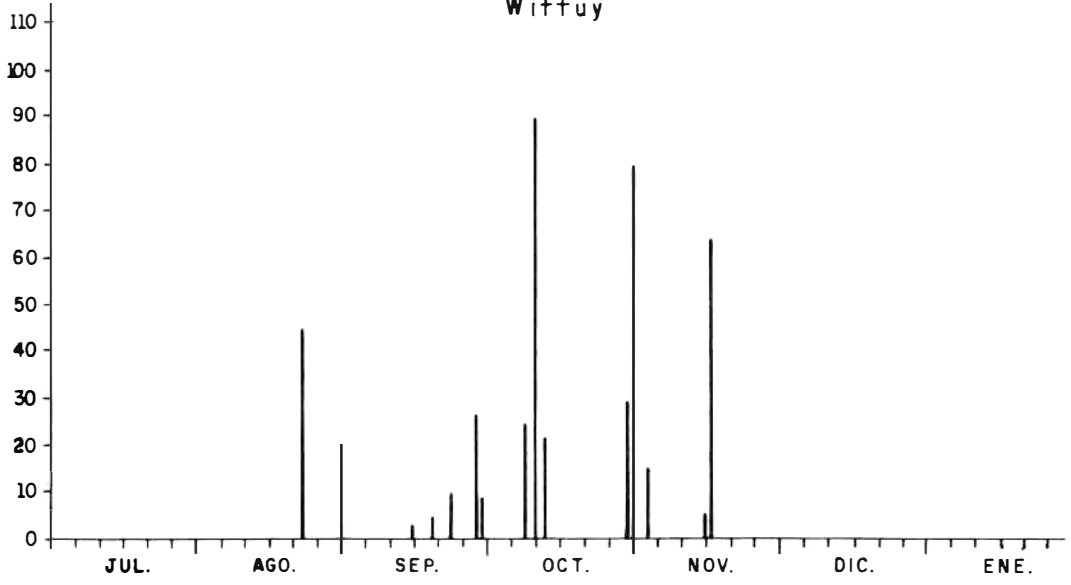


Juríakal

FIGURA 14. Precipitación registrada por INGEOMINAS durante 1977 - 1978.



Wittuy



Aremasahin

FIGURA 15. Precipitación registrada por INGEOMINAS durante 1977 - 1978.

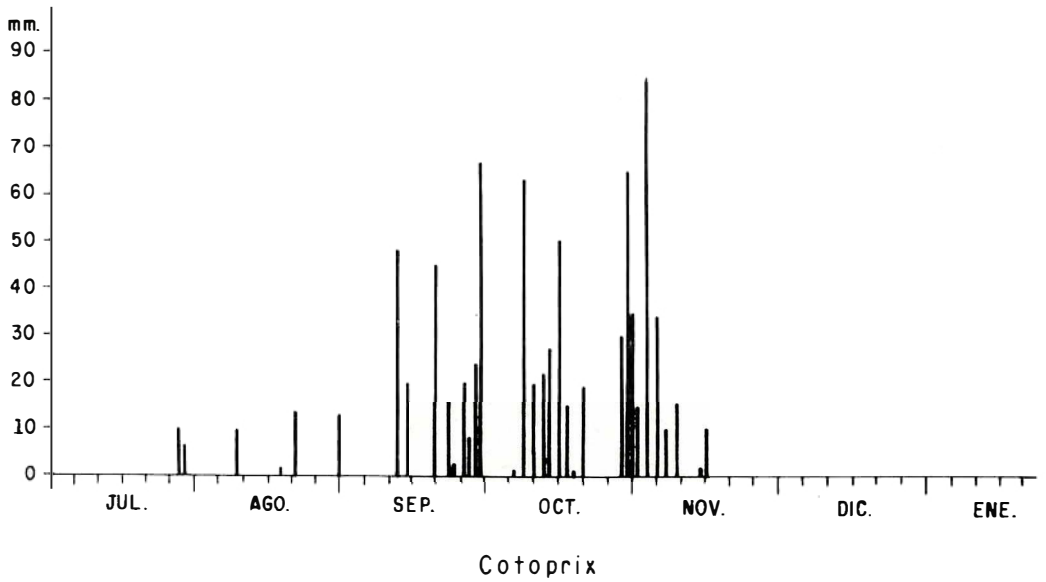
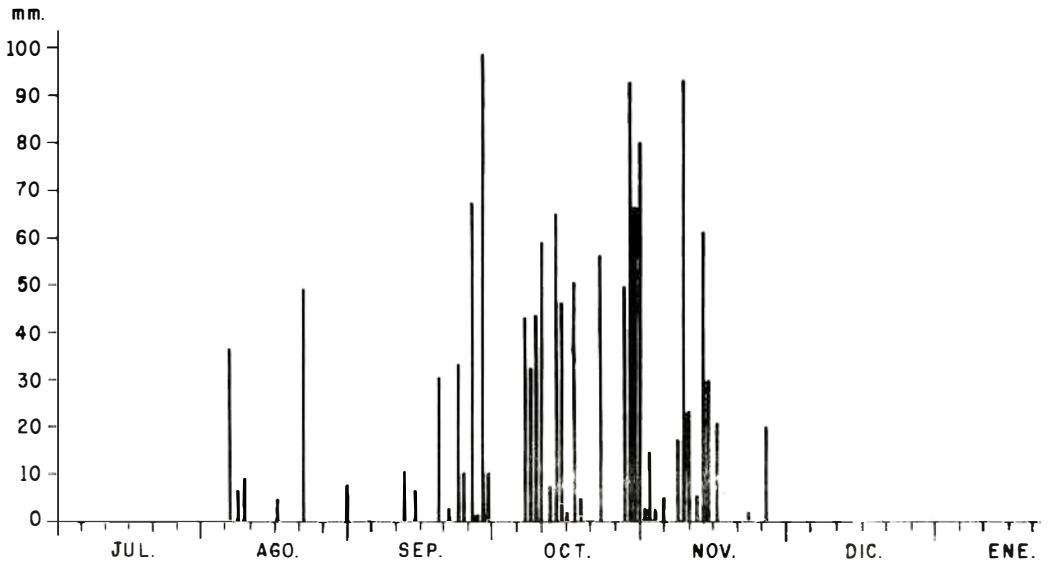


FIGURA 16. Precipitación registrada por INGEOMINAS durante 1977 - 1978.

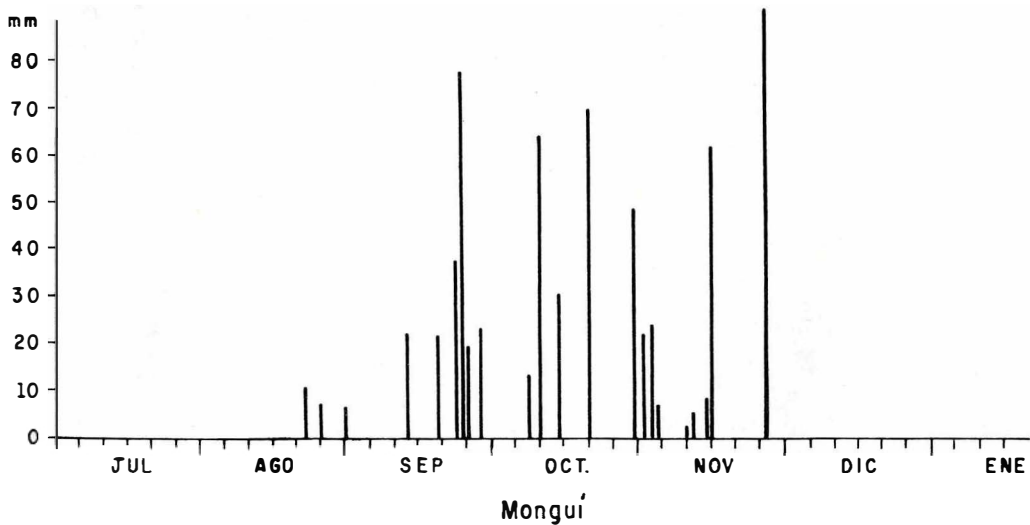
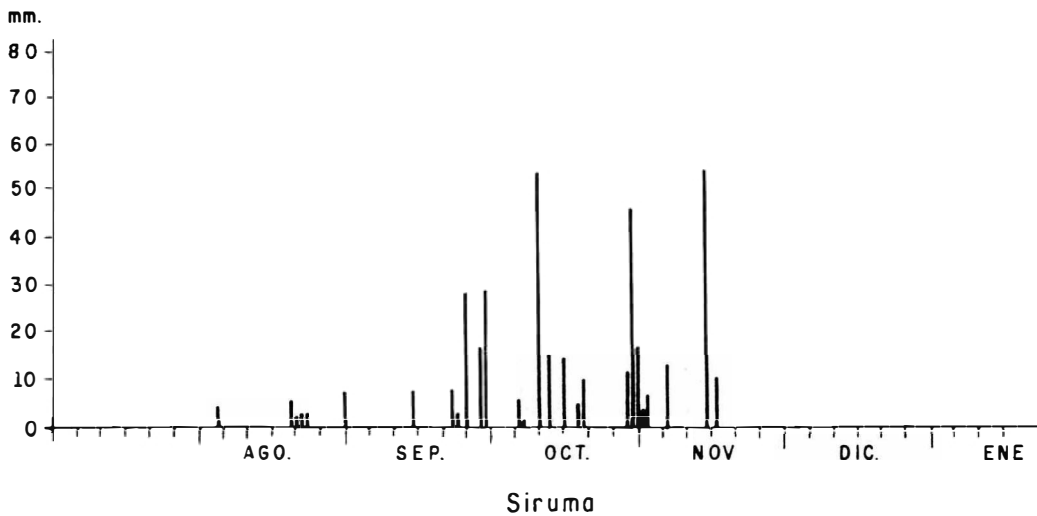


FIGURA 17. Precipitación registrada por INGEOMINAS durante 1977 - 1978.

\bar{V}_m = Velocidad Media Anual

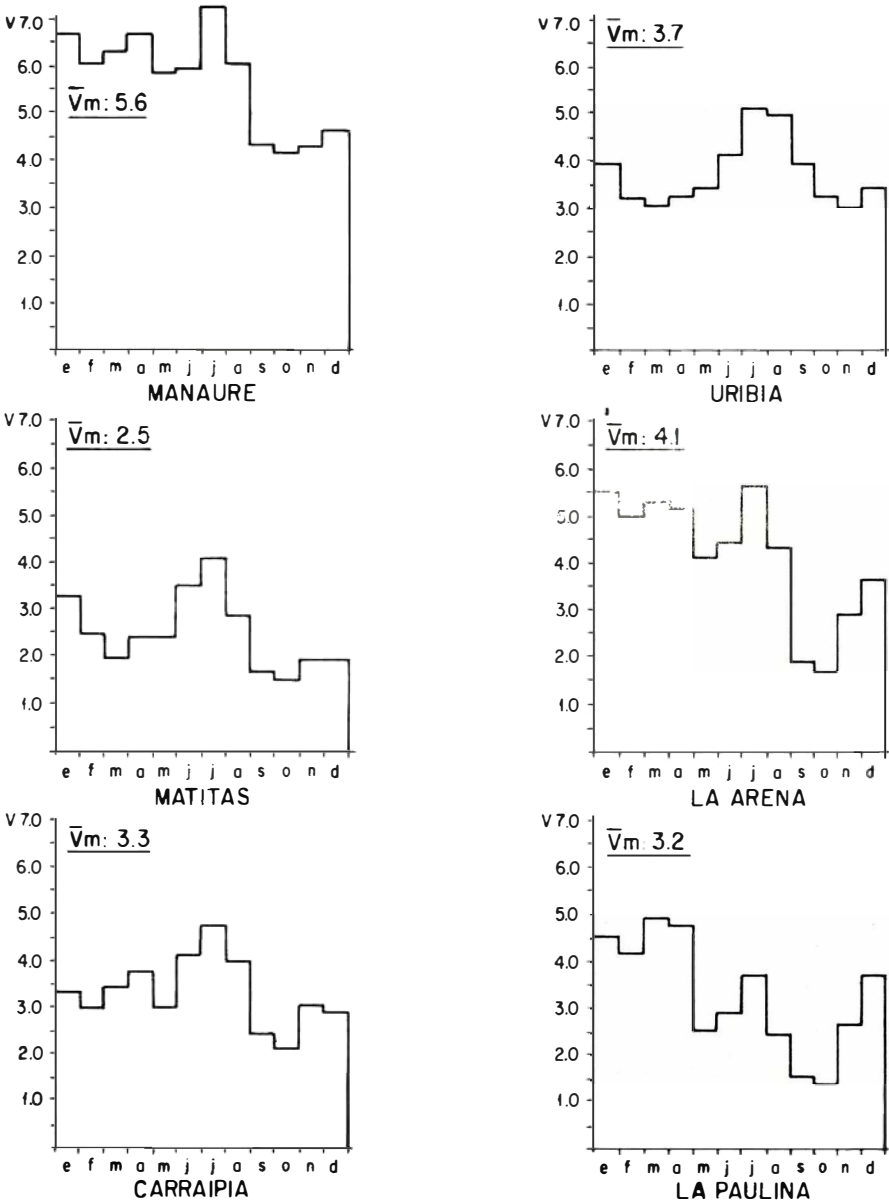


FIGURA 18.

Velocidad media del viento en m/seg. (1972 - 1975).

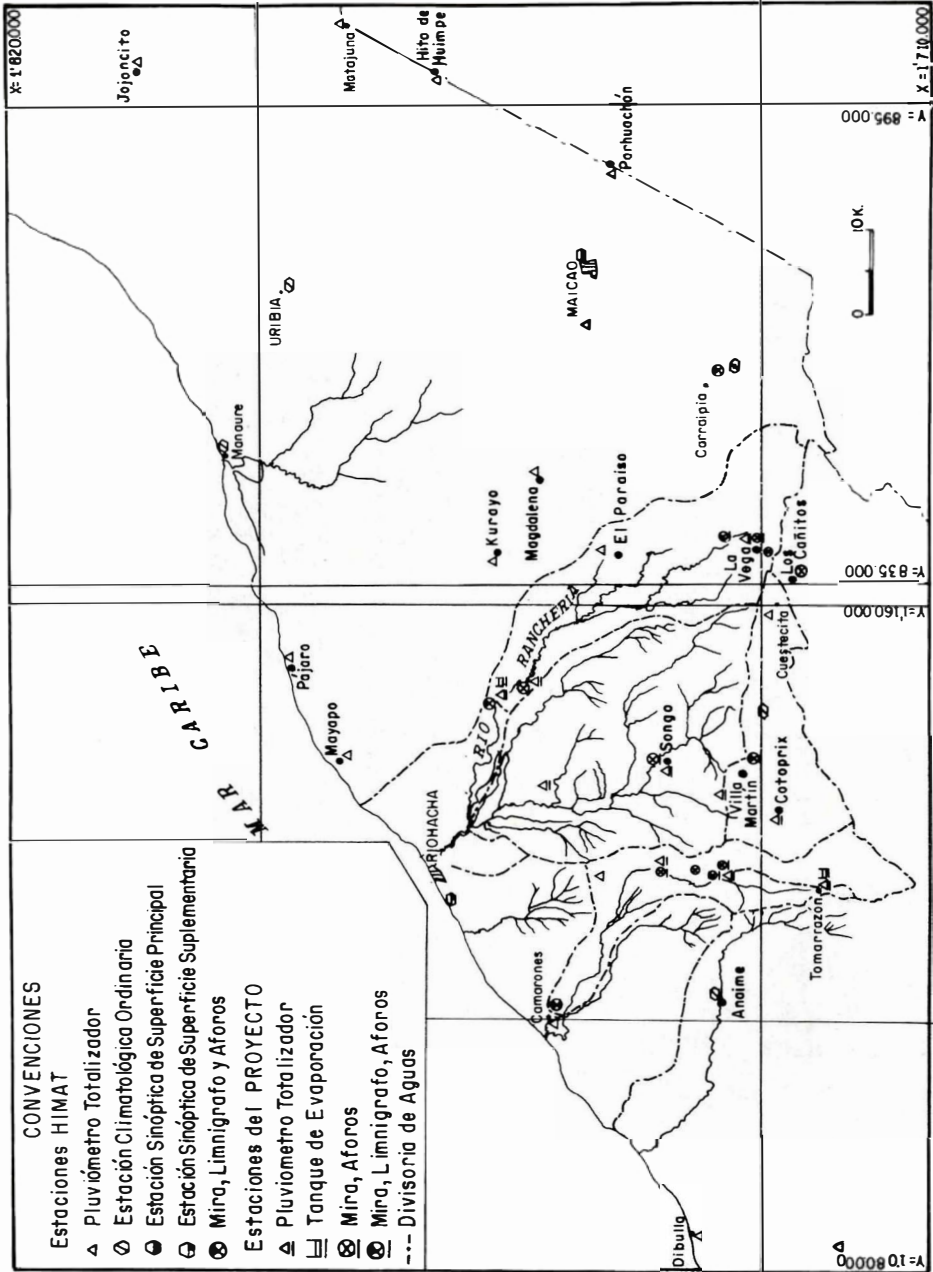


FIGURA 19.

Mapa hidrológico general de la Media y Baja Guajira.

TABLA III
ESTACIONES DEL PROYECTO

CUENCA	PLUVIOMETROS	TANQUES DE EVAP.	LIMNIGRAFOS	MIRAS	POZOS DE OBSERVACION
Río Camarones					
Zona aguas arriba de la Falla	Tomarrazón	Tomarrazón			
Zona de la Falla	Barbacoas		Barbacoas	Barbacoas La Florida*	La Florida*
Quebrada de Moreno					
Zona aguas arriba de la Falla	Cotoprix				
Zona de la Falla	Monguí		Villa Martín	Villa Martín	
Zonas aguas abajo de la Falla	Songó Wittuy			Songó	
Río Ranchería					
Zona aguas arriba de la Falla				Albania	
Zona de la Falla	Siruma			Siruma Aritayén	Siruma
Zona aguas abajo de la Falla	Riohacha Aremasahín Ouriakal	Riohacha Aremasahín	Aremasahín	Ouriakal Aremasahín	Ouriakal

* No instalados hasta marzo-1978

TABLA IV
PRECIPITACION REGISTRADA INTERVALO 1972 - 1975 en mm

ESTACION	1972	1973	1974	1975	Promedio
Aeropuerto de Maicao (14)	449,9	750,3	804,2	948,9	783,3
Ahuyama (41)	217,0	506,0	386,0	401,0	377,5
Camarones (1)	224,0	1.200,0	77,0	1.008,8	802,6
Cañaverales (34)	655,0	953,0	907,0	1.243,0	939,5
Caracolí (25)	1.369,0	1.262,0	1.438,0	1.158,0	1.306,8
Carrizal (39)	704,0	100,0	1.922,0	491,5	1.029,4
Cuestecita (50)	614,0	1.119,0*	886,0	1.207,0	956,5
Dibulla (2)	605,0	1.502,0	1.839,0	1.839,0	1.302,8
El Juguete (32)	985,0	1.845,0	1.489,2	1.771,0	1.522,6
El Pájaro (47)	167,0	411,0	416,0	577,0	392,0
Escuela Carraipía (17)	992,0	1.543,6	1.534,6	1.727,5	1.449,5
Escuela Ceura (12)	153,0	768,0	702,0	795,0	604,5
Hacienda Caracas (11)	383,0	25,0	22,0	549,0	294,0
Hacienda La Cruz (20)	519,0	1.225,0	737,0	919,0	850,0
Hacienda Rosales (47)	1.732,7	1.322,4	188,3	2.052,4	1.746,9
Helicol (33)	576,5	860,0	970,0	1.086,0	873,4
Huimpecht (46)	102,0	839,0	517,0	993,0	612,8
Itaca (13)	244,0	—	—	—	—
Jojoncito (40)	292,0	936,0	730,0	673,0	657,8
Juana Vieja (8)	1.454,0	2.681,0	1.701,3	607,0	1.610,8
La Arena (18)	815,2	1.261,8	1.484,8	1.516,4	1.269,6
Lomitas (31)	554,0	1.257,0	1.409,0	1.563,0	1.195,8
Lagunitas (22)	881,0	1.357,0	849,0	1.353,0	1.110,0
Matadero Indio (26)	1.156,0	996,0	851,8	1.641,0	1.151,0
Manaure (42)	152,4	338,1	367,2	438,7	324,1

Continúa

Continuación Tabla IV.

ESTACION	1972	1973	1974	1975	Promedio
Matitas (3)	553,1	1.405,4	1.126,1	1.528,4	1.153,3
Mayapo (45)	232,0	737,0	581,0	702,0	563,0
Pamplona (35)	1.664,0	1.627,0	1.711,0	1.513,0	1.628,8
Paraguachón (15)	144,0	696,0	708,0	951,0	624,8
Remedios (16)	482,5	1.066,0	783,0	881,0	802,1
Riohacha (10)	194,4	801,0	579,8	757,5	583,2
Uribia (44)	156,3	420,1	364,9	391,4	333,2

TABLA V

LLUVIA REGISTRADA EN ESTACIONES DEL PROYECTO
INTERVALO 1977 - 1978

ESTACION	JULIO*	AGOSTO	SEPT.	OCTUB.	NOV.	DIC.	ENERO	TOTAL
Aremasahín	(0,0)	65,0	56,0	247,0	84,0	0,0	0,0	452,0
Cotoprix	(27,0)	34,0	251,0	347,0	170,8	0,0	0,0	829,0
El Abra	(0,0)	32,0	255,0	241,0	67,0	0,0	0,0	595,0
Monguí	(0,0)	39,0	79,0	295,0	116,0	0,0	0,0	529,0
Ouriakal	(0,0)	25,0	206,0	228,0	225,0	0,0	0,0	684,0
Siruma		25,0	104,0	182,0	88,0	0,0	0,0	399,0
Tomarrazón	(0,0)	117,0	227,0	733,0	303,0	0,0	0,0	1.380,0
Wittuy		102,0	85,0	263,0	146,0	0,0	0,0	596,0

Nota: Las estaciones de Songó, Cotoprix e Ingeominas se suprimieron por información dudosa e insuficiente.

* Mes incompleto: Período de instalación.

TABLA VI

LLUVIA EN MANAURE

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGST.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1940	0	0	0	0	74	0	0	0	12	246	66	0	398
1941	0	0	0	4	15	3	0	1	42	3	10	0	78
1942	1	0	0	37	150	45	0	23	65	140	82	46	589
1943	3	0	3	15	30	0	0	38	5	199	44	2	339
1944	0	0	0	10	5	32	5	50	92	250	173	22	639
1953	7	0	0	15	42	11	0	16	71	36	63	85	346
1954	2	0	0	0	25	2	0	1	27	289	23	42	411
1955	0	0	0	0	14	200	0	39	422	398	150	62	1.285
1957	0	0	0	0	0	0	42	9	0	0	0	0	51
1958	0	0	0	54	10	0	0	0	24	0	10	12	110
1959	0	0	0	0	58	3	0	9	14	21	5	0	110
1960	3	0	0	40	0	27	0	4	99	80	44	15	312
1961	5	16	0	0	0	0	19	0	126	105	379	60	710
1967	0	1	7	14	0	23	1		35	50	81		214
1968	0	1	45	31	23	128	0	16	26	16	17		304
1969	3	0	0	16	12	27	0	20	89	212	171	51	601
1970	0	0	2	0	16	9	13	9	101	131	52	31	364
1971	3	3	4	2	3	0	0	1	12	51	9	9	97
1972	11	0	12	4	1	17	0	0	64	33	31	0	173
1973	0	0	0	5	0	2	0	27	18	171	72	54	349
1974	16	0	0	0	2	0	0	75	37	64	164	9	367
1975	1	0	18	12	1	0	14	15	71	136	176	26	470
M	3		4	12	22	24	4	16	66	120	83	24	378

TABLA VII
LLUVIA EN URIBIA

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGST.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1937	0	0	0	5	101	0	0	3	91	78	227	50	565
1938	2	0	59	34	5	0	0	144	16	92	148	77	577
1939	0	0	0	0	0	0	0	0	18	108	85	3	214
1940	0	20	7	0	49	0	0	2	68	205	141	0	492
1941	0	0	0	0	19	4	2	0	41	15	13	0	
1942	0	0	0	57	128	22	0	26	34	135	182	13	
1943	0	0	65	13	27	0	0	17	45	123	35	9	
1944	0	0	0	24	82	29	61	18	55	155	105	20	
1945	0	0	0	0	73	5	0	82	64	106	0	0	
1946	0	0	0	1	34	0	0	3	0	82	58	0	178
1947	0	0	0	0	0	0	20	2	18	43	0	0	81
1952	9		9	107	19	0	4	0	34	63	9	26	281
1953	9	1	9	20	47	20	6	20	285	19	31	2	469
1954	9	1	9	20	47	20	6	20	19	212	93	36	564
1955	20	0	0	0	3	76	0	11	229	197	53	46	635
1956	96	0	0	57	9	0	0	0	47	140	96	8	453
1957	0	0	0	20	10	0	0	0	27	79	16	0	152
1958	0	0	0	0	189	184	0	9	13	84	0	0	479
1959	0	0	0	0	177	0	0	20	34	65	9	2	307
1960	0	0	20	94	277	63	0	15	21	30	12	48	580
1962		0	1	3	21	10	0	36	40	61	16	52	244
1963	22	0	0	76	66	0	0	82	74	134	40	0	494
1964	0	0	0	3	46	0	8	82	6	37	11	2	195
1968	3	1	1	4	3	103	0	10	85	25	24	14	272
1969	2	47	8	49	23	80	1	27	61	161	126	30	614
1970	0	8	16	11	4	7	102	20	49	80	90	12	399
1971	0	0	50	5	12	0	0	1	59	93	12	28	260
1972	0	0	29	6	5	16	0	0	62	3	33	3	156
1973	0	0	0	10	0	38	1	30	93	203	27	18	420
1974	1	1	1	0	15	0	0	2	51	110	175	10	365
M	6	3	9	21	50	23	7	23	58	98	62	17	377

TABLA VIII
LLUVIA EN MATITAS

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGST.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1964	13	8	0	27	192	147	25	199	123	213	8	5	960
1966	1	8	1	71	96	232	54	12	49	327	265	80	1.196
1968	0	18	9	165	205	288	24	52	99	223	36	0	1.119
1969	3	5	1	103	272	208	17	336	217	477	412	51	2.103
1970	108	0	5	2	227	64	206	173	127	214	237	162	1.525
1971	11	3	2	12	170	1	59	152	99	325	13	12	859
1972	1	0	34	47	137	91	0	55	111	66	0	1	543
1973	0	0	0	29	1	63	51	284	239	571	163	5	1.406
1974	15	0	3	28	200	2	6	61	295	155	360	1	1.126
1975	0	0	5	0	146	41	98	41	271	291	412	224	1.529
M	15	4	6	48	165	114	54	137	163	286	191	54	1.237

TABLA IX
LLUVIA EN CUESTECITA

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGST.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1960	0	0	0	90	93	31	69	159	108	225	147	106	1.028
1961	0	0	0	11	12	35	70	68	124	349	318	14	1.001
1962	0	0	15	0	210	230	0	104	151	92	128	3	933
1963	75	0	0	88	151	5	44	132	47	195	110	10	857
1964	0	55	0	27	145	111	34	111	59	211	109	54	916
1965	10	0	0	0	219	0	0	12	186	229	262	0	918
1966	0	13	0	52	68	351	40	67	81	349	235	125	1.381
1967	14	8	13	177	70	60	20	0	192	90	87	0	731
1968	9	44	19	128	108	155	30	90	144	138	121	0	986
1969	93	0	50	109	119	111	16	203	198	314	327	92	1.632
1970	11	0	0	0	56	30	105	257	163	134	109	304	1.169
1971	33	0	0	10	20	0	0	30	64	143	6	22	328
1972	40	0	63	12	126	110	0	5	147	102	9	0	614
1973	0	0	0	134	8	90	0	252	156	464	95	0	1.199
1974	0	0	0	0	217	0	0	116	64	235	339	69	1.040
1975	0	0	0	0	23	0	175	157	200	257	179	216	1.207
M	18	8	10	52	103	82	38	116	130	220	155	63	996

TABLA X
LLUVIA EN CARRAIPA

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGST.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1969	30	17	91	340	66	80	7	97	159	296	44	69	1.296
1970	2	25	0	70	111	31	73	209	70	235	73	261	1.160
1971	20	0	0	8	26	4	3	89	177	190	68	43	628
1972	0	4	17	18	53	97	5	2	201	48	36	16	497
1973	1	8	1	18	26	109	7	99	456	355	410	55	1.545
1974	19	12	8	77	182	4	1	107	257	406	454	9	1.536
1975	9	0	4	0		0	79	282	216	313	315	508	1.727
M	12	9	17	76	67	46	25	126	219	263	200	137	1.197

TABLA XI
LLUVIA EN LA PAULINA

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGST.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1967	0	0	12	19	18	59	66	53	101	157	41		526
1968	0	7	0	66	265	95	27	70	126	126	64	16	861
1969	8	0	2	47	123	106	24	151	111	177	120	9	878
1970	66	0	1	6	160	159	116	306	94	87	27	15	1.037
1971	13	0	0	101	93	8	6	146	142	137	120	2	769
1972	5	0	2	58	136	114	20	71	167	144	2	0	719
1973	1	0	0	112	57	124	44	150	84	195	64	4	835
1974	13	0	0	24	165	65	10	64	206	107	168	0	822
1975	0	0	3	1	95	61	89	161	78	181	42	101	811
M	12		2	48	124	88	45	130	123	146	73	16	808

TABLA XII
TEMPERATURAS °C

ESTACION	PERIODO DE OBSERVAC.	AÑOS COM- PLETOS	MEDIA ANUAL	VARIACIONES		ABSOLUT. REGISTR.	
				MEDIDA MAXIMA	MEDIDA MINIMA	MAXIMA	MINIMA
Manaure	1962-1975	2	28,6	33,2	24,1	38,3	15,1
Uribia	1962-1975	2	29,2	34,0	24,3	38,0	18,8
Riohacha	1972-1975	0	(27,8)	(32,7)	(23,0)	37,0	17,0
Maicao	1972-1975	0	(27,8)	(31,6)	(24,0)	39,2	16,3
Matitas	1965-1975	7	16,9	33,7	22,1	39,0	14,0

NOTA: Valores entre paréntesis significan datos incompletos.

TABLA XIII
VALORES MEDIOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO 1972 - 1975

ESTACION	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGST.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
Carraipía	3,3	3,0	3,4	3,7	3,0	4,1	4,7	3,9	2,4	2,2	3,0	2,9	3,3
La Arena	5,5	5,0	5,3	5,2	4,1	4,4	5,6	4,3	1,9	1,7	2,9	3,6	4,1
La Paulina	4,5	4,2	4,8	4,7	2,5	2,8	3,7	2,4	1,5	1,4	2,6	3,6	3,2
Manaure	6,6	6,0	6,3	6,6	5,8	5,9	7,2	6,0	4,3	4,1	4,2	4,6	5,6
Matitas	3,3	2,5	2,0	2,4	2,4	3,5	4,2	2,8	1,6	1,5	1,9	1,9	2,5
Uribia	3,9	3,3	3,1	3,3	3,4	4,1	5,1	5,0	3,8	3,3	3,0	3,4	3,7

TABLA XIV
NIVELES DE AGUA EN METROS REGISTRADOS EN AREMASAHIN
DURANTE 1977 - 1978

DIA	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.
1			0,27	0,88	0,94	0,81	0,23
2			0,25	0,80	1,20	0,76	0,21
3			0,21	0,75	1,55	0,72	0,20
4			0,40	0,70	1,60	0,70	0,19
5			0,37	0,57	1,71	0,60	0,18
6			0,35	0,50	1,67	0,58	0,17
7		0,21	0,30	0,45	1,62	0,56	0,16
8		0,19	0,25	0,43	1,60	0,54	0,15
9		0,17	0,22	0,40	1,58	0,50	0,14
10		0,16	0,26	0,40	2,20	0,48	0,13
11		0,15	0,24	0,42	2,30	0,48	0,13
12		0,21	0,23	0,95	2,28	0,47	0,20
13		0,27	0,21	0,80	2,21	0,46	0,20
14		0,22	0,19	0,64	1,10	0,45	0,20
15		0,21	0,18	0,77	1,40	0,42	0,19
16		0,19	0,16	1,35	1,52	0,40	0,18
17		0,18	0,25	1,30	1,57	0,38	0,17
18		0,15	0,24	1,20	1,62	0,37	0,16
19		0,14	0,22	1,35	1,64	0,36	0,20
20		0,13	0,21	1,25	1,30	0,35	0,20

Continúa

Continuación de la Tabla XIV.

DIA	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.
21		0,18	0,20	1,20	1,25	0,33	0,20
22		0,24	0,20	1,10	1,15	0,35	0,20
23		0,23	0,37	0,98	1,10	0,36	0,19
24		0,44	0,36	0,86	1,05	0,37	0,18
25		0,68	0,43	0,86	1,08	0,35	0,16
26		0,50	0,64	0,75	0,96	0,34	0,15
27		0,42	1,15	0,69	0,94	0,33	0,14
28		0,38	1,05	0,60	0,92	0,31	0,13
29		0,34	0,81	0,52	0,90	0,27	0,12
30		0,31	0,70	0,72	0,86	0,26	0,10
31		0,31		0,80		0,24	0,09

NOTA: Las lecturas se efectuaron generalmente a las 6:00 a.m.

TABLA XV

NIVELES DE AGUA EN METROS REGISTRADOS EN ARITAYEN
DURANTE 1977 - 1978

DIA	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.
			0,10	0,56	1,00	0,50	0,07
2			0,16	0,45	1,20	0,45	0,05
3		0,13	0,25	0,39	1,33	0,45	0,06
4		0,13	0,18	0,34	1,32	0,38	0,10
5		0,10	0,12	0,30	1,35	0,35	0,09
6		0,09	0,09	0,25	1,25	0,32	0,07
7		0,11	0,09	0,22	1,35	0,30	0,08
8		0,09	0,13	0,21	1,37	0,28	0,06
9		0,10	0,17	0,20	1,80	0,27	0,07
10		0,10	0,12	0,54	1,90	0,25	0,05
11		0,18	0,10	0,57	1,33	0,25	0,07
12		0,14	0,12	0,50	1,15	0,24	0,06
13		0,13	0,07	0,40	0,98	0,23	0,07
14		0,09	0,06	0,65	0,97	0,20	0,05
15		0,08	0,12	1,00	1,03	0,20	0,06
16		0,04	0,17	1,35	1,25	0,18	0,09
17		0,05	0,12	0,85	1,25	0,17	0,07
18		0,04	0,09	0,76	1,00	0,16	0,06
19		0,05	0,08	1,05	0,95	0,16	0,04
20		0,06	0,08	0,85	0,90	0,17	0,03
21		0,11	0,07	0,85	0,85	0,16	0,04
22		0,20	0,22	0,62	0,80	0,15	0,03
23		0,62	0,16	0,58	0,75	0,15	0,02
24		0,43	0,20	0,61	0,80	0,13	0,01
25		0,31	0,44	0,55	0,70	0,12	0,02
26		0,22	0,95	0,49	0,69	0,12	0,03
27		0,19	0,75	0,42	0,60	0,13	0,01
28		0,18	0,45	0,36	0,80	0,11	0,02
29		0,14	0,45	0,43	0,65	0,10	0,03
30		0,13	0,65	0,48	0,55	0,08	0,01
31		0,10		0,65		0,06	0,02

Nota: Las lecturas de esta mira se realizaron generalmente a las 6:00 a.m.

TABLA XVI
NIVELES DE AGUA EN METROS REGISTRADOS EN BARBACOAS
DURANTE 1977 - 1978

DIA	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ENERO
1			0,44	1,60	0,65	0,25
2			0,37	1,78	0,65	0,26
3			0,35	1,30	0,65	0,25
4			0,35	1,30	0,65	0,25
5			0,33	1,15	0,60	0,26
6		0,18	0,28	1,30	0,70	0,20
7		0,20	0,20	1,40	0,70	0,20
8		0,24	0,70	1,56	0,65	0,20
9		0,21	1,04	2,05	0,60	0,20
10		0,40	0,75	1,60	0,60	0,15
11		0,38	0,95	1,80	0,60	0,15
12	0,35		1,75	1,75	0,60	0,15
13	0,30		0,80	1,60	0,55	0,15
14	0,28		0,90	1,40	0,55	0,15
15	0,24		0,95	1,30	0,50	0,14
16	0,20		0,83	1,25	0,50	0,14
17	0,18		1,00	1,75	0,50	0,14
18	0,14		1,00	1,40	0,45	0,13
19	0,10		1,35	1,30	0,45	0,13
20	0,05		1,45	1,20	0,40	0,13
21			0,95	0,95	0,35	0,12
22			0,75	0,80	0,35	0,12
23	0,60	0,37	0,75	0,79	0,35	0,11
24	0,70	0,35	0,65	0,75	0,35	0,11
25	0,58	0,45		0,65	0,35	0,11
26	0,50	0,55		0,60	0,35	0,10
27	0,40	0,60	0,60	0,55	0,30	0,10
28	0,38	0,44	0,95	0,60	0,30	0,10
29	30	0,88	1,04	0,65	0,30	0,10
30	0,28	0,50	1,65	0,50	0,25	0,10
31	0,20	0,45	2,05	0,60	0,25	0,10

NOTA: La información suministrada por esta estación es dudosa, especialmente a partir de octubre.

TABLA XVII
NIVELES DE AGUA EN METROS
REGISTRADOS EN CAMARONES
DURANTE 1977

TABLA XVIII
NIVELES DE AGUA EN METROS
REGISTRADOS EN VILLA MARTIN
DURANTE 1977 - 1978

DIA	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
1	0,0	0,80
2	0,0	0,52
3	0,0	0,38
4	0,0	
5	0,0	0,24
6	0,0	
7	0,0	0,18
8	0,0	
9	0,0	
10	0,0	
11	0,0	
12	0,0	1,50
13	0,0	
14	0,0	1,48
15	0,0	
16	0,0	2,10
17	0,0	1,63
18	0,0	
19	0,0	
20	0,0	
21	0,0	1,70
22	0,0	1,36
23	0,0	1,00
24	0,0	1,10
25	0,0	
26	0,0	0,80
27	0,0	
28	0,0	
29	0,0	
30	0,0	
31	0,0	

DIA	AGOSTO	SEPTIEMBRE
1		0,08
2		0,07
3		0,07
4		0,08
5		0,08
6	0,04	0,06
7	0,09	0,06
8	0,10	
9	0,11	
10	0,09	
11	0,07	
12	0,07	
13	0,06	
14	0,05	
15	0,04	
16	0,08	
17	0,08	
18	0,08	
19	0,08	
20	0,07	
21	0,07	
22	0,11	
23	0,08	
24	0,08	
25	0,09	
26	0,11	
27	0,08	
28	0,08	
29	0,09	
30	0,11	
31	0,11	

TABLA XIX

AFOROS REALIZADOS HASTA EL MOMENTO

FECHA	CORRIENTE	ESTACION	NIVEL m	CAUDAL m ³ /seg.
16- 9-77	Ranchería	Albaina	—	2,57
22- 9-77	Ranchería	Albania	—	1,66
14- 9-77	Ranchería	Aremasahín	0,18	0,57
17- 9-77	Ranchería	Aremasahín	0,24	0,80
18- 9-77	Ranchería	Aremasahín	0,25	0,91
9-10-77	Ranchería	Aremasahín	0,27	1,79
25-10-77	Ranchería	Aremasahín	0,80	9,31
16- 9-77	Ranchería	Aritayén	0,13	2,40
12- 9-77	Ranchería	Aritayén	0,08	0,77
15- 9-77	Ranchería	Aritayén	0,12	1,11
18- 9-77	Ranchería	Pte. vía Riohacha-Maicao	—	0,57
14- 9-77	Ranchería	Pte. vía Riohacha-Maicao	—	0,43
17- 9-77	Ranchería	Ouriakal	—	1,07
14- 9-77	Ranchería	Ouriakal	—	0,56
15- 9-77	Ranchería	Paquimana	—	0,65
17- 9-77	Ranchería	Paquimana	—	1,84
12- 9-77	Quebrada Moreno	Villa Martín	0,05	0,01
27-10-77	Quebrada Moreno	Villa Martín	0,14	0,24
26-10-77	Camaronés	El Abra	—	1,23
28-10-77	Camaronés	Camaronés	0,64	1,01

7. BIBLIOGRAFIA

- COLORADO I., VALDERRAMA M., AMAYA P., 1964.- *Proyecto de Irrigación del Río Ranchería Guajira*. INCORA, 118 p., inédito.
- GODOY, SANCHEZ, J., CABRERA, E., 1975.- *Estudios de Precipitación Media en el Norte de Colombia y en la Cuenca del Alto Magdalena*. HIMAT: pub. ap. 34, 254 p.
- NOE -DOBREA, SANCHEZ, N., 1976.- *Evaluación de Evapotranspiración potencial en Colombia según el Método de C.W. Thorthwaite*. HIMAT: pub.ap. 37.
- STANESCU, S. DIAZ, J. 1971.- *Estudio Preliminar de la Temperatura del Aire en Colombia*. HIMAT: pub. ap. 26.
- TAHAL CONSULTING ENGINEERS LTD., 1967.- *Reconnaissance report on Groundwater Possibilities in the Guajira Región*. INCORA: 50 p. Inédito.
- UMAÑA, et al., 1965.- *Estudio Hidroclimático de la región del Caribe*. IGAC. 77 p.

• • •