

	36	37	38
43bis	43	44	45
50	51	52	53
60	61	62	63
70	71	72	73
80	81	82	83
91	92	93	94

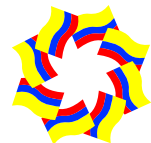
	36	37	38
43bis	43	44	45
50	51	52	53
60	61	62	63
70	71	72	73
80	81	82	83
91	92	93	94

COLOMBIA

GEOLOGÍA DE LA PLANCHA 43 - 43BIS SAN ANTERO - SAN BERNARDO DEL VIENTO



Escala 1:100.000
Memoria Explicativa
2003



¡Siente tu bandera,
cree en tu país!

REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INFORMACIÓN GEOCIENTÍFICA,
MINERO AMBIENTAL Y NUCLEAR
INGEOMINAS**

**GEOLOGÍA DE LA PLANCHA
43 - 43 BIS SAN ANTERO -
SAN BERNARDO DEL VIENTO**

Escala 1:100.000

MEMORIA EXPLICATIVA

Por
RODOLFO BARRERA

2003

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INFORMACIÓN
GEOCIENTÍFICA MINERO AMBIENTAL Y NUCLEAR
INGEOMINAS**

Geología de la Plancha
43 - 43 Bis San Antero - San Bernardo del Viento

Diagonal 53 No 34-53, A.A. No 48-65
Bogotá, D.C., Colombia
www.ingeminas.gov.co

Dirección General

Adolfo Alarcón Guzmán

Subdirección de Reconocimientos Geocientíficos

Georgina Guzmán Ospitia

**Proyecto Levantamiento, Compilación y Generación
de la Información Geológica y Geomorfológica**

Alberto Ochoa Yarza

Subdirección de Información Geocientífica

Julián Escallón Silva

**Proyecto Almacenamiento, Suministro y
Divulgación de la Información Geocientífica**

José Nelson Patiño Pérez

Coordinación Producción Editorial

Gladys María Pulido Reyes

Revisión Editorial

Margaret Mercado

Diseño y Diagramación

Jacqueline Santofimio Pizo

Impresión

INGEOMINAS

Esta publicación es de INGEOMINAS cofinanciada
POR EL FONDO NACIONAL DE REGALÍAS

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio,
sin autorización escrita de **INGEOMINAS**

REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INFORMACIÓN GEOCIENTÍFICA,
MINERO AMBIENTAL Y NUCLEAR
INGEOMINAS**

**GEOLOGÍA DE LA PLANCHA
43 - 43 BIS SAN ANTERO -
SAN BERNARDO DEL VIENTO**

Escala 1:100.000

MEMORIA EXPLICATIVA

Por
RODOLFO BARRERA

Cartagena de Indias, julio de 1999

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	9
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN	11
1.2 METODOLOGÍA	11
1.3 TRABAJOS ANTERIORES	13
1.4 INFRAESTRUCTURA VIAL	14
1.5 ASPECTOS SOCIALES	14
1.6 ACTIVIDAD ECONÓMICA	14
2. GEOMORFOLOGÍA	17
2.1 LLANURA COSTERA DEL ÁREA DE TOLÚ Y COVEÑAS	17
2.2 SUPERFICIE DE APLANAMIENTO Y COLINAS DENUDATIVAS ENTRE COVEÑAS Y LORICA	18
2.3 ZONA DE INFLUENCIA ACTUAL Y ANTIGUA DEL RÍO SINÚ	19
2.4 SUPERFICIES DE APLANAMIENTO Y COLINAS DENUDATIVAS AL OCCIDENTE DE SAN BERNARDO DEL VIENTO.	21
2.5 LLANURA COSTERA AL NOROESTE DE SAN BERNARDO DEL VIENTO.	21
3. LITOESTRATIGRAFÍA	23
3.1 CINTURÓN FRAGMENTADO DE SAN JACINTO	23
3.1.1 Formación Cansona (Ksc)	23
3.1.2 Formación San Cayetano (Pgsc)	24

3.1.3 Formación Toluviejo (Pg _{tv})	25
3.1.4 Formación Carmen (Pg _{ngc})	28
3.2 CINTURÓN DEL SINÚ	30
3.2.1 Brecha de Cispatá (Ng _{bc})	31
3.2.2 Formación Floresanto (Ng _{mf})	31
3.2.2 Unidad Moñitos (Ng _{mn})	32
3.2.4 Unidad Broqueles (Ng _{pb})	36
3.3 DEPÓSITOS CUATERNARIOS	39
3.3.1 Depósitos marinos aterrizados (Q _{tm})	39
3.3.2 Depósitos de llanura marino aluvial (Q _{ma})	39
3.3.3 Depósitos aluviales (Q _{al})	39
3.3.4 Depósitos de sustrato de manglar (Q _{mm})	40
3.3.5 Depósitos de playas (Q _{mp})	40
4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	41
4.1 CINTURÓN DEL SINÚ	41
4.2 CINTURÓN DE SAN JACINTO	42
4.3 RASGOS ESTRUCTURALES	42
4.3.1 Plegamientos	42
4.3.2 Fallamiento	45
5. RECURSOS MINERALES	47
5.1 CALIZAS	47
5.2 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	47
5.3 ROCAS SILÍCEAS	47
5.4 RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS	47
6. AMENAZAS NATURALES	51
6.1 FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA	51
6.2 INUNDACIONES	51
6.3 PROCESOS EROSIVOS	52
6.4 AMENAZAS ASOCIADAS A VOLCANISMO DE LODO	52
7. CONCLUSIONES	55
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización Plancha San Antero – San Bernardo del Viento 43-43Bis	12
Figura 2. Columna estratigráfica Sección San Antero	26
Figura 3. Formación Toluviejo Sección Aserradero	29
Figura 4. Unidad Moñito Sección José Manuel - Pajonal	35
Figura 5. Columna estratigráfica Sección Punta Rada	37
Figura 6. Elementos estructurales mayores “Cinturones Plegados” del Sinú-San Jacinto	43

RESUMEN

El área de la Plancha 43 - 43Bis San Antero-San Bernardo del Viento forma parte de la región noroccidental de Colombia, la cual ha tenido una gran complejidad estructural y sedimentaria producto de la estrecha interrelación y evolución tectono sedimentaria de la esquina noroccidental de Suramérica, donde la interacción de las placas tectónicas del Caribe y de Suramérica ha jugado un papel preponderante.

Como resultado de la convergencia de estas placas desde finales del Mesozoico se han formado dos franjas plegadas, conocidas ampliamente en la literatura como Cinturón del Sinú, en la parte más occidental costera, y el Cinturón Fragmentado de San Jacinto, en la parte oriental del área, limitadas por el lineamiento del Sinú (Duque-Caro, 1980).

Estructuralmente, el Cinturón Fragmentado de San Jacinto se caracteriza por ser una faja replegada donde predominan fallas inversas y de cabalgamiento longitudinales y paralelas a la actitud estructural regional de los estratos y asociados a pliegues apretados que evidencian una dinámica compresiva. Las unidades roca que afloran en este cinturón (oriente del área), corresponden a rocas sedimentarias del Paleógeno (formaciones San Cayetano, Toluviejo y El Carmen).

El Cinturón de Sinú se caracteriza por la presencia de estructuras diapíricas de lodo, cuya manifestación son los denominados volcanes de lodo, con formas cóncavas y cónicas que emergen a lo largo de las zonas mayores de falla, y siguen el rumbo general del cinturón. Las rocas presentes en la parte occidental del área hacen parte de este cinturón y son esencialmente rocas sedimentarias del Neógeno (Brecha de

Cispatá, Formación Floresanto y las unidades Moñitos y Broqueles).

Sobre las anteriores se halla una cobertera de sedimentos de origen marino, fluvial y marino, y aluvial que reposan discordantemente sobre las rocas sedimentarias paleógenas y neógenas.

Con respecto a los recursos minerales presentes en el área, están representados sustancialmente por recursos minerales no metálicos (rocas calcáreas y silíceas, arenas y gravas). La explotación de estos recursos está prácticamente concentrada en la explotación de rocas calcáreas, las cuales son utilizadas como agregados pétreos para concretos (trituration manual) y como bloques de roca para la construcción de espolones. Otros recursos que han sido explotados de manera ocasional, como material de recebo para vías, son rocas silíceas (chert y liditas) y margas. Arenas y gravas provenientes de depósitos aluviales, y en el pasado de las playas, son explotadas localmente de manera ocasional como agregado fino para concretos (fabricación de bloques y baldosas).

La compactación y ambiente de formación de la gran mayoría de las rocas aflorantes en el área permite considerarlas como rocas semipermeables con baja porosidad y permeabilidad primaria, con potencial hidrogeológico muy bajo. Las zonas con mayor potencial de aguas subterráneas se hallan en la llanura costera del golfo de Morrosquillo, conformada por sedimentos de origen marino aluvial y se halla relacionado a la presencia de paleocauces de espesor y litología variable. No obstante, la calidad química de las aguas se ve afectada en la zona litoral por la intrusión marina y por las variaciones estacionales, donde los procesos de evaporación concentran gran cantidad de sólidos disueltos.

1. INTRODUCCIÓN

La cartografía geológica de la Plancha 43 - 43Bis San Antero-San Bernardo del Viento hace parte de las actividades de cartografía geológica llevadas a cabo por INGEOMINAS en desarrollo del proyecto «Estudios geológicos de la región Caribe» enmarcado en el programa Levantamiento y Procesamiento de la Cartografía Geológica.

Específicamente, el mapa geológico de la Plancha 43 - 43Bis y su memoria explicativa busca proporcionar a las gobernaciones de Córdoba y Sucre, alcaldías, corporaciones regionales de Sucre y de los valles del Sinú y San Jorge (CARSUCRE y C.V.S.), y otras entidades de carácter oficial y privado, una herramienta fundamental en la planificación y desarrollo de proyectos y obras de infraestructura civil (embalses, presas, riegos, entre otros), prospección y aprovechamiento de aguas subterráneas y recursos minerales, identificación de amenazas geológicas, uso general de suelos y manejo adecuado del medio natural.

1.1 LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN

El área está localizada en la región noroccidental del país y comprende los municipios de Santiago de Tolú, en el Departamento de Sucre, y San Antero y San Bernardo del Viento, en el Departamento de Córdoba, entre las coordenadas geográficas de $9^{\circ}18'00''$ y $9^{\circ}39'50''$ de latitud norte y entre $75^{\circ}34'50''$ y $76^{\circ}08'30''$ de longitud oeste. Esta área coincide con los planos topográficos número 43 y 43Bis del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), a escala 1:100.000 (Figura 1).

1.2 METODOLOGÍA

La metodología empleada en desarrollo del presente proyecto incluye las siguientes fases:

Compilación, revisión y análisis de información. Durante esta fase se llevó a cabo una revisión de la literatura geológica disponible del área, selección y adquisición de información cartográfica (mapas topográficos a escalas 1:25.000 y 1:100.000) y de sensores remotos del área (aerofotografías, imágenes de satélite Landsat TM).

Interpretación de aerofotografías y procesamiento e interpretación de imágenes de satélite. Mediante la interpretación fotogeológica de fotos aéreas e imágenes de satélite y la posterior transferencia de las unidades de teledetección interpretadas a la cartografía base, se elaboró un mapa fotogeológico preliminar del área de estudio.

Verificación de campo. Se desarrolló en un total de 35 días efectivos de campo durante los años 1996 y 1997. En la etapa inicial del levantamiento de campo, se realizó un reconocimiento del área de estudio y la selección de rutas para la ejecución del trabajo. Una vez seleccionadas las rutas, se llevó a cabo el levantamiento geológico mediante transversas. Éstas permitieron caracterizar litológicamente las unidades fotointerpretadas, levantar secciones estratigráficas, recolectar muestras petrográficas y micropaleontológicas, y levantar información complementaria de explotación de recursos minerales, fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano y agropecuario, vegetación asociada e identificación preliminar de amenazas naturales.

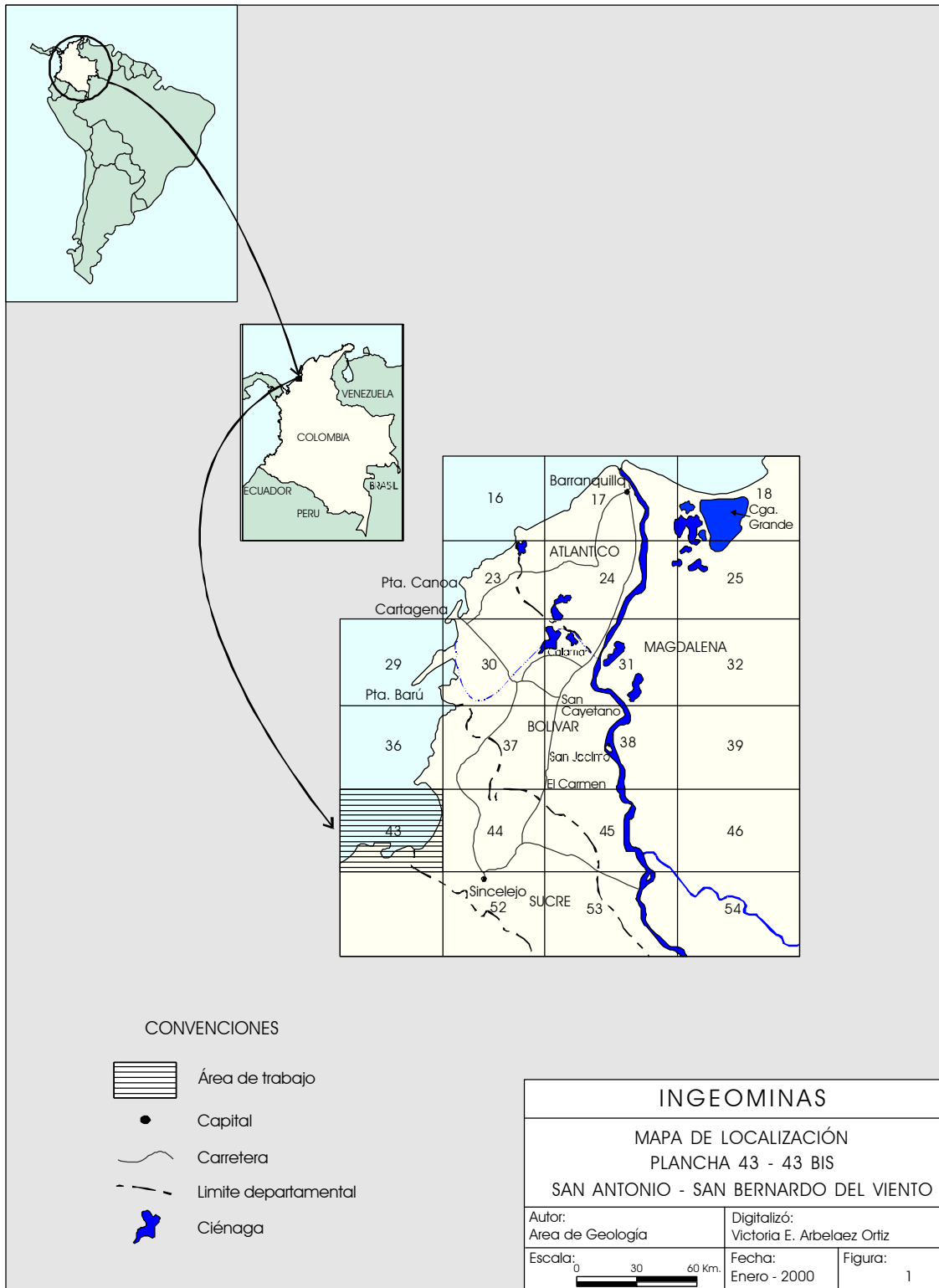


Figura 1. Mapa de localización Plancha San Antero - San Bernardo del Viento 43-43Bis

Análisis de laboratorio. Se realizó la preparación, elaboración y análisis petrográficos de secciones delgadas de roca, y la preparación y selección de muestras micropaleontológicas, los cuales aún no se han analizado.

Corrección y reinterpretación. En esta fase se hace un ajuste de las unidades interpretadas y su caracterización con base en los datos obtenidos en el campo; en algunos casos, se generalizaron unidades. Finalmente se elaboró un mapa geológico digital.

Elaboración de la memoria. En razón a la ausencia de resultados de los análisis micropaleontológicos, la memoria se elaboró apoyado en los trabajos bioestratigráficos elaborados por GEOTEC (1997).

1.3 TRABAJOS ANTERIORES

Los pioneros en la investigación geológica del noroccidente colombiano, la cual remonta a comienzos del siglo XX, fueron geólogos vinculados a la industria del petróleo, por lo que gran parte de la información es inédita y reposa en los archivos de la industria petrolera. El primero de éstos fue Werenfels (1926), quien describe la estratigrafía del Paleógeno y del Neógeno en los alrededores de Tolúviejo. Luego, Anderson (1926, 1928) introdujo varios de los nombres de las formaciones que aún tienen vigencia en esta región.

Los estudios geológicos que incluyen el área se enmarcan en el desarrollo de la investigación geológica del noroccidente de Colombia. Regionalmente, las secciones más estudiadas y de las cuales se han establecido extrapolaciones y correlaciones hacia áreas vecinas son: la sección de los alrededores de Tolúviejo – Corozal (Beck, 1921; Werenfels, 1926); la sección de Cerro Canzona y Carmen - Zambrano (Anderson, 1928; Chenevart, 1963).

Oppenheim (1957) emplea una nomenclatura independiente del resto de la región para establecer la estratigrafía general al occidente del río Sinú y en sus alrededores. El mapa elaborado por Shell-Condor (1962) recopila el conocimiento geológico de la región occidental de Colombia a escala 1:1'000.000.

Posteriormente, varios autores han venido contribuyendo al conocimiento geológico de la costa noroccidental colombiana y corresponden, en líneas generales, a lo realizado por los siguientes autores.

Cucalón et al. (1968) elaboran, sin duda alguna, la cartografía geológica más completa del Departamento de Sucre. Cáceres & De Porta (1972) contribuyen significativamente al conocimiento geológico de la serranía de San Jacinto (Montes de María) entre Tolúviejo y Chalán.

Duque-Caro (1967) presenta un informe bioestratigráfico del cuadrángulo E8 y D8, que constituye el pilar para la ubicación cronoestratigráfica de las unidades del Caribe. Este autor complementa la bioestratigrafía y geología regional en los departamentos de Bolívar (que incluye Sucre) y Córdoba (Duque-Caro, 1968, 1971, 1973, 1979, 1980, 1984; Duque-Caro et al., 1983; Dueñas & Duque-Caro, 1981).

Duque-Caro (1972) propone una subdivisión en ciclos tecto-sedimentarios para el norte de Colombia y sus relaciones con la paleoecología y presenta, en 1978, un modelo geotectónico y evolutivo de la región noroccidental colombiana. En 1980, divide tectónicamente la región del Caribe en dos áreas; una estable o de plataforma no plegada y otra inestable o geosinclinal plegada, cerca a la costa. Además, presenta un modelo de evolución geotectónica durante el Paleógeno y del Neógeno. El mismo autor, en 1984, define una provincia tectonoestratigráfica, a la que denomina Terreno Sinú - San Jacin-

to, en el cual juega un importante papel el dia-pirismo de lodo, y propone un nuevo estilo estructural, influenciado por fenómenos de dia-pirismo y episodios de acrecimiento de prismas que dieron lugar al Terreno Sinú - San Jacinto en el noroccidente de Colombia.

INSFOPAL-TNO (1981) realiza un estudio hidrogeológico de gran parte del área noroccidental del Departamento de Sucre, que incluye la región del golfo de Morrosquillo, que comprendió prospección geoelectrica, inventario de puntos de agua y perforación de seis pozos.

Page (1986) presenta en estudio detallado de las características tectónicas del noroccidente colombiano con información valiosa que permite evaluar la actividad neotectónica en el noroccidente colombiano.

Los trabajos llevados a cabo por la C.V.S. (1979) para el ordenamiento de la cuenca del río Sinú constituyen documentos inapreciables para el estudio y evaluación de las características geológicas y geomorfológicas de la región considerada.

Durhan (1985) muestra un modelo tectónico del Caribe, con los movimientos relativos de las placas Suramérica, Caribe y Norte América durante el Paleógeno y el Neógeno.

Toto & Kellogg (1992) proponen que los cinturones de San Jacinto y Sinú son una cuña sedimentaria de 12 km de espesor, afectados por la convergencia de la placa Caribe y el margen noroeste de Suramérica y la ausencia de sismicidad la explican por la baja tasa de desplazamiento y por la alta porosidad de los sedimentos recientes.

Recientemente, Clavijo & Barrera (2001) han caracterizado litoestratigráficamente las unidades cartografiadas por Cucalón et al. (1968), que

comprende los límites de Córdoba y Sucre, y, finalmente, GEOTEC (1997) elaboró para INGEOMINAS la cartografía geológica de la región del Sinú a escala 1:100.000.

1.4 INFRAESTRUCTURA VIAL

Las vías más importantes del área son la vía Lórica - Coveñas - Tolú que comunica la región del bajo Sinú con el Departamento de Sucre y la vía Lórica - San Bernardo del Viento que da acceso a la parte occidental del área. Como vías secundarias de importancia en el área está la vía El Porvenir - Sabaneta. Con excepción de éstas, la red de vías restantes corresponde más a carretables, los cuales, en general, no están pavimentados y en la época de lluvias dificultan el tránsito a los corregimientos y demás poblaciones pequeñas. No obstante lo anterior, en los alrededores de San Antero estos carretables están siendo muy bien acondicionados.

1.5 ASPECTOS SOCIALES

De acuerdo con la distribución actual de la población (Londoño & González, 1997), la zona de estudio hace parte de las regiones con mayor concentración en el Departamento de Córdoba. Se caracteriza por altas densidades rurales y la población urbana se concentra en San Antero y San Bernardo del Viento. Con respecto al sector perteneciente al Departamento de Sucre, la mayor parte de la población se concentra en las poblaciones de Tolú y Coveñas.

1.6 ACTIVIDAD ECONÓMICA

En la estructura económica del área predominan las actividades agropecuarias y turísticas, donde Montería y Sincelejo son los principales centros económicos de influencia regional en

el área, y con marcada influencia local las poblaciones de Lorica y Tolú.

La mayor parte de las tierras planas o suavemente onduladas están dedicadas a actividades ganaderas, orientadas principalmente a la ganadería extensiva de doble propósito (carne y leche). Los productos agrícolas más importantes son algodón, arroz, sorgo, maíz, yuca y ñame.

La actividad pesquera se realiza tanto a nivel continental como marítima. La continental o fluvio lacustre se localiza principalmente en la bahía de Cispatá, en la ciénaga de La Caimanera y en la franja litoral.

La franja litoral cordobesa presenta una extensa plataforma continental de pendiente muy

suave, rica en peces y camarones. La pesca intensiva desarrollada en los últimos años, realizada por empresas industriales, ha ido sustituyendo la pesca artesanal en perjuicio de la economía de sostenimiento de la región costera (IGAC, 1992, en Londoño & González, 1997).

Los recursos minerales explotados en el área son esencialmente rocas calcáreas y silíceas, en menor proporción se extraen arenas y gravas.

El turismo está concentrado en la franja litoral entre Coveñas y Tolú, y en la bahía de Cispatá; el potencial turístico es muy atractivo por la belleza de sus paisajes, no obstante, la erosión litoral y limitaciones tales como escasez de servicios básicos, infraestructura vial y portuaria, falta de estímulos y de promoción, han impedido el real despegue de este sector.

2. GEOMORFOLOGÍA

Los aspectos geomorfológicos de la Plancha 43 - 43Bis San Antero-San Bernardo del Viento aquí descritos se fundamentan en el capítulo de geomorfología elaborado por Marín et al. (1999) en el estudio Diagnóstico ambiental del golfo de Morrosquillo.

En el área de estudio se presentan unidades geomorfológicas de origen marino, fluvial, fluviomarino (deltaico), estructural y denudativo (erosional) y asociados a diapirismo de lodo. En mayor o menor grado, estas unidades están siendo modificadas permanentemente por procesos marinos y continentales, y factores antrópicos.

Marín et al. (1999) dividen el área de estudio en seis grandes regiones, dentro de las cuales diferencian unidades geomorfológicas de diferente origen o evolución. De oriente a occidente estas regiones son: llanura costera del área de Tolú y Coveñas; superficies de aplanamiento y colinas en la zona entre Coveñas y Loricá; zona de influencia antigua y actual del río Sinú; superficies de aplanamiento y colinas denudativas al occidente de San Bernardo del Viento; y llanura costera al noroeste de San Bernardo del Viento e Isla Fuerte.

2.1 LLANURA COSTERA DEL ÁREA DE TOLÚ Y COVEÑAS

La llanura costera del área de Tolú y Coveñas está conformada por depósitos cuaternarios de origen fluvial y marino, y comprende las siguientes unidades geomorfológicas.

Planicie aluvial costera. Presenta un relieve plano a muy levemente inclinado u ondulado, disecada por drenajes poco profundos, la ma-

yoría de los cuales son estacionales. La separan de la costa franjas angostas de manglar, algunas lagunas costeras, complejos de cordones litorales y antiguas barras litorales (Franco et al., 1992).

Pantanos de manglar. Alcanzan su máxima extensión hacia la ciénaga de La Caimanera. Sin embargo, se distribuyen a todo lo largo de la línea de costa entre el arroyo La Perdiz y punta de Piedra.

Lagunas costeras. La ciénaga de La Caimanera localizada entre Tolú y Coveñas, es la geofoma más representativa de esta unidad; se halla en proceso de colmatación. En esta ciénaga se da un intercambio de aguas tanto de origen continental como marino; en efecto, numerosos arroyos menores provenientes de la planicie aluvial costera vierten allí sus aguas, y por otra parte, el flujo mareal permite que las aguas provenientes del mar invadan la ciénaga a través de una única boca. Los sedimentos depositados han sido colonizados por un manglar exuberante (Franco et al., 1992).

Complejos de cordones litorales y depresiones pantanosas. Se observaron principalmente hacia el norte de Tolú, donde aún hay zonas sin urbanizar. Localmente hay manglares en las depresiones pantanosas.

Playas. Alcanzan máximo 10 m de ancho, y en ellas se aprecian bermas discontinuas y de poca altura, que son rebasadas por mareas muy altas o durante tormentas. En general, gran parte de las playas están siendo afectadas por procesos de erosión litoral y sólo en algunos sectores, la construcción de una serie de espolones distribuidos en forma irregular ha disminuido

un poco el retroceso de la línea de costa; la construcción de estas estructuras sólo ha contemplado algunos estudios previos puntuales.

Barras litorales antiguas. Barras fósiles se presentan en forma interrumpida entre Coveñas y punta de Piedra, dispuestas de manera paralela a la línea de costa; están formadas por arenas de características similares a las de la playa actual, con abundancia de moluscos y corales fósiles. Se estima que estas barras se formaron en una posición antigua de la línea de costa, y que actuaron como barras barrera que separaban el mar abierto de lagunas costeras que hoy se encuentran colmatadas e invadidas por manglares. Topográficamente, estos cuerpos sobresalen entre las llanuras aledañas, como en la carretera Tolú - Coveñas (Franco et al., 1992).

2.2 SUPERFICIE DE APLANAMIENTO Y COLINAS DENUDATIVAS ENTRE COVEÑAS Y LORICA

Colinas elongadas, con dirección estructural predominante hacia el noreste, conformadas por rocas sedimentarias paleógenas y neógenas plegadas y falladas, se presentan ampliamente entre Coveñas y Lorica. Presentan diferente altura y grado de disección y las pendientes varían entre un 15 y 25%, y son más suaves hacia las zonas costeras. Los procesos erosivos dominantes son erosión laminar y en surcos, sobrepastoreo (pata de vaca) y por caminos que localmente producen cárcavamiento.

“Además de los esfuerzos tectónicos compresivos que han predominado en la evolución tecto-sedimentaria del área. Los esfuerzos verticales de empuje generados por el fenómeno de diapirismo de lodo, han influido significativamente en algunos sectores de este paisaje acolinado. Una manifestación de lo anterior se ve en cercanías de San Antero, en el volcán de lodo

del Tesoro y en punta de Piedra cerca de Coveñas, donde se postula un origen diapírico para este saliente, la cual presenta una altura anómala con respecto a la topografía circundante” (Marín et al. (1999).

En esta zona pueden diferenciarse geoformas con cimas casi planas de alturas similares, en las cuales se observa el desarrollo de depósitos de origen coluvial discordantemente sobre las rocas sedimentarias paleógenas y neógenas cortadas por la erosión. A estas unidades se les ha denominado **superficies de aplanamiento o glacis de erosión.**

Las **colinas denudativas** se diferencian de las anteriores, en que en ellas no se observa la superficie de aplanamiento erosivo y el posterior depósito coluvial sobre éstas.

Los **cordones estructurales** corresponden a una serie de colinas elongadas que conforman crestas estructurales, marcadas principalmente por la actitud estructural de los estratos competentes que las conforman, y alternan con estratos menos competentes.

Los **valles coluvio aluviales** principales se localizan a lo largo de los arroyos Amansaguapos y Buonaparte. Presentan zonas cenagosas o mal drenadas que algunas veces son aprovechadas para actividades agropecuarias o para el almacenamiento de aguas lluvias mediante la construcción de estanques o jagüeyes. La amplitud apreciable de algunos de estos valles y la alternancia de arcillas con limos y areniscas finas, permite inferir que, además de los procesos hidrogravitacionales (coluvio aluvial), hubo sedimentación lacustre por el cierre parcial de la cuenca. Se presenta socavación de orillas a lo largo de los cauces (Marín et al. (1999).

La zona de colinas y superficies de aplanamiento se separa con respecto al mar por una serie

de geoformas o subunidades tales como **pan-tanos de manglar** presentes como parches, donde el más continuo es el localizado entre punta Bello y punta La Caimanera; las **terrazas marinas** son principalmente acumulativas y coralinas, y sobre éstas, en la zona entre punta Bolívar y punta Carbonero se observan cordones litorales asociados a una rápida sedimentación (Franco et al., 1992). Las **playas** están sufriendo un acelerado proceso de erosión hasta el extremo de que en punta Bello se ha formado un escarpe sobre una terraza coralina de un poco más de 2 m. También se observó una **terrazza aluvial** asociada al caño de Calao.

2.3 ZONA DE INFLUENCIA ACTUAL Y ANTIGUA DEL RÍO SINÚ

Aguirre (1994) subdivide la zona de influencia actual y antigua del río Sinú en cinco grandes unidades: cordones litorales antiguos, antiguo delta de José Manuel, antiguo delta de Cispatá, planicie aluvial del río Sinú y delta de Tinajones.

Los **cordones litorales antiguos** se presentan al sureste de San Bernardo del Viento y cercanos a las playas de esta misma localidad. Tienen alturas entre 1,5 y 3 m con respecto al cinturón de meandros del Sinú y pendientes menores de 2 grados.

Antiguo delta de José Manuel. En las imágenes de satélite y fotos aéreas se observa una antigua zona deltaica, que se localiza en los alrededores del caño La Balsa, entre las poblaciones de José Manuel, Chiquí y Pajonal. En ésta se observan también cordones litorales y remanentes de la antigua llanura aluvial del río Sinú y la llanura aluvial actual del caño La Balsa.

Antiguo delta de Cispatá. Posterior a la formación del delta de José Manuel, el río migró hacia el oriente y formó el delta de Cispatá, al

oriente de San Bernardo del Viento. Este delta se mantuvo activo y conformó un amplio delta hasta hace aproximadamente 60 años; testigo de este proceso son algunas unidades remanentes como:

- Pantanos de manglar o llanuras mareales. Corresponden a depresiones someras bajo la influencia fluvial y mareal que han sido colonizados por manglares que cubren la mayor parte del delta; dado el gran valor ecológico que representa este ecosistema, actualmente está protegido contra la tala y las artes de pesca destructivas.
- Diques naturales. Estas geoformas están asociadas a antiguos caños remanentes de los antiguos brazos del Sinú, que en épocas de avenida depositaron diques laterales al cauce y depresiones pantanosas (*backswamp*) localizadas entre los diques naturales.
- Antigua barra de Mestizos. Localizada en la zona norte del delta, actualmente está unida al continente gracias a la acreción del delta de Tinajones. Tiene 12 km de longitud y una dirección oeste - este. El cuerpo de la barra lo define hacia tierra un antiguo brazo del río Sinú, denominado caño Salado. Éste define la bahía de Cispatá y lo que fuera el antiguo estuario del río Sinú, hoy convertido en una gran zona de llanuras de manglar, con numerosas ciénagas y canales distributarios (Franco et al., 1992). La línea de costa, a lo largo de esta barra, se caracterizaba en el pasado por el desarrollo de una amplia playa; actualmente presenta parches intercalados de sustratos de manglar y capas de arena de espesores menores a 50 cm y algunas ciénagas como La Icotea, Pepino y de Mestizos (Franco et al., 1992). Debido a los procesos de erosión litoral, la extensión de las playas ha disminuido considerablemente, en ellas se aprecian hasta

tres bermas con sus correspondientes depresiones. Hacia tierra adentro se observan cordones litorales y depresiones alargadas (*swales*), pantanosas, colonizadas por manglar que alcanzan poca extensión. Otras unidades geomorfológicas pequeñas asociadas a esta barra son: una espiga en su extremo oriental, la cual está creciendo gracias al aporte de sedimentos del río Sinú y su redistribución por las corrientes litorales; ciénagas sedimentadas cubiertas parcialmente por manglar o por agricultura y diques naturales asociados a los caños que desembocan o desembocaban en el mar (Marín et al., 1999).

Planicie aluvial activa del Sinú. Comprende una serie de unidades producto de la evolución del cauce del río Sinú. Su canal se extiende en sentido general norte sur, y en el área de estudio desarrolla un sistema meándrico sobre una amplia planicie; presenta socavación de orillas muy intensa, que en algunos lugares deja escarpes de hasta 3 m de alto (Marín et al., 1999). Los meandros se desarrollan a lo largo de la llanura aluvial, principalmente en su margen izquierda, y están afectando la población de San Bernardo del Viento y la vía de acceso a esta población, por lo que han sido cortados artificialmente. Los canales del antiguo meandro (*oxbow lakes*) se han ido rellenoando parcialmente o son preservados como zonas de acumulación de agua (Marín et al. 1999).

Las depresiones pantanosas se extienden sobre la margen izquierda entre La Doctrina (fuera del área de estudio) y San Bernardo del Viento; son áreas mal drenadas, con pequeñas ciénagas, y propensas a acumular aguas durante los períodos de inundación debido a que están parcialmente encerradas por diques naturales actuales o antiguos comparativamente más altos. Esta zona también puede ser considerada como una terraza baja del río Sinú, que debe

ser diferenciada de otra terraza un poco más alta, llamada por Aguirre (1994) como Cispatá, localizada al norte de La Doctrina, sobre la margen derecha del río, la cual no está sujeta a inundaciones (Marín et al., 1999).

Delta de Tinajones. Este nuevo delta se formó a partir de 1938; comprende el actual cauce del río Sinú, el cual se divide en tres brazos a la altura del punto de avulsión en el caserío Rodrigo Castillo. El delta aún continúa creciendo y ha generado nuevas tierras que están siendo utilizadas para actividades agropecuarias. Dentro de esta gran unidad se han diferenciado una serie de unidades geomorfológicas menores como son:

- Pantanos de manglar o llanuras mareales. Cubren la mayor parte del delta y se encuentran relativamente bien preservados. En los sitios donde el mangle ha sido talado muy cerca de las playas, se observan complejos de cordones litorales y depresiones pantanosas (*swales*) definidos en las fotografías aéreas por la alternancia de vegetación de pastos con hileras de manglar (Franco et al., 1992, en Marín et al., 1999).
- Diques naturales. Se localizan a lo largo de los tres brazos del río Sinú; su extensión es variable y su altura muy poca, pero, sin embargo, tienen buen drenaje, lo que permite que sean utilizados para la agricultura (Marín et al., 1999).
- Barras en las bocas de los distributarios. Pequeñas barras arenosas se forman a la salida de los canales distributarios debido a la alta carga de sedimentos que acarrea el río Sinú. Esas barras, sin embargo, cambian su posición o su forma de acuerdo con el régimen del río. Hacia ambos lados del delta las barras tienen terminaciones en espiga (Marín et al., 1999).

2.4 SUPERFICIES DE APLANAMIENTO Y COLINAS DENUDATIVAS AL OCCIDENTE DE SAN BERNARDO DEL VIENTO

Al occidente del área se desarrolla un paisaje de colinas con cimas planas, remanentes de una **superficie de aplanamiento o glacis de erosión** que afectó rocas marinas terciarias.

Las **colinas denudativas** están conformadas por rocas detríticas y calizas del Paleógeno y del Neógeno, y presentan diferentes alturas y grados de disección. Hay algunas zonas que aparecen claramente controladas por la actitud estructural de los estratos y otras estructuras de fallamiento, diaclasamiento y fracturamiento, y, por lo tanto, siguen un patrón muy regular; se les ha denominado **cordones estructurales** (Marín et al., 1999).

Al occidente de San Bernardo del Viento se observan también **terrazas marinas** levantadas y donde es posible observar procesos de disección.

2.5 LLANURA COSTERA AL NOROESTE DE SAN BERNARDO DEL VIENTO

En la llanura costera al noroeste de San Bernardo del Viento se desarrollan una serie de unidades con diferente edad y origen que consisten básicamente de:

- **Complejos de cordones litorales bien y mal drenados, y cordones litorales y depresiones pantanosas.** Conforman varios cuerpos alargados en sentido este - oeste, aproximadamente, localizados entre las playas del Viento y punta Rada, en la base de las colinas y hasta la playa; son de diferentes edades y presentan distinto grado de

evolución. Su uso actual son pastizales y, en menor proporción, agricultura (Marín et al., 1999).

- **Terrazas marinas por abrasión, acumulación y coralinas.** Están localizadas en la zona de punta de Piedra y punta Rada, y presentan alturas entre 0,5 y 30 metros sobre el nivel del mar (Marín et al., 1999).
- **Pantanos de manglar.** El más importante, por su extensión, se encuentra al sur de punta Rada, los demás corresponden a pequeños parches.
- **Playas.** Su amplitud es muy variable debido en gran parte a la intensa erosión litoral que afecta algunos sectores, así, por ejemplo, en Notecebes alcanzan 30 metros de amplitud, mientras que en Paso Nuevo y en punta Rada sólo 3 m.
- **Volcanes de lodo.** Se manifiesta claramente el diapirismo de lodo tanto en la plataforma como en el continente. Localizados cerca de Paso Nuevo, en el sitio El Salvador, hay emanaciones de un lodo aceitoso y localmente con fuerte olor a petróleo. El área de influencia es pequeña, pero se presentan irregularmente distribuidos en una zona de una hectárea, aproximadamente (Marín et al., 1999).

3. LITOESTRATIGRAFÍA

La nomenclatura estratigráfica propuesta para el área de la Plancha 43 – 43Bis San Antero – San Bernardo del Viento es una revisión de la ya conocida en la literatura (Hoffstetter & de Porta, 1974) y de la selección y agrupamiento de algunas de las unidades empleadas por GEOTEC (1997).

Las unidades roca que afloran en el área hacen parte del cinturón fragmentado de San Jacinto y del cinturón del Sinú. Para la descripción de las unidades, se tendrá en cuenta su ubicación en una de estas megaestructuras, un orden cronológico y la indicación, para cada unidad, de sitios de exposición, litología, relaciones estratigráficas, edad y correlaciones con unidades litoestratigráficas conocidas.

3.1 CINTURÓN FRAGMENTADO DE SAN JACINTO

Las unidades litoestratigráficas que hacen parte de este cinturón son:

3.1.1 Formación Cansona (Ksc)

Autor: Wood (en Butler, 1941).

Localidad tipo y afloramientos. El área y localidad tipo se hallan en la serranía de Cansona (Bolívar). En la Plancha 43 - 43Bis no aflora esta unidad, pero sí inmediatamente al sur de la plancha al oriente de Lorica, y probablemente rocas de esta unidad se hallan intercaladas de manera caótica por efectos tectónicos en la parte meridional de la cuchilla de Cispatá, al norte de la vía que conduce de Lorica hacia La Doctrina.

Descripción litológica. Fuera del área de estudio, pero inmediatamente al sur, aflora esta unidad en una cantera denominada San Carlos, localizada 2,5 kilómetros al oriente de Lorica, donde se presenta chert tipo estratificado de varios colores (gris oscuro, pardo, tono rojizo) en capas de hasta 10 - 15 cm, frágiles, con intercalaciones de limolitas silíceas y arcillolitas físciles de color generalmente gris, amarillas a verde claro. Asociadas a estas rocas se presentan bloques como alóctonos de calizas de color gris oscuro con olor a petróleo e intrusiones a manera de silos, de basaltos porfiríticos de matriz muy fina, donde se observan fenocristales de plagioclasas y piroxenos; una característica importante de estas rocas volcánicas es su alto grado de alteración, probablemente clorítica, que le da un aspecto verde a estas rocas.

Espesor. Su exposición en forma aislada impide estimar el espesor de esta unidad, no obstante, los chert expuestos en la cantera San Carlos pueden tener un espesor entre 50 y 100 metros. Clavijo & Barrera (2001), en la sección del arroyo Ojo de Agua, en los alrededores de Chalán (Plancha 44 Sincelejo) en el Departamento de Sucre, midieron 235 metros, sin identificar la base.

Límites. Dueñas & Duque-Caro (1981) mencionan que descansa discordantemente sobre las Peridotitas de Planeta Rica y consideran su contacto superior también discordante. En el área se desconoce tanto la base como el tope de esta unidad.

Ambiente de depósito. Las características litológicas y el predominio de radiolarios parece indicar un ambiente batial profundo de aguas tranquilas. Londoño & González (1997) mencionan que la abundante piritita y la asociación de jasperoides presentes en la vía Lorica - La Doctrina indican un ambiente reductor exhala-

tivo con condiciones propicias para la precipitación de hierro y manganeso y la formación de jasperioides, proceso asociado al vulcanismo generador de magmas basálticos en ambientes oceánicos, que dan origen a las rocas volcánicas asociadas con los sedimentos.

Edad. Cretácico Superior (Santoniano - Maastrichtiano), según Chenevart (1963). Clavijo & Barrera (2001) indican una edad similar con base en la microfauna encontrada en el área de Chalán (Sucre), y coinciden en esta edad.

Correlaciones. Corresponde a la Formación Cansona de GEOTEC (1997) y parece ser el equivalente litológico de la parte inferior del Grupo Cansona de Duque-Caro (1971) y al Complejo de Chalán de Cucalón et al. (1968), así como a la parte inferior de la Formación San Cayetano de Chenevart (1963) y Dueñas & Duque-Caro (1981). Londoño & González (1997) la correlacionan con la Formación Barroso y limolitas asociadas del Complejo Cañas Gordas.

3.1.2 Formación San Cayetano (Pgsc)

Autor. Chenevart (1963).

Localidad tipo y afloramientos. Aparentemente, el nombre tiene origen en el Corregimiento de San Cayetano (Bolívar). Este nombre fue originalmente utilizado por Chenevart (1963) en una breve descripción de la estratigrafía de los Montes de María, sin precisar un área o sección tipo.

Por su equivalencia litológica y posición estratigráfica con secuencias similares aflorantes al norte del área de estudio, se ha considerado la presencia de esta unidad en el sector centro oriental del área de la Plancha 43 - 43Bis, al oriente de San Antero, y suroccidente y suroriente de la Inspección de Policía El Hueso, en la vía Sabaneta - Coveñas.

Descripción litológica. En el área de estudio se han distinguido, desde un punto de vista meramente litológico, dos tipos de litologías en esta unidad, correspondientes a unas arenitas líticas y a unas lilitas silíceas, cuya relación y expresión cartográfica no se han definido con precisión aun en áreas con mejor exposición. Por lo tanto, en el mapa adjunto no se presentan diferenciadas. No obstante lo anterior, su posición estratigráfica dentro de esta unidad sí parece estar clara con base en el conocimiento estratigráfico regional adquirido por INGEOMINAS en desarrollo de los proyectos de cartografía de la región Caribe.

Conjunto de Arenitas Líticas. Estas rocas ocupan una amplia franja cartográfica entre San Antero y Santa Rosa de Pita, se extienden hacia el sur hasta un poco más al norte y oriente de Lorica, al sur del área de estudio (Plancha 51 Lorica). Consta de arenitas de grano grueso conglomeráticas hacia la base y fino a muy fino hacia el techo de las capas; son de color pardo amarillento oxidado a gris amarillento; están compuestas principalmente por cuarzo, chert y feldespatos alterados, moscovita y glauconita, y en algunos sectores presenta materia orgánica y concreciones de arenitas de grano fino calcáreas muy compactas. Intercaladas con las arenitas se presentan arcillolitas gris amarillentas a gris verde oliva, que le dan una apariencia sucia, y, ocasionalmente, capas de calizas de 10 cm de espesor. La estratificación es variable y en capas gruesas lenticulares es preferentemente donde abundan las arenitas, y los sectores en donde predominan las intercalaciones de lodolitas y arenitas es en las capas delgadas a medianas. Una característica importante de estas arenitas es que están afectadas por numerosos pliegues y fracturamiento, principalmente entre Santa Rosa de Pita y San Antero. En la Figura 2 se observa la columna estratigráfica parcial de esta unidad en uno de los sitios donde mejor expuesto se halla este conjun-

to, al oriente de San Antero. El espesor es difícil de precisar por el frecuente plegamiento que lo afecta, sin embargo, se puede estimar como superior a 500 metros.

Conjunto de Liditas. Estas rocas tienen una menor distribución cartográfica que la unidad de Arenitas Líticas, aunque su relación con la unidad anterior no es muy clara en el área de estudio, el conocimiento estratigráfico regional permite inferir que se hallan en una posición estratigráfica superior con respecto a las Arenitas Líticas. Los mejores afloramientos se hallan en los alrededores de la Inspección de Policía El Hueso, en la vía Coveñas – Sabaneta, y en la vía San Antero - Playa Blanca.

En los alrededores de esta inspección de policía, conforman una morfología muy suave con escasos afloramientos de limolitas silíceas con niveles de chert de color anaranjado grisáceo (10 YR 7/4), que por oxidación se tornan crema rojizo, y la estratificación es en capas delgadas paralelas onduladas con laminación interna. Presenta microfauna (radiolarios?).

400 metros al sur de El Hueso, se halla una antigua cantera donde se explotan estas rocas para afirmado de vías; allí afloran limolitas gris oscuras muy fracturadas que embeben concreciones de calizas micríticas de color gris oscuro muy compactas de 30 - 40 centímetros de diámetro; es común la ocurrencia de niveles de limolitas muy cizalladas en contacto con las concreciones, que delimitan zonas muy perturbadas que asemejan zonas de derrumbe o de brecha.

Al noroccidente de San Antero, en el carreteable hacia Playa Blanca, afloran 17 metros; en los tres metros más superiores se presentan limolitas silíceas en capas medianas plano paralelas a ondulosa paralelas, intercaladas con lodolitas de color gris amarillento a gris pardo claro. Debajo se hallan ocho metros de lodoli-

tas en capas muy delgadas gris pardo pálido que suprayacen 2,5 metros de limolitas silíceas. Hacia la base floran lodolitas gris pardo pálido con microfauna de radiolarios.

Espesor. Debido a su poca exposición, el espesor de estas rocas es incierto; se estima que es inferior a los 30 metros de espesor.

Límites. Se desconoce la naturaleza del contacto inferior con las Areniscas Líticas; el contacto superior con las rocas calcáreas de la Formación Tolviejo y las arcillolitas de la Formación Carmen es, al parecer, discordante.

Ambiente de depósito. Según Dueñas & Duque-Caro (1981), las características sedimentológicas y la microfauna presente indican ambiente marino abisal con profundidades mayores de 4.500 metros.

Edad. Paleoceno inferior - Eoceno medio, Duque-Caro, (1967).

Correlaciones. Esta unidad es el equivalente litológico de la unidad de Liditas Silíceas (CIAF, 1985) del valle del Sinú y al nivel de chert de la Formación San Cayetano que aflora en los alrededores de la fábrica de cementos de Tolviejo y a los presentes en los alrededores de San Cayetano, en el Departamento de Bolívar.

3.1.3 Formación Tolviejo (Pgtv)

Autor. El nombre de Tolviejo *Limestone* o Tolviejo *Series* fue mencionado originalmente por Werenfels (1926), para referirse a unas calizas masivas de color blanco o pardo, que varían lateralmente a areniscas de grano fino color pardo con pequeños foraminíferos, que afloran en el Anticlinal de Tolviejo. Posteriormente, Duque-Caro (1968) utiliza el nombre de Formación Tolviejo.

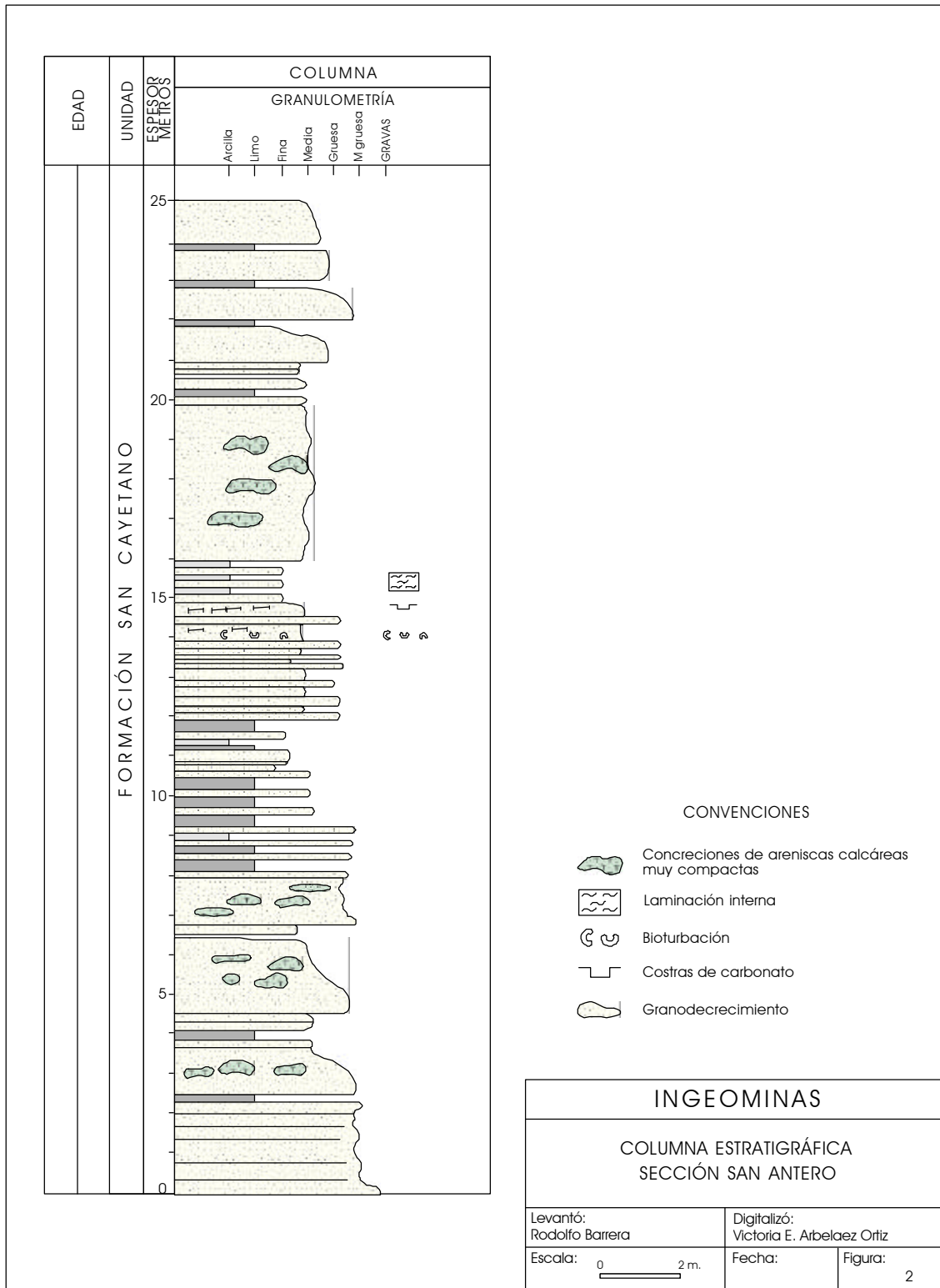


Figura 2. Columna estratigráfica Sección San Antero.

Localidad tipo y afloramientos. La localidad tipo se encuentra en los alrededores de Toluviejo, al norte del área de estudio, de donde deriva su nombre. Esta unidad no aflora de manera muy continua en el área. Las mejores secciones se hallan expuestas en una pequeña colina denominada la sierra Chiquita, en la vía Sabaneta - Coveñas, en los alrededores de El Hueso, al occidente de Aserradero, en el carretable al cerro Petrona. Rocas similares, pero en menor exposición, se hallan al oriente de Nuevo Agrado.

Descripción litológica. Esta unidad no aflora de manera continua en el área, por lo que su descripción se dificulta un poco debido a que se basa en afloramientos aislados difíciles de correlacionar. En el kilómetro 5,9 de la vía Sabaneta - Coveñas, en la colina denominada sierra Chiquita, en una cantera aflora probablemente la parte más superior de la unidad en esta plancha; allí se observan calizas de color pardo amarillento pálido (10 YR 6/2) y anaranjado muy pálido (10 YR 8/2), con abundante microfauna (lepidociclinas), que en algunos niveles componen esencialmente el armazón de la roca; presenta también glauconita. En algunos sectores de la cantera se observan las calizas muy bien estratificadas en capas hasta de 80 centímetros, mientras que en otros sectores se presentan como bloques agregados, donde no se observa una estratificación clara.

En la cantera de cerro Petrona, 2,6 kilómetros al occidente de Aserradero, se hallan expuestos en la parte superior 7 metros de calizas terrígenas de grano grueso con abundante glauconita y minerales pesados. Le infrayacen a las calizas limolitas calcáreas (margas), intensamente fracturadas, de color gris oliva claro o pardo amarillento pálido, que por alteración toman un color gris claro.

300 metros más al occidente se halla otra cantera donde afloran lodolitas gris oscuras con abundante microfauna (foraminíferos); encima

de los anteriores se presentan calizas terrígenas con abundante glauconita.

En los alrededores del caserío de Buenavista, donde conforma un relieve suavemente ondulado, afloran arcillolitas y limolitas calcáreas color gris oliva amarillento con abundante microfauna; asociados se presentan fragmentos de calizas bioclásticas (algas y lepidociclinas).

1,1 kilómetros al norte del desvío hacia el caserío de Tijereta, en la vía San Antero – Lorica, afloran calizas con microfauna (lepidociclinas ?) y glauconita, de color gris verdosas, que al alterarse toman un color anaranjado grisáceo; la estratificación es en capas medianas planoparalelas interpuestas con arcillolitas calcáreas con apariencia margosa.

Sección Cantera Sierra Chiquita

El contacto con la unidad infrayacente no se aprecia; por otra parte, debido al fallamiento que afecta algunos sectores de la cantera, sólo fue posible medir 45 metros de sección, constituida principalmente por calizas bioesparíticas con abundantes lepidociclinas y algas, de color amarillo crema a gris rosado amarillento, en capas paralelas, ligeramente onduladas subparalelas. Las algas varían en tamaño desde unos cuantos milímetros hasta casi un centímetro; presentan, además, glauconita. En la parte media de la sección medida, las bioesparitas presentan capas delgadas con una geometría discontinua irregular de sus capas (seudonódulos?), muy similar a las aflorantes en la sección de Varsovia al norte del área de estudio en la Plancha 44 Sincelejo.

Sección Aserradero

En la Figura 3 se ilustra la columna estratigráfica de esta sección, en la cual se levantaron 63,5 metros de calizas, arcillolitas y limolitas

calcáreas. Hacia la base se presenta un paquete de 5 metros de espesor de limolitas calcáreas en capas medianas a gruesas con intercalaciones de lodolitas pardo amarillo pálido; hacia el techo del segmento, el espesor de las capas de limolitas calcáreas es considerablemente menor (capas delgadas a medianas).

Posteriormente se presenta un paquete de 1,8 metros de espesor de lodolitas físciles pardo amarillo pálido en capas muy delgadas onduladas; se aprecia, además, que las lodolitas varían lateralmente a limolitas calcáreas.

Sobre el segmento anterior se presentan 1,5 metros de limolitas calcáreas en capas delgadas de color pardo amarillento, que por alteración toman un color amarillo crema, y encima se halla un segmento de 22 metros de espesor de una secuencia predominantemente fina compuesta principalmente por lodolitas físciles de color pardo amarillo pálido, con estratificación en capas muy delgadas onduladas discontinuas con intercalaciones de limolitas calcáreas lenticulares.

Hacia el techo se presentan 30 metros de calizas bioesparíticas (lepidociclinas, principalmente); hacia la parte superior de este segmento las capas de calizas son gruesas (mayores de un metro de espesor).

Espesor. En razón de la poca continuidad y exposición de las secciones aflorantes, se dificulta precisar el espesor de esta unidad; se estima que la unidad puede tener un espesor cercano a los 100 metros. Kassem (1964) reporta alrededor de 50 metros en la sección comprendida entre San Andrés de Sotavento y Tuchín (Córdoba). Clavijo & Barrera (2001) midieron 208 metros de esta formación en el arroyo Chalán, al norte del área en el Departamento de Sucre.

Límites. Aunque no se observó directamente la naturaleza del contacto con las areniscas

líticas o limolitas silíceas de la Formación San Cayetano, el conocimiento estratigráfico regional indica que es discordante. El contacto superior es paraconforme con la suprayacente Formación Carmen.

Ambiente de depósito. Con base en la microfauna presente en esta unidad, Duque-Caro (1968) postula un ambiente marino somero de aguas tranquilas.

Edad. Eoceno medio, Clavijo & Barrera (2001).

Correlaciones. Se correlaciona facial y ambientalmente con la Formación Chengue (al norte, en el Departamento de Bolívar) y la Formación La Tampa (al sur, en la parte central del Departamento de Córdoba). Cronológicamente es correlacionable con parte de la Formación San Jacinto y con la base de la Formación Ciénaga de Oro.

3.1.4 Formación Carmen (Pgngc)

Autor. La primera referencia de este nombre aparece en informes internos de la Texas Petroleum Company, para designar el paquete de lodolitas que afloran en el Carmen de Bolívar (Notestein, 1929).

Localidad tipo y afloramientos. Esta unidad se presenta en zonas suavemente onduladas al norte de la vía Sabaneta - Coveñas, en la parte suroriental del área de estudio.

Descripción litológica. Es una unidad típicamente arcillosa que ocupa zonas topográficamente más bajas que las formaciones anteriormente descritas; los afloramientos son muy escasos y sólo mediante perforaciones someras realizadas se puede indicar que consta principalmente de lodolitas plásticas pardo amarillentas con abundante microfauna (foraminíferos planctónicos), *shales* calcáreos pardo amarillentos y grises.

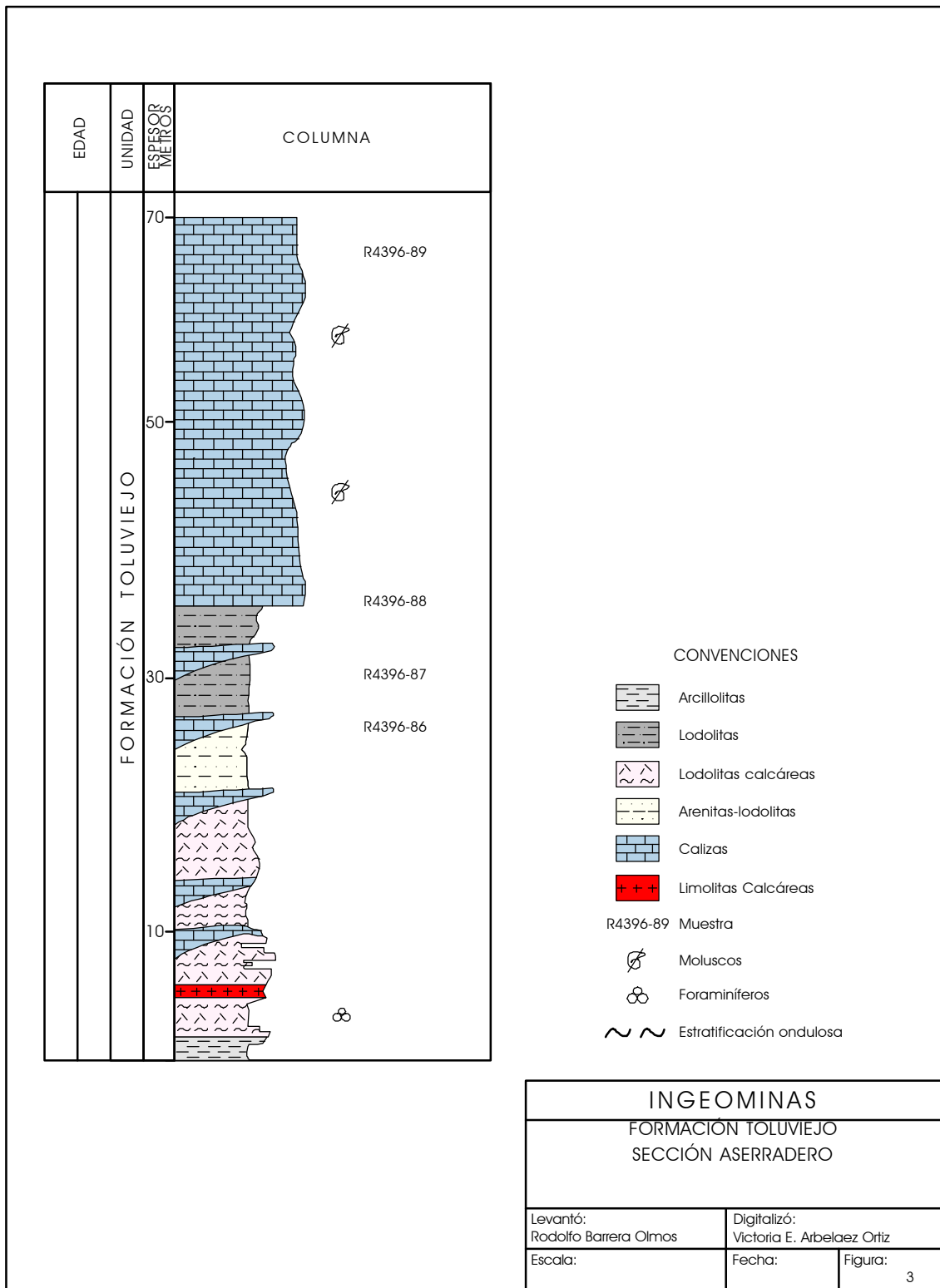


Figura 3. Formación Toluvejo Sección Aserradero.

Espesor. Dueñas & Duque-Caro (1981) estiman un espesor de 400 metros en la sección Planeta Rica - Montería.

Límites. Se encuentra en discontinuidad estratigráfica (paraconformidad) con la infrayacente Formación Toluviejo; el límite con la unidad suprayacente Formación El Cerrito no se observa en el área. Dueñas & Duque-Caro (1981) indican que en la vía Planeta Rica - Montería el contacto entre estas unidades es inconforme.

Ambiente de depósito. Clavijo & Barrera (2001) señalan que las características tanto litológicas como texturales de esta unidad muestran una sedimentación en una cuenca interna de margen, restringida, relativamente anóxica, con aporte de sedimentos terrígenos tamaño limo, lodo y precipitación de carbonatos, lo cual indica un área bordeada por zonas de pendientes no muy desarrolladas, sedimentación continua, con invasión ocasional de organismos perturbadores del sustrato; indican, además, con base en la microfauna encontrada al norte del área de estudio (Plancha 44 Sincelejo), *Bulimina corrugada*, *Gyroidina multicosata*, *Cibicides floridanus*, *Siphogenerina multicosata*, *Melonis pompilioides* y *Gyroidina soldani*, un ambiente batial medio superior a batial medio inferior (500 m a 2.000 m de profundidad). Dueñas & Duque-Caro (1981), con base en la presencia de foraminíferos planctónicos, indican condiciones marinas entre 200 y 600 metros de profundidad.

Edad. Dueñas & Duque-Caro (1981) se refieren a esta unidad como Formación Porquero y con base en la microfauna encontrada en el Departamento de Córdoba (Cuadrángulo F8) le asignan una edad del Mioceno inferior.

Correlaciones. Esta unidad se correlaciona con la Formación Porquero del área de Planeta Rica, Córdoba (Dueñas & Duque-Caro, 1981), con la Formación Las Perdices en el Departamento del

Atlántico. Londoño & González (1997) la correlacionan con las formaciones Uva y Napipí de la región de Urabá y con la Formación Floresanto en el Anticlinorio de Abibe - Las Palomas.

3.2 CINTURÓN DEL SINÚ

El Cinturón del Sinú corresponde a la más occidental de las grandes regiones geotectónicas en que fue subdividido el Departamento de Córdoba (Londoño & González, 1997). Este cinturón plegado parece haber sido emplazado a lo largo del margen oeste del Cinturón de San Jacinto y su probable edad es neógena. Únicamente su porción sur aflora costa adentro y sus dos terceras partes hacen parte de la actual plataforma costera (GEOTEC, 1997).

Este cinturón ocupa una extensa franja que se extiende prácticamente por todo el occidente del Departamento de Córdoba de norte a sur; su amplitud es variable y alcanza hasta casi 40 km. Está limitado al oriente por el Lineamiento del Sinú, que lo separa del Cinturón de San Jacinto, y al occidente por la cuenca de Urabá.

Litológicamente está constituido por rocas que van desde el Eoceno inferior, hasta los sedimentos aluviales y marinos recientes; en su mayor parte consiste de una secuencia turbidítica de sedimentos muy finos que alcanza hasta 5.000 metros de espesor y que han sido denominadas por Londoño & González (1997) como formaciones Maralú, Floresanto, Pajuil y Corpa, suprayacidas por carbonatos de facies poco profundas hasta de 1.000 metros de espesor.

GEOTEC (1997) presenta una cartografía y una nomenclatura informal en la que diferencia 15 unidades litológicas que difieren ampliamente de la utilizada por Londoño & González (1997). Considerando que el trabajo de GEOTEC (1997) al parecer no estaba disponible en la compila-

ción hecha por Londoño & González (1997) y que está fundamentado en información de campo, petrografía y bioestratigrafía que complementa lo compilado por Londoño & González (1997), se ha considerado conveniente presentar en este informe una nomenclatura que agrupe la información de GEOTEC para ajustarla en lo posible a lo planteado por Londoño & González (1997).

3.2.1 Brecha de Cispatá (Ngbc)

Localidad tipo y afloramientos. Se propone este nombre informal para agrupar una serie de rocas cuya disposición estructural es caótica, las cuales se presentan en la vía Lorica - La Doctrina y, principalmente, las rocas que conforman la cuchilla de Cispatá al occidente de San Antero.

Descripción litológica. En términos generales se trata de una brecha tectónica compuesta de clastos angulares, de liditas, chert, conglomerados, asociados a arenitas amarillas rojizas por oxidación, muy alteradas, y arcillolitas muy cizalladas. En el kilómetro 5,8 de la vía Lorica - La Doctrina, en la parte sur de la cuchilla de Cispatá, afloran en forma caótica arenitas de grano medio a fino, ocasionalmente grueso de color pardo oscuro, oxidadas, con abundante materia orgánica, y arcillolitas color verde oliva claro con lustre tectónico y liditas grises claras muy fracturadas.

Espesor. Se estima que esta unidad puede alcanzar un espesor cercano a los 200 - 300 m, en la cuchilla de Cispatá.

Límites. Con base en su posición y relación estructural, sus contactos son fallados.

Ambiente de depósito. La mezcla caótica de rocas de diferente origen y ambiente en la sección Lorica - La Doctrina sugiere que corres-

ponden a rocas generadas o emplazadas por una fuerte actividad tectónica.

Edad. Los datos para postular una edad para esta unidad son insuficientes, no obstante, la abundancia de clastos angulares de liditas de características litológicas muy similares a las encontradas en la Formación San Cayetano, permite suponer una edad post-eocena media.

Correlaciones. En la literatura geológica no existe una unidad equivalente a esta unidad. GEOTEC (1997) no indica ningún nombre para esta unidad y la interpretan como una estructura de origen dómico.

3.2.2 Formación Floresanto (Ngmf)

Autor. La primera referencia de este nombre aparece en Oppenheim (1957), y es ampliamente aceptado en la literatura geológica del área del Sinú; tanto Londoño & González (1997) como GEOTEC (1997) lo utilizan.

Localidad tipo y afloramientos. Al parecer, el área tipo se halla en la quebrada Córdoba, cerca al campo Floresanto, y en la quebrada Jaraquay, donde se observan buenos y continuos afloramientos (GEOTEC, 1997). En el área de estudio esta unidad se presenta al occidente de San Antero y Nuevo Agrado, al oriente de la cuchilla de Cispatá, y conforma una suave morfología con afloramientos muy escasos. GEOTEC (1997) denomina como unidad Campano las rocas aflorantes al oriente de la cuchilla de Cispatá al sur del área, cartografiadas en esta área de manera aislada, sin embargo, la prolongación sur de estas rocas aparece en GEOTEC (1997) como Formación Floresanto y correlacionan la unidad Campano con la Formación Floresanto. Con base en lo anterior, y considerando que las rocas presentes al oriente de la cuchilla de Cispatá presentan litologías si-

milares a las descritas por GEOTEC (1997) para las dos unidades anteriores, y ante la no disponibilidad de los análisis bioestratigráficos de las muestras recolectadas en el área de estudio, se ha considerado conveniente denominar como Formación Floresanto las rocas presentes en el área, por ser un nombre de mayor reconocimiento.

Descripción litológica. Hacia la parte inferior, la unidad consta de arenitas de grano medio, granodecrecientes tanto en tamaño de grano como en el espesor de las capas, ligeramente calcáreas de tonos rojizos y colores pardos o amarillos en muestra alterada, y gris amarillento o anaranjado rojizo. La parte superior está compuesta por capas delgadas a muy gruesas de lutitas intercaladas con limolitas calcáreas y arenitas líticas.

Espesor. Haffer (1967, en Londoño & González, 1997) estima un espesor de 2.600 metros; según GEOTEC (1997), el espesor aproximado es de 2.000 metros.

Límites. El contacto inferior no fue observado, no obstante, con base en información litológica de pozos petroleros, GEOTEC (1997) plantea que es conforme. Para el contacto superior sugieren una inconformidad con las unidades suprayacentes.

Ambiente de depósito. Según GEOTEC (1997), la unidad refleja un ambiente marino con profundidades batiales superiores a neríticas.

Edad. Haffer (1967, en Londoño & González, 1997) le asigna una edad del Mioceno temprano a medio. GEOTEC (1997) considera que su edad es del Mioceno Medio - Mioceno Superior.

Correlaciones. Londoño & González (1997) la correlacionan con la Formación Uva de la cuenca del Chocó y la Formación Napipí de la cuen-

ca de Urabá; para dichos autores sería el equivalente litológico de la parte más alta de la Formación Ciénaga de Oro y la Formación Carmen del Anticlinorio de San Jerónimo.

3.2.3 Unidad Moñitos (Ngmn)

Autor: GEOTEC (1997).

Localidad tipo y afloramientos. GEOTEC (1997) subdivide esta unidad en tres subunidades o conjuntos denominadas Tragedia/Perpetuo Socorro, Arroyo El Llorón y Lutita de Membrillal, aflorantes fuera del área de estudio, donde levantaron secciones estratigráficas que se pueden considerar como representativas de estos conjuntos.

En el área de la Plancha 43 - 43Bis, los mejores afloramientos se hallan en el caserío de Pajonal, al suroccidente de San Bernardo del Viento, en las colinas alrededor del sitio denominado la Ye, en el kilómetro 6,7-7,0 de la vía que comunica a San Bernardo del Viento con la localidad de Moñito (fuera del área de estudio, y los alrededores del caserío de Santa Rosa del Castillo y al oeste de este caserío. Estos afloramientos parecen corresponder al conjunto o subunidad b, de GEOTEC (1997), el cual aflora muy bien en el arroyo El Llorón (Plancha 50 Puerto Escondido).

Descripción litológica. En las colinas alrededor de la Y del Castillo, en el kilómetro 7 de la vía San Bernardo del Viento - Moñitos, esta unidad consta de arenitas pardo amarillentas, conglomeráticas con guijos de cuarzo lechoso, chert negro, cuarcitas y fragmentos de origen volcánico, y algunos niveles de arcillolitas. Presenta, además, concreciones de arenitas pardo oscuras con cemento calcáreo con diámetros cercanos al metro, algunas con niveles de conglomerados de composición similar a los descritos anteriormente.

Sección Santa Rosa del Castillo – Sector nororiental. En esta sección se identificaron de manera no continua una serie de afloramientos que hacen parte del flanco oriental del Anticlinal del Castillo.

Aunque la sección es parcial y no continúa, hacia el núcleo de la estructura anticlinal, en un cerro al sur de la represa La Cienaguita, afloran conglomerados polimícticos, con guijos entre 1 y 2 centímetros, compactos, con cemento calcáreo; asociados a estos conglomerados se presentan algunas concreciones de margas fosilíferas. A unos 150 metros al sur de este cerro se halla como una especie de manantial donde, además de agua, se dan emanaciones de gas con intenso olor a petróleo.

En un cerro al oriente de la represa La Cienaguita, y estratigráficamente encima de los conglomerados anteriormente descritos, afloran 18 metros de una secuencia en la que en los 10 metros más inferiores predominan lodolitas arenosas interpuestas con arenitas en capas delgadas; hacia la parte superior de éstos se presentan arcillolitas cizalladas de color gris verde oliva (brecha ?) intercaladas con algunas capas de conglomerados de guijos. Hacia la parte media afloran 3,5 metros de arenitas conglomeráticas de grano grueso y conglomerados de guijos y lodolitas grises en actitud algo caótica, donde son frecuentes contactos erosivos muy marcados hacia la base de las capas de conglomerados. La parte más superior de este segmento consta de 4,5 metros de arenitas conglomeráticas en capas muy gruesas intercaladas con capas de arcillolitas grises (R4396-52).

Encima de las anteriores, y después de un intervalo cubierto de 200 metros de longitud, aflora un paquete de unos 10 metros de espesor, que hacia la base presenta 1,5 metros de limolitas y arenitas en capas delgadas onduladas paralelas; luego, un metro de arenitas de grano

grueso ligeramente conglomeráticas, calcáreas compactas. Encima se hallan arenitas granodecrescentes de grano grueso a conglomerático hacia la base, y fino a limoso hacia el techo, de color pardo amarillento, en capas delgadas planoparalelas a ligeramente onduladas. Hacia el tope de este paquete se presentan arenitas de grano medio a grueso, color pardo amarillento oscuro compuestas principalmente por cuarzo y abundantes líticos (arenitas subarcósicas líticas), que embeben concreciones de arenitas más compactas.

Después de un intervalo cubierto de 200 metros, y sobre las rocas anteriores, aflora un paquete de aproximadamente 50 metros de espesor de limolitas y arcillolitas gris oliva claro moteadas de pardo rojizo por oxidación (R4396-50), estratificadas en capas delgadas interpuestas con capas muy delgadas de arenitas y limolitas calcáreas muy compactas de color pardo amarillento (10 YR).

Finalmente, después de un intervalo cubierto de 200 metros, y hacia el techo de la sección, se observan arenitas de grano fino, de color pardo oliva claro (5Y 5/6), en capas medianas a gruesas, compuestas esencialmente por cuarzo, feldespatos y abundantes líticos.

Sección Pajonal – José Manuel de Altamira

Esta sección se levantó entre estas dos localidades, frente al cementerio de Pajonal; corresponde al flanco occidental de una estructura sinclinal simétrica denominada en el mapa geológico como Sinclinal de José Manuel (Figura 4).

El afloramiento expuesto tiene tan solo un espesor de 24 metros, que hacia la base consta de 1,7 metros de conglomerados granodecrescentes, desde guijos a gránulos matriz soportados

en arenitas calcáreas. Encima se presentan 5 metros de arenitas de grano medio, calcáreas, gris verdosas, en capas medianas de hasta 50 centímetros, intercaladas con niveles de conglomerados que lateralmente gradan a arenitas.

Suprayacen luego 6,2 metros de arenitas color anaranjado amarillento oscuro y conglomerados de guijos y guijarros de limolitas de hasta 10 centímetros de diámetro; en los cuatro metros más superiores de este paquete se hallan clastos elongados intraformacionales de arcillolitas gris oliva de más de un metro de diámetro (R4396-60)

Encima de lo anterior se presentan cuatro metros de conglomerados de guijos compuestos por chert, cuarzo, fragmentos de limolitas, micritas y rocas volcánicas, y bioclastos de bivalvos; el diámetro promedio de los guijos varía entre 1 y 2 cm. Estos niveles de conglomerados se intercalan en contacto muy irregular con arenitas de grano medio.

A este paquete le suprayacen 7,2 metros de una secuencia donde se intercalan arenitas de grano medio, color anaranjado amarillento oscuro, en ocasiones ligeramente conglomeráticas intercaladas con conglomerados matriz soportados de guijos polimícticos en una matriz de areniscas calcáreas muy compactas.

En el flanco oriental de la estructura Sinclinal de José Manuel se observó, infrayacente a los conglomerados y a las areniscas, unas areniscas asociadas a una gran abundancia de restos de moluscos compuestos principalmente por bivalvos y gasterópodos.

Espesor. GEOTEC (1997) indica que para la subunidad del arroyo El Llorón desconocen siquiera un espesor aproximado. Se estima un espesor de 700 m para la secuencia de lutitas con intercalaciones de arenitas aflorante en la

quebrada Trinidad cerca al pueblo de Tragedia (subunidad 8 a), y al sur del área, en la sección aflorante en el río Broqueles, se midió más de 800 m de una secuencia predominantemente lutítica (Lutitas de Membrillal), que hacen parte de esta unidad. En ese sentido, el espesor total de la unidad, incluidas las tres subunidades diferenciadas por GEOTEC (1997), puede alcanzar 2.000 m. En la plancha se desconoce el espesor real de esta unidad, pero se estima superior a 500 metros.

Límites. Los contactos inferior y superior de esta unidad son inconformes (GEOTEC, 1997).

Ambiente de depósito. Las características sedimentológicas de las rocas descritas sugieren un medio marino con influencia de corrientes turbidíticas en facies de canal de conos submarinos. GEOTEC (1997) sugiere que la parte inferior de la Unidad Moñitos (subunidad 8 a) corresponde a un depósito marino en un medio de baja energía, en aguas relativamente tranquilas, más allá de la costa donde desembocan algunos distributarios, que hacia la parte superior se vio afectada por incrementos de energía que dieron lugar a fenómenos de turbidez en la parte proximal de conos submarinos y que generaron el depósito de la subunidad 8b.

Edad. Con base en foraminíferos, GEOTEC (1997) postula una edad del Mioceno Medio al Mioceno Superior.

Correlaciones. La Unidad Moñitos parece que podría correlacionarse con la secuencia de Pajuil (GEOTEC, 1997).

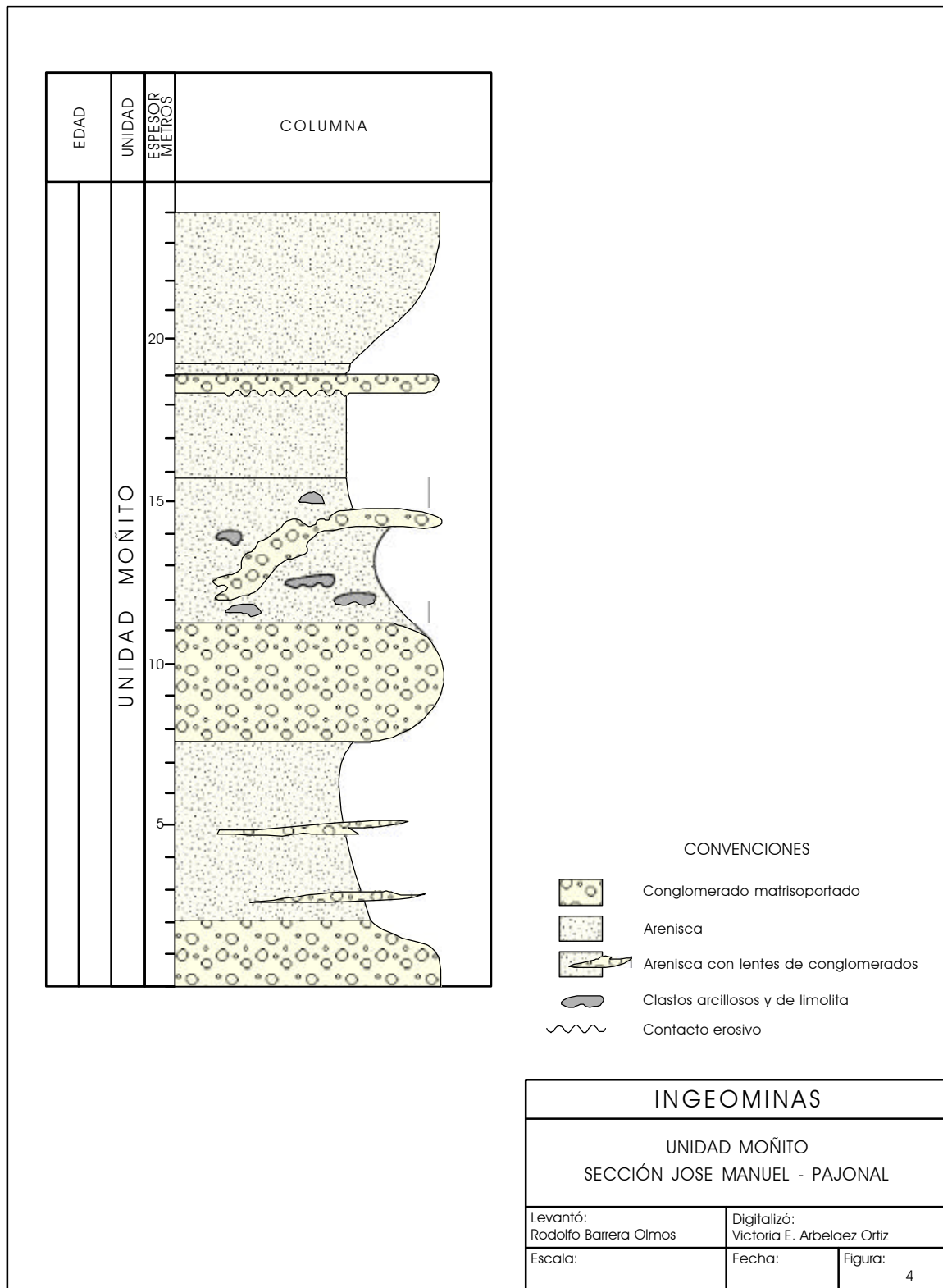


Figura 4. Unidad Moñito Sección José Manuel - Pajonal.

3.2.4 Unidad Broqueles (Ngpb)

Localidad tipo y afloramientos. GEOTEC (1997) subdivide la Unidad Broqueles en un Miembro Limolítico y un Miembro Lutítico superior (subunidades 11 a y 11 b). En aquellas áreas donde no se pueden diferenciar estos miembros, utiliza el nombre de Miembro Limolítico - Lutítico Indiferenciado (subunidad 11c). Las rocas denominadas como Unidad Broqueles en el área de la Plancha 43 - 43Bis, parecen corresponder al Miembro Limolítico - Lutítico Indiferenciado.

GEOTEC (1997) propone como secciones tipo para toda la Unidad Broqueles, las expuestas fuera del área de estudio, en la quebrada Membrillal y el río Broqueles. No se refiere ninguna localidad tipo para la subunidad del Miembro Limolítico - Lutítico Indiferenciado. Sólo se menciona la presencia de algunos afloramientos en el trayecto cuchilla de Matavaca – El Limón y de Bajo Blanco hacia el sur.

En el área de estudio esta unidad aflora escasamente, sólo en los alrededores de punta Rada y punta Piedra se pueden observar afloramientos de esta unidad.

Descripción litológica. GEOTEC (1997) diferencia una parte inferior donde predominan limolitas de color gris azulado medio a gris pardo en muestra fresca, variando a gris crema o pardo claro en muestra meteorizada. Aspecto macizo o de bloques, en capas medianas a muy gruesas; ocasionalmente gradan a areniscas muy finas limosas; contiene fauna de pelecípodos y gasterópodos. Una parte superior está constituida por lodolitas que gradan parcialmente a arcillolitas de color gris azulado en muestra fresca y de color gris claro a pardo claro en muestra meteorizada; presenta hacia el tope un nivel de arenitas a calizas terrígenas con abundantes gasterópodos (*Turritella* sp.), y en menor proporción pelecípodos, intercaladas con arenitas friables de grano fino, que se dis-

tinguen morfológicamente por presentar un relieve abrupto.

Los afloramientos de esta unidad presentes en punta Piedra, al occidente de San Bernardo del Viento, corresponden a calizas bioesparíticas arrecifales con abundantes bioclastos de corales y gasterópodos, en bancos de 2 ó 3 metros de espesor y arcillolitas gris verde oliva con abundante microfauna (R4396-68).

Sección Punta Rada

En esta sección se midieron 59 metros, que corresponden sólo a una pequeña parte de la Unidad Broqueles, expuesta en una serie de acantilados presentes en la localidad de punta Rada, en el extremo más suroccidental del área de estudio (Figura 5).

La sección expuesta presenta una actitud estructural muy diferente a la observada en las demás rocas expuestas en el área; en efecto, los estratos en punta Rada presentan un rumbo aproximadamente este oeste, y buzan casi 90 grados hacia el sur.

Esta actitud estructural probablemente se deba a la influencia de una serie de fallas transversales de rumbo NW-W que afectan gran parte del Cinturón del Sinú y que son muy frecuentes al sur del área de estudio, fuera de ésta (GEOTEC, 1997). Parece ser que la litología predominantemente fina de esta unidad enmascara la presencia de estas fallas en el área de estudio.

La sección se inicia hacia la base con 2,6 metros de arenitas de grano medio a grueso, color anaranjado grisáceo, con una intercalación de 0,4 metros de arcillolitas con niveles delgados de óxidos de hierro. Encima se presentan 6 metros de arcillolitas en capas delgadas onduladas paralelas en las que se intercalan niveles con alto contenido en óxidos de hierro de color amarillo ocre.

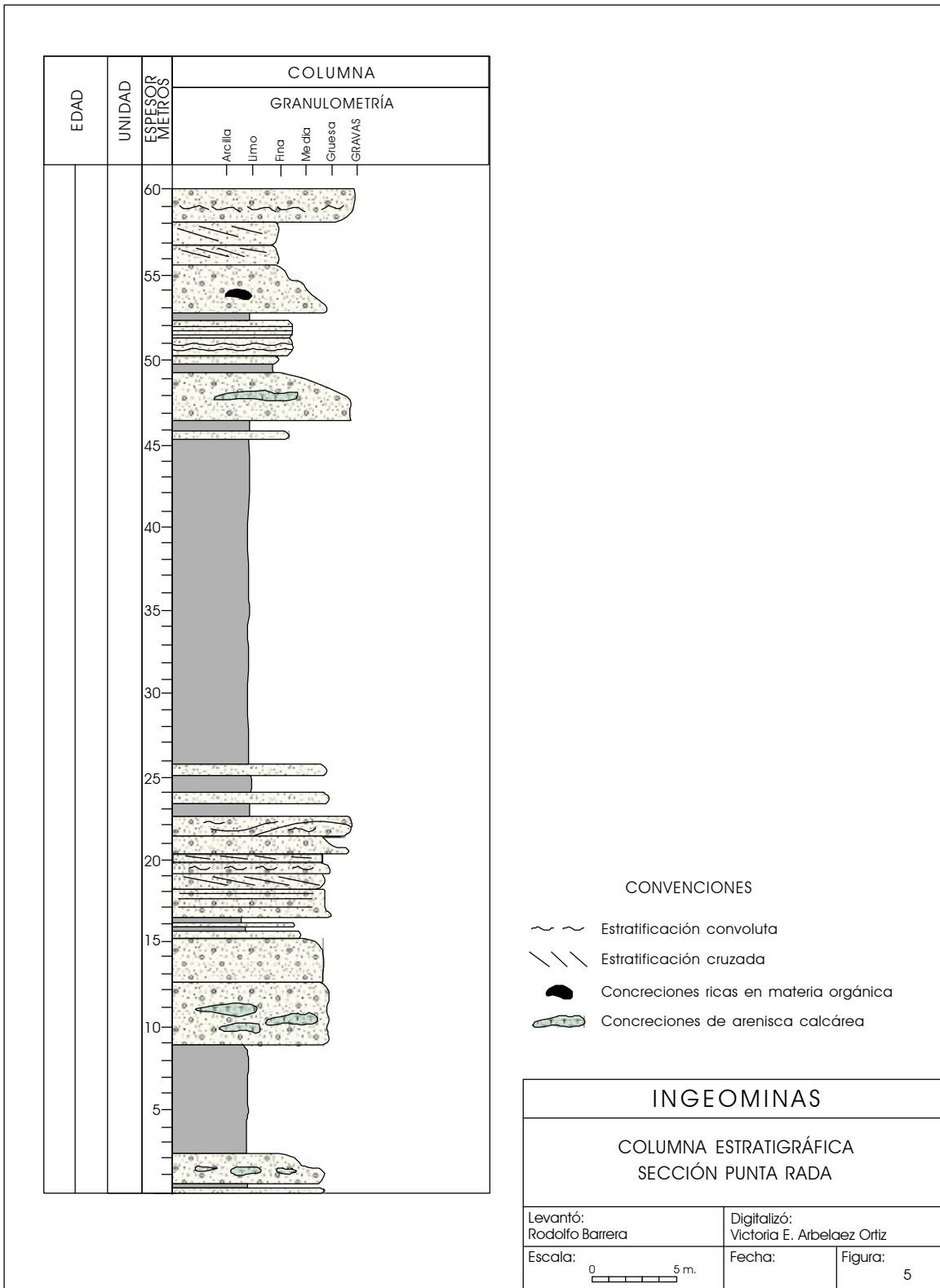


Figura 5. Columna estratigráfica Sección Punta Rada.

Posteriormente se presenta un segmento de 7 metros de espesor, que hacia la base presenta 4 metros de arenitas en capas muy gruesas masivas que embeben concreciones de arenitas calcáreas, suprayacidos por tres metros de arenitas de grano medio, con niveles en forma cóncava de conglomerados compuestos por cuarzo, chert y fragmentos de rocas volcánicas (andesitas?). Estas arenitas, en el sentido del rumbo, presentan cambios faciales hacia arenitas conglomeráticas y niveles de conglomerados en forma de bolsas que alcanzan diámetros hasta de 1,3 metros. Encima del segmento anterior se presentan 1,2 metros de limolitas gris verde oliva y gris claro intercaladas con arenitas en capas delgadas.

Suprayacen 5 metros de arenitas de grano medio a grueso con gránulos (3 mm) y guijos (3 - 4 cm) polimícticos hacia el techo del segmento; las capas son medianas a gruesas con estratificación cruzada y convoluta, algunas capas presentan laminación interna plano paralela, demarcada por láminas más oscuras donde se concentran minerales pesados.

Luego se halla un segmento de seis metros de espesor donde en los tres metros inferiores predominan arenitas de grano fino a medio, estratificadas en capas delgadas (1 - 2 cm), separadas por láminas de grano más fino con abundantes óxidos de hierro. En las arenitas es común observar laminación plano paralela, ondulosa paralela y estratificación cruzada y en artesa. Los tres metros superiores de este segmento están compuestos por arenitas con abundante cuarzo y líticos oliva grisáceo en capas gruesas a medianas con intercalaciones de niveles con abundantes óxidos de hierro; la estratificación es ondulosa paralela. Embebidas dentro de estas arenitas se hallan capas discontinuas de arenitas más compactas.

Encima de las anteriores predomina un segmento de aproximadamente 20 metros de espesor

compuesto por arcillolitas limosas con abundante materia orgánica, color gris verde oliva claro, estratificadas en capas delgadas ondulosas paralelas discontinuas. Estas arcillolitas están suprayacidas por 4,8 metros de un segmento donde se intercalan arcillolitas gris oliva claro en capas delgadas plano paralelas a ondulosas paralelas con niveles de 0,8 metros de espesor, de arenitas de grano grueso color anaranjado grisáceo.

En la parte más superior se presentan arenitas de grano fino a ligeramente medio, en ocasiones conglomeráticas con gránulos y guijos polimícticos. Las arenitas están compuestas principalmente por cuarzo y líticos (litoarenitas), estratificadas en capas gruesas con estratificación cruzada y convoluta, y en sectores se aprecia niveles finamente laminados con abundantes minerales pesados y hacia el techo de este segmento se observan concreciones ricas en materia orgánica.

Espesor. En el área de Broqueles, GEOTEC (1997) reporta un espesor medido de 1.400 m, para la parte inferior y media. Se estima que la parte superior puede alcanzar 1.000 m de espesor. En el área no se puede estimar un espesor debido a que los afloramientos son escasos y aislados.

Límites. Según GEOTEC (1997), el contacto inferior con la Unidad Moñitos es inconforme en el área de Broqueles. El contacto superior es inconforme con depósitos cuaternarios en varios sectores.

Ambiente de depósito. GEOTEC (1997) postula un ambiente marino somero y aireado, con periódicas oscilaciones en la energía del medio. Al parecer, la parte superior se depositó en zonas un poco más alejadas del área fuente, que caracteriza un medio nerítico externo de baja energía.

Edad. GEOTEC (1997) le asigna una edad del Plioceno Inferior - Plioceno Superior.

Correlaciones. Por su posición estratigráfica, esta unidad se puede correlacionar con la Formación Tubará, del Atlántico (GEOTEC, 1997).

3.3 DEPÓSITOS CUATERNARIOS

Corresponden a los depósitos de la cobertera, principalmente de origen marino, fluvial y fluvio marino (deltaicos), que suprayacen inconformemente las rocas más antiguas. Se incluyen con este nombre todas aquellas acumulaciones de sedimentos débilmente consolidados, y con base en las características principalmente litológicas y geomorfológicas, se han diferenciado varios tipos de estos depósitos.

3.3.1 Depósitos marinos aterrizados (Q_{tm})

En el área de la Plancha 43 - 43Bis se observaron remanentes de antiguas terrazas marinas. Los depósitos de mayor desarrollo se hallan al occidente de la cuchilla de Cispatá, en la zona litoral entre Coveñas y punta Bello y al occidente del área entre punta Rada y punta Manzanillo. Al occidente de la cuchilla de Cispatá se observaron remanentes de antiguos arrecifes franjeantes de coral de hasta dos metros de diámetro donde predominan restos de corales scleractinia (*Diploria strigosa* y *Montastrea anularis*, J. de Porta, comunicación verbal) bien preservados dentro de arenas limosas.

En el sector de la línea de costa entre Coveñas y punta Bello, las terrazas varían en altura desde 0,5 a 3 m, y están compuestas por abundantes restos de corales y bioclastos de bivalvos y gasterópodos, y corales scleractinia de hasta un metro de diámetro.

En punta Rada, estos depósitos tienen un espesor variable de hasta un metro y constan de arenas limosas con restos de corales.

Aguirre (1994) reporta una datación isotópica de 2.460 años para los corales encontrados al occidente de la cuchilla de Cispatá. Sin embargo, recientes dataciones en proceso, de muestras de coral recolectadas en desarrollo de este trabajo, indican que estas terrazas podrían ser más antiguas, de alrededor de 4.000 años (De Porta, comunicación verbal).

3.3.2 Depósitos de llanura marino aluvial (Q_{ma})

Los depósitos de llanura marino aluvial constituyen la llanura costera del golfo de Morrosquillo, al oriente del área; conforman una zona de extensas planicies ligeramente onduladas, producto en parte de la acumulación de sedimentos transportados por los arroyos que drenan sus aguas del flanco occidental de los Montes de María, interdigitados con depósitos marinos producto de las variaciones de la línea de costa en el tiempo.

Con base en información geofísica, su espesor puede variar entre 10 y 100 metros, y los mayores espesores son los asociados a paleocauces. El paleocauce del antiguo arroyo Pechelín, al suroriente de Tolú, alcanza un espesor de 60 metros, y en el localizado en los alrededores de Puerto Viejo, que drena hacia el sur del golfo en la Ciénaga de La Caimanera, el espesor de los sedimentos es de 100 metros (INSFOPAL-TNO, 1981).

3.3.3 Depósitos aluviales (Q_{al})

Los depósitos aluviales constituyen acumulaciones de sedimentos y fragmentos de roca que

conforman los actuales cauces, aluviones y llanuras de inundación del río Sinú y los tributarios de éste, así como los depósitos intermontanos asociados a los principales drenajes del paisaje de colinas del área.

Los de mayor distribución son los asociados al río Sinú, en la parte central del área. La ausencia de afloramientos en los diques naturales dificulta un poco la caracterización litológica de estos depósitos. Mediante perforaciones realizadas en algunos sectores de estos depósitos, se pudo establecer que constan, en los primeros 1,5 metros superiores, de limos arcillosos pardos moteados de rojizo, arcillas limosas grises y arenas de grano fino a medio arcillo limosas.

Aunque de distribución más restringida que los asociados al río Sinú, se han agrupado en estos depósitos aquellos de origen fluvio coluvial que se presentan en las zonas de colinas; entre éstos se destaca el localizado al sur de Coveñas entre El Porvenir y Aserradero, el cual consta de limos, arcillas y arenas con fragmentos tamaño guijo de cuarzo, chert y clastos de arenitas. Otros depósitos de este tipo localizados al sur y suroriente de San Antero, por su poca extensión, no se han cartografiado en el mapa geológico.

3.3.4 Depósitos de sustrato de manglar (Qmm)

Los depósitos de sustrato de manglar se presentan en los alrededores de la desembocadura del río Sinú, y bordean gran parte de las ciénagas presentes en la bahía de Cispatá y también en la parte oriental del área, en la ciénaga de La Caimanera. Están constituidos esencialmente por lodos y arenas con abundante materia orgánica, y constituyen sustratos aptos para el desarrollo de manglares.

3.3.5 Depósitos de playas (Qmp)

Los depósitos de playa corresponden a franjas litorales de amplitud variable entre menos de 10 metros hasta 50 metros. Están compuestos por sedimentos tamaño arena, cuya composición es variable dependiendo del origen de los sedimentos, algunas están compuestas por minerales esencialmente terrígenos (líticos, cuarzo, feldespatos y chert) que confieren un tono oscuro a las playas, como las presentes en San Bernardo del Viento. Otras están constituidas por sedimentos bioclásticos, de tono claro, como las presentes en Playa Blanca (bahía de Cispatá), alrededores de punta Piedra, al occidente del área, y algunos sectores entre Tolú y Coveñas.

4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El área de la Plancha 43 – 43Bis San Antero – San Bernardo del Viento hace parte de la región noroccidental colombiana, la cual está localizada en una zona de interacción tectónica entre las placas de Suramérica y Caribe; la convergencia de estas placas durante el Paleógeno y el Neógeno dio lugar a la formación de dos provincias, conocidas ampliamente en la literatura como Cinturón del Sinú, en la parte más occidental costera, y el Cinturón de San Jacinto, en la parte central y oriental del área, limitadas por el lineamiento del Sinú (Duque-Caro, 1980).

Londoño & González (1997) señalan que la estructura básica del área del Departamento de Córdoba corresponde a un prisma de acreción adherido al continente durante el Cenozoico, como resultado de la convergencia de la placa oceánica del Caribe, en su sector suroccidental, y la placa continental de Suramérica, en su borde noroccidental (Duque, 1979; 1980, 1984; Toto & Kellogg, 1992, en Londoño & González (1997).

Las mayores deformaciones tectónicas afectan principalmente rocas de las unidades Brecha de Cispatá, Floresanto, San Cayetano, Toluviejo y Carmen, en la parte centro oriental del área, al oriente de San Antero. Al occidente del área la complejidad estructural es aparentemente menor y se refleja en algunos plegamientos presentes en las unidades del Neógeno. En general, el área de estudio es afectada principalmente por un fallamiento en sentido longitudinal, aproximadamente paralelo a la actitud preferencial de las unidades, es decir, N-S a N10°E y con menor frecuencia por un fallamiento transversal. Las características del fallamiento N-S se interpretan como un sistema de cabalgamientos *thrust system*, con vergencia al occidente.

4.1 CINTURÓN DEL SINÚ

El Cinturón del Sinú fue definido por Duque-Caro (1979,1980), está localizado al occidente del área de estudio, y conforma gran parte del sector occidental del Departamento de Córdoba (Londoño & González, 1997). Al parecer fue emplazado a lo largo del margen occidental del cinturón plegado adyacente (Cinturón de San Jacinto). Según GEOTEC (1997), dos terceras partes de este cinturón hacen parte de la plataforma costera. El área de estudio se halla en la porción más septentrional del sector meridional de este cinturón y corresponde a la mayor parte de su porción aflorante costa adentro.

Según GEOTEC (1997), los rasgos estructurales dominantes en este cinturón (Figura 6) consisten en un sistema conjugado de fallas de rumbo y de cabalgamiento. Las fallas de rumbo tienen una dirección preferencial NW-SE, con sentidos de movimiento alternante de manera sucesiva entre sinistral y dextral, y delimita grandes bloques con desplazamientos laterales en direcciones aparentes NW y SE. Dentro de estos bloques se desarrollan fallas de cabalgamientos, cuyos planos generalmente se inclinan hacia el SE.

Los plegamientos presentes se desarrollan dentro de los grandes bloques y se caracterizan por el desarrollo de amplios sinclinales con flancos que buzan suavemente, aparentemente simétricos, la dirección preferencial de los ejes es N-S y N-NE. Los anticlinales son de corta extensión.

Otra característica estructural de este cinturón son las geofomas radiales, normalmente asociadas a los sinclinales amplios y a las fallas,

las cuales conforman un rasgo estructural característico de este cinturón, que corresponden a numerosos volcanes de lodo y estructuras dómicas que guardan, al parecer, estrecha relación con las fallas. GEOTEC (1997) indica que los lodos saturados de agua y gases aprovechan las zonas de falla para ascender y provocar extensos derrames a lo largo de las mismas fallas o a través de cráteres, generalmente en forma explosiva. Londoño & González (1997) mencionan que las formas cónicas de lodo alcanzan hasta 20 m de altura y emergen aisladas, principalmente a lo largo de las zonas mayores de falla, y siguen el rumbo general del cinturón.

Para GEOTEC (1997), la presencia de fragmentos desorientados de unidades litológicas más antiguas en las estructuras dómicas y su estrecha relación con las fallas de cabalgamiento, origina la presencia de megabrechas caóticas, las cuales podrían ser resultado de transporte tectónico y brechización a lo largo del plano de cabalgamiento.

4.2 CINTURÓN DE SAN JACINTO

El Cinturón Fragmentado de San Jacinto conforma la parte oriental del área de estudio. Según Duque-Caro (1980), corresponde a una franja alargada de 360 km de longitud y 6 km de ancho, limitada al occidente por el Lineamiento de Sinú y al oriente por el Lineamiento de Romeral; se halla fragmentado en tres unidades estructurales denominadas de sur a norte como anticlinorios de San Jerónimo, de San Jacinto y de Luruaco. Específicamente, la porción aflorante en el área corresponde al sector meridional del Anticlinorio de San Jacinto.

En términos generales, se caracteriza por una serie de estructuras apretadas y alargadas, anticlinales y sinclinales, afectados, en general, por un fallamiento longitudinal de cabalga-

miento con dirección N-S y NNE-SSW, con planos inclinados hacia el SE, y un fallamiento transversal al anterior, de dirección NW-SE, que desplaza los contactos entre las unidades litoestratigráficas y las fallas longitudinales. En general, la deformación y la complejidad estructural disminuye progresivamente hacia el oriente, lo que coincide con disminución en la edad de las unidades en el mismo sentido.

En el área, los rasgos estructurales principales que hacen parte de este cinturón son fallamientos longitudinales inversos y plegamientos estrechos (anticlinales) que afectan principalmente a las unidades del Paleógeno (formaciones Cansona y San Cayetano) y en menor intensidad a la Formación Toluviejo.

4.3 RASGOS ESTRUCTURALES

4.3.1 Plegamientos

Los principales plegamientos identificados en la Plancha 43 – 43Bis San Antero – San Bernardo del Viento:

Anticlinal de Sacana. Está localizado al oriente del área de estudio en los alrededores de la localidad de Sacana, en la vía Sabaneta-Coveñas (cuadrícula H11); es un pliegue apenas perceptible en fotografías aéreas, y difícilmente reconocible en campo, que afecta estratos de las formaciones San Cayetano y Toluviejo.

Anticlinal de El Hueso. Se localiza en la parte suroriental del área, en los alrededores de la población de Hueso (cuadrículas H10 y H11), en la vía Sabaneta – Coveñas. Se trata de una pequeña estructura afectada en sus flancos por fallas; en el núcleo afloran las facies de liditas de la Formación San Cayetano.

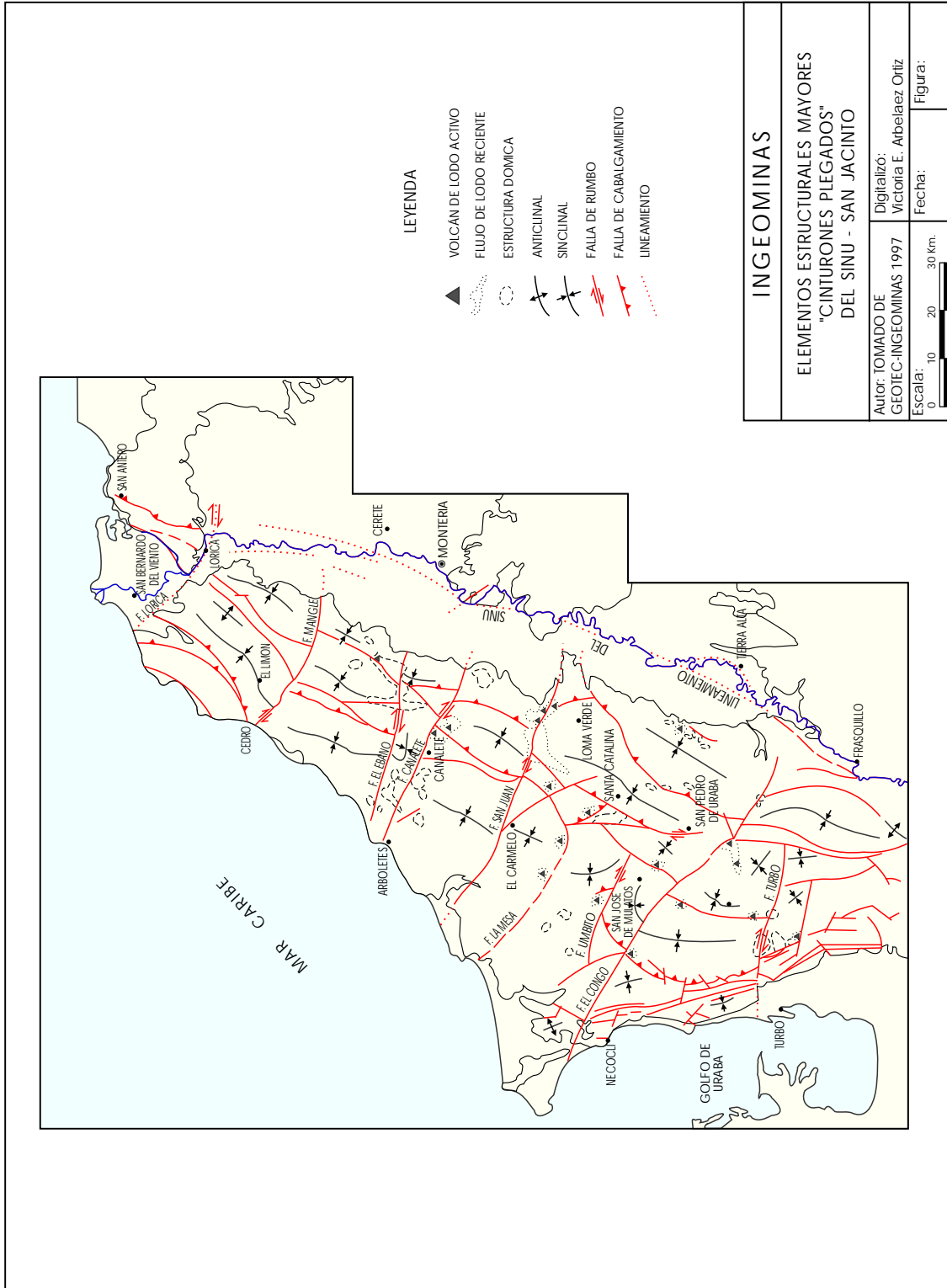


Figura 6. Elementos estructurales mayores "Cinturones Plegados" del Sinú-San Jacinto.

Anticlinal del Níspero. También se localiza en la parte suroriental del área, al suroccidente de la población de Hueso; corresponde a una estructura alargada, fallada en su flanco occidental, ligeramente asimétrica con el flanco oriental más empinado que el occidental; el eje tiene una dirección preferencial N40°E. En su núcleo afloran las arenitas y lodolitas de la Formación San Cayetano.

Sistema Plegado de San Antero - Loma Grande. Este sistema plegado corresponde a tres estructuras, dos anticlinales separados por un sinclinal no referenciados con nombre alguno en el mapa geológico adjunto. Están localizados al suroriente de la localidad de San Antero (cuadrícula 9G) y afectan exclusivamente una secuencia alternante de arenitas y lodolitas de la Formación San Cayetano.

Anticlinal de El Tributo. Localizado en la parte central del área (cuadrícula H8), su eje pasa por la región de El Tributo, al sur de San Antero. Su rumbo general es N40°E, y afecta estratos arenosos de la Formación San Cayetano.

Anticlinal del Castillo. Se localiza al suroccidente del área de estudio, al oriente de Paso Nuevo (cuadrícula H2), con una orientación N15°E, corresponde a una estructura estrecha, en cuyo núcleo afloran conglomerados de la Unidad Moñitos.

Sinclinal de El Socorro. Esta estructura se localiza en la parte centro oriental del área, el trazo de su eje se ha inferido al oriente de sierra Chiquita, en los alrededores de la hacienda El Socorro, en la vía Sabaneta-Coveñas. Es un pliegue asimétrico amplio, con su flanco occidental más empinado, que afecta margas y lodolitas de las formaciones Toluviejo y Carmen.

Sinclinal de Aserradero. Es un pliegue reconocido anteriormente por los trabajos realiza-

dos por INGEOMINAS (Cucalón et al., 1968), que se localiza al suroccidente de la población de Aserradero, en la vía Sabaneta - Coveñas, al suroriente del área. Se presume que se extiende por una longitud de aproximadamente cinco kilómetros con un rumbo aproximado N40°E. Este pliegue afecta rocas de las formaciones Toluviejo y Carmen.

Sinclinal de El Tributo. Esta estructura tiene una tendencia paralela al anticlinal de El Tributo (cuadrícula H8), al sur de San Antero. Afecta estratos de la Formación San Cayetano y su rumbo general es N40°E.

Sinclinal de Leticia. Está situado al suroccidente de San Antero, al oriente de la cuchilla de Cispatá (cuadrículas H7-G7); es una estructura amplia, cuyos flancos están limitados por fallamientos longitudinales que exponen rocas diferentes, su flanco occidental presenta buzamientos entre 26° y 50°, y está afectado por la Falla de Cispatá, mientras que el flanco oriental varía desde buzamientos de 12° hasta 80°; está limitado por la Falla de Nuevo Agrado.

Sinclinal de José Manuel. Esta estructura ha sido previamente identificada fotogeológicamente de manera errónea por Raasveldt (1956) y Londoño & González (1997). Está localizada en los alrededores de las poblaciones de Pajonal y José Manuel de Altamira, en la parte suroccidental del área de estudio (cuadrícula H4); corresponde a la prolongación y cierre de una estructural sinclinal, cartografiada por GEOTEC (1997) al sur del área de estudio en la Plancha 50 Puerto Escondido. Tiene una dirección aproximada N35°E; en los flancos de la estructura afloran arenitas y conglomerados de la Unidad Moñitos; es una estructura simétrica, cuyos flancos buzanan 37°.

Sinclinal del Castillo. Localizada al occidente del anticlinal del mismo nombre, en la parte

suroccidental del área, es una estructura también estrecha con tendencia paralela al Anticlinal del Castillo; de manera similar también afecta estratos de la Unidad Moñitos.

4.3.2 Fallamiento

En razón al objetivo de este trabajo, principalmente litoestratigráfico, a la complejidad estructural del área y a la escala de trabajo, las fallas que aparecen en la Plancha 43 – 43Bis San Antero – San Bernardo del Viento necesitan de un mayor estudio y acopio de información específica, de ahí que la naturaleza de sus movimientos no hayan sido definidos claramente. Por lo tanto, sólo se describirán brevemente basados en los criterios de campo utilizados para su reconocimiento.

Falla de Sabaneta. Aunque no aparece referenciada anteriormente con este nombre, esta falla fue inicialmente cartografiada por Cucalón et al. (1968) en el mapa geológico del cuadrángulo E8. Está localizada en la esquina suroriental del área de trabajo. Se ha interpretado como una falla inversa con un rumbo aproximado N-S e inclinada hacia el oriente, y que se extiende hacia el sur al oriente de la población de Sabaneta. Limita estratos de las formaciones Toluviejo al occidente y San Cayetano al oriente.

Falla de la Sierrita. Está localizada al oriente del área (cuadrícula H11); presenta un rumbo N30°W, y en superficie tiene un buzamiento promedio de 70° hacia el oriente, en algunos sectores paralelos a la estratificación, lo cual hace que se repita parte de la secuencia litoestratigráfica, principalmente de la Formación Toluviejo, con efectos de fracturamiento, microplegamientos y algunas microfallas con desplazamientos asociados a la traza principal. En sí corresponden a una serie de fallas que

afectan principalmente a las calizas de la Formación Toluviejo y las limitan con las rocas de la Formación San Cayetano.

Falla de Hueso. Su trazo está localizado al oriente de la población de Hueso, se extiende desde los límites con la Plancha 51 Lorica y se prolonga hacia el norte; su trazo tiene una dirección preferencial N14°W. Esta falla afecta estratos de la Formación San Cayetano y es la responsable del truncamiento de las rocas de la Formación Toluviejo.

Falla del Níspero. Está localizada en la parte suroriental del área (cuadrícula G10); su trazo tiene una dirección N40°E, y su inclinación hacia el oriente provoca el cabalgamiento de la Formación San Cayetano, sobre la Formación Toluviejo. Algunas evidencias de la presencia de esta falla, en el área, son zonas de intenso brechamiento apreciables en la cantera de liditas al sur del caserío de Hueso.

Falla de Aserradero. Está localizada al occidente de la anterior, tiene un rumbo aproximado N40°E y se infiere que su plano se halla inclinado hacia el oriente, como todas las demás fallas presentes en el área. Esta falla provoca el desplazamiento del contacto entre las formaciones San Cayetano y Toluviejo.

Falla de San Sebastián. Reconocida inicialmente en la Plancha 51 Lorica (GEOTEC, 1997), se extiende a lo largo de la parte central del área (cuadrículas G9 y H9) y afecta estratos de la Formación San Cayetano, que se ven fuertemente fracturados y cizallados, también son frecuentes numerosos planos con estrías de fricción. Se ha interpretado como una falla inversa, inclinada al oriente.

Falla de Nuevo Agrado. Esta falla parece corresponder a uno de los cabalgamientos más importantes del área; es evidente al occidente

de Nuevo Agrado y San Antero, donde se aprecian los marcados cambios de buzamiento y litología de las formaciones Toluviejo y San Cayetano con respecto a la Formación Floresanto, por lo que muy probablemente esta falla es la expresión superficial que marca el límite entre los dos cinturones. Su trazo tiene una dirección variable, en el sur es N5-10°E, y a partir de unos kilómetros al norte de Nuevo Agrado es N28°E, para finalmente tener una dirección variable al occidente y norte de San Antero, desde N50°E a casi N-S.

Falla de Cispatá. Está localizada en la parte central del área y su trazo está enmascarado por depósitos marinos aterrizados al occidente de la cuchilla de Cispatá. Su dirección es variable N40°E hasta cerro Tijó, donde cambia a N14°W, hasta perderse en la zona de manglares de la bahía de Cispatá. Corresponde a una prolongación de una de las fallas del sistema de fallas que afecta la parte meridional de la cuchilla de Cispatá en los alrededores de La Doctrina y que en algunos sectores son responsables del afloramiento caótico de rocas, al parecer de edad cretácica con rocas más jóvenes. Se infiere que la presencia de la Unidad Brecha de Cispatá, que constituye el núcleo de gran parte de la cuchilla, se debe a la presencia de esta falla.

Lineamientos

Específicamente en la Plancha 43 – 43Bis San Antero – San Bernardo del Viento se identificaron lineamientos longitudinales al occidente de Coveñas, con dirección NNE y otro al suroccidente del área, el denominado Lineamiento de Lorica, que coincide aproximadamente con el cambio brusco hacia el NW en la dirección del río Sinú, a partir de Lorica. Según GEOTEC (1997), el cambio en el curso del río se debe a la presencia de la denominada Falla de Lorica, la cual se halla enmascarada por sedimentos alu-

viales y que corresponde en profundidad al Lineamiento de Lorica de este trabajo.

Lineamiento del Sinú. La presencia de este rasgo estructural mayor en el noroccidente colombiano fue propuesta por Duque-Caro (1979, 1980). La exacta delimitación del trazo de este rasgo regional en el área es aún muy incierta. Duque-Caro (1979) indica que este rasgo marca el límite occidental del Cinturón de San Jacinto y lo separa del Cinturón del Sinú, al occidente. Se ha inferido su posición aproximada en el área y coincide con la Falla de Nuevo Agrado.

5. RECURSOS MINERALES

Los recursos minerales de la Plancha 43 – 43Bis San Antero – San Bernardo del Viento son substancialmente minerales no metálicos; su explotación está prácticamente concentrada en la extracción de rocas calcáreas y silíceas para la industria de la construcción. Específicamente, en el área las actividades mineras son básicamente de subsistencia y se concentran principalmente en el sector de Hueso y cerro Petrona.

La minería es informal y es desarrollada casi en su totalidad por trabajadores independientes que trabajan solos o asociados, los cuales se dedican en su gran mayoría a extracción y trituración de rocas calcáreas de la Formación Toluviejo y muy localmente a la extracción de arenas de arroyos y playas.

Las características de los principales recursos minerales son las siguientes:

5.1 CALIZAS

Las calizas son quizás el recurso mineral industrial más importante del área, rocas de este tipo se presentan en la Formación Toluviejo del Eoceno medio, y forman la colina de sierra Chiquita (vía Sabaneta – Coveñas). Representan una fuente muy importante de agregados gruesos para concretos, el producto de la trituración de estas rocas.

5.2 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Los conglomerados presentes en las unidades Moñitos y Broqueles son potencialmente aptos para la extracción de agregados gruesos para concretos, no obstante, su alto grado de com-

pactación y la gran distancia a centros de consumo importantes limitan en gran medida su explotación.

Las arenas son utilizadas como agregados finos para la construcción (fabricación de bloques y baldosas), la extracción es muy informal y de pequeña escala en algunas terrazas marinas en la parte occidental del área en los alrededores del sitio La Ye, en la vía San Bernardo del Viento – Moñitos, y también se extraen muy ocasionalmente de algunos depósitos aluviales asociados a pequeños cauces de arroyos. En el pasado se extrajo arena de las playas entre Tolú y Coveñas, la cual era utilizada para rellenos de lotes en áreas de manglares; esta extracción actualmente está prohibida y aparentemente controlada por parte de CARSUCRE.

5.3 ROCAS SILÍCEAS

Las liditas y chert presentes en la Formación San Cayetano han sido explotados en el área como material de afirmado para vías.

5.4 RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS

La Plancha 43 – 43Bis San Antero – San Bernardo del Viento se caracteriza por tener un régimen hidrológico muy diverso. En la parte central del área abundan las aguas superficiales provenientes del río Sinú, que periódicamente causan problemas de inundación a las comunidades ribereñas, mientras que en la parte oriental y occidental se carece de abundantes aguas superficiales, las cuales normalmente sólo se manifiestan en

forma de arroyos que corren impetuosos únicamente después de los grandes aguaceros. Esta situación le da una importancia decisiva a los recursos hídricos subterráneos.

La zona oriental y occidental del área, donde se presentan relieves de colinas compuestos por rocas sedimentarias tipo arenitas, liditas, margas, calizas y arcillolitas, ofrecen, en general, un potencial hidrogeológico bajo a muy bajo. Estas rocas se pueden considerar como impermeables a semipermeables. En efecto, las arenitas y algunos niveles de conglomerados de la Formación San Cayetano y de las unidades Moñitos y Broqueles, por su litología, compactación y origen, se pueden considerar como formaciones con baja porosidad y permeabilidad primaria; los puntos que captan aguas de estas unidades son prácticamente inexistentes. Con respecto a otras unidades, tan solo se inventarió un aljibe en la comunidad La Europa del caserío El Reposo (Municipio de Tolú), que capta aguas de la Formación Carmen. Las calizas de la Formación Toluviejo y de la Unidad Broqueles presentan, en general, muy alta compactación y probablemente, donde se hallen fracturadas y disueltas, pueden permitir la infiltración de las aguas lluvias que posteriormente pueden emerger a superficie en forma de manantiales. Sin embargo, sólo cuatro manantiales han sido inventariados en el área y todos ellos emanan aguas provenientes de los depósitos aluviales en los alrededores de San Bernardo del Viento.

El mayor potencial hidrogeológico del área lo ofrecen los sedimentos cuaternarios, donde se pueden encontrar acuíferos delgados susceptibles de ser explotados mediante aljibes y pozos con profundidades menores de 100 metros. Dentro de éstos, resaltan los depósitos de la llanura costera del golfo de Morrosquillo, que corresponde a una zona de extensas planicies ligeramente onduladas, compuesta por un re-

lleno aluvial y litoral del cuaternario, de espesor variable, donde están presentes acuíferos no consolidados de moderada permeabilidad, que suprayacen un basamento de rocas sedimentarias paleógenas y neógenas. Los estudios geoelectrónicos realizados por INSFOPAL-TNO (1981) indican que los sedimentos tienen espesores entre 10 y 100 metros, donde se evidencian paleocauces en algunos bajos muy notorios. En estos paleocauces se han perforado varios pozos, tales como los perforados en los alrededores de Tolú, donde se han construido seis pozos, de los cuales más del cincuenta por ciento están en producción, con caudales entre 10 y 15 l/s. El nivel estático varía entre 0,18 y 4,50 metros (INSFOPAL-TNO, 1981).

En los alrededores de Puerto Viejo se perforó un pozo de 100 metros de profundidad (INSFOPAL-TNO, 1981), y se encontró niveles arenosos acuíferos muy favorables entre los 30 y 50 metros, y entre 80 y 100 metros. Este pozo abastece actualmente las poblaciones de Palmito, Varsovia y La Arena, fuera del área de estudio en la Plancha 44 Sincelejo.

INGEOMINAS (1997) inventarió pozos en el Municipio de Tolú, que captan aguas de los acuíferos de la llanura costera aluvial, con profundidades entre 5 y 90 metros, y niveles estáticos entre 1,7 y 22,7 metros y siete aljibes con profundidades entre 2 y 10 metros, y niveles entre 0 y 11 metros. Cinco de estos pozos abastecen actualmente a esta población y suministran un caudal total de 68 litros por segundo, al parecer suficiente para las necesidades actuales de la población, aunque se requiere prácticamente de un bombeo permanente para lograr este abastecimiento total. Lo anterior implica que a corto plazo la población de Tolú debe perforar nuevos pozos.

En los depósitos aluviales del río Sinú, en el Municipio de San Bernardo del Viento,

INGEOMINAS (1997) inventarió cuatro manantiales y nueve aljibes con profundidades menores de 3 metros y niveles estáticos entre 0,1 y 1,3 metros de profundidad.

Recientemente, CARSUCRE (1998) realizó un inventario no georreferenciado de puntos de agua subterránea, en donde no se discriminan pozos y aljibes. Este estudio divide el área litoral entre Tolú y Coveñas en siete sectores y en ellos se inventarió un total de 677 puntos de agua entre pozos y aljibes, de los cuales el 54,36 % se hallan en los sectores de Coveñitas y Coveñas (27,62% y 26,74%, respectivamente); en los sectores de Palo Blanco y La Marta el 38,69% (19,79% y 18,90%), y en donde menos se han realizado perforaciones es en los sectores de Puerto Viejo y Palo Blanco (3,25% y 3,7 %).

La gran mayoría de las perforaciones fueron hechas para el abastecimiento local de cabañas, hoteles y casas de recreo, y en menor proporción para abastecimiento público de las comunidades.

La gran mayoría de puntos tiene profundidades menores de 10 metros (43%), que los hace altamente susceptibles a contaminación debido a que en gran parte de este sector litoral se utilizan pozas sépticas para la disposición de residuos líquidos, muy cerca a los pozos y aljibes. Estas estructuras no son cien por ciento herméticas, principalmente en el fondo, y están sometidas a la acción mareal, lo que implica un riesgo de contaminación de aguas subterráneas por la presencia de coliformes (CARSUCRE, 1998).

De los análisis físico químicos de aguas de algunos de los puntos inventariados se puede concluir que, en términos generales, las aguas presentan valores de salinidad relativamente altos (aguas salobres), lo cual restringe princi-

palmente su uso para labores domésticas como lavado, aseo personal y de viviendas. Los sectores con mayor demanda de agua son los de La Marta, Palo Blanco, Puerto Viejo y Boca de La Ciénaga, que se abastecen principalmente de los pozos más profundos del área. En los sectores de Coveñitas y Coveñas, la captación de aguas subterráneas es, en general, baja y proviene de pozos y aljibes de poca profundidad, con altos valores de salinidad. No obstante lo anterior, para el sector de Coveñas la fuente principal de abastecimiento de agua potable proviene de la represa de Villeros.

Un problema potencial en la explotación de esta agua, particularmente de los sectores de Boca de La Ciénaga y Coveñitas, es que hacia los alrededores de la primera ensenada (occidente de la ciénaga de La Caimanera) se localizan varios pozos profundos que abastecen varios hoteles y condominios de recreación en la época de alta temporada turística; la explotación, al parecer, es bastante significativa, y causa un descenso en los niveles de los pozos más someros que según los moradores de la Boca de La Ciénaga afectan el abastecimiento de esta comunidad. La falta de control en la localización, profundidad y producción de las perforaciones ya está generando problemas de interferencia entre pozos de esta franja litoral. Es necesario prevenir la sobreexplotación de estos acuíferos y la intrusión salina en ellos, lo cual se constituye no sólo en una amenaza para la calidad natural de las aguas subterráneas, sino también para los suelos y, en general, para el desarrollo de la región.

6. AMENAZAS NATURALES

En este capítulo se hace una identificación muy preliminar de las amenazas derivadas de fenómenos geológicos que se pueden presentar en algunas áreas y cabeceras municipales de la Plancha 43 – 43Bis San Antero – San Bernardo del Viento. Se llama la atención sobre la necesidad de adelantar estudios más detallados de zonificación de amenazas geológicas y geotécnicas.

6.1 FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

Dentro de los fenómenos de remoción en masa, los más frecuentes en la Plancha 43 – 43Bis San Antero – San Bernardo del Viento son los deslizamientos, que se deben principalmente a características inherentes a las rocas y sedimentos, a la pendiente del terreno, a procesos naturales, al manejo inadecuado del medio ambiente y a la construcción sin planificación de alguna de viviendas.

Los deslizamientos más importantes se presentan en la carretera principal, en el tramo que une el poblado de Nuevo Agrado con el Corregimiento de Coveñas; al parecer, el alto grado de inclinación de los taludes, la alternancia de litologías competentes e incompetentes y el alto ángulo de buzamiento a favor de la pendiente provocan inestabilidad en los taludes de esta vía y, consecuentemente, en la banca de la carretera.

Otros sectores donde se presentan fenómenos de remoción en masa se presentan en los carretables internos de las canteras de sierra Chiquita y cerro Petrona, donde son frecuentes

las caídas de bloques de calizas y margas debido a que la explotación sin criterios técnicos ocasiona inestabilidad en los taludes.

6.2 INUNDACIONES

Las inundaciones en el área tienen origen fluvial y marino. Las primeras afectan a la población de San Bernardo del Viento y a las comunidades ribereñas del río Sinú, así como asociados a flujos torrenciales de arroyos en los alrededores de Coveñas. Por otra parte, las poblaciones asentadas en la zona litoral se ven afectadas por fenómenos esporádicos de inundación después de mares de leva.

Específicamente la población de San Bernardo del Viento, por su ubicación ribereña, ha venido creciendo hacia áreas donde el río presenta migración lateral como, por ejemplo, zonas de meandros, depresiones pantanosas (*backswamps*) y barras puntuales, según Carvajal (1992, en Marín et al., 1999), la altura de los escarpes varían entre 0,5 y 2,5 m y son comunes los derrumbes del talud por socavación.

Marín et al. (1999) indican que dos procesos asociados al río Sinú amenazan a San Bernardo del Viento: la inundación de la población construida en la llanura de inundación actual y la erosión lateral progresiva del meandro al suroeste. Indican que la construcción de canales, con el objeto de cortar algunos meandros, disminuyó la sinuosidad del río de 2,9 a 1,5 y aumentó la pendiente hidráulica, lo que dio inicio a una erosión lateral intensa, especialmente en la parte cóncava de los meandros situados al sureste de la población (sector de La Playita).

6.3 PROCESOS EROSIVOS

Se han identificado en el área dos tipos de procesos erosivos, el primero de ellos está relacionado con la actividad dinámica del mar y el segundo a procesos denudativos en las zonas montañosas. Los primeros provocan cambios muy evidentes en la morfología costera, no sólo retrocesos, sino también de acrecimiento de las playas. Particularmente en el área de estudio, la franja litoral entre Tolú y la espiga de Mestizos presenta evidencias de estar sometida a erosión litoral intensa, específicamente las puntas Carbonero, Bello, Rebujina, Piedra y Manzanillo, y el sector oriental de la espiga de Mestizos.

En la parte occidental del área, el sector entre punta Rada y Paso Nuevo está siendo fuertemente erosionado.

Varios autores han postulado diversas causas para el rápido retroceso de la línea de costa en el sector oriental del área de estudio; en síntesis se ha propuesto que la avulsión del río Sinú y la posterior formación del delta de Tinajones ha creado un déficit en el aporte de arenas medias y gruesas en el sector oriental del área; fenómenos de subsidencia y el incremento del nivel del mar por fenómenos climáticos globales han contribuido a la progresiva erosión litoral que afecta esta zona. Además de lo anterior, la intervención antrópica en el área, sin procesos de planificación, han incidido en la erosión de las playas; es frecuente la actividad de extracción de arenas de playa para relleno de lotes y como material de construcción.

La erosión de la parte occidental del área de estudio se debe, según Carvajal (1992), a la presencia de bajos arrecifales localizados a una distancia de 600 a 1.000 m al oeste y al norte de la población de Paso Nuevo, los cuales generan refracción del oleaje y concentran su ener-

gía en la población, lo que produce una erosión estimada de 10 a 15 m/año. En punta Manzanillo, isla Ancón y punta Piedra, también se presenta erosión intensa, que ocasiona colapso de los acantilados.

Procesos erosivos relacionados a otros fenómenos, como escorrentía superficial en las zonas montañosas, han provocado la degradación progresiva de suelos hasta hacerlos parcialmente improductivos, particularmente la parte suroriental de San Antero.

6.4 AMENAZAS ASOCIADAS A VOLCANISMO DE LODO

El volcanismo de lodo es una de las manifestaciones del fenómeno denominado diapirismo de lodo, proceso por medio del cual material arcilloso plástico confinado en profundidad es forzado o empujado hacia arriba por la carga de sedimentos suprayacentes de mayor densidad. Este fenómeno es característico del Cinturón del Sinú (Duque-Caro, 1984).

En la Plancha 43 – 43Bis San Antero – San Bernardo del Viento existen varias manifestaciones de este fenómeno, la más conocida de estas manifestaciones son los volcanes de lodo, estructuras que están presentes en varios sectores del área de estudio. El volcán de lodo El Tesoro, localizado 2,3 km al suroccidente de San Antero, es el más conocido del área y está siendo explotado como atractivo turístico.

Las probables amenazas relacionadas a eventuales explosiones de estos volcanes son: expulsión violenta de gases inflamables, lanzamiento de bloques, incendios, flujo de lodos, hundimientos, levantamientos y fracturamiento del terreno en los alrededores de los conos. El empuje progresivo de la masa ascendente de lodos provoca, con el tiempo, deformaciones progre-

sivas del relieve, que pueden eventualmente afectar obras civiles emplazadas en estos sitios. Aunque en el área no se dispone de información histórica de explosiones, ni deformaciones, al norte del área, en los alrededores de Cartagena, algunas obras se han visto afectadas por este fenómeno como, por ejemplo, la vía alterna que comunica la troncal de occidente con la zona industrial de Mamonal, en la ciudad de Cartagena, la cual se vio afectada por

las deformaciones del terreno asociadas a diapirismo de lodo en un tramo de la vía. Y los recientes eventos explosivos de los volcanes de lodo de Loma Arena y Bayunca ocurridos al norte del área, en los alrededores de Galerazamba y Bayunca, que han afectado obras civiles y zonas rurales, reafirman la necesidad de investigar con mayor detalle estos fenómenos.

7. CONCLUSIONES

1. Las unidades roca que afloran en el área corresponden a rocas sedimentarias del Paleógeno, al oriente (Cinturón de San Jacinto), y del Neógeno, en la parte occidental del área (Cinturón del Sinú). Sobre las anteriores se halla una cobertera de sedimentos cuaternarios de origen marino, fluvial y marino aluvial que reposan discordantemente sobre las rocas terciarias.
2. El área de estudio forma parte de la región noroccidental de Colombia, donde la interacción de las placas tectónicas del Caribe y Suramérica ha dado lugar a la formación de dos provincias, conocidas ampliamente en la literatura como Cinturón del Sinú, en la parte más occidental costera, y el Cinturón de San Jacinto, en la parte oriental del área.
3. En general, el área de estudio presenta un fallamiento longitudinal aproximadamente paralelo a la actitud preferencial de las unidades y un fallamiento transversal menos frecuente.
4. En la parte central y occidental del área se presentan estructuras diapíricas de lodo, cuya manifestación son los denominados volcanes de lodo, con formas cóncavas y cónicas.
5. Los principales recursos minerales del área corresponden a calizas y margas de la Formación Toluviejo y rocas silíceas de la Formación San Cayetano. Las arenas y gravas, en general, están restringidas a los depósitos recientes (diques naturales y terrazas).
6. Las actividades mineras son relativamente escasas en el área y están restringidas a la extracción de calizas para triturado de rocas calcáreas para la industria de la construcción y bloques de calizas (rajón) para la construcción de espolones y, en menor proporción, se extraen eventualmente rocas silíceas y margas como material para afirmado de vías (recebo) y arenas como material de agregados finos para la industria de la construcción.
7. La minería del área es de subsistencia y se caracteriza por ausencia de mecanización, bajos niveles de producción e ingresos, labores muy dispendiosas y agotadoras por parte de los mineros y falta absoluta de condiciones mínimas de seguridad industrial y salud ocupacional que representan un riesgo para la salud y vida de los mineros.
8. En la parte central del área abundan las aguas superficiales provenientes del río Sinú, que periódicamente causan problemas de inundación a las comunidades ribereñas, mientras que en la parte oriental y occidental se carece de abundantes aguas superficiales, las cuales normalmente sólo se manifiestan en forma de arroyos que corren impetuosos únicamente después de los grandes aguaceros.
9. Las rocas paleógenas y neógenas del área de estudio, en general, ofrecen muy pocas posibilidades para la acumulación y aprovechamiento de aguas subterráneas.
10. El mayor potencial hidrogeológico del área lo ofrecen los sedimentos cuaternarios, donde se pueden encontrar acuíferos delgados susceptibles de ser explotados mediante aljibes y pozos con profundidades meno-

res de 100 metros. Dentro de éstos se destacan los depósitos de la llanura costera del golfo de Morrosquillo, compuestos por un relleno marino aluvial de espesor variable donde están presentes acuíferos no consolidados de moderada permeabilidad que suprayacen un basamento de rocas paleógenas y neógenas. Los estudios geofísicos realizados evidencian paleocauces en algunos bajos muy notorios. En estos paleocauces se han perforado varios pozos con caudales entre 10 y 15 l/s, que abastecen las necesidades actuales de la población de Tolú e inclusive poblaciones localizadas fuera del área de estudio como Palmito, Varsovia y La Arena, que se abastecen del pozo perforado en Puerto Viejo.

11. El inventario realizado por CARSUCRE (1998) en la franja costera entre Tolú y Coveñas, indica que existen 677 captaciones de aguas subterráneas, las cuales en su gran mayoría tienen profundidades menores de 10 metros y se utilizan para el abastecimiento local de cabañas, hoteles y casas de recreo, y, en menor proporción, para abastecimiento público de las comunidades. En términos generales, las aguas presentan valores de salinidad relativamente altos (aguas salobres), que restringen principalmente su uso para labores domésticas como lavado, aseo personal y de viviendas.
12. En esta zona no existe servicio de alcantarillado; para solucionar este problema, los propietarios de viviendas, cabañas y otros, han adoptado el sistema de pozas sépticas

para la disposición de líquidos residuales; estas estructuras están bajo la influencia mareal y se hallan situadas cerca a las captaciones de aguas subterráneas. Considerando lo anterior, y las profundidades someras de las captaciones, existe la posibilidad de que las aguas subterráneas sean contaminadas por las aguas residuales de las cabañas, viviendas y demás establecimientos de la zona.

13. Otro problema potencial, generado por la falta de control y monitoreo en las perforaciones hechas en la zona, especialmente en los sectores de Boca de La Ciénaga y Coveñitas, es la interferencia hidráulica y concentración de las explotaciones de mayor caudal de explotación y profundidad en los alrededores de la primera ensenada (occidente de la ciénaga de La Caimanera), donde se localizan varios pozos profundos que abastecen varios hoteles y condominios de recreación en la época de alta temporada turística. Al parecer, esta explotación es bastante significativa y causa un descenso apreciable en los niveles de los pozos más someros de los alrededores (comunidad de la Boca de La Ciénaga), lo que afecta el abastecimiento de esta comunidad.
14. Las necesidades de agua potable de Tolú son abastecidas actualmente por cinco pozos que suministran un caudal total de 68 litros por segundo, suficiente para las necesidades actuales de la población, sin embargo, a corto plazo la población de Tolú debe perforar nuevos pozos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE, N. 1994. Morphodynamic analysis of the northern Sinu river basin (An approach to a flood hazard assesment). Tesis Master Sci, Internat. Inst. Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), 131 p. Enschede, The Netherlands.
- ANDERSON, F. M. 1926. Original source of oil in Colombia. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., 45(5):645-665. Tulsa.
- ANDERSON, F. M. 1928. Notes on the lower Tertiary deposits of Colombia and their molluscan and foraminiferal fauna. Ibid, 17(1): 1-29.
- BECK, E. 1921. Geology and oil resources of Colombia, the coastal plain. Econ. Geol., 16:457-473.
- BUTLER, J. W. 1941. Geology of Municipio of San Jacinto and parts of the municipios of San Juan Nepomuceno and El Carmen, Departament of Bolívar. Texas Petrol. Co., Internal Report, PA-18, April, 1942.
- CÁCERES, C. ; DE PORTA, J. 1972. Contribution a la géologie de la Serranía de San Jacinto entre Toluviejo et Chalán Colombie. S.A.C.R.S. Soc. Géol France.
- CARSUCRE. 1998. Ordenamiento del recurso hídrico subterráneo en zonas costeras (Golfo de Morrosquillo–Municipio de Tolú). Sincelejo.
- CARVAJAL, H. 1992. Consideraciones acerca de los problemas erosivos de San Bernardo del Viento, Paso Nuevo, Puerto Escondido y Puerto Rey (Córdoba). Informe de atención de emergencias. INGEOMINAS. Cartagena.
- CIAF. 1985. Estudio básicos de un plan de ocupación del espacio, fotogeología, geomorfología, recurso agua, fisiografía-pedología.
- CLAVIJO, J.; R. BARRERA. 2001. Geología de las planchas 44 y 52, Sincelejo - Sahagún. INGEOMINAS. Bogotá.
- CUCALÓN, I.; KASSEM, T; CÁCERES, C. 1968. Mapa geológico del cuadrángulo E-8 Sincelejo. Serv. Geol. Nal., inéd. Bogotá.
- C.V.S. 1979. Plan maestro de desarrollo integral de la cuenca hidrográfica del río Sinú. Montería.
- CHENEVART, C. H. 1963. Les dorsales transverses anciennes de Colombie et leurs homologues d’Amerique Latine. Eclogae Geol. Helvetiae, 52:2.
- DUQUE-CARO, H. 1967. Informe Bioestratigráfico preliminar de los cuadrángulos D-8 y E-8. Serv. Geol. Nal., Informe 1522. Bogotá.
- DUQUE-CARO, H. 1968. Observaciones generales a la bioestratigrafía y geología regional en los departamentos de Bolívar y Córdoba. UIS, Bol. Geol., 24: 71-87. Bucaramanga.

- DUQUE-CARO, H. 1971. Ciclos tectónicos y sedimentarios en el norte de Colombia y sus relaciones con la Paleogeología. *Ingeominas, Bol. Geol.*, 19(3):1-23. Bogotá.
- DUQUE-CARO, H. 1973. Foraminíferos plancónicos y el terciario de Colombia. *Ingeominas, Informe 1651*. Bogotá.
- DUQUE-CARO, H. 1979. Major structural elements and evolution of northwestern Colombia. En: Watkins, J. S.; Montadert, L.; Dickerson, P. W. (eds.). *Geological and Geophysical Investigations of Continental Margins*. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem., 29:329-351.
- DUQUE-CARO, H. 1980. Geotectónica y evolución de la región noroccidental colombiana. *Ingeominas, Bol. Geol.*, 23(3):4-37.
- DUQUE-CARO, H.; et al. 1983. General geology, geomorphology and neotectonics of northwestern Colombia (southwestern Caribbean borderland). 10 *Carib. Geol. Conf., Field Trip C*, 18 p. Cartagena, Colombia.
- DUQUE-CARO, H. 1984. Estilo estructural, diapirismo y episodios de acrecimiento del terreno Sinú - San Jacinto en el noroccidente de Colombia. *Ingeominas, Bol. Geol.*, 27(2):1-29.
- DUEÑAS, H.; DUQUE-CARO, H. 1981. Geología del cuadrángulo F-8. *Ingeominas, Bol. Geol.*, 24(1):1-35.
- DURHAN, J. 1985. Movement of the Caribbean plate and its importance for biogeography in the Caribbean. *Geology*, 13. California.
- FRANCO, J.; GONZÁLEZ, J. L.; MOLINA, L. 1992. Geomorfología y Aspectos Erosivos del Litoral Caribe Colombiano. Sector: Bahía de Barbacoas - Delta de Tinajones. *Ingeominas*, 20 p. Cartagena.
- GEOTEC. 1997. Cartografía geológica de la Región del Sinú. *INGEOMINAS*. Bogotá.
- HOFFSTETTER, R.; DE PORTA, J. 1974. *Léxico Estratigráfico Internacional, Colombia, Terciario y Cuaternario*. Centre Nat. Recherche Sci., 5(4b). Paris, Francia.
- INSFOPAL-TNO. 1981. Estudio hidrogeológico del flanco nororiental de la serranía de San Jacinto y de la zona litoral del golfo de Morrosquillo. Bogotá.
- INGEOMINAS. 1997. Inventario de puntos de agua subterránea de los departamentos de Sucre y Córdoba. Grupo de Hidrogeología, inéd. Bogotá.
- KASSEM, T. 1964. Geología del cuadrángulo E-8 Sincelejo. *Serv. Geol. Nal., Inf. prelim.*, inéd. Bogotá.
- LONDOÑO, C.; GONZÁLEZ, H. 1997. Mapa geológico del Departamento de Córdoba. *Ingeominas*.
- MARÍN, L.; BARRERA, R.; POSADA, B. 1999. Geomorfología, amenazas naturales y análisis de terreno del Golfo de Morrosquillo entre Tolú y Punta Rada, en «Diagnóstico ambiental del Golfo de Morrosquillo (Tolú-Punta Rada)», informe final curso AGS 6 (RS and GIS for coastal zone studies and management), ITC-Holanda.

- NOTESTEIN, F. 1929. Report on Tertiary section near Carmen, Department of Bolívar, Colombia. Texas Petrol. Co., Internal Geol. Report, 70.
- OPPENHEIM, V. 1957. Petroleum geology of the Sinú, Colombia. 20 Congr. Geol. Internal., Sección III. Geología del Petróleo. México.
- PAGE, W. 1986. Geología, sísmica y sismicidad del noroeste de Colombia. Inf. Woodward-Clyde para ISA. Medellín.
- RAASVELDT, H. C. 1956. Mapa fotogeológico del cuadrángulo geológico. Plancha E7, escala 1:100.000. Inst. Geol. Nal.
- SHELL-CONDOR S. A. 1962. Geological map of Colombia, scale 1:1.000.000.
- TOTO, E. A.;KELLOG, J. N. 1992. Structure of the Sinú-San Jacinto fold belt - An active accretionary prism in northern Colombia. J. S. Am. Earth Sci., 5(2):211-222.
- WERENFELS, A. 1926. A stratigraphical section through the Tertiary Toluviejo, Colombia. Ecl. Geol. Helv., 20(1):79-83. Basel.