

ANALISIS DEPOSICIONAL Y GEOHISTORICO DEL NOROCCIDENTE COLOMBIANO

JORGE MOLINA G.¹

Con colaboración de:

HIMBERTO CACERES C.¹ PRIMITIVO RUGE¹

LUIS E. CASTILLO¹

CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN.	6
ABSTRACT.	6
1. INTRODUCCION.	7
1.1. LOCALIZACION DEL AREA ESTUDIADA.	7
1.2. METODO DE ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS.	7
2. ANALISIS DEPOSICIONAL Y GEOHISTORICO.	9
2.1. DESARROLLO PRE-TERCIARIO.	9
2.2. PALEOCENO.	11
2.3. EOCENO INFERIOR.	11
2.4. EOCENO MEDIO.	14
2.5. EOCENO SUPERIOR.	14
2.6. OLIGOCENO.	17
2.7. MIOCENO INFERIOR.	20
2.8. MIOCENO MEDIO BAJO.	20
2.9. MIOCENO MEDIO ALTO.	23
2.10. MIOCENO SUPERIOR BAJO.	25
2.11. MIOCENO SUPERIOR MEDIO.	25
2.12. MIOCENO SUPERIOR ALTO.	28
2.13. PLIOCENO.	28
2.14. PLEISTOCENO-HOCENO.	31
3. CONCLUSIONES.	31
4. AGRADECIMIENTOS.	32
5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	32

1) Empresa Colombiana de Petróleos ECOPETROL.

RESUMEN

La presente reconstrucción de la historia paleogeográfica y paleobatimétrica del noroccidente de Colombia está basada en la información estratigráfica disponible en los archivos de Ecopetrol, conjuntamente con un análisis biofacial y una biozonación establecida para la región. La historia de subsidencia para cada punto de control ha sido determinada usando tasas de sedimentación corregidas por compactación. Con estos parámetros y usando el computador se han construido diagramas geohistóricos.

Se postula inicialmente una célula de convección que colisionó con el bloque Suramericano produciendo una zona compresiva la cual formó una fosa marina. Esta se llenó de depósitos profundos durante el Cretáceo Superior y hasta el Eoceno Medio.

Durante el Eoceno Superior ocurre un evento orogénico, cuyo resultado fue la formación de las Serranías Costeras, simultáneamente con las cuencas del San Jorge y Magdalena Inferior.

A partir del Oligoceno y durante el Mioceno tiene lugar un continuo diastrófismo. La región estable del Magdalena comienza a sumergirse, y en compensación se inicia el levantamiento de la Serranía de Santa Marta, todo esto acompañado por una transgresión regional hasta el Mioceno Superior bajo. Durante el Mioceno Superior Medio comienza una progradación regional continuando hasta el Plioceno-Pleistoceno.

ABSTRACT

This reconstruction of the paleogeographic and paleobathymetric history of northwestern Colombia is based on stratigraphic data available at Ecopetrol's files, together with a detailed biofacies and biozonation established for the region. For each control point the subsidence history has been determined using sedimentation rates corrected for compaction. With these parameters geohistory diagrams are constructed using the computer.

During early history, a postulated convection cell collides with the South America block producing a compressive zone, which forms a deep marine trough. This was filled with deep marine deposits during Late Cretaceous up to Middle Eocene time.

By late Eocene an orogenic event occurred. It was during this event the Coastal Range began to form, as did also the San Jorge and lower Magdalena basins.

By Oligocene and during Miocene continuous diastrophism took place. The Magdalena stable region underwent mild submergence being compensated with the Santa Marta uplift, accompanied by a regional transgression. By Late Miocene a regional progradation begun, which continued up to Pliocene Pleistocene time.

1. INTRODUCCION

Aunque la región noroccidental de Colombia ha sido una de las más exploradas y estudiadas por parte de diversas compañías petroleras, relativamente muy poco es lo que se ha publicado acerca de su evolución geológica, estratigrafía y estructura regional, no obstante ser ésta una parte neurálgica en el estudio regional del Caribe. Estudios regionales del sector los inicia Duque Caro (1968) haciendo algunas observaciones generales a la geología, sugiriendo y discutiendo algunas edades. Continúa luego sus investigaciones (DUQUE CARO, 1972, 1973, 1975 y 1976), realizando posteriormente un magnífico esamble de todas ellas (DUQUE CARO, 1977). Aparte de éste, algunas otras publicaciones relacionadas con la región incluyen a Durán (1964), Zinmerle (1968), Krause (1971), Irving (1971), Case (1974) y Tschanz et al (1974).

El propósito de este trabajo es describir la historia deposicional y geohistórica del borde más noroccidental de Suramérica y al mismo tiempo trazar las consecuencias sedimentológicas derivadas del cambio gradual en la geometría de las cuencas que allí se encuentran. También se intenta bosquejar algunas conclusiones preliminares en lo relacionado con la rata de sedimentación y las indicaciones tectónicas derivadas de ésta.

Debido a la síntesis requerida, se presenta un estudio bastante resumido, en el cual se ha sacrificado desafortunadamente una gran cantidad de detalles interesantes e importantes, a la vez que se ha requerido de una reducción que ha generalizado muchas medidas precisas; la información que no se logró publicar, como tablas de paleoambientes, ratas de sedimentación, ratas de subsidencia, de compactación y porcentaje de litofacies para cada punto de control se encuentra en los archivos de Ecopetrol.

1.1. LOCALIZACION DEL AREA ESTUDIADA

El presente estudio cubre la parte noroccidental de Colombia, limitada al este por la Sierra Nevada de Santa Marta y la Cuenca del Cesar, al sur por las estribaciones septentrionales de las cordilleras Central y Occidental y al norte y occidente por el Mar Caribe, como se observa en la Figura 1.

1.2. METODO DE ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos usados para este estudio han sido tomados de los archivos de la Empresa Colombiana de Petróleos, siendo la base para esta interpretación una revisión y reensamble microbioestratigráfico, en el cual se definen doce biozonas informales que van desde el Maestrichtiano hasta el Plioceno (CACERES y MOLINA, 1978). Se usa una cronología absoluta en mega-años basada en Van Eysinga (1975). Para obtener esta cronología, la edades de los límites de las biozonas encontradas en un pozo se graficaron contra la profundidad para cada punto de control. Se definen hiatos donde se pierden biozonas, cuando el retrabajamiento de fósiles indica su presencia, o cuando la rata de sedimentación es mucho menor de 1m/mega-año, cuando existe fuerte evidencia para ello, por ejemplo la geofísica. Se usaron algunas dataciones radiométricas del basamiento (THERY, ESQUEVIN y MENDEZ, 1977 y STEVENS, 1962).

Con los datos de espesor de cada biozona, en los puntos de control, se calculó la "rata de sedimentación no corregida" en cms/1000 años, tal como la define Van Hinte (1978). Posteriormente, se diseñaron dos programas de computador. El primero (PCMF) es un modelo sedimentario de "decompactación", el cual calcula la porosidad actual tanto de shales como de arenas, a partir del Δt del registro sísmico y calcula la decompactación, comparando la po-

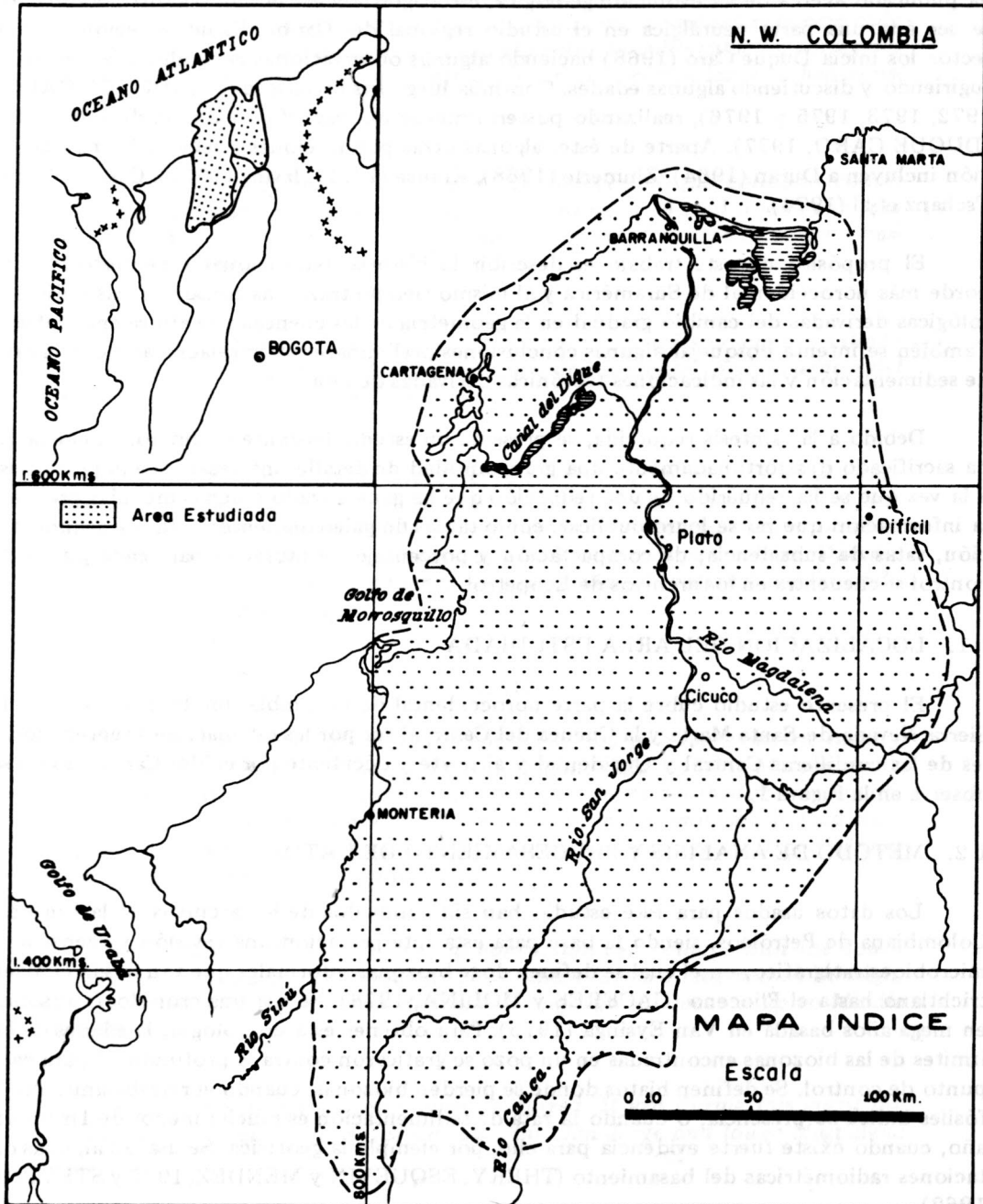


FIG. 1: Localización del área de estudio.

rosidad actual con una porosidad inicial teórica para diversas litologías en un lapso de tiempo determinado. El segundo programa (PAF) usa los datos y análisis litológicos de las biozonas en cada punto de control, para calcular la posición dentro del triángulo de facies (CASTRO y MOLINA, 1978). Con el primer programa se tiene en cuenta la compactación bajo carga, que es en realidad una función compleja del enterramiento, naturaleza del sedimento y edad, obteniéndose una "rata de sedimentación corregida", a la vez que se reconstruyó la historia de subsidencia de cada punto de control utilizando la técnica de Van Hinte (1978).

2. ANALISIS DEPOSICIONAL Y GEOHISTORICO

2.1. DESARROLLO PRE-TERCIARIO

En el extremo más noroccidental de Colombia muy poco es lo que se puede bosquejar del desarrollo Pre-Cretáceo y Cretáceo pues el registro geológico ha sido destruido totalmente. Existe sin embargo, un registro fragmentario del Paleozoico en zonas adyacentes, como en la Serranía de Perijá, donde se han medido cerca de 10.000 m de rocas sedimentarias Pre-cretáceas.

A lo largo de los flancos del Valle del Cesar y hasta la región de la Guajira se encuentran capas rojas juratriásicas. Sedimentos Cretáceos se han encontrado en las serranías de San Jerónimo y San Jacinto, a la vez que en la el Sierra de Santa Marta existen remanentes de las formaciones Cogollo y La Luna, tanto en el flanco norte como en el sur. Sin embargo, en la región que actualmente ocupan las cuencas de los ríos San Jorge y Magdalena Inferior, no se han encontrado sino rocas metamórficas en algunos pozos asociados al basamento continental: Algarrobo - 1, El Cabano - 1 y Los Cayos - 1. Determinaciones radiométricas de corazones de los últimos, indican dos episodios metamórficos, uno en el Cretáceo Medio y el otro en el Paleoceno (THERY et al. 1977); este último tuvo lugar en movimientos tectónicos del límite Cretáceo - Terciario, correspondiendo a la Orogenia Larámica.

Por esta época la Cordillera Central y su prolongación norte, conocida como Tierras Altas del Magdalena (Fig. 2), comienzan a emerger en forma de un gigantesco arco. El Mar Albano o Turoniano probablemente habría cubierto toda o la mayor parte de las Tierras del Magdalena, comenzando a retroceder durante el Maestrichtiano; durante el Paleoceno se presenta un ciclo regresivo ininterrumpido, hasta cuando las Tierras Altas formaron una barrera que separó el ambiente marino hacia el occidente del ambiente paludal y retringido de los actuales Valle del Cesar, Valle Medio del Magdalena y Cuenca de Maracaibo al oriente.

El significado de esta orogenia encaja en el esquema de la deriva continental y el desarrollo posterior del Caribe. Así se ha postulado la existencia de una célula oceánica expansiva de convención durante el Cretáceo en esta región (TOUSSAINT y RFSTREPO, 1976; MARESCH, 1974; CRISTOFFERSON, 1973), la cual colisionó con el bloque continental Suramericano produciendo una zona compresiva a lo largo del margen más septentrional de Suramérica, formando por un lado una fosa marina profunda, la de "Romeral" como la denominada Duque Caro (1977), a la vez que hace emerger la Cordillera Central y las Tierras Altas del Magdalena, produciendo plutonismo y metamorfismo en éstas. Claramente se observan hoy las anteriores relaciones, como se ve en el mapa de distribución de basamento de la Figura 3. Dataciones radiométricas del basamento oceánico, realizadas sobre basalto vesicular, indican edades de 80, 83 y 90 millones de años, es decir Cretáceo Superior (STEVENSON, 1962). De otro lado, las fuerzas compresivas parece que tuvieron un impulso hace 60 millones de años, exactamente la edad del metamorfismo determinado en los pozos El Cábano y Los Cayos.

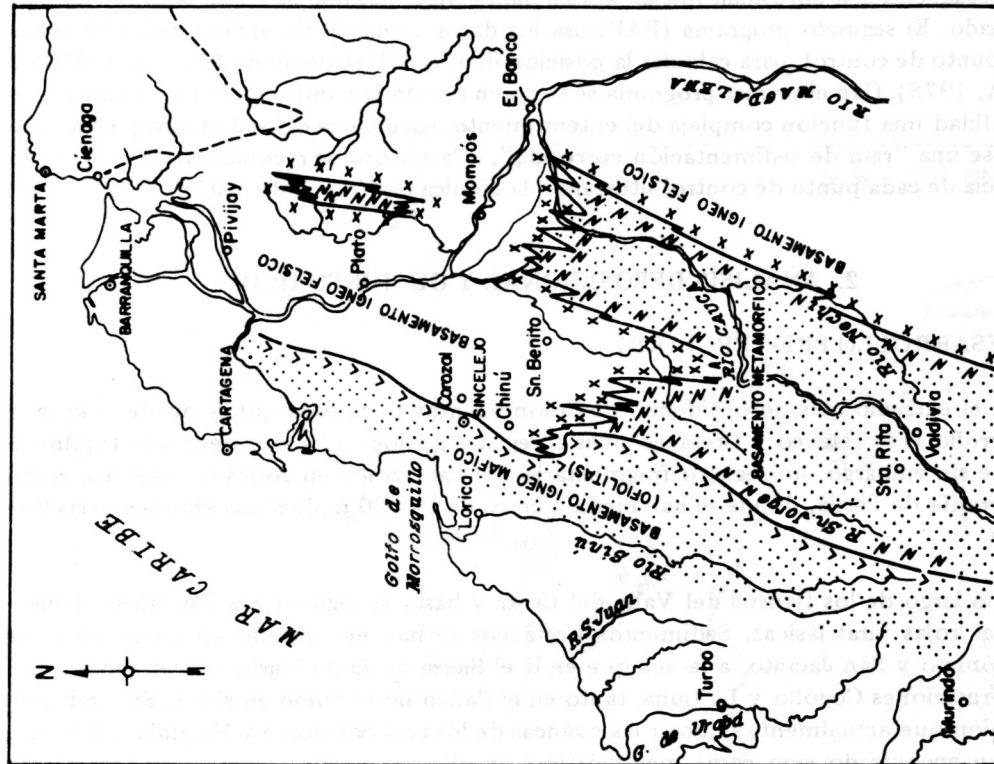


FIG.3: Distribución de los diferentes tipos de basamento de en la Cuenca de San Jorge.

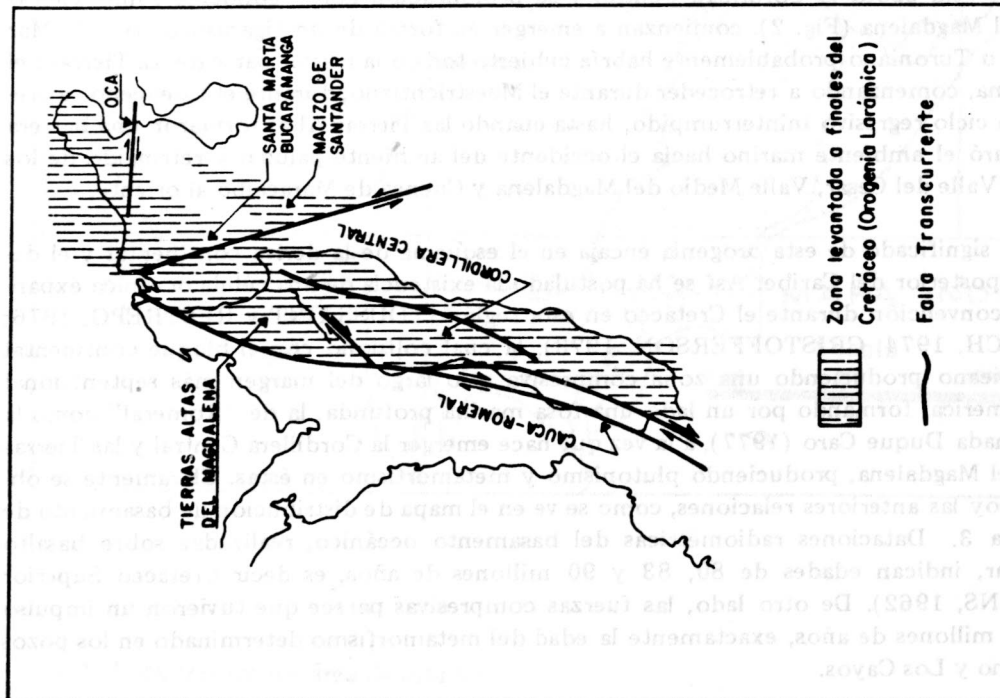


FIG.2: Diagrama paleotectónico de Colombia en el límite Cretáceo - Paleoceno.

2.2. PALEOCENO

La Figura 4 muestra la distribución regional de hiatos, paleobatimetría, distribución de litofacies y la rata de sedimentación no corregida para este intervalo de tiempo geológico. Se observa claramente cómo la parte oriental, compuesta por las Tierras Altas del Magdalena, es un área positiva que está siendo erosionada, pero sin alcanzar una paleotopografía muy pronunciada, pues el aporte de material clástico es relativamente bajo, salvo al norte en la actual posición de la Sierra Nevada, que aportó mayor cantidad de clásticos.

La parte occidental la ocupaba una fosa marina que prácticamente bordeaba las Tierras Altas del Magdalena. Como se observa en la paleobatimetría, ésta se profundizaba rápidamente sobre todo al sur, insinuándose únicamente hacia el norte un desarrollo de plataforma en el área de Barranquilla.

Esta fosa se extendió al sur hasta el Golfo de Guayaquil, bordeando el margen occidental de la Cordillera Central (DUQUE CARO, 1977).

La sedimentación en el Flanco Oriental de la fosa consistió predominantemente de material clástico: Arenas y conglomerados, los cuales fueron transportados y rápidamente depositados por corrientes de turbidez sobre todo en el sector más septentrional, mientras que al mismo tiempo ocurrió una depositación de sedimentos finos en condiciones de mar adentro.

La rata de sedimentación no corregida muestra que ésta fue relativamente baja, alcanzando un máximo de 15 cm/1.000 años hacia el centro de la fosa.

2.3. EOCENO INFERIOR

Por este tiempo las Tierras Altas del Magdalena continúan siendo positivas, pero mostrando un relieve mucho más pronunciado, causa del mayor aporte de material clástico, como se observa en los mapas de la Figura 4. De otro lado, la plataforma de Barranquilla insinuada en el Paleoceno, se levanta y adquiere un carácter positivo, siendo por lo tanto objeto de la erosión.

La fosa de Romeral continúa bordeando las Tierras Altas del Magdalena y la recién emergida Plataforma de Barranquilla, pero haciéndose mucho más profunda como nos lo indica el aumento de pendiente del talud sobre todo hacia el sur. Lo anterior, junto con el mayor relieve de la parte emergida, es debido a un aumento de las fuerzas compresionales al colisionar las placas Pacífica y Suramericana.

La sedimentación durante este lapso fue en su mayoría clástica, sobre todo conglomerados, depositados en unas condiciones profundas, Figura 5. Estos conglomerados se encuentran únicamente al occidente de las Tierras Altas, en forma de cuña alargada que las bordea, observándose cómo el carácter grueso va disminuyendo al occidente; éstos están compuestos por chert y fragmentos de rocas metamórficas de bajo grado, junto con fragmentos de rocas volcánicas, lo cual sugiere que las rocas Cretáceas metamorfoseadas aflorantes en las Tierras Altas estaban siendo erodadas activamente, junto con las rocas derivadas de la actividad volcánica submarina que tuvo lugar previamente en los bordes occidentales de las Tierras Altas emergidas.

La rata de sedimentación no corregida nos indica, sin embargo, que ésta fue menor que en el Paleoceno, <10 cms/1.000 años, dando pauta para pensar que la depositación clástica fue pulsátil, con largos intervalos de quietud.

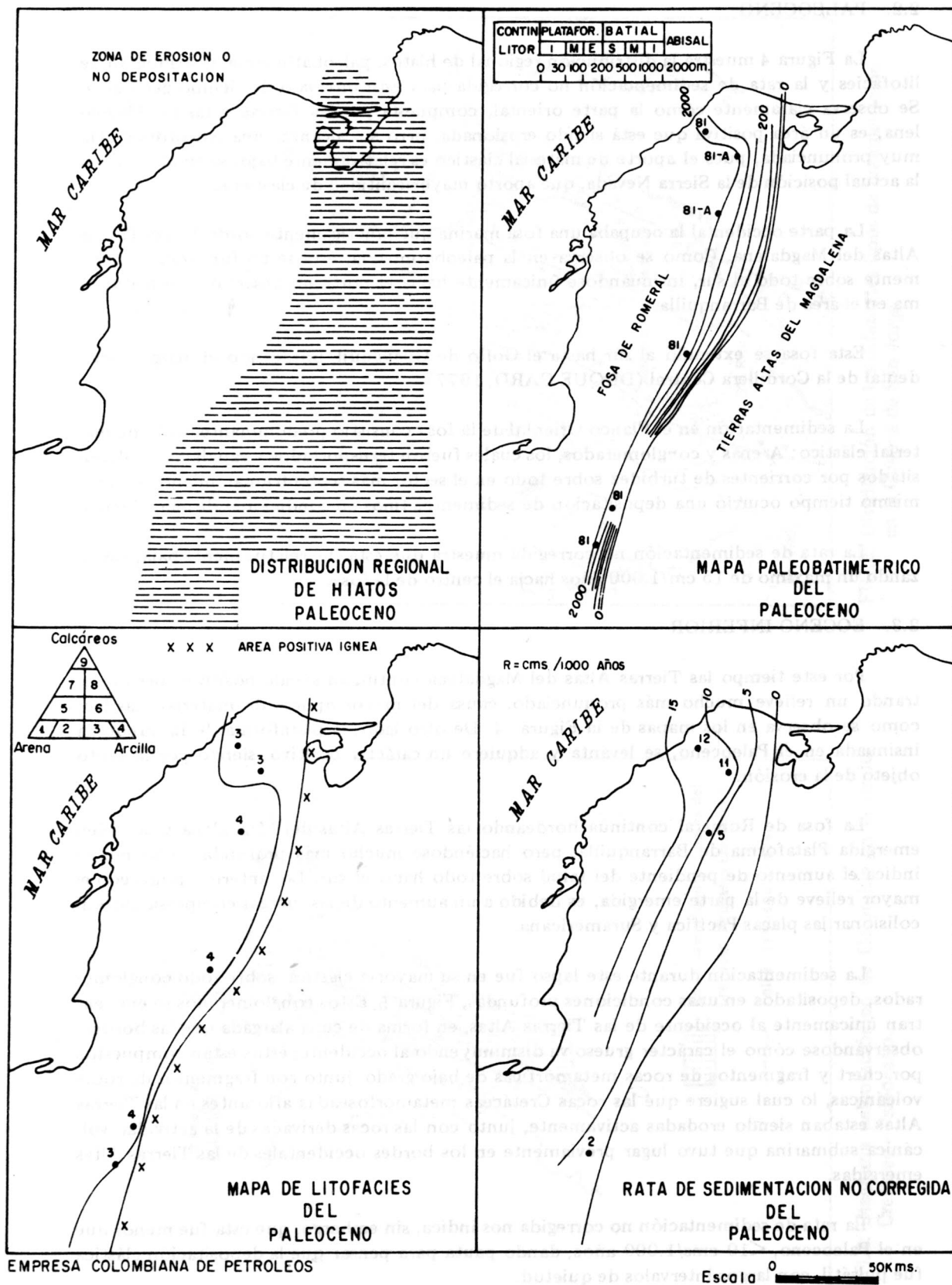


FIG. 4: Mapas de distribución regional de hiatos, paleobatimétrico de litofacies y de rata de sedimentación no corregida del Paleozoico.

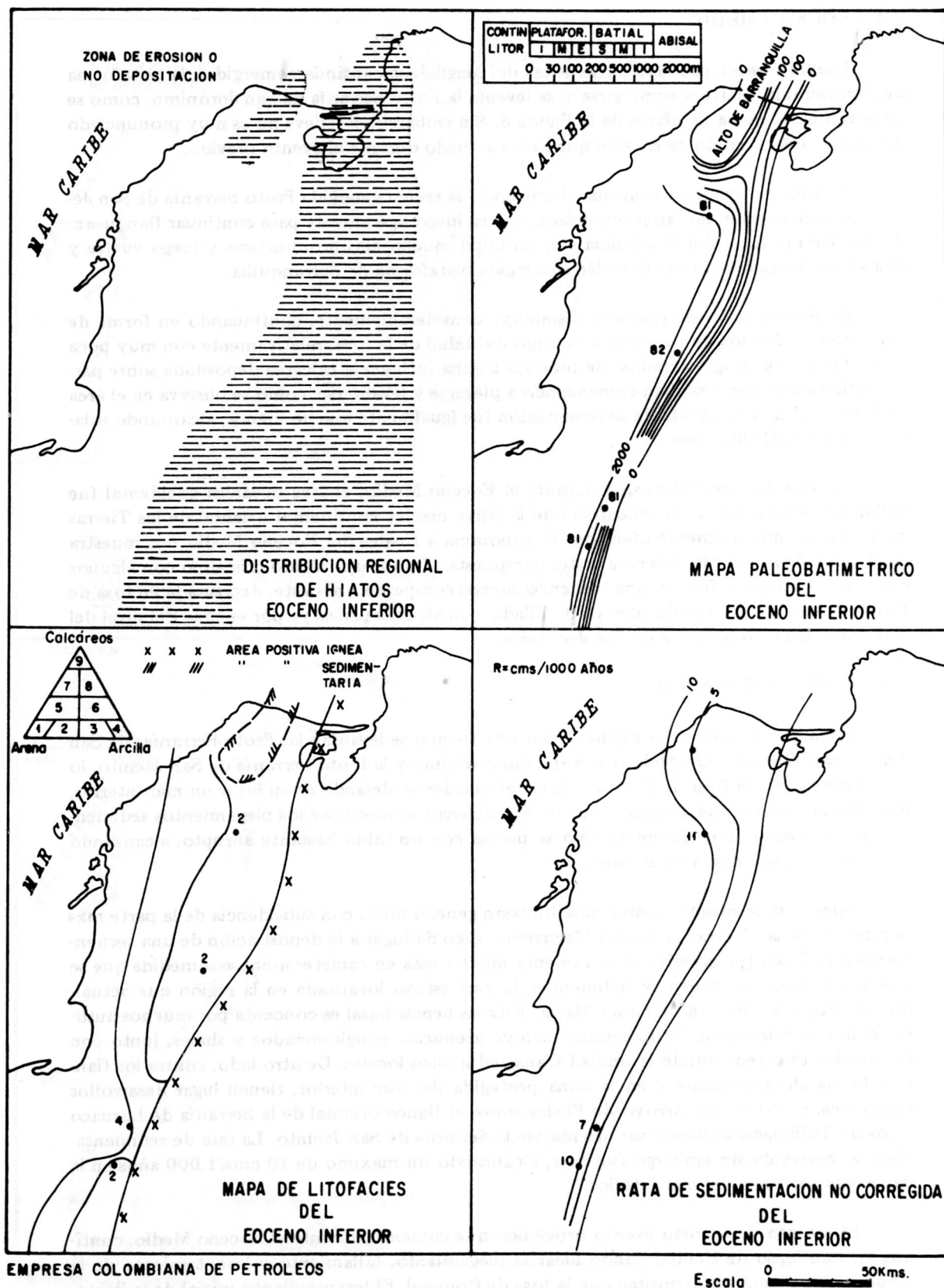


FIG. 5: Mapas de distribución regional de hiatos, paleobatimétricos de litofacies y de ratas de sedimentación no corregida en el Eoceno inferior.

2.4. EOCENO MEDIO

Durante este lapso las Tierras Altas del Magdalena continúan emergidas, la plataforma de Barranquilla vuelve a sumergirse y se levanta la Proto-Serranía de San Jerónimo, como se observan en el mapa de hiatos de la Figura 6. Sin embargo, el relieve no es muy pronunciado debido al largo período de erosión que había actuado durante el evento previo.

La fosa de Romeral continúa bordeando la recién emergida Proto-Serranía de San Jerónimo con un talud no tan pronunciado, voltea luego ligeramente para continuar flanqueando las Tierras Altas del Magdalena con un talud mucho más pronunciado y luego vuelve y gira al occidente bordeando la recién sumergida plataforma de Barranquilla.

La depositación de clásticos disminuye considerablemente, continuando en forma de depósitos profundos de turbidez a lo largo del talud de la fosa, relativamente con muy poca depositación de conglomerados. Se produjo alguna influencia calcárea depositada sobre partes sedimentarias que estaban comenzando a plegarse y levantarse, como se observa en el área de Manatí (Fig. 6). La rata de sedimentación fue igualmente mucho menor, alcanzando solamente a 5 cms/1.000 años.

Lo anterior nos indica que durante el Eoceno Medio, el área oceánica occidental fue regionalmente comprimida, mientras que la parte maciza continental oriental de las Tierras Altas no fue prácticamente afectada. El panorama a finales del Eoceno Medio nos muestra las Tierras Altas del Magdalena al este, compuestas de un basamiento cristalino con algunos remanentes metamórficos y una secuencia menos competente al oeste, depositada en fosa de Romeral, que estaba siendo plegada y fallada, con algunas partes ya por encima del nivel del mar como la Proto-Serranía de San Jerónimo.

2.5. EOCENO SUPERIOR

Como se observa en la Figura 7, por este tiempo se levantan las Proto-Serranías de San Antero-San Onofre, agregándose a la de San Jerónimo y la Proto-Serranía de San Jacinto, lo cual hace migrar la fosa de Romeral hacia el occidente, dejando en su lugar un mar interior, limitado al este por las Tierras Altas del Magdalena y al oeste por los plegamientos sedimentarios ahora emergidos. La nueva fosa se perfila con un talud bastante abrupto, alcanzando rápidamente profundidades abisales.

Comienza al mismo tiempo una invasión general junto con subsidencia de la parte más occidental de las Tierras Altas del Magdalena. Esto da lugar a la depostiación de una secuencia clástica basal transgresiva, que aumenta mucho más en carácter arenoso a medida que se acerca a la zona de aporte de sedimentos, la cual estuvo localizada en la región que actualmente ocupa la Serranía de Santa Marta. Esta secuencia basal es conocida por muchos autores como la Formación San Jacinto, incluye areniscas, conglomerados y shales, junto con desarrollos calcáreos donde la unidad transgredía altos locales. De otro lado, contra los flancos de los altos plegados y en la zona protegida del mar interior, tienen lugar desarrollos arrecifales, como los de Arroyo de Piedra sobre el flanco oriental de la Serranía de Luruaco y los de Tolú hacia el flanco sur-oriental de la Serranía de San Jacinto. La rata de sedimentación no corregida sin embargo fue baja, alcanzando un máximo de 10 cms/1.000 años en la parte más profunda del mar interior.

El intenso pero corto evento orogénico que comenzó durante el Eoceno Medio, continúa en este lapso de tiempo dando lugar al plegamiento, fallamiento y levantamiento de la secuencia sedimentaria depositada en la fosa de Romeral. El levantamiento inicial de la Proto-Serranía de San Jerónimo y el posterior de las de San Antero y San Jacinto, indican fuerzas componentes que avanzaban progresivamente hacia el noreste. Esto puede explicarse como

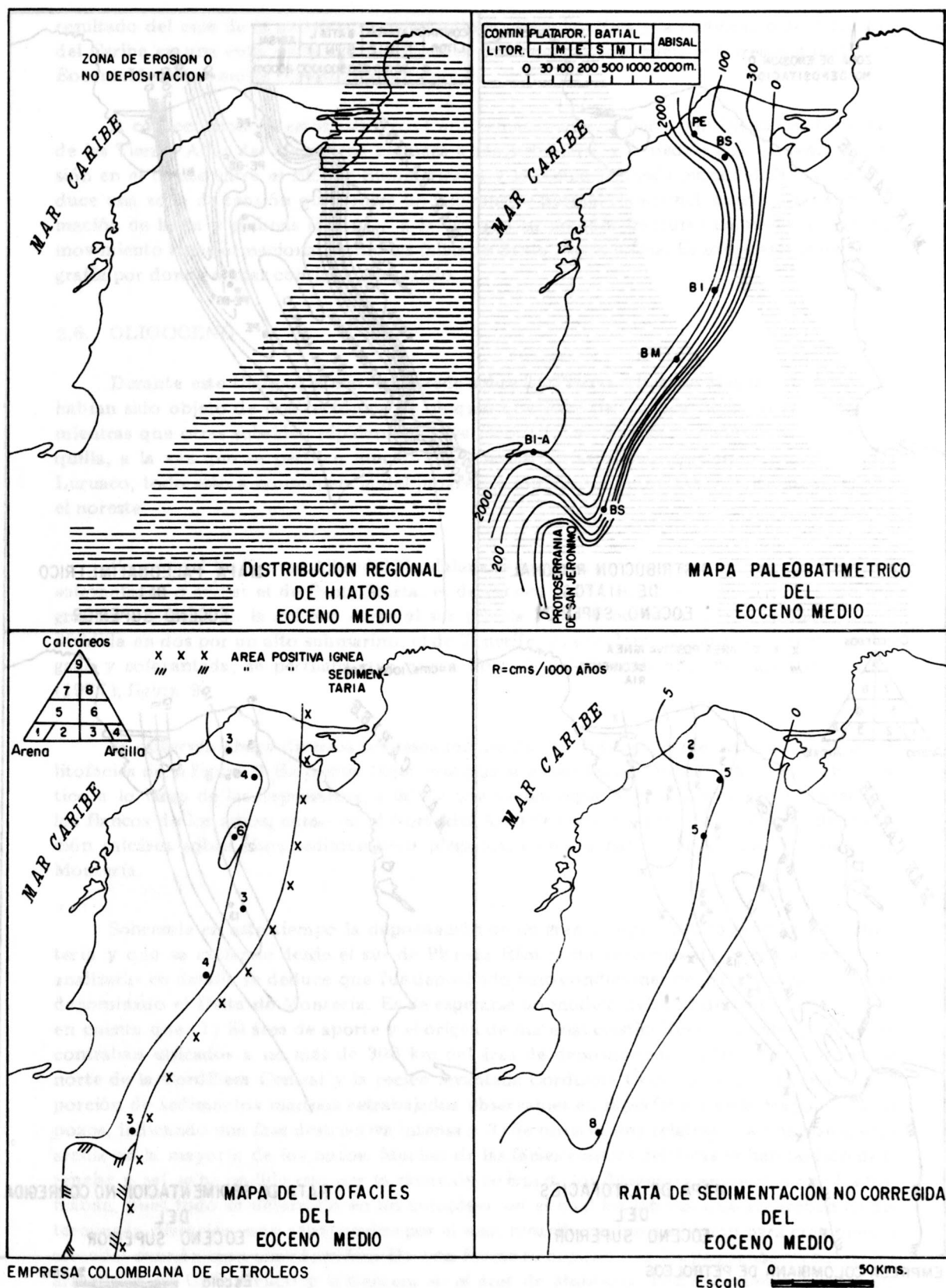


FIG. 6: Mapas de distribución regional de hiatos, paleobatimétricos, de litofacies y de rata de sedimentación no corregida en el Eoceno medio.

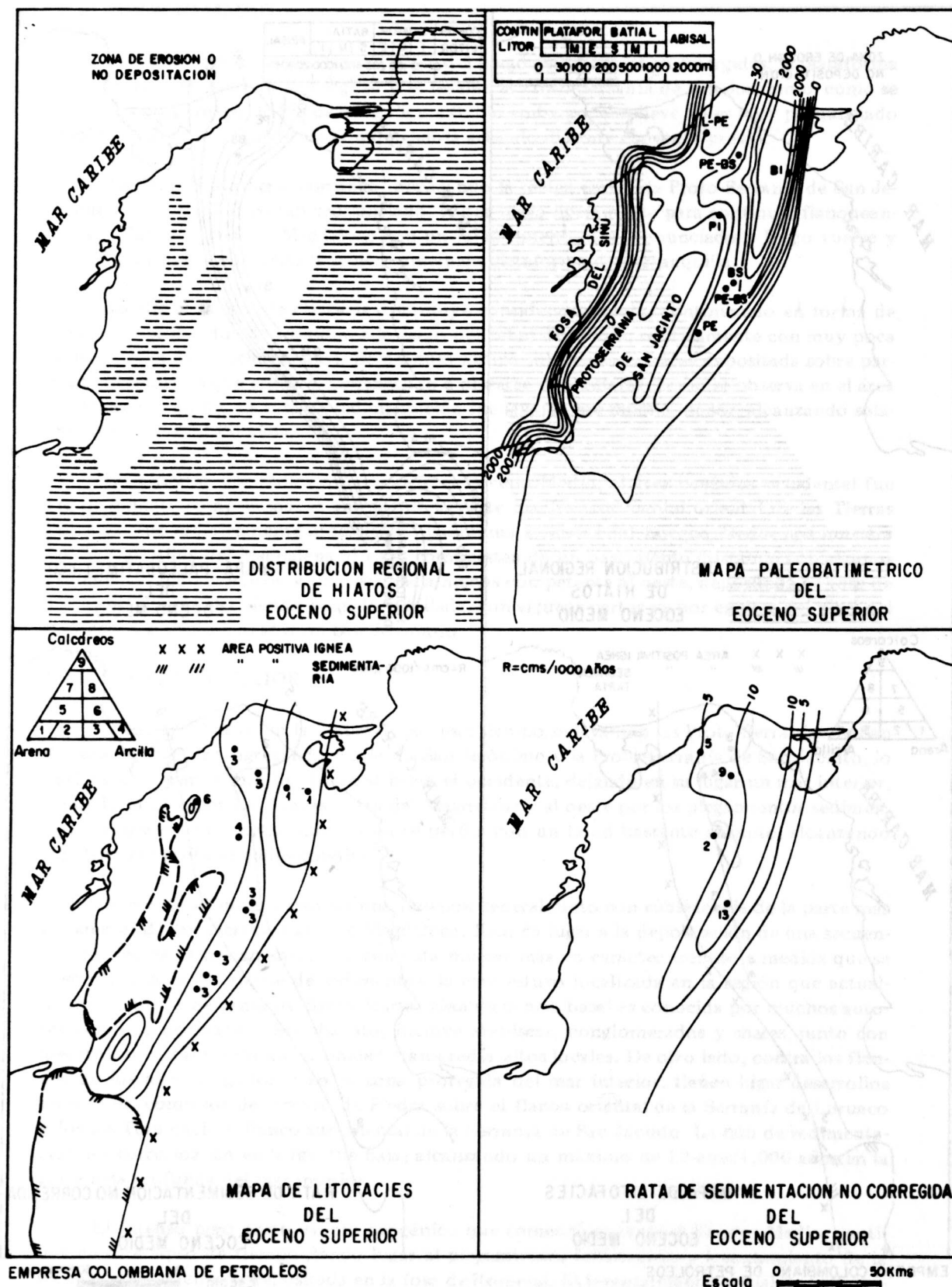


FIG. 7: Mapas de distribución regional de hiatos, paleobatimétricos, de litofacies y de rata de sedimentación no corregida en el Eoceno superior.

resultado del cese de la actividad expansiva de la célula Pacífica y la conversión de la Región del Caribe en una cuña de la corteza Pacífica que avanza ahora hacia el Noreste, a partir del Eoceno Medio, como se muestra en la Figura 8.

A consecuencia de estos esfuerzos transformacionales, la parte continental competente de las Tierras Altas del Magdalena empieza a resquebrajarse y a medida que aumenta la tensión en el límite entre el Bloque Suramericano y la recién formada placa del Caribe, se produce una zona de tensión que genera un fallamiento normal-rotacional, dando lugar a la formación de horst y grabens (Fig. 8), a la vez que las grandes fracturas empiezan a tener un movimiento transformacional, como las fallas de Santa Marta y Oca. Es sobre esta paelotopografía por donde el mar continúa avanzando.

2.6. OLIGOCENO

Durante este tiempo, el mar transgrede sobre las Tierras Altas del Magdalena, las cuales habían sido objeto de una tectónica de bloques que hace permanecer unas partes positivas, mientras que otras subsiden rápidamente. De otro lado, se levanta la plataforma de Barranquilla, a la vez que se perfilan mucho mejor las serranías de San Jerónimo, San Jacinto y Luruaco, todo esto a consecuencia del progresivo avance de las fuerzas compresionales hacia el noreste.

En general las Tierras Altas del Magdalena se han convertido ahora en tres grandes áreas solevantadas o arcos: el de Santa Marta, el de Cicuco o Magangué y el de Cecilia, y en dos grandes depresiones: la del San Jorge al sur y la de Plato al norte, la cual en realidad estaba dividida en dos por un alto submarino, el de Tenerife. Al occidente del área sedimentaria plegada y solevantada, se perfilaba una nueva Fosa, la del Sinú, de acuerdo con Duque Caro (1977), figura 9.

Se observan ahora diversos procesos sedimentarios como se puede deducir del mapa de litofacies de la figura 8. En primer lugar continúa la depositación turbidítica de material clástico a lo largo de las depresiones, a la vez que tienen lugar nuevos desarrollos calcáreos en los flancos de los arcos, como en el Norte del Arco de Cicuco. También se observa depositación calcárea sobre altos sedimentarios plegados, como la caliza de la Risa al suroeste de Montería.

Sobresale en este tiempo la depositación de un gran cuerpo clástico al oriente de Montería y que se extiende desde el sur de Planeta Rica hasta cercanías de Ovejas al norte. Al analizarlo en detalle se deduce que fue depositado bajo condiciones de un complejo deltáico, denominado el Delta de Montería. Es de esperarse un modelo deltáico destructivo si se tiene en cuenta que: 1) El área de aporte y el origen de material clástico fueron locales pues se encontraban ubicados a no más de 300 km del área de depositación, en las porciones más al norte de la Cordillera Central y la recién levantada Cordillera Occidental; 2) Existe alta proporción de sedimentos marinos retrabajados observables en superficie y en la mayoría de los pozos, indicando una fase destructiva intensa y 3) Se observa una relativa alta relación arena/arcilla en la mayoría de los pozos. Muchas de las facies clásicas deltáicas se han podido diferenciar y así se ha podido conocer la variación lateral de los diferentes ambientes que las formaban, pues todo se desarrolló en un complejo, en el cual los lóbulos que avanzaban en determinada dirección eran retrabajados por el mar, creando un buen sustrato para crecimiento arrecifal cuando eran abandonados. De esta forma se depositaron los pequeños crecimientos arrecifales de Gallo Crudo y la Cantera en el área de Montería. Posteriormente la reocupación de los lóbulos progradacionales destruía los crecimientos.

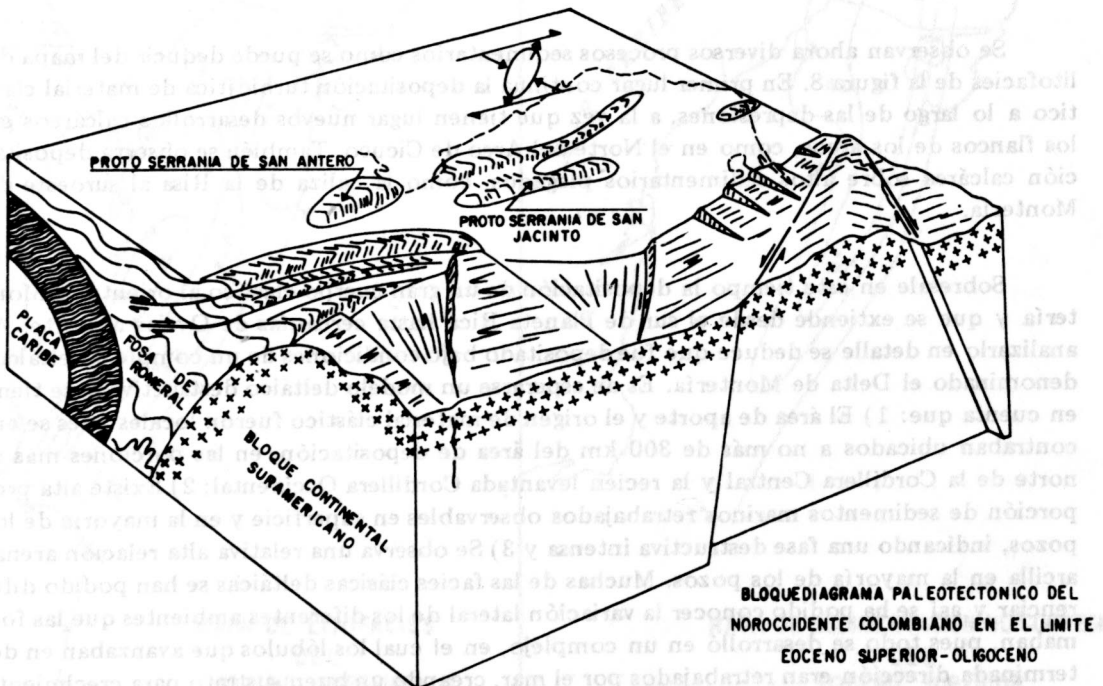
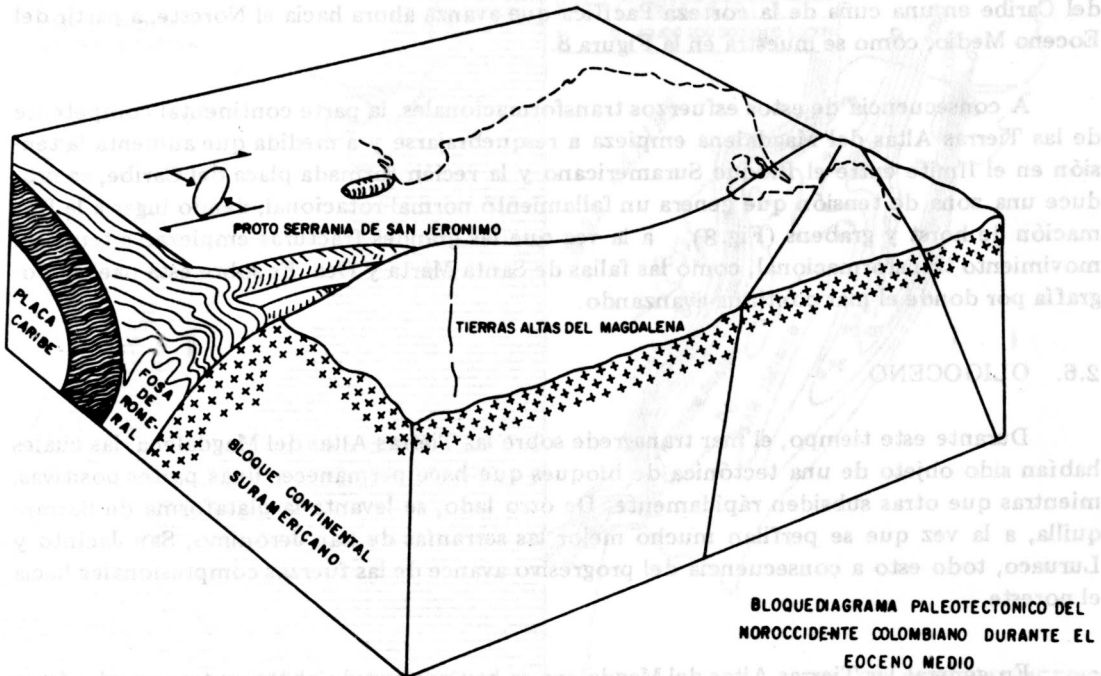


FIG. 8: Bloquediagramas paleotectónicos del noroccidente colombiano durante el Eoceno medio y durante el Eoceno superior - Oligoceno.

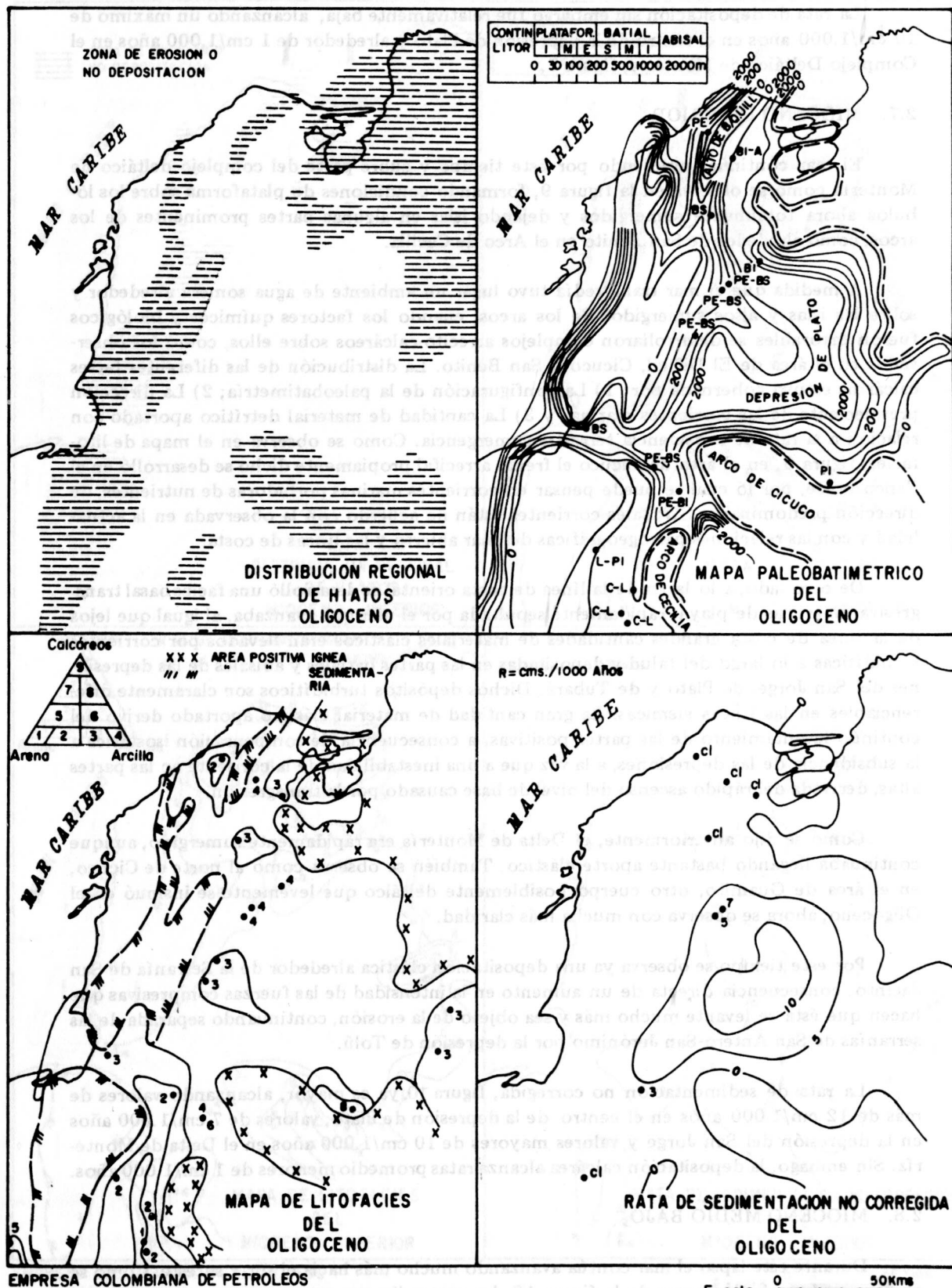


FIG. 9: Mapas de distribución regional de hiatos, paleobatimétrico, de litofacies y de rata de sedimentación no corregida en el Oligoceno.

La rata de depositación sin embargo fue relativamente baja, alcanzando un máximo de 10 cm/1.000 años en el centro de la depresión de Plato y alrededor de 1 cm/1.000 años en el Complejo Deltáico de Montería, figura 7.

2.7. MIOCENO INFERIOR

El mar continúa invadiendo por este tiempo y cubre parte del complejo deltáico de Montería como se observa en la figura 9, formando condiciones de plataforma sobre los lóbulos ahora totalmente sumergidos y dejando islas en algunas partes prominentes de los arcos, como alrededor de San Benito en el Arco de Cecilia.

A medida que el mar transgredía tuvo lugar un ambiente de agua somera alrededor y sobre las islas y altos sumergidos de los arcos; cuando los factores químicos y biológicos fueron favorables se desarrollaron complejos arrecifo-calcáreos sobre ellos, como los observados en el área de El Difícil, Cicuco y San Benito. La distribución de las diferentes facies calcáreas estuvo gobernada por: 1) La configuración de la paleobatimetría; 2) La dirección prevaleciente de las corrientes marinas y 3) La cantidad de material detrítico aportado con relación a la rata de subsidencia terrestre-sumergencia. Como se observa en el mapa de litofacies, figura 9, en el área de Cicuco el frente arrecifal propiamente dicho se desarrolló en el flanco norte, por lo cual se puede pensar en corrientes marinas portadoras de nutrientes, de dirección predominante SW; tales corrientes están de acuerdo con la observada en la actualidad y con las relaciones paleogeográficas del mar abierto y las líneas de costa.

De otro lado, a lo largo de la línea de costa oriental se desarrolló una facies basal transgresiva de arenas de playa, rápidamente sepultada por el mar que avanzaba, al igual que lejos de la línea de costa grandes cantidades de materiales clásticos eran llevados por corrientes turbidíticas a lo largo del talud y depositadas en las partes batiales y abisales de las depresiones del San Jorge, de Plato y de Tubará. Dichos depósitos turbidíticos son claramente diferenciables en las líneas sísmicas. La gran cantidad de material clástico aportado derivó del continuo levantamiento de las partes positivas, a consecuencia de compensación isostática a la subsidencia de las depresiones, a la vez que a una inestabilidad de la corriente en las partes altas, derivada del rápido ascenso del nivel de base causado por la transgresión.

Como se dijo anteriormente, el Delta de Montería era rápidamente sumergido, aunque continuaba llegando bastante aporte clástico. También se observa como al norte de Cicuco, en el área de Guamito, otro cuerpo posiblemente deltáico que levemente se insinuó en el Oligoceno, ahora se observa con mucha más claridad.

Por este tiempo se observa ya una depositación clástica alrededor de la Serranía de San Jacinto, consecuencia directa de un aumento en la intensidad de las fuerzas compresivas que hacen que ésta se levante mucho más y sea objeto de la erosión, continuando separada de las serranías de San Antero-San Jerónimo por la depresión de Tolú.

La rata de sedimentación no corregida, figura 10, ya es mayor, alcanzando valores de más de 12 cm/1.000 años en el centro de la depresión de Plato, valores de 7 cm/1.000 años en la depresión del San Jorge y valores mayores de 10 cm/1.000 años en el Delta de Montería. Sin embargo, la depositación calcárea alcanza ratas promedio menores de 1 cm/1.000 años.

2.8. MIOCENO MEDIO BAJO

Durante este lapso el mar continúa avanzando mucho más hacia el sur y sureste. Como se observa en la serie de mapas de la figura 10, las partes ligeramente someras, remanentes del episodio anterior y en las cuales previamente se habían depositado carbones, fueron llevadas

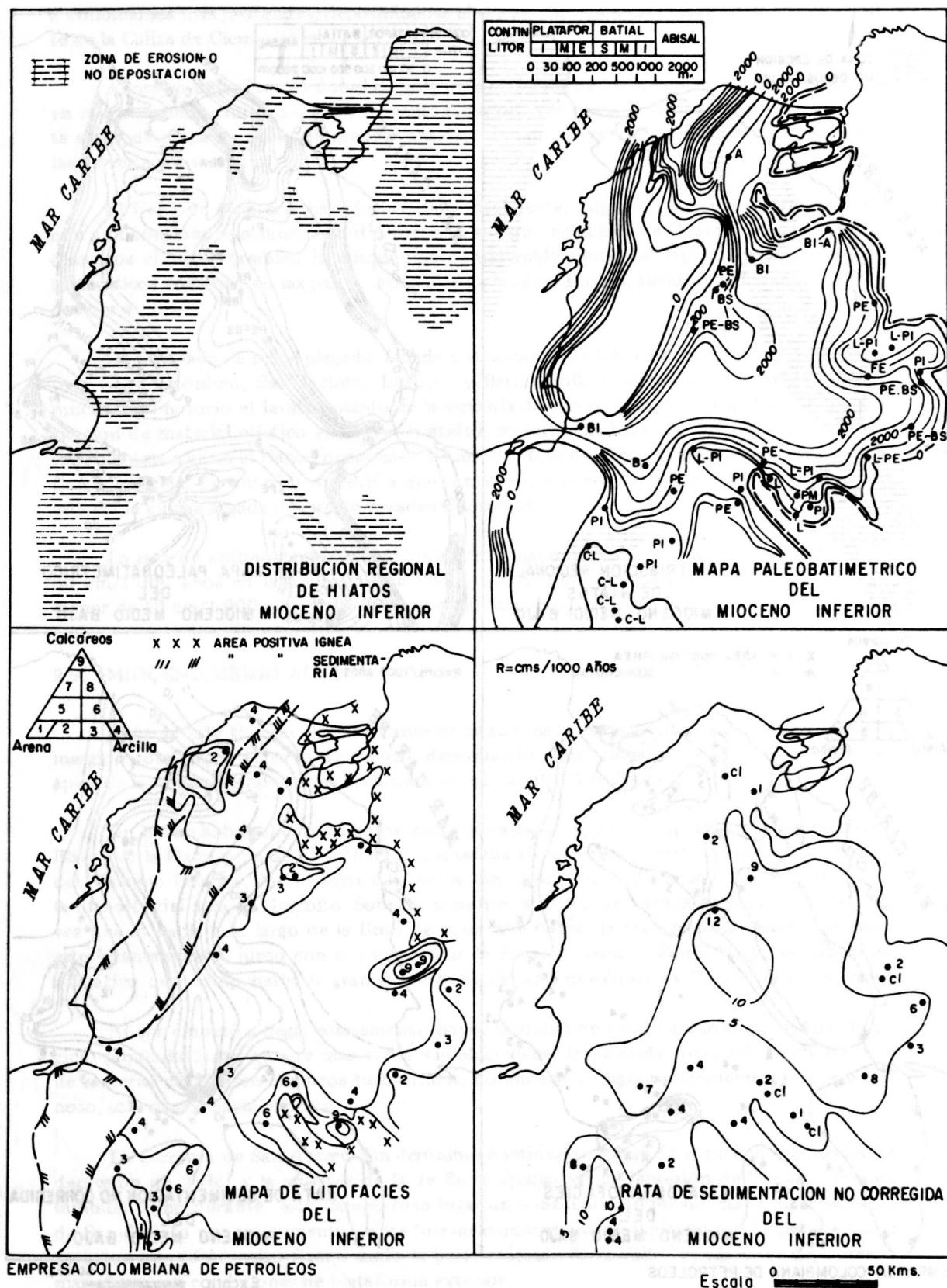


FIG. 10: Mapas de distribución regional de hiatos, paleobatimétricos, de litofacies y de rata de sedimentación no corregida, en el Mioceno inferior.

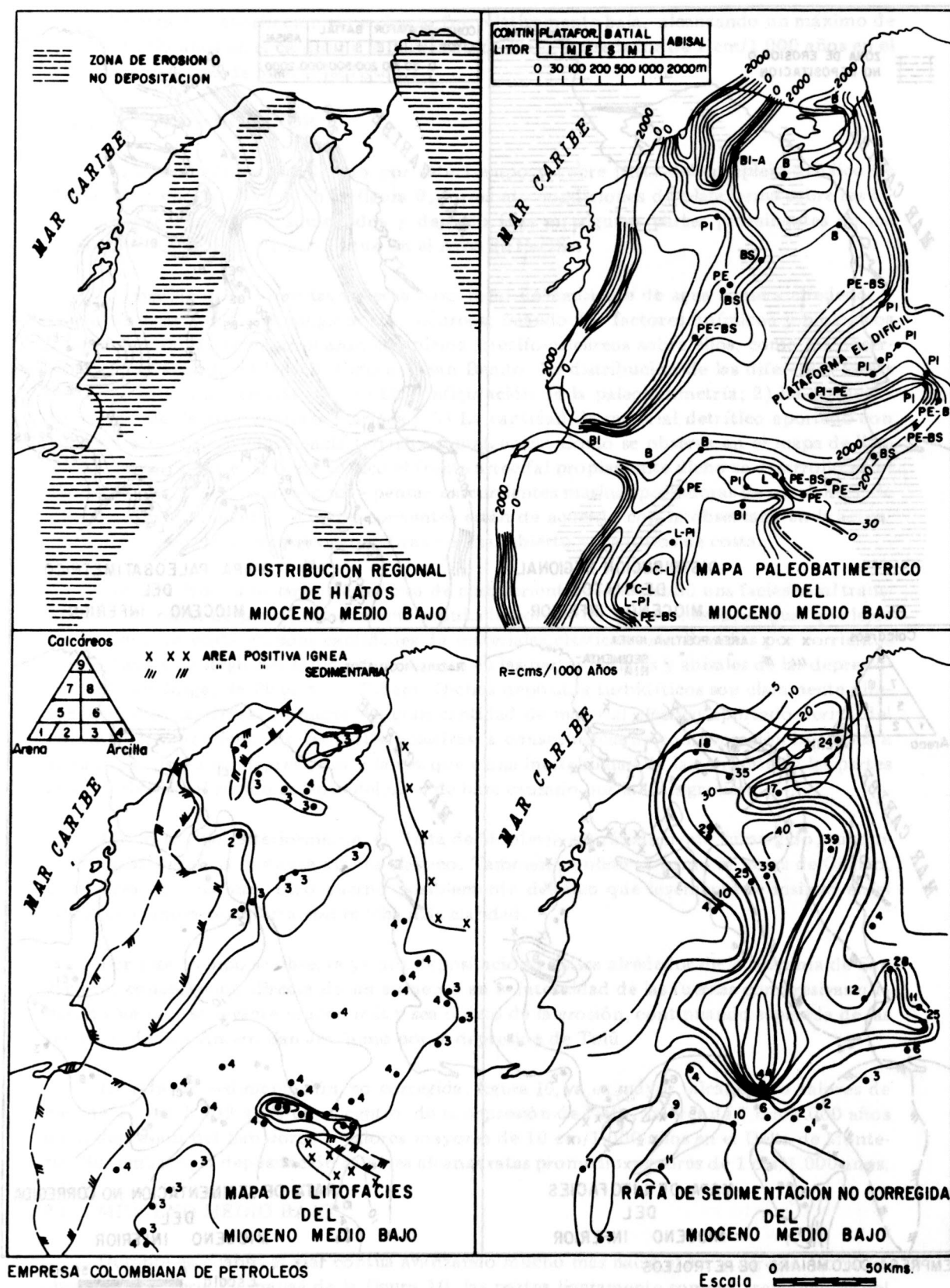


FIG. 11: Mapas de distribución regional de hiatos, paleobatimétricos, de litofacies y de rata de sedimentación no corregida, en el Mioceno medio bajo.

a condiciones más profundas, depositándose ahora arcilla como en el área de El Difícil y parte de la Caliza de Cicuco. (Fig. 11).

Ahora se depositan carbones en las partes más altas de los Arcos, como en Cicuco pero en mucho menor cantidad que en el evento anterior. A lo largo de la línea de costa se deposita arena de playa, también en menor cantidad, debido al avanzado estado de denudación de las partes positivas.

El Delta de Montería ha sido invadido totalmente, migrando hacia el oriente la parte que aun continúa aportando sedimentos, a la vez que en el área de Guamito el aporte de sedimentos clásticos también ha disminuido considerablemente. La depositación de abanicos turbidíticos continúa en las partes profundas de las depresiones, siendo rápidamente sepultados por arcilla.

De otro lado, la parte plegada, fallada y levantada que formaba las serranías de San Antero - San Jerónimo, San Jacinto, Luruaco y Barranquilla continuaba perfilándose, siendo mucho más notorio el levantamiento de la serranía de San Jacinto, lo que da lugar a la depositación de material clástico en mayor cantidad, en forma de halo a lo largo del flanco oriental, mientras que en el flanco occidental, talud de la fosa del Sinú, la depositación era mucho fina y pelágica. Lo anterior se debió a que el material que estaba siendo erodado en el flanco este era la cuña alargada de conglomerados Eocénicos.

La rata de sedimentación sin corregir fue la mayor alcanzada hasta ese tiempo: cerca a 50 cm/1.000 años en la depresión de Plato, 20 cm/1.000 años en el Delta de Montería y menor de 10 cm/1.000 años en la depresión del San Jorge.

2.9. MIOCENO MEDIO ALTO

Durante este tiempo el mar alcanza su estado máximo de invasión sur y sureste. Ha sumergido totalmente el Arco de Cicuco, depositando ahora carbonatos únicamente sobre el ápice de éste y cubriendo todos los anteriores con arcilla. Ver figura 12.

Un hecho sobresaliente que tuvo lugar por este tiempo es la división de la depresión de Plato por la Plataforma de El Difícil, la cual estaba siendo lentamente levantada desde finales del Mioceno Inferior, dando lugar a la formación de una nueva depresión aislada exactamente al norte del área de Guamito. Sobre la plataforma se depositó arena en poca cantidad, a la vez que lo hacía a lo largo de la línea de costa que cubría la transgresión. Es probable que este levantamiento, junto con el continuo de la Sierra Nevada de Santa Marta, sea un ajuste isostático que compensaba la gran subsidencia de las depresiones de Plato y del San Jorge.

Al sur empezó a llegar nuevamente mayor cantidad de aporte arenoso, comienzo de un ciclo progradacional, en este caso el del Río Magdalena. Igualmente continuó la depositación de material clástico en abanicos turbidíticos, notándose un ligero incremento de aporte arenoso, sobre todo hacia el norte.

La Serranía de San Antero-San Jerónimo continuaba separa de la de San Jacinto por la depresión de Tolú, y la anterior de la de Barranquilla por la depresión de Tubará. Se nota también como durante este tiempo tuvo lugar un levantamiento pronunciado de la Serranía de San Jacinto por un aumento en las fuerzas compresionales, indicado por la gran cantidad de arena que se depositó flanqueando la parte oriental. Desarrollos calcáreos se depositaron mar afuera, en condiciones de plataforma exterior.

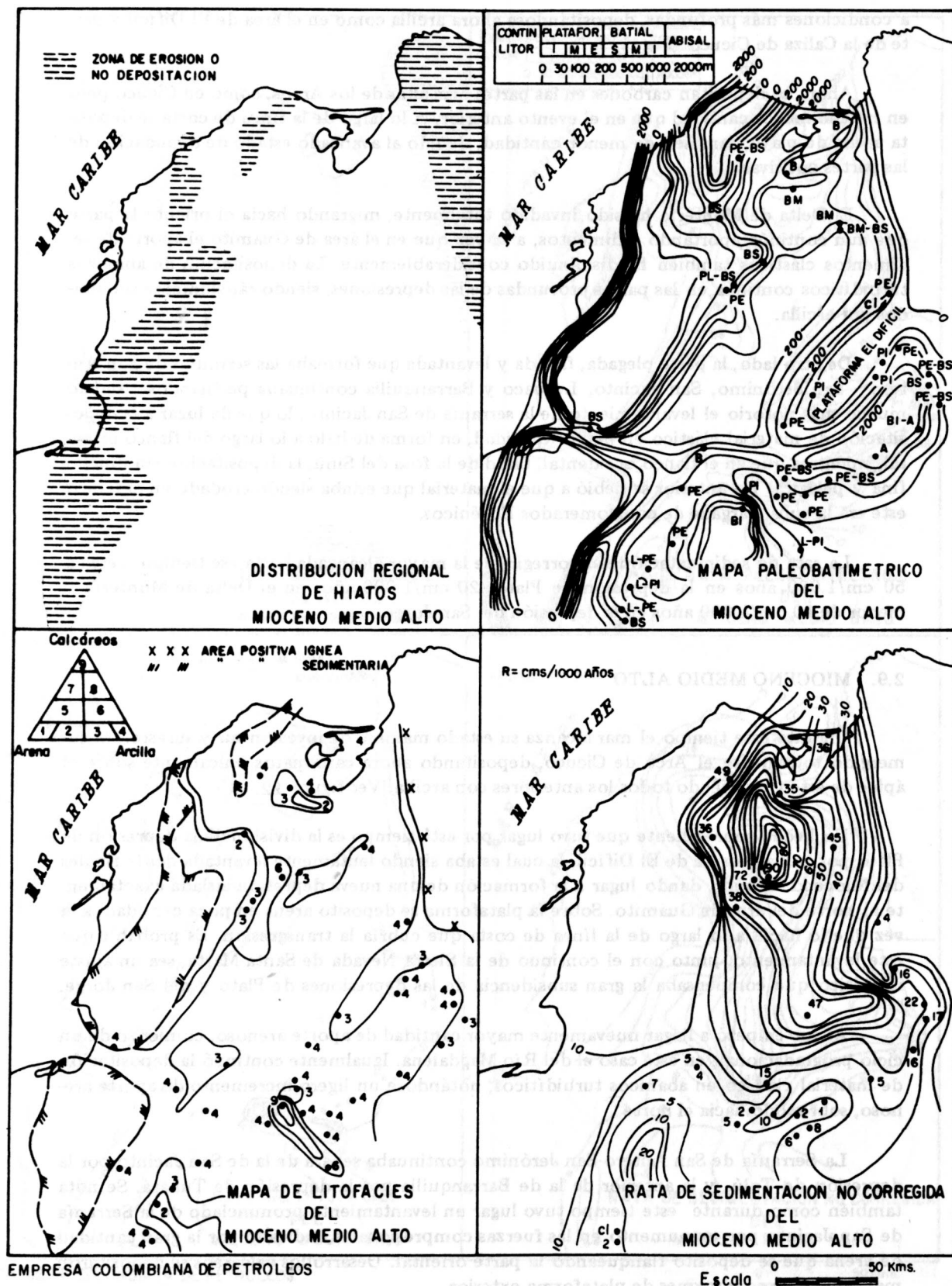


FIG. 12: Mapas de distribución regional de hiatos, paleobatimétricos, de litofacies y de rata de sedimentación no corregida, en el Mioceno medio alto.

La rata de sedimentación es ahora mucho mayor, llegando a ser 90 cm/1.000 años en la parte norte de la depresión de Plato y manteniéndose en 20 cm/1.000 años en el cuerpo progradacional del Magdalena.

2.10. MIOCENO SUPERIOR BAJO

El mar empieza a retirarse por este tiempo, dando lugar al avance de la progradación del Magdalena que ahora se manifiesta con un gran aporte de material arenoso, avanzando uno de sus lóbulos considerablemente hasta un poco al norte de los pozos Sincé y Tirón, como se observa en la figura 13.

La Plataforma de El Difícil continuó levantándose, sumándosele levantamientos en el área de San Benito y Magangué, aparentemente alineados con la plataforma de El Difícil en una dirección NE-SW, siendo estos últimos objeto de la erosión, como se observa en el mapa de distribución de hiatos, figura 13.

También ahora se observa cómo la depresión de Plato ha quedado totalmente dividida en dos, por el levantamiento de El Difícil-Magangué-San Benito, a la vez que se observa una disminución considerable de la depresión de San Jorge.

Sobre la Plataforma de El Difícil continúa la depositación de algunas arenas, lo mismo que a lo largo de la línea de costa. La disminución de depositación turbidítica también es apreciable, tanto como la sedimentación a lo largo del flanco oriental de la Serranía de San Jacinto, continuando pelágica en la fosa del Sinú.

La rata de sedimentación fue mucho menor, alcanzando un máximo de 27 cm/1.000 años hacia la parte sur de la depresión de Plato y 20 cm/1.000 años en el centro del cuerpo progradacional.

2.11. MIOCENO SUPERIOR MEDIO

Esta época se caracteriza por una notable disminución en el aporte de material arenoso y una gran depositación de material arcilloso, indicándonos una etapa relativamente estable y condiciones de poco relieve en las áreas positivas, figura 14.

La progradación del Magdalena ha logrado avanzar un poco más hacia el norte de Corozal pero sin notable cantidad de arenas. El área de San Benito continúa siendo erodada y al mismo tiempo tiene lugar depositación de calizas en la plataforma, al sur del frente progradacional.

La Plataforma de El Difícil se perfila mucho más, continuando la depositación de arena sobre ella. El tamaño de la depresión al sur de ésta va disminuyendo paulatinamente, a la vez que se une con la depresión del San Jorge.

Abanicos turbidíticos continúan depositándose sobre todo hacia el norte, alrededores de la Ciénega de Santa Marta; simultáneamente se mantiene el halo arenoso a lo largo del flanco oriental de la Serranía de San Jacinto.

La rata de sedimentación aumenta considerablemente, llegando a ser 80 cm/1.000 años al norte de la depresión de Plato y 45 cm/1.000 años en el cuerpo progradacional del Magdalena, figura 13.

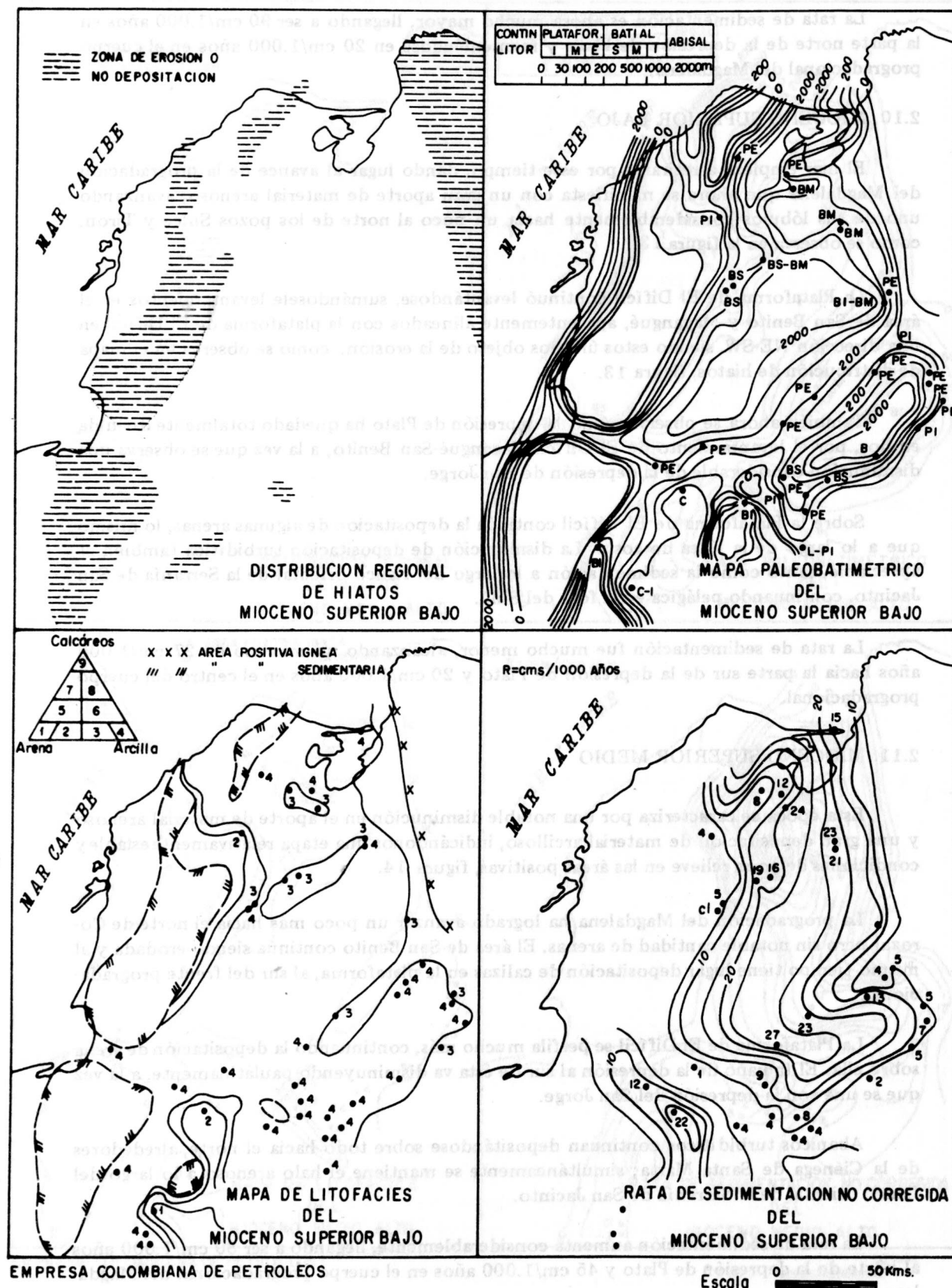


FIG. 13: Mapas de distribución regional de hiatos, paleobatimétricos, de litofacies y de rata de sedimentación no corregida, en el Mioceno superior bajo.

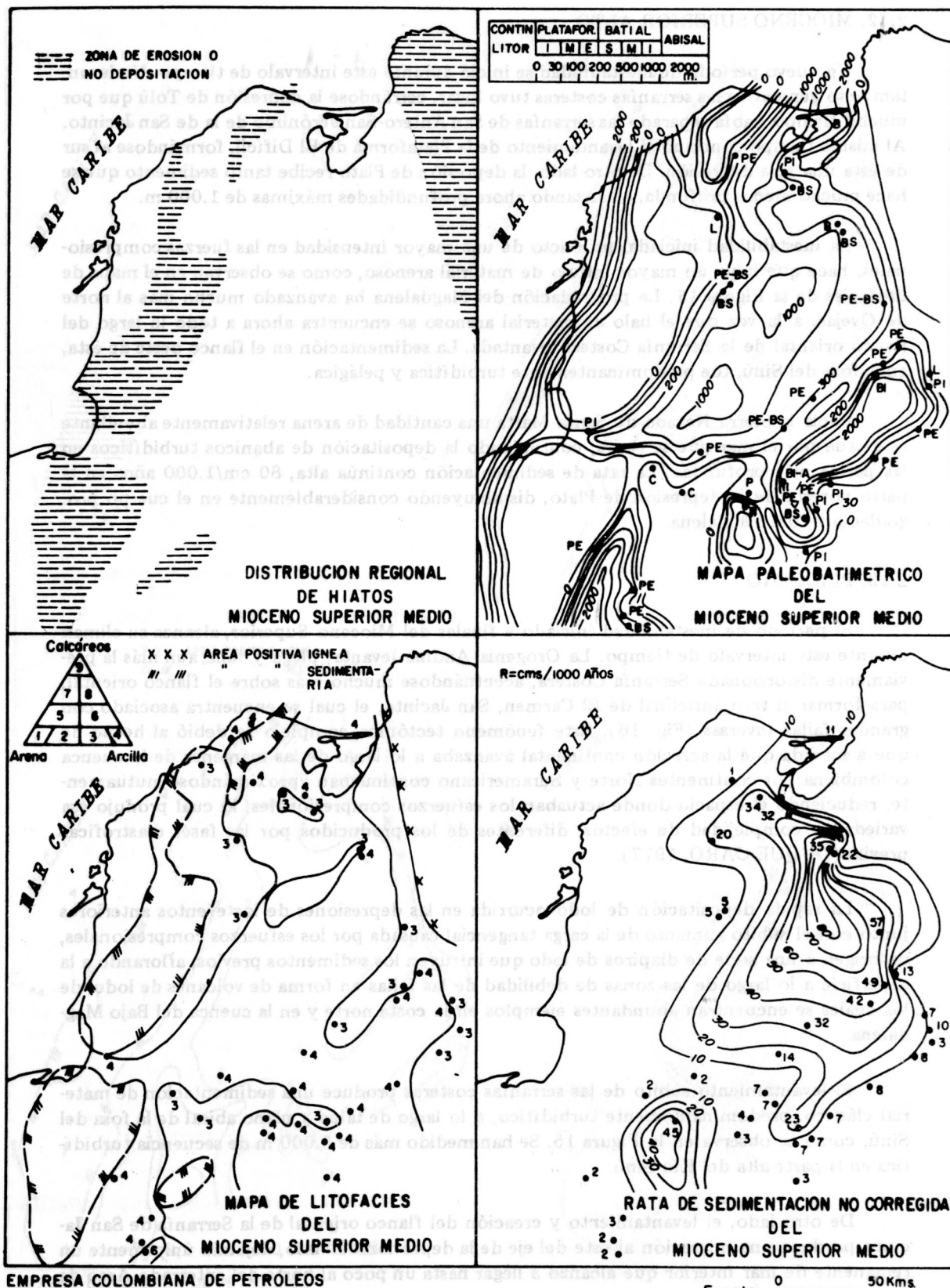


FIG. 14: Mapas de distribución regional de hiatos, paleobatimétricos, de litofacies y de rata de sedimentación no corregida, en el Mioceno superior medio.

2.12. MIOCENO SUPERIOR ALTO

Un nuevo período de inestabilidad se inició durante este intervalo de tiempo. Un levantamiento general de las serranías costeras tuvo lugar, cerrándose la depresión de Tolú que por mucho tiempo había separado las serranías de San Antero-San Jerónimo de la de San Jacinto. Al mismo tiempo continuó el levantamiento de la Plataforma de El Difícil, formándose al sur de ésta una sola depresión. De otro lado, la depresión de Plato recibe tanto sedimento que se hace mucho menos profunda, alcanzando ahora profundidades máximas de 1.000 m.

La inestabilidad iniciada, producto de una mayor intensidad en las fuerzas compresionales, hace que haya un mayor influjo de material arenoso, como se observan en el mapa de litofacies de la Figura 15. La progradación del Magdalena ha avanzado mucho más al norte de Ovejas, a la vez que el halo de material arenoso se encuentra ahora a todo lo largo del flanco oriental de la Serranía Costera levantada. La sedimentación en el flanco oeste de ésta, en la fosa del Sinú, fue predominantemente turbidítica y pelágica.

Hacia la Sierra Nevada de Santa Marta una cantidad de arena relativamente abundante es dejada por el mar que se retira, continuando la deposición de abanicos turbidíticos en las partes más profundas. La rata de sedimentación continúa alta, 80 cm/1.000 años en la parte noreste de la depresión de Plato, disminuyendo considerablemente en el cuerpo progradacional del Magdalena.

2.13. PLIOCENO

El período de inestabilidad iniciado a finales del Mioceno Superior, alcanza su climax durante este intervalo de tiempo. La Orogenia Andina levanta, plega y falla aún más la previamente distorsionada Serranía Costera, acentuándose mucho más sobre el flanco oriental, para formar el tren anticlinal de El Carmen, San Jacinto, el cual se encuentra asociado con grandes fallas inversas (Fig. 16). Este fenómeno tectónico complejo se debió al hecho de que a medida que la acreción continental avanzaba a lo largo de las márgenes de la cuenca colombiana, los continentes Norte y Suramericano continuaban aproximándose mutuamente, reduciendo el espacio donde actuaban los esfuerzos compresionales, lo cual produjo esa variedad y complejidad de efectos, diferentes de los producidos por las fases diastróficas previas (DUQUE CARO, 1977).

La rápida deposición de lodo ocurrida en las depresiones de los eventos anteriores junto con el súbito aumento de la carga tangencial causada por los esfuerzos compresionales, da origen a una serie de diapiros de lodo que intruyen los sedimentos previos, aflorando a la superficie a lo largo de las zonas de debilidad de las fallas en forma de volcanes de lodo, de los cuales se encuentran abundantes ejemplos en la costa norte y en la cuenca del Bajo Magdalena.

El levantamiento súbito de las serranías costeras produce una sedimentación de material clástico, predominantemente turbidítico, a lo largo de talud y plano abisal de la fosa del Sinú, como se observa en la Figura 15. Se han medido más de 5.000 m de secuencia turbidítica en la parte alta del Río Sinú.

De otro lado, el levantamiento y creación del flanco oriental de la Serranía de San Jacinto produce una migración al este del eje de la depresión de Plato, dejando únicamente un remanente de mar interior que alcanzó a llegar hasta un poco al norte del enterrado Arco de Cicuco. Al mismo tiempo el cuerpo progradacional del Magdalena ha avanzado considerablemente hacia el norte, mucho más allá de Plato, depositando una gran cantidad de arenas,

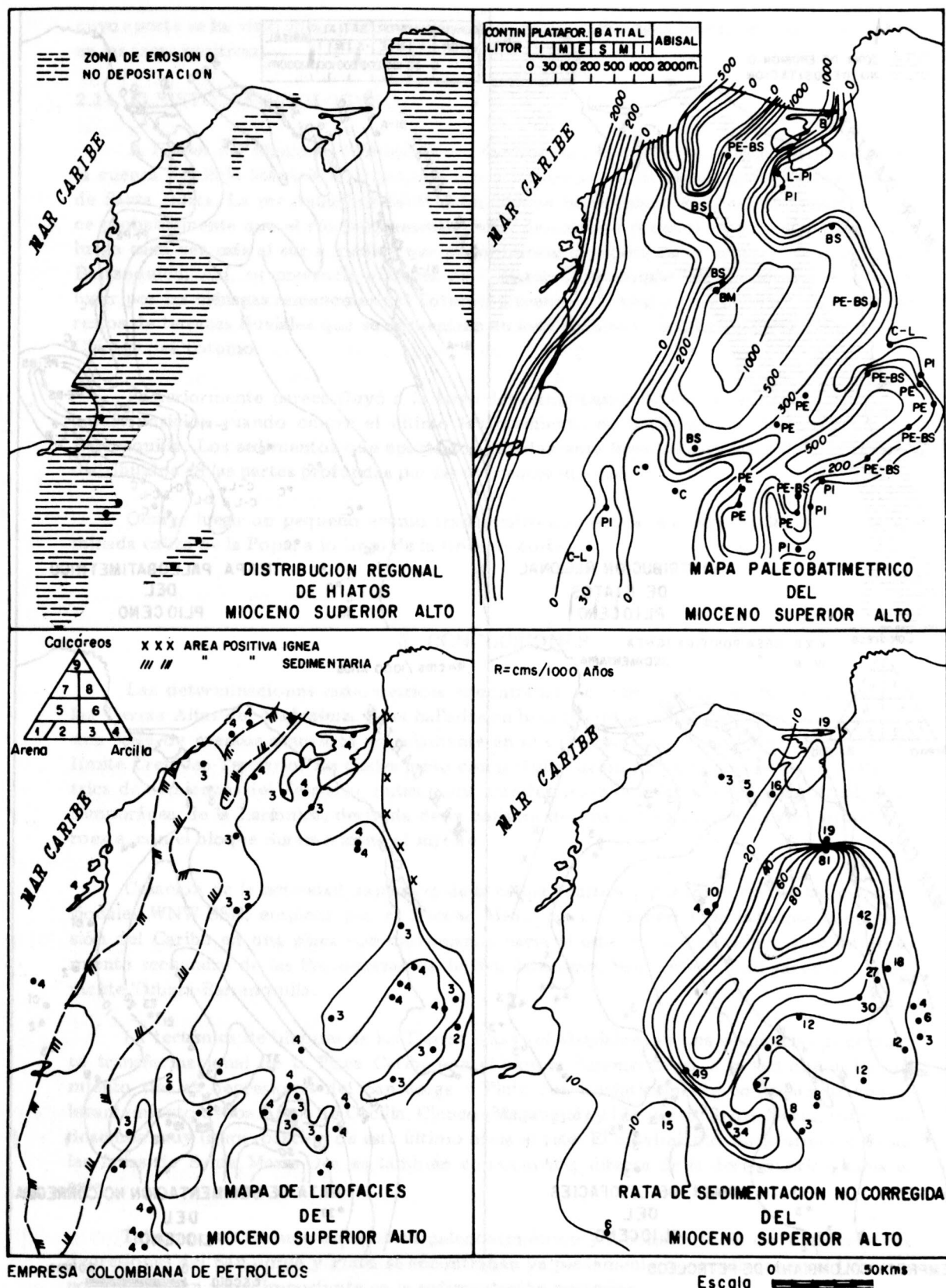


FIG. 15: Mapas de distribución regional de hiatos, paleobatimétricos, de litofacies y de rata de sedimentación no corregida, en el Mioceno superior alto.

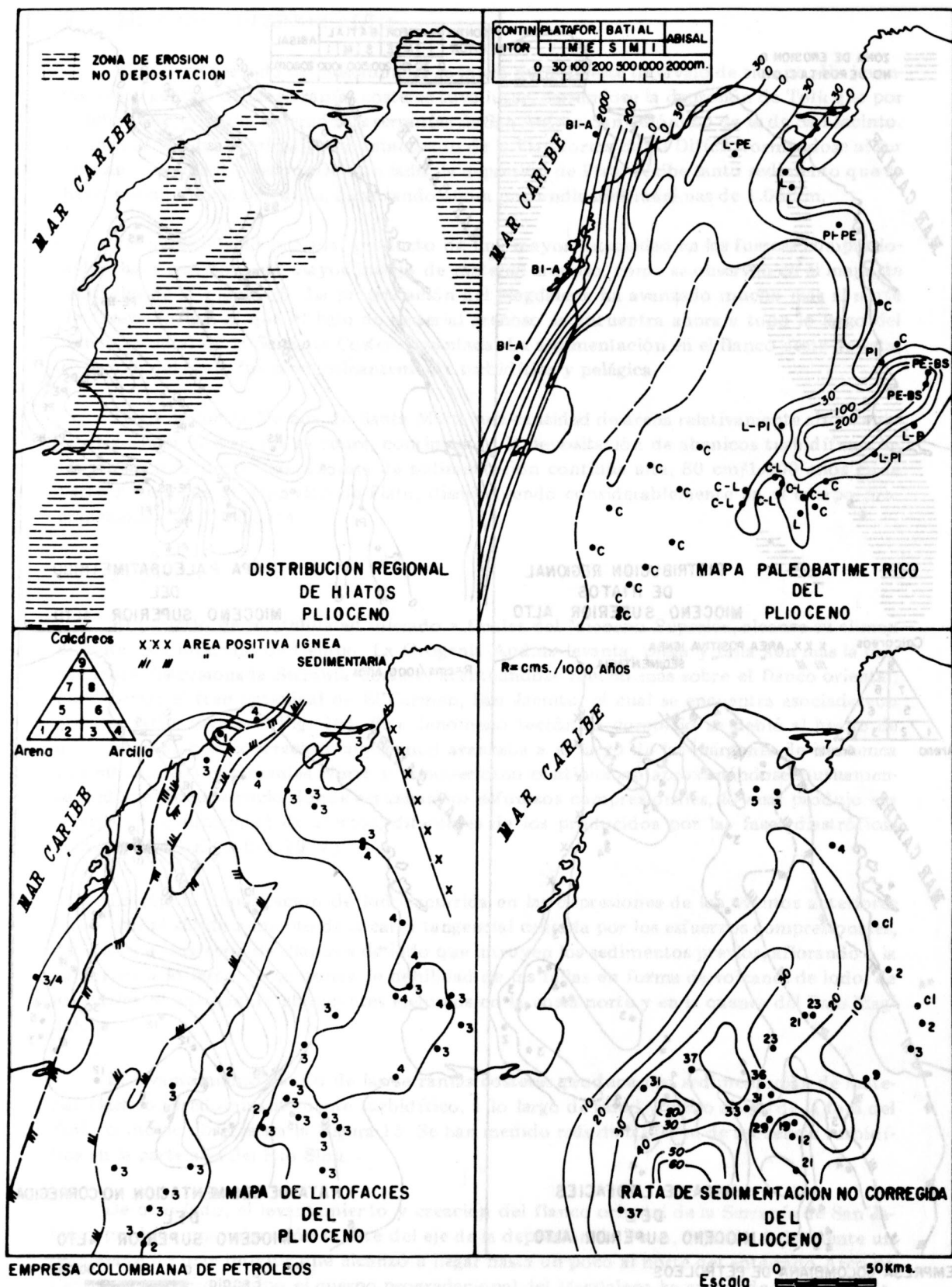


FIG. 16: Mapas de distribución regional de hiatos, paleobatimétricos, de litofacies y de rata de sedimentación no corregida, en el Plioceno.

cuyo aporte se ha visto aumentado considerablemente a causa de la intensa erosión que ocurre en las áreas positivas.

2.14. PLEISTOCENO-HOLOCENO

A finales del Plioceno, comienzos del Pleistoceno, el mar se ha retirado totalmente de la cuenca del Bajo Magdalena, quedando como remanente de su presencia la Ciénaga Grande de Santa Marta. La progradación del Río Magdalena ha avanzado mucho más al norte. Parece probablemente que el río propiamente dicho desembocó primero en el área de Tubará y luego cada vez más al sur a medida que se pronuncia el relieve de la antigua plataforma de Barranquilla. Así, su presencia a través de Luruaco-Galerazamba está indicada, en primer lugar por las ciénagas remanentes del Totumo, Luruaco y Guájaro y en segundo lugar por los restos de terrazas fluviales que se encuentran en los Pendales y en los montículos al sur de la Ciénaga del Totumo.

Posteriormente parece fluyó a lo largo del actual Canal del Dique, para luego tomar su actual posición cuando ocurre el último levantamiento de la Serranía de Luruaco-Tubará-Barranquilla. Los sedimentos que aporta son rápidamente llevados a lo largo del Talud y redistribuidos en las partes profundas por las corrientes marinas.

Ocurre luego un pequeño evento transgresivo que deposita cuerpos calcáreos, la denominada caliza de la Popa, a lo largo de la línea de costa.

3. CONCLUSIONES

Las determinaciones radiométricas encontradas en rocas metamórficas del zócalo de las Tierras Altas del Magdalena y las halladas en basaltos de la parte oceánica, coinciden con una serie de eventos ocurridos no solamente en el Cretáceo sino predominantemente en el límite Cretáceo-Terciario, los cuales junto con la distribución paleogeográfica y paleobatimétrica de comienzos del Terciario, indican una manifestación orogénica de gran amplitud, contemporánea de la Larámica, derivada de la colisión de una cédula Pacífica expansiva al noroeste, con el bloque Suramericano al sureste.

Cesación de la actividad expansiva de la célula Pacífica y por tanto de fuerzas compresionales WNW-ESE; empieza por el Eoceno Medio-Eoceno Superior, iniciándose la conversión del Caribe en una placa con movimiento hacia el este, lo cual se refleja en el levantamiento secuencial de las Proto-serranías de San Jerónimo, San Antero, San Jacinto y finalmente Tubará-Barranquilla.

La tectónica de bloques de las Tierras Altas del Magdalena es una secuencia del contacto transformacional de la Placa Caribe con el bloque Suramericano, a la vez que el hundimiento de las depresiones del San Jorge y Plato fue isostáticamente compensado con el levantamiento de los Arcos de Cecilia, Cicuco (Magangué) y bloque de Santa Marta, insinuándose una muy ligera rotación de este último hacia el este. El movimiento transformacional de las fallas de Santa Marta-Oca es también consecuencia directa de la deriva Caribe hacia el este.

Tal como se deduce del análisis paleobatimétrico y a consecuencia de lo anterior las depresiones del San Jorge y Plato se encontraban ya plenamente desarrolladas en el Oligoceno, jugando un papel importante en la sedimentación posterior.

Del estudio de la serie de mapas de litofacies y de tasas de sedimentación del Paleoceno al Plioceno, se deduce que una diversidad de ambientes de sedimentación ha ocurrido continuamente a través de la historia geológica del área, lo que ha dado lugar a la deposición de unas variadas y complejas litologías, que no se pueden fácilmente diferenciar en ciclos sedimentarios característicos. Así ocurrió deposición de carbonatos en épocas de relativa inestabilidad, como el Eoceno Superior, lo mismo que en épocas de relativa estabilidad como el Mioceno Inferior y Medio. Es evidente la deposición turbidítica en casi todos los eventos del desarrollo evolutivo.

De lo anterior se deduce que es mucho más práctico subdividir la secuencia de rocas, para propósitos sedimentológico-estratigráficos, en unidades depositadas durante etapas transgresivo-regresivas, las cuales subdividirían la secuencia en entidades sedimentológicas que corresponderían a "Secuencias Genéticas de Estratos", tal como son definidas por Bush (1971). Un ejemplo de éstas es la secuencia del Ciénaga de Oro, la cual abarca una amplia gama de litologías, todas las cuales fueron depositadas bajo un régimen progradacional del Oligoceno y transgresivo del Mioceno Inferior.

El Río Magdalena aparece en escena durante el Mioceno Medio Alto, fluyendo hacia el noroeste en general y progradando paulatinamente hasta el Plioceno, cuando lo hace en forma acelerada, llenando totalmente la Cuenca del Bajo Magdalena para probablemente desembocar inicialmente por el área de Tubará, luego por Galerazamba, continuando por el actual Canal del Dique hasta llegar a su actual posición.

La Orogenia Andina es finalmente la causante del actual modelado de la parte noroccidental de Colombia.

4. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Empresa Colombiana de Petróleos la autorización para presentar este trabajo. Agradecen igualmente al geólogo Rafael Bueno S. la revisión crítica del manuscrito, al igual que la colaboración de la División de Sistemas de Ecopetrol, en especial la de los ingenieros Clemente Mendoza y Conzuelo León.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BUSH, D.A., 1971.- *Genetic units in delta prospecting*. Am. Ass. Petr. Geol. Bull. (Tulsa, Oklahoma) 55: 1137 - 1154.
- CACERES, H. y MOLINA, J., 1978.- *Microbiozonación y Biofacies en el Valle Inferior del Magdalena*. Congr. Col. de Geol., 2, Bogotá.
- CASE, J.E., 1974.- *Major basins along the continental margin of Northern South America*. In: *The geology of continental margins*. 733-741. Burk and Drake Ed.
- CASTRO, E. y MOLINA, J., 1978.- *Uso del computador en el análisis sedimentológico y de migración de fluidos en la Cuenca del Noroccidente Colombiano*. Bogotá. Ecopetrol (Inf. en preparación).
- CRISTOFFERSON, E. 1973.- *Linear magnetic anomalies in the Columbia Basin; Central Caribbean Sea*. Geol. Soc. Amer. Bull. (Boulder, Colorado) 84, (10): 3217 - 3230.

- DUQUE CARO, H., 1968.- *Observaciones generales a la bioestratigrafía y geología regional en los departamentos de Bolívar y Córdoba*. Bol. de Geol. UIS (Bucaramanga) 24: 71 - 87.
- 1972a.- *Relaciones entre la Bioestratigrafía y la Cronoestratigrafía en el llamado Geosinclinal de Bolívar*. Bol Geol. (Bogotá). 19 (3): 25 - 68.
- 1972b.- *Ciclos tectónicos y sedimentarios en el norte de Colombia y sus relaciones con la paleoecología*. Bol. Geol. (Bogotá) 19 (3): 1 - 23.
- 1973.- *Guidebook to the Geology of the Montería Area*. Col. Soc. Petrol. Geol. Geophy. (Bogotá) Annual Field Conference, 14: 1 - 49.
- 1975.- *Los foraminíferos planctónicos y el Terciario de Colombia*. Rev. Españ. Microp. (Madrid) 7 (3): 403 - 427.
- 1976.- *Características Estratigráficas y Sedimentarias del Terciario Marino de Colombia*. Congr. Lat. Geol., 2, (Caracas): 945 - 964.
- 1977.- *Major structural elements and evolution of Northwestern Colombia*. En prensa.
- DURAN, L.G., 1964.- *Ensayo de interpretación tectonofísica de la plataforma continental del Caribe*. Caldasia (Bogotá). 9 (42): 138 - 150.
- IRVING, E.M., 1971.- *La evolución estructural de los Andes más septentrionales de Colombia*. Bol. Geol. (Bogotá) 19 (2): 1 - 89.
- KRAUSE, D.C., 1971.- *Bathymetry, geomagnetism, and tectonics of the Caribbean sea North of Colombia*. Geol. Soc. Am. Mem. (Boulder, Colorado) 130: 35 - 54.
- MARESCH, W.V., 1974.- *Plate tectonics origin of the Caribbean mountain system of Northern South America Discussion and Proposal*. Geol. Soc. Amer. Bull. (Boulder, Colorado) 85 (5): 669 - 682.
- STEVENS, N.P., 1962.- *Final Report Sample 62-AB- 394*. Bogotá, Ecopetrol, (Memo en Inf. Geol.) 601: 1 - 63.
- THERY, J.M., ESQUEVIN, J.J. et MENENDEZ, R., 1977.- *Signification Geotectonique de datations radiométriques dans des sondages de Basse Magdalena (Colombie)*. Bull. Cent. Rech. Explor - Prod. Elf. - Aquitaine, (Paris) 1 (2): 475 - 494.
- TOUSSAINT, J.F. y RESTREPO, J.J., 1976.- *Consideraciones sobre la evolución estructural del Occidente Colombiano*. Congr. Lat. Geol., 3. (Acapulco). Preimpresión.
- TSCHANZ, Ch., et al., 1974.- *Geologic evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, NE of Colombia*. Geol. Soc. Amer. Bull. (Boulder, Colorado) 85: 273 - 284.
- VAN EYSINGA, F.W.B., 1975.- *Geological Time Table*. 3ed. Ansterdam, Elsevier.
- VAN HINTE, J.E., 1978.- *Geohistory Analysis - Application of Micropaleontology in Exploration Geology*. Am. Ass. Petr. Geol. Bull. (Tulsa, Oklahoma) 62 (2): 201 - 222.
- ZIMMERLE, W., 1968.- *Serpentine graywackes from the North Coast basin Colombia and their tectonic significance*. Nau. Jahr. Miner. Abh. (Stuttgart) 109 (1-2): 156-182.