

LA FORMACIÓN DEL ISTMO DE PANAMÁ. SU INCIDENCIA EN COLOMBIA

por

Jaime de Porta*

Resumen

Porta de J.: La formación del istmo de Panamá. su incidencia en Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27**(103): 191-216. ISSN 0370-3908.

El primer esbozo del Istmo de Panamá se inicia en el Mioceno medio. Su formación incide en la paleogeografía, en las características de la fauna marina, así como de la flora. El levantamiento de la Cordillera Oriental, que se inicia entre 12.9 y 11.8 Ma, tiene su máxima intensidad entre 5 y 2.5 Ma, originando cambios en la red hidrográfica de los ríos Amazonas, Orinoco y Magdalena. El registro de un episodio frío en la Sabana de Bogotá, datado en 2.7 Ma, podría corresponder a la glaciación del Plioceno superior. Formado el Istmo (3.5-3.1 Ma) se produce el gran intercambio faunístico entre América del Norte y América del Sur. Durante el Pleistoceno se desarrolla, en el Litoral Caribe de Colombia, una serie de formaciones arrecifales de edades comprendidas entre 300.000 y 124.000 años.

Palabras clave: Istmo de Panamá. Foraminíferos. Moluscos. Provincias faunísticas. Palinología. Neógeno. Pleistoceno. Arrecifes. Levantamiento de la Cordillera Oriental. Colombia.

Abstract

The first outlines of the Isthmus of Panama began in the middle Miocene. Its formation had impacts on paleogeography. The elevation of the Cordillera Oriental, which began between 12.9 and 11.8 million years ago, had its maximum intensity between 5 and 2.5 million years ago, causing changes in the hydrographic networks of the Amazon, Orinoco and Magdalena rivers. The record of a cold epoch in the Sabana de Bogotá, dated at 2.7 million years ago, may correspond to a glacial stage of the upper Pliocene. The formation of the Isthmus led to the great faunal exchange between North and South America. During the Pleistocene, along the Caribbean coasts of Colombia, a series of coral reefs, dated between 300.000 and 124.000 years, formed.

Key words: Isthmus of Panamá, Foraminifera, Molluscs, Faunal provinces, palynology, Neogene, Pleistocene, reefs, uplift of the Cordillera Oriental, Colombia.

* Facultad de Geología, Universidad de Barcelona, Martí Franqués (Barcelona 08208) Distrito postal 08034, Barcelona, España.

Introducción

Los dos eventos más significativos que tuvieron lugar en el Mioceno tardío y a principios del Plioceno fueron la crisis de salinidad en el Mediterráneo y la formación del Istmo de Panamá en América Central.

La importancia de ambos eventos queda manifiesta por los copiosos trabajos que en los diversos campos de la geología se han publicado en las dos últimas décadas. Ambos procesos tienen una marcada influencia a escala mundial.

La formación del Istmo de Panamá fue gradual. Se inicia en el Mioceno superior permitiendo todavía, unas veces con restricciones, otras con una mayor facilidad, la circulación entre el Mar Caribe y el Océano Pacífico.

La interrupción de la comunicación aporta un cambio importante en la paleoceanografía. Se refuerza la corriente del Golfo, influye en la glaciación del Hemisferio Norte y se configuran las nuevas provincias paleozoogeográficas. Al mismo tiempo la formación de un puente intercontinental entre las dos Américas facilita los desplazamientos de la fauna continental en ambos sentidos.

Colombia por su posición geográfica tiene una importancia capital en el conocimiento de los procesos geológicos durante la formación del Istmo. A través de la Cuenca del Atrato se establecía cierta comunicación entre el Océano Pacífico y las cuencas del Mar Caribe.

La bioestratigrafía está basada casi exclusivamente en los foraminíferos y unos pocos datos sobre ostrácodos. En muchas áreas la información procede casi exclusivamente de sondeos realizados por la industria del petróleo y los datos son fragmentarios. En general, faltan listas completas de la fauna y los datos numéricos son escasos y difíciles de evaluar. Las sucesivas revisiones de las unidades litoestratigráficas han dado lugar a un rejuvenecimiento importante de las diferentes secciones estratigráficas (**Porta**, 1962, 1970, 1974; **Duque-Caro**, 1967, 1971, 1975, 1990a y 1990b; **Bordine**, 1974).

A pesar de que las listas publicadas, tanto en lo que se refiere a foraminíferos como a moluscos no son completas, es interesante hacer una comparación entre las secciones más completas de Colombia y una primera aproximación con áreas vecinas. Se podrán plantear algunas cuestiones y los datos representarán un hito en el conocimiento histórico de la región.

No se han incluido los datos de la región de La Guajira por ser menos conocidos, por la ausencia de datos cuan-

titativos y por presentar una problemática particular. Tampoco se han tratado los moluscos de los Llanos relacionados con la fauna de Pebas, por sus connotaciones propias.

Situación geológica

Dos grandes unidades geomorfológicas destacan en Colombia: la Cordillera de los Andes y los Llanos al oriente (Figura 1A). La región de los Llanos se extiende al pie de la Cordillera Oriental y está surcada por diversos ríos: Arauca, Meta y Guaviare, que son afluentes del río Orinoco, Apaporis, Caquetá y Putumayo lo son del río Amazonas.

La Cordillera de los Andes, con una orientación general Norte-Sur, está formada a su vez por tres unidades que de E a W son: la Cordillera Oriental, la Cordillera Central y la Cordillera Occidental. Tres grandes ríos recorren la Cordillera de los Andes de S. a N.: el río Magdalena, el río Cauca y el río Atrato.

Al Oeste de la Cordillera Occidental se encuentra el denominado Bloque del Chocó. Comprende parte de América Central desde el lado oriental de la Zona del Canal, hasta la latitud de 4° Norte, que se sitúa en las proximidades de Buenaventura. El Bloque del Chocó comprende los Arcos de Dabeiba, Baudó, y la Cuenca del Atrato.

Placas tectónicas

América Central constituye una franja relativamente estrecha, formada por Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Honduras y Méjico, que une América del Norte con Sudamérica. Actualmente separa el Mar Caribe del Océano Pacífico.

Desde un punto de vista geológico, América Central y el norte de Sudamérica presentan una estructura compleja. Al occidente de Colombia se realiza la triple unión de la placa Sudamericana, la placa Nazca, la placa Cocos y la placa Caribe (Figura 1B). La evolución de estas placas en el tiempo ha condicionado en gran medida la evolución paleogeográfica de esta zona.

Durham (1985) hace hincapié en la importancia del movimiento de la placa tectónica del Caribe hacia el E, como habían señalado **Sykes et al.** (1982), para explicar la "fauna relictada del Neógeno" de Colombia y Venezuela señalada por **Petuch** (1981). Indica además en este sentido la presencia del equínido *Mellitella*, una forma pacífica que se encuentra en el Grupo Tubará y en el Pleistoceno de Venezuela.

Durante el Mioceno medio se formó un rosario de islas, denominadas por algunos autores Arco de Panamá-Chocó,

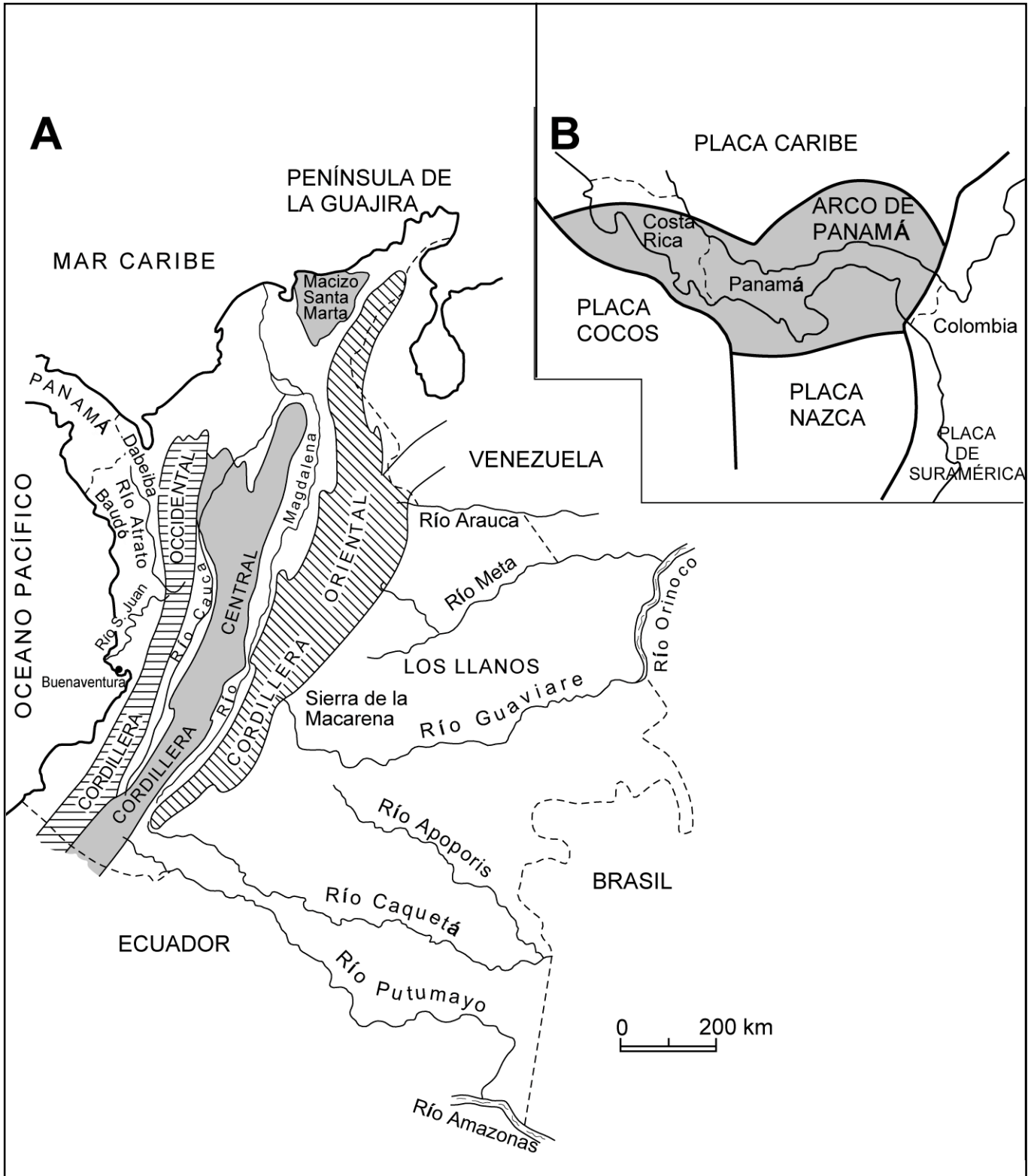


Figura 1. A) Principales unidades morfológicas en Colombia. B) Situación de las Placas tectónicas en el borde NW de América del Sur y América Central. En gris se ha señalado la microplaca de Panamá. Basada en datos de Kellogg & Vega, 1995 y Mann & Kolarski, (1995).

MA	BIOZONAS BERGGREN et al. 1995	EDAD	ZONAS BLOW 1969	FORMACIONES	CONJUNTOS DE FORAMINIFEROS DUQUE, 1990	
1		PLEISTOCENO				
2	PL 6	GELASIENSE				N. altispira
3	PL 5 PL 4	PIAZEN-ZIENSE				
	PL 3			NONIONELLA BULIMINELLA	⊥ ⊗ Fauna de Cucurupi y Pocoma	
4	PL 2	ZANCLIENSE	N 19	MUNGUIDO		Glauconita
5	PL 1		N 18		BOLIVINA UVIGERINA	Mudstones calcáreos con moluscos, restos de plantas. Nivel de glauconita en el techo y cineritas.
6	M 14	MESSINIENSE				
7	b		N 17			Glauconita
8	M 13	TORTONIENSE		SIERRA	UVIGERINA	Fondo anóxico
9	a		N 16		VALVULINERIA	Mudstones calcáreos con intercalaciones de calizas, dolomias y limolitas. Nivel de glauconita en el techo
10						
11	M 12		N 15		VALVULINERIA	
12	M 11	SERRAVALLIENSE	N 14		GLOBIGERINIDOS	Fondo anóxico
	M 10		N 13		BULIMIÑA	Desaparición de Radiolarios
	M 9		N 12		UVIGERINELLA	
13	M 8		N 11	NAPIPI		
14	M 7		N 10		CIBICOIDES UVIGERINELLA	Mudstones poco calcáreos con niveles de calizas y piritita en la parte superior. Abundancia de Radiolarios Abundancia de nutrientes

Figura 2. Unidades litoestratigráficas en la Cuenca del río Atrato y conjuntos de foraminíferos bentónicos de Duque-Caro (1990). Se ha indicado la posible ubicación de la fauna descrita por Oinomikado (1935).

que permitía la comunicación del Mar Caribe con el Océano Pacífico. Estas condiciones pudieron facilitar el primer intercambio de fauna terrestre entre América del Norte y América del Sur. Más tarde el Arco de Panamá-Chocó colisionó con el norte de Sudamérica y en el Plioceno inferior se inicia el desarrollo del actual Istmo de Panamá que dibuja un notorio arco en su unión con el norte de Colombia.

La complejidad tectónica del área ha sido puesta de manifiesto recientemente, entre otros por **Mann & Kolorsky** (1995). Panamá y Costa Rica constituyen el Bloque de Panamá y formarían una microplaca denominada microplaca de Panamá-Costa Rica (**Adamek et al.**, 1988; **Kellogg & Vega**, 1995). Algunos autores incluyen parte del noroeste de Colombia en esta unidad.

El Bloque de Panamá se habría separado de la Placa Caribe y su límite viene determinado por el borde norte del cinturón deformado de Panamá. El límite sur con la Placa Nazca corresponde al borde sur del mismo cinturón.

La zona oriental de Panamá y la zona noroccidental de Colombia son una de las áreas más activas en cuanto a sismicidad (**Kellogg & Vega**, 1995).

Duque-Caro (1990a) ha señalado en el Arco de Dabeiba la presencia de bloques con una microfauna del Cretácico superior y del Paleoceno. En este último se han reconocido diversas especies de *Morozobella* y *Subbotina*. Esta fauna está relacionada con latitudes más septentrionales como Guatemala y Méjico, lo que señala su carácter exótico que se acrecionó a la Cordillera Occidental en el Mioceno medio. Se trata de un bloque exótico sin afinidad litogenética con América del Sur.

Cuencas sedimentarias

Relacionado con este trabajo se considerarán algunos aspectos estratigráficos de las regiones del Chocó y valle inferior del Magdalena, que contienen una sedimentación básicamente de origen marino, y de la Sabana de Bogotá con una sedimentación continental.

Región del Chocó

Los datos tectónicos sobre la región noroccidental de Colombia son más abundantes y recientes que los referidos a la estratigrafía y paleontología. A parte de los trabajos de **Nygren** (1950) y **Bandy** (1970), destacan los de **Case et al.** (1971), **Duque-Caro** (1990a), **Mann & Kolorsky** (1995), y **Kellogg & Vega** (1995).

Por lo que respecta a la estratigrafía y paleontología señalamos los trabajos de **Haffer** (1967), **Bandy** (1970) y

Duque-Caro (1990b). Los datos de **Bandy** están relacionados con la construcción de la Ruta Panamericana y limitados a la zona fronteriza con Panamá y el Golfo de Darién.

La Cuenca del río Atrato

Esta cuenca es quizás la más conocida. Se extiende por el valle del río del mismo nombre, situado al oeste de la Cordillera Occidental. Esta cuenca está integrada en el cinturón que se prolonga hacia Panamá donde constituye parte del istmo del mismo nombre que separa el Océano Pacífico del Mar Caribe.

Duque-Caro (1990b) sigue la nomenclatura litoestratigráfica de **Haffer** (1967) con algunas modificaciones y describe varios conjuntos de foraminíferos que permiten determinar las condiciones paleoecológicas y paleoceanográficas. Posteriormente en el Mapa Geológico del departamento del Chocó (**Cossio**, 1994) se adaptan en gran parte las unidades de **Duque-Caro** (1990b).

La sucesión litoestratigráfica está basada en dos secuencias diferenciadas: la Pre-Cuenca del Atrato y la Cuenca del Atrato. En la primera se incluyen las formaciones Uva y Napipí y en la segunda las formaciones Sierra y Munguidó.

En la Figura 3 se han representado las unidades y conjuntos de foraminíferos bentónicos descritos por **Duque-Caro** (1990b), registradas en la perforación del pozo Odogado-1, con una breve descripción de la litología, y la posición de la fauna de moluscos descrita por **Oinomi-kado** (1939). Aunque originalmente este autor no asigna la fauna a ninguna formación, la cartografía del Mapa Geológico del departamento del Chocó (**Cossio**, 1994) permite situarla en la Formación Munguidó.

Formación Napipí.- Está formada por mudstone con intercalaciones nodulares y lenticulares de calizas que descansan sobre la formación Uva. El espesor está comprendido entre 600 y 1.400 m, según los afloramientos. La edad corresponde al Mioceno medio (Zona N9 a N11). Los foraminíferos planctónicos son menos abundantes que en la Formación Uva y aumentan las formas arenáceas. Se depositó en un medio de aguas ricas en nutrientes orgánicos, fondo anóxico y aguas profundas.

La formación Napipí contiene *Melonis pompilioides* y *Gyroidina soldani* que son indicadores de aguas profundas. La presencia de *Uvigerina* representada por varias especies y la ocurrencia de piritita framboidal señalarían un fondo de carácter anóxico y una alta productividad en las aguas superficiales.

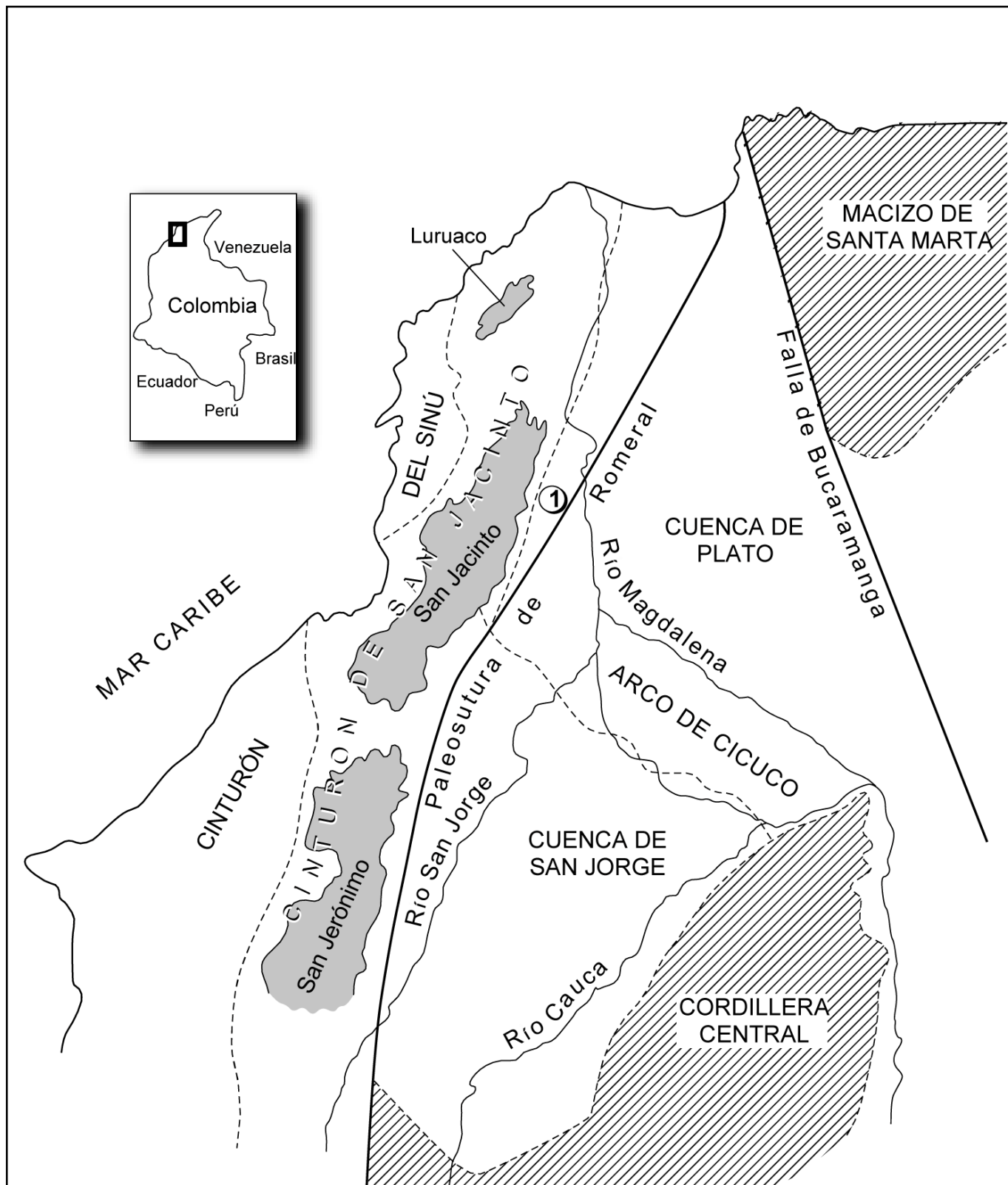


Figura 3. Cuencas sedimentarias y principales unidades estructurales en la región septentrional de Colombia.

Formación Sierra.- Consta de dolomias calcáreas en la parte inferior y mudstone con areniscas y niveles carbonatados en la parte superior. La secuencia tiene un espesor de unos 804 m en el pozo Opogado-1, pero oscila entre 1.000 y 1.800 m en otras secciones. Contiene abundantes foraminíferos planctónicos y bentónicos. La edad es Mioceno medio - Mioceno superior (Zona N13-parte inferior de la Zona N17). **Duque-Caro** (1990b) ha distinguido tres conjuntos de foraminíferos bentónicos y unas condiciones de anoxia.

Formación Munguidó.- Es discordante sobre la Formación Sierra. Predominan los niveles de mudstone grises con intercalaciones de areniscas. Contiene niveles carbonáceos y niveles de moluscos. Su edad es difícil de precisar por la ausencia de marcadores planctónicos. La base correspondería al Mioceno superior (Zona N17) y el techo al Plioceno Basal (Zona N19). **Duque-Caro** (1990b) considera que el techo de la formación no sería más moderno que el LAD de *Globorotalia margaritae*. Evento que se situaría en 3.4 Ma de acuerdo con **Bergreen et al.** (1995). Si se considera que la extinción de *Dentoglobobadrina altispira* tiene lugar a 2.9 Ma. (**Cotton**, 1999), la parte más superior de la Formación Munguidó podría corresponder al Plioceno medio como se ha indicado en la Figura 3.

Se han distinguido dos conjuntos de foraminíferos. La microfauna cambia bruscamente en relación con la Formación Sierra. Disminuye la batimetría hasta cotas inferiores a 150 m. y existe una importante entrada de materia orgánica a la cuenca.

La fauna de foraminíferos

En el Mioceno medio las faunas de foraminíferos del noroeste de Colombia presentan un alto grado de semejanza con el área del Caribe, debido a la comunicación entre ambos dominios.

En la parte alta del Mioceno medio y en el Mioceno superior (Formación Sierra) la influencia de la corriente de California llega a la región del Atrato y se prolonga hasta el Golfo de Guayaquil. La Formación Munguidó marca una somerización y la comunicación entre el Océano Pacífico y el Caribe se restringe paulatinamente hasta que emerge completamente el Istmo de Panamá.

Valle inferior del Magdalena

El Valle Inferior del Magdalena está limitado al Este por el Macizo de Santa Marta, al Sur por las estribaciones de las Cordilleras Central y Occidental, y al Oeste por los anticlinorios de San Jerónimo, San Jacinto y Luruaco (Figura 4).

El lineamiento de El Romeral o Falla de Romeral, separa dos dominios geológicos bien diferentes. En el dominio oriental los sedimentos más antiguos pertenecen al Oligoceno y descansan sobre la corteza continental no plegada que forma el área o región estable. El dominio occidental comprende sedimentos más antiguos que descansan sobre la corteza oceánica plegada y corresponde a la región inestable.

La Falla de Romeral se conoce de antiguo (**Grosse**, 1926), pero fueron **Barrero et al.** (1969) quienes le asignaron su actual estatus. La falla se puede seguir hasta el Ecuador en un trazado de más de 800 km. En realidad se trata de una paleosutura que se inicia en el cretácico inferior.

En el Valle Inferior del Magdalena se han diferenciado varias cuencas sedimentarias ocupadas por depósitos terciarios. Los límites entre las diferentes cuencas no están bien definidos en superficie. La zona al oriente de la Falla de Romeral está ocupada por sedimentos del terciario superior. Aquí se han separado dos depresiones que corresponden a la Cuenca de San Jorge y a la Fosa de Plato. Algunos autores prefieren utilizar el nombre de subcuencas. El límite entre ambas no es muy preciso.

La zona del Arco de Cicuco-Magangué en líneas generales sirve de límite entre las dos cuencas. Se trata de

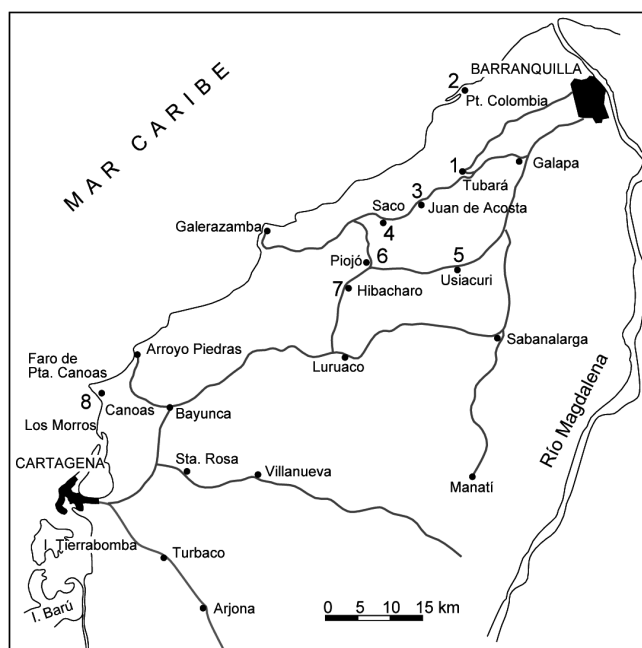


Figura 4. Situación de las secciones litoestratigráficas en la región septentrional de Colombia. 1) Tubará. 2) Puerto Colombia. 3) Arroyo Juan de Acosta. 4) Arroyo Saco. 5) Usiacurí. 6) Piojó. 7) Hiba-charo.

un alto del basamento con una orientación Este-Oeste sobre el que se depositaron facies carbonatadas como las Calizas de Cicuco. Así la Cuenca de San Jorge, que es la más meridional, se encuentra limitada por la Cordillera Central al oriente y al sur, y al norte por el Arco de Cicuco-Magangué y el río Magdalena.

La Fosa de Plato está situada más al norte y queda limitada al oriente por la Serranía de Santa Marta y al norte por la zona de Barranquilla. En su parte oriental presenta también un alto, el Alto de El Difícil.

Sobre el dominio oceánico se encuentran dos cinturones tectónicos: el de San Jacinto y el del Sinú. Ambos con una dirección general NE-SW. El Cinturón de San Jacinto consta de anticlinales y sinclinales alargados, apretados y estrechos. Los ejes de las estructuras cabecean y esta disposición da lugar a la formación de cuerpos en forma de isla, separados por zonas planas. Así aparecen de Sur a Norte: S. Jerónimo, S. Jacinto y Luruaco. Los sedimentos pertenecen al Terciario inferior (turbiditas del Eoceno medio y niveles carbonatados del Eoceno superior) y en los núcleos de los anticlinales pueden aflorar estratos del Cretácico superior.

El Cinturón del Sinú tiene un trazado paralelo al anterior. Consta de anticlinales escarpados y sinclinales laxos. Está formado por sedimentos de edad Mioceno y Plioceno. Al sur comprende el área del río Sinú y en el extremo norte la región entre Cartagena y Barranquilla. En esta última existen varios volcanes de lodo, algunos de ellos todavía activos. Más detalles sobre los cinturones se encuentran en **Duque-Caro** (1978; 1984).

Cuenca de San Jorge.- Tiene una gran extensión y potencia de sedimentos con variadas facies que se distribuyen desde el Oligoceno al Pleistoceno. En ella se localiza la sección de El Carmen-Zambrano que constituye una sección clásica en el terciario de Colombia. Fue estudiada inicialmente por **Petters & Sarmiento** (1956) estableciendo una zonación a base de foraminíferos bentónicos. Posteriormente se hicieron otras biozonaciones (**Burgl**, 1961; **Duque-Caro**, 1968, 1971; **Porta**, 1962, 1970; **Stone**, 1968; **Duque-Caro et al.** (1996).

La sección se inicia al oeste de la población de El Carmen y se puede seguir de forma bastante continua por la carretera de El Carmen a Zambrano hasta la margen derecha del Río Magdalena. Su espesor se ha calculado en unos 5.385 m, según **Petters & Sarmiento** (1956). Consta de una sucesión de sedimentos principalmente finos que descansan sobre el Eoceno. A pesar de presentar variaciones litológicas nunca se había publicado (dado a

conocer de una manera formal) una nomenclatura litoestratigráfica.

Duque-Caro et al. (1996) aplican con algunas variaciones las unidades de **Notestein** (1929) que figuran en informes internos de la Texas Petroleum Company. La estratigrafía de esta sección es completada para algunas formaciones, con secciones levantadas en los arroyos Alférez y San Jacinto.

Aunque la sección abarca desde el Cretáceo superior hasta el Cuaternario, para el objetivo del trabajo se considerarán sólo las unidades que pertenecen al Terciario superior.

En la Figura 5 se han representado las unidades litoestratigráficas empleadas por **Duque-Caro et al.** (1996). Estas unidades se han relacionado con las zonas de foraminíferos de **Petters & Sarmiento** (1956), las zonas de **Blow** (1969) y las edades y zonas de **Berggren et al.** (1995). Se han señalado también los principales niveles que contienen fauna de moluscos.

La parte de la sección que se trata se inicia con la Formación Rancho en la que predomina una sedimentación de areniscas compactas y arcillas arenosas. Su espesor aumenta hacia el S. En la carretera de Carmen-Zambrano mide unos 970 m.

Según comunicación personal del Dr. **Duque-Caro**, recientemente la parte inferior de la Formación Rancho se ha separado en una unidad independiente denominada Formación Porquero que comprendería la zona de *Guttulina caudriae* de **Petters & Sarmiento** (1956). La Formación Rancho quedaría así restringida a la parte que corresponde a las Zonas de *Planulina karsteni* y *Sigmoilina tenuis*.

Un hiatus que abarca las zonas N11 y N12 de **Blow** (1969) separa la Formación Rancho de la Formación Jesús del Monte. Esta última unidad es principalmente arcillosa con intercalaciones de areniscas y contiene la zona de *Bulimina carmenensis*. En su base destaca morfológicamente un paquete de 45 m de areniscas micáceas con restos de hojas y moluscos y forma el Miembro Areniscas de Mandatú. La sección termina con la Formación Zambrano caracterizada por arenas feldespáticas con un alto contenido en carbonatos biogénicos y con intercalaciones de arcillas y limos. En esta formación son frecuentes los niveles de moluscos. Su espesor es de unos 350 m, pero puede alcanzar los 500 m. La Formación Zambrano contiene las zonas de *Uvigerina subperegrina* y *Ammonia beccarii*.

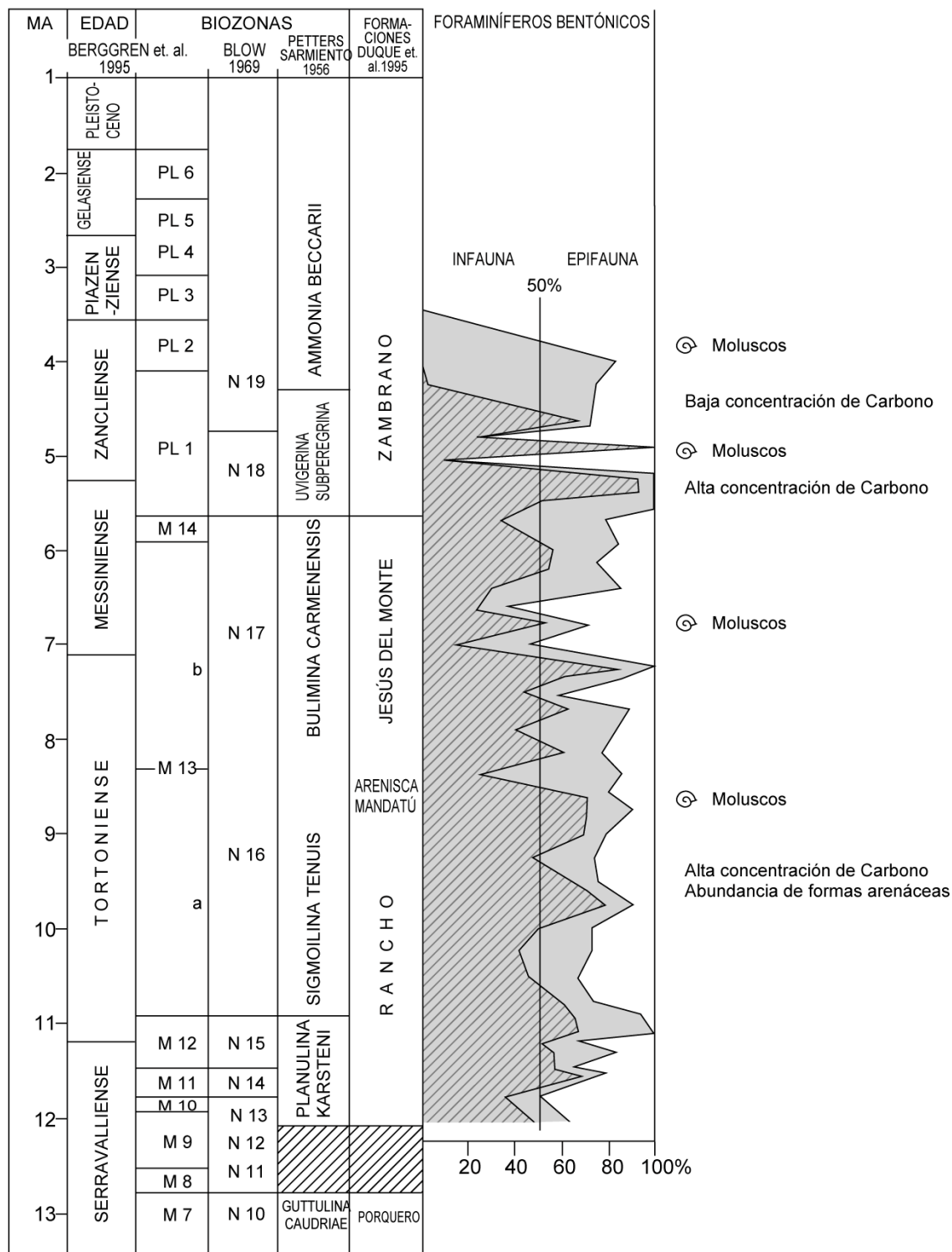


Figura 5. Unidades litoestratigráficas en la Sección de El Carmen-Zambrano, ligeramente modificado de **Duque-Caro et al. (1996)**. Zonas de foraminíferos de **Petters & Sarmiento (1956)** y Zonas de **Blow (1969)** relacionadas con la escala cronoestratigráfica de **Berggren et al. (1995)**. Distribución de la infauna y epifauna de foraminíferos bentónicos basada en grupos morfológicos según la lista de **Petters & Sarmiento (1956)**. @ Posición aproximada de los niveles de moluscos.

La fauna de foraminíferos

La composición de los foraminíferos señala un medio típicamente marino con una alta diversidad de especies. Los géneros *Cibicides*, *Bulimina* y *Uvigerina* están muy bien representados, siendo *Bolivina* el principal componente.

Los foraminíferos de la zona de *Sigmoilina tenuis* señalan un medio nerítico externo (200-300 m). Abundan las formas aglutinadas como *Haplophragmoides*, *Cyclamina* y *Bathysiphon* que sugieren un fondo anóxico con un bajo contenido en oxígeno.

En la Zona de *Bulimina carmenensis* se reduce la profundidad y hay una deteriorización del medio por aislamiento del mar abierto. Esta deteriorización se acentúa en la Zona de *Uvigerina subperegrina* con una fuerte disminución del número de especies y se inicia la instalación de un régimen salobre.

En la Zona de *Ammonia beccarii* se registra un medio somero. El número de especies disminuye considerablemente y los moluscos se hacen muy abundantes. Hacia el techo de la zona y al oriente de Zambrano, en la margen derecha del río Magdalena, se instala un medio definitivamente salobre con *Cerithium*, *Nerita*, *Dreissensia* y *Mytilopsis*.

Grupos morfológicos en los foraminíferos bentónicos

Aunque **Petters & Sarmiento** (1956) dan tan sólo datos semicuantitativos del número de ejemplares de las especies, a partir de la tabla de distribución se pueden realizar algunas evaluaciones.

Se ha procedido a la agrupación de los foraminíferos en grupos morfológicos siguiendo los criterios de **Corlis** (1985; 1991; **Corliss & Chen**, 1988 y **Rosoff & Corlis**, 1991). Los grupos morfológicos evitan los problemas de las sinonimias en el tratamiento cuantitativo, dado que no existen revisiones actualizadas de la microfauna. Al mismo tiempo ofrecen información ecológica y permiten determinar las variaciones entre la infauna y epifauna.

Los grupos morfológicos que se emplean en este trabajo corresponden a los **Planispirales redondeados**, **Ovoides apalanados**, **Cilíndrico fusiformes** y **Esféricos** para la infauna y los **Trocospirales redondeados**, **Miliólidos**, **Trocospirales planoconvexos** y **Trocospirales biconvexos** para la epifauna. El género *Lenticulina* se ha considerado como un elemento de la epifauna de acuerdo con **Rosoff & Corlis** (1992).

En toda la sección de Carmen-Zambrano domina la infauna con valores siempre superiores al 50%. La base de la sección presenta una fluctuación poco acusada en-

tre los dos grupos. A partir de la Zona de *Siphogenerina bassispinata* hasta la mitad inferior de la Zona de *Bulimina carmenensis* se aprecia una tendencia gradual y continua del dominio de la infauna donde se alcanzan valores del 70 y 90%. Después la epifauna se hace más dominante con fuertes fluctuaciones que llegan al 80%.

En la Figura 5 se han representado las variaciones del grupo de cilíndrico fusiformes que es el que aporta un mayor peso específico (siempre por encima del 40%) al grupo de la infauna. La variación de este grupo guarda un paralelismo con el del resto de la infauna. Los otros grupos de la infauna tienen escasa representación.

En cuanto a la epifauna dominan las formas trocospirales. Miliólidos y *Lenticulina* son minoritarios e inician su regresión a partir de la Zona de *B. carmenensis*. Sin embargo *Lenticulina* aumenta en esta zona y domina en la Zona de *Uvigerina subperegrina* (valores de hasta 30%). En la Zona de *Ammonia beccarii* faltan tanto los Miliólidos como *Lenticulina*. La parte superior de la zona carece de foraminíferos.

La región entre Cartagena y Barranquilla

Los primeros esbozos de carácter general sobre la estratigrafía y paleontología de esta región se inician con el trabajo de **Anderson** (1929) y constituyen el punto de referencia para toda el área. **Anderson** estableció tres grandes unidades litoestratigráficas con la categoría de grupo: Grupo Las Perdices, Grupo Tubará y Grupo Galapa (La Popa). El grupo Tubará es el más significativo por la abundancia de moluscos. Aunque el nombre de Tubará fue introducido por **Anderson** en 1926, no es hasta 1929 cuando lo define y establece diversos horizontes: M-N, O, P, Q, R, S, y T. Posteriormente se han interpretado de manera diversa los términos introducidos por **Anderson**.

La elaboración del mapa fotogeológico por **Raasveldt** (1954) (inédito) introduce nuevas unidades litoestratigráficas que aparecen publicadas por **Burgl et al.** (1955). En el mapa que acompaña el 11 Field Trip sobre esta región, **Bueno** (1970) complementa la estratigrafía con nuevas unidades.

Además de los mencionados, son varios los trabajos que se ocupan de la región. Destacan los referidos a la micropaleontología y facies (**Redmon**, 1953; **Porta**, 1962; **Duque-Caro**, 1965; **Van den Bold**, 1966; **Duque-Caro**, 1972a; 1972b; **Porta**, 1974; **Bordine**, 1974; **Duque-Caro**, 1975; 1976).

Dentro de esta región se tratarán las secciones de Arroyo Saco, alrededores de Tubará, y Puerto Colombia. Tam-

bién se comentarán algunas observaciones puntuales sobre otras localidades.

Bueno (1970) señala y describe someramente las siguientes unidades litoestratigráficas aplicadas en esta área.

La Formación Gallinazo formada por areniscas masivas de grano grueso a conglomerático. Hacia el techo shales y arenas fosilíferas. El espesor es de unos 800 m.

Formación Hibacharo. Consta de arcillas, limos con intercalaciones de areniscas con niveles de yeso y algunos fósiles. Su espesor puede alcanzar los 1.000 m.

Formación Piojó. Presenta shales micáceas de color verde a oscuro que alternan con arcillas arenosas. Espesor de unos 300 m.

Formación Tubará. Contiene areniscas masivas, compactas de grano fino a medio con abundantes moluscos. 300 m de espesor.

Formación Saco. Consta eminentemente de shales con algunos bancos fosilíferos. 800 m de espesor.

Formación Juan de Acosta. Formada por areniscas masivas de grano medio a fino, de color amarillo, con intercalaciones de conglomerados y limolitas limoníticas. 500 m.

Formación Chorrera. Areniscas masivas de grano medio a fino y fosilífera. 1.100 m.

Formación Sabanalarga. Predominan las arcillitas con algunas intercalaciones de areniscas poco compactas. 250 m.

En la Figura 9 se da la equivalencia entre las diversas nomenclaturas, la extensión vertical de las secciones estudiadas por **Bordine** (1974) y correlacionada con la cronología de **Berggren et al.** (1995).

La Sección de Arroyo Saco

Representa otra de las secciones consideradas clásicas gracias al trabajo de **Burgl et al.** (1955) y posteriormente al de **Bordine** (1974). La sección aflora de forma bastante continua siguiendo el arroyo del mismo nombre; aunque **Bordine** la denominó Arroyo Piojó. El espesor es aproximadamente de unos 1.800 m.

Es posible establecer con cierta precisión la equivalencia entre los datos de **Burgl et al.** y los de **Bordine** referidos a la misma sección en el trazado del Arroyo Saco (Figura 6). En la tabla I se han resumido los datos de ambos autores.

Sin embargo, se plantean ciertas discrepancias. Éstas se deben al empleo de un mismo término en sentidos dife-

rentes y por la extensión de un mismo nombre a facies distintas, si bien sus edades pueden ser las mismas.

Bordine en su columna estratigráfica (Fig. 34) sobre la sección, no utiliza ningún nombre de Formación, aunque sí aparecen en los esquemas generales de las Figuras 9 y 10.

La primera aparición de *G. margaritae* tiene lugar en el techo de la Subzona de *S. sphaeroides* (muestra 377). De acuerdo con los datos de **Berggren et al.** (1995) este evento se sitúa a 5.6 Ma, en el Mioceno más superior (base de la Zona PL1a) y correspondería a la Formación Piojó. La mitad superior de la Formación Piojó y la Formación Tubará corresponderían al Plioceno inferior.

En la Sección de Arroyo Saco *G. nepenthes* desaparece en la parte superior de la Subzona de *G. multicamerata* (muestras 78-79). *G. nepenthes* desaparece a 4.18 Ma (parte alta de la Zona PL1a, techo de la zona N19, según la escala de **Berggren et al.**, 1995). La base del Plioceno medio se situaría en la mitad superior de la Formación Saco. **Bordine** sitúa la base del Plioceno medio ligeramente más arriba (M. 401).

Duque-Caro (1975) revisó algunas placas de la sección de Arroyo Saco y colocó la parte inferior de la sección en las Zonas N16-N18 de **Blow**.

Los foraminíferos

En las listas de foraminíferos planctónicos de **Burgl et al.** (1955), y de **Bordine** (1974) faltan varios de los taxones que se utilizan para la biozonación reciente. En parte esta ausencia es sin duda debida a las condiciones ambientales.

La sucesión se caracteriza por un medio de plataforma externa con abundantes planctónicos y *Uvigerina* en la parte inferior que se va somerizando hasta un medio de plataforma interna en la que abundan los niveles de moluscos. La parte alta de la sección carece casi por completo de foraminíferos y son abundantes los ejemplares de *Scapharca grandis* que indicaría un medio muy próximo a un manglar.

Tabla I. Comparación del número de especies citadas por **Burgl et al.** (1955) y **Bordine** (1974) y número de especies comunes entre ambos autores en la Sección de Arroyo.

		BURGL <i>et al.</i> (1955)	BORDINE (1974)
Nº de especies planctónicas		19	41
Nº de especies bentónicas		50	74
Nº de especies planctónicas comunes	6		
Nº de especies bentónicas comunes	12		

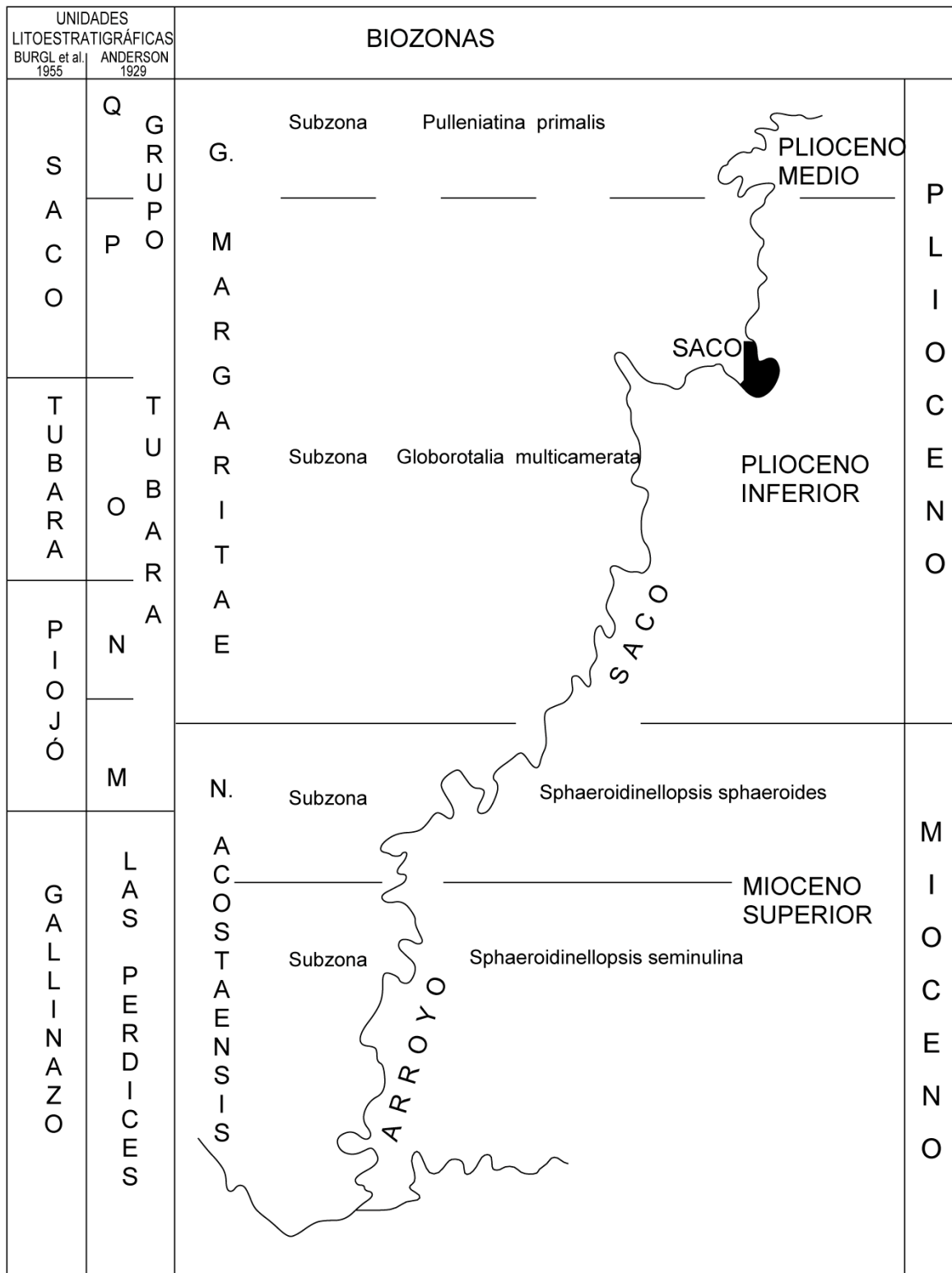


Figura 6. Sección estratigráfica de Arroyo Saco. Relación entre las unidades litoestratigráficas de **Bürgl et al.** (1956), Horizontes de **Anderson** (1929) y Biozonas de foraminíferos bentónicos de **Bordine** (1974).

Variaciones entre los grupos morfológicos en la Sección de Arroyo Saco

Al igual que señalamos para la sección de Carmen-Zambrano no existen datos cuantitativos precisos que permitan un análisis estadístico adecuado. Los datos representados en la Figura 7 están basados en los valores que figuran en las tablas de **Bordine** (1974). Se han utilizado los mismos grupos morfológicos que en la sección de Carmen-Zambrano.

Los elementos de la infauna son los más abundantes en toda la sección con valores superiores al 70%. En la Subzona de *S. spaheroides* y en la mitad de la Subzona de *G. multicamerata* se puede observar un tramo con un dominio casi absoluto de la infauna. Estos dos intervalos corresponderían a los momentos en que existe una mayor profundidad. Otro intervalo con un dominio de la infauna se aprecia en el límite con la Subzona de *P. primalis*. Sin embargo aquí coincide con una intercalación de unos 50 m, con un régimen de aguas más someras, de plataforma interna y con ciertas influencias de condiciones salobres como parece indicar la abundancia de *Scapharca grandis* y sin foraminíferos.

En la infauna al igual que en la sección de Carmen-Zambrano el grupo de los cilíndrico- fusiformes es el mayoritario.

Entre la epifauna los Miliólidos y *Lenticulina* tienen representación en la parte inferior de la sección, pero a partir del Plioceno inferior apenas si son testimoniales y desaparecen en el Plioceno medio.

Las secciones en los alrededores de Tubará

En la población de Tubará se localiza el tipo del Grupo Tubará, o Formación Tubará en su sentido más restringido, de **Anderson** (1929).

Los primeros datos sobre foraminíferos de esta área corresponden a **Redmond** (1953) y se localizan en el Arroyo Hornos y **Bordine** (1974) **van den Bold** (1966) dio a conocer un conjunto de ostrácodos procedentes de las proximidades de Tubará.

Redmond (1953) dio a conocer los foraminíferos del Arroyo Hornos. Separó una zona inferior y una zona superior. El conjunto de las dos zonas abarcan según el autor los Horizontes O-S de **Anderson** (1929).

Burgl et al. (1955) hacen notar que según la cartografía de **Raasveldt** la localidad de Tubará se encuentra sobre sedimentos que pertenecen a la Formación Saco.

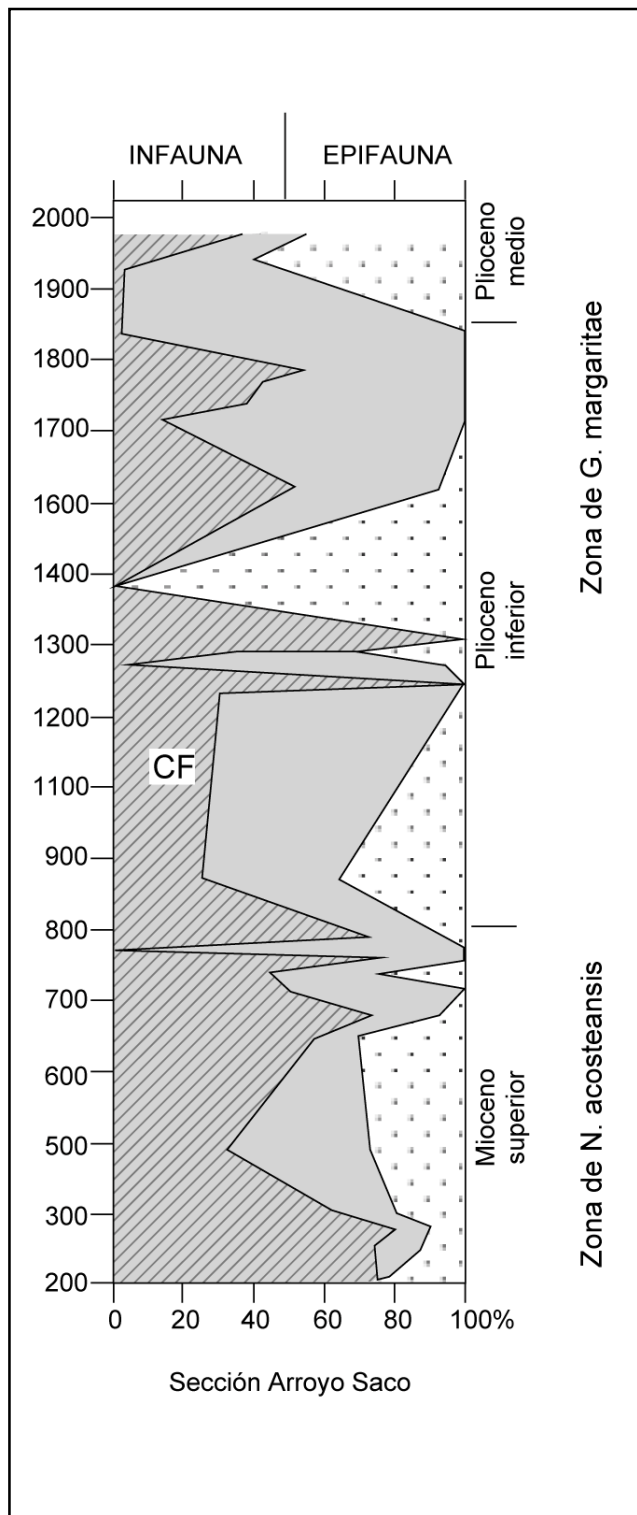


Figura 7. Sección estratigráfica de Arroyo Saco. Distribución de la infauna y epifauna basada en grupos morfológicos de foraminíferos bentónicos, a partir de la lista de foraminíferos citada por **Bordine** (1974). CF= Cilindro-fusiformes.

Bueno (1970) no indica nada al respecto. En su mapa la población de Tubará aparece sobre la Formación del mismo nombre. Tampoco **Bordine** (1974) hace ninguna mención al comentario de **Burgl et al.** (1955).

Bordine (1974) estudió dos secciones en la misma región: la sección de Arroyo Tubará y la sección del flanco oriental del Sinclinal. La parte inferior de la sección de Arroyo Tubará contiene *G. nepenthes* y **Bordine** la coloca en el Mioceno superior-Plioceno inferior. La otra sección, localizada en el flanco oriental del Sinclinal de Tubará, ocuparía una posición estratigráficamente más alta y correspondería al Plioceno medio.

Duque-Caro (1975) señaló que la sección tipo de Tubará (Horizontes O-S) estudiada por **Redmond** (1953) contiene una fauna planctónica que permite situarla entre las Zona N16-N18 de **Blow** (1969) y que sería Mioceno superior-Plioceno inferior por lo menos.

De acuerdo con estos datos se confirmaría que una parte de la Formación Tubará sería equivalente a la Formación Saco en la sección del Arroyo Saco.

Esto indica con claridad que el término Tubará, considerado aún en sentido restringido, como Formación Tubará, no es sincrónica en todas las secciones. Este he-

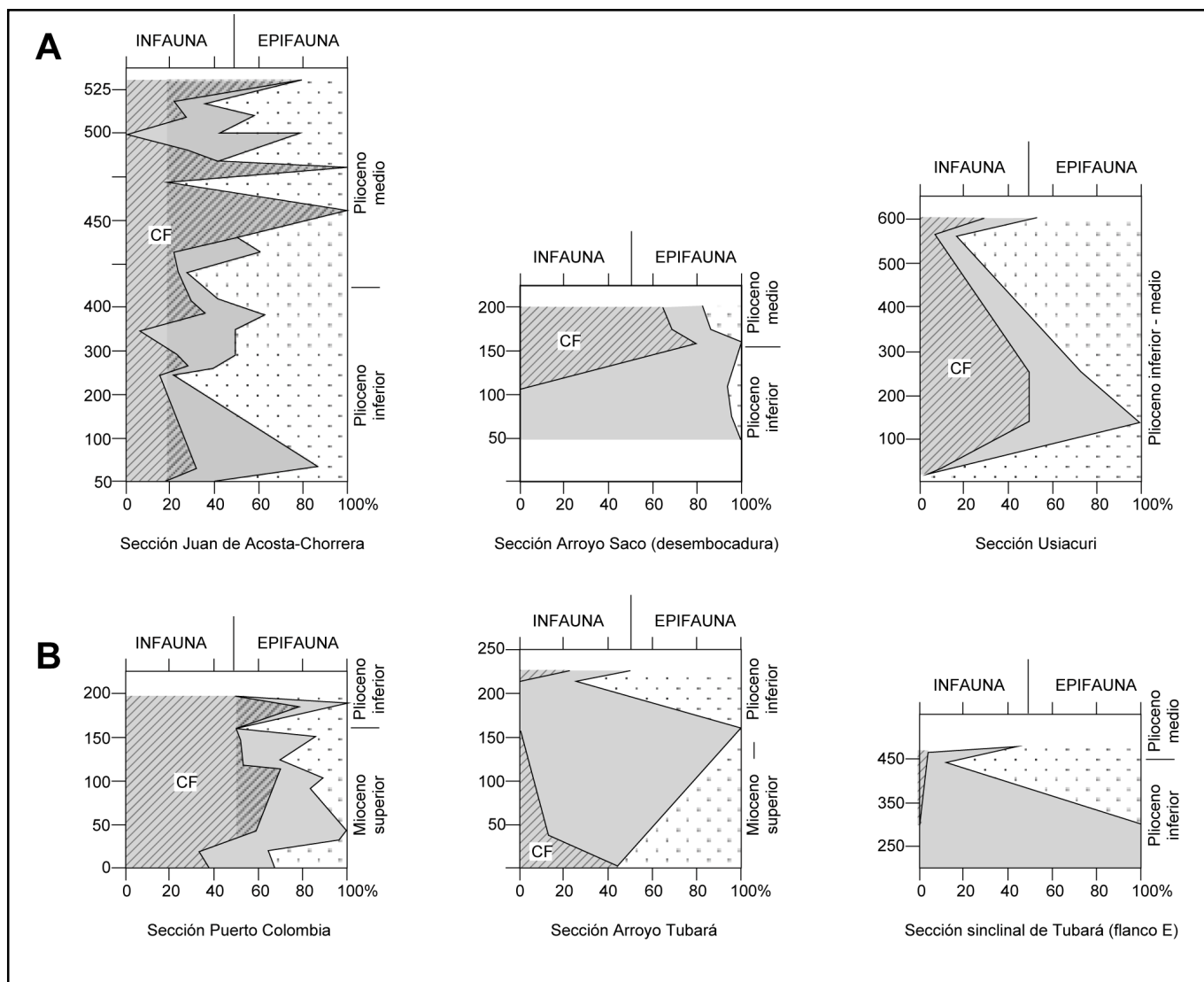


Figura 8. Relación entre infauna y epifauna de foraminíferos bentónicos en diversas secciones de la Cuenca de Plato. Grupos morfológicos basados en la lista de foraminíferos de **Bordine** (1974). CF= Cilindro-fusiformes.

cho se aprecia en las Figuras 8 y 9 de **Bordine** (1974). Sin embargo, no hace ninguna mención al respecto, a pesar de la importancia que desde el punto de vista de la geología regional tiene y especialmente para la correlación entre diferentes cuencas.

Hay que tener en cuenta que todas estas unidades litoestratigráficas se han considerado siempre como independientes y en posición estratigráfica ascendente.

Ma	EDAD	ZONAS	SECCIONES	BURGL et al. (1955)	ANDERSON (1959)	BUDYO (1963)
1	PLEISTO		BORDINE (1974)			
2	GELASSENSE					
3	ZANCLIENSE					
4	MESSINIENSE					
5	TORTONIENSE					
6	SERRAVALLIENSE					
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						

Figura 9. Equivalencia entre las unidades litoestratigráficas de diversos autores relacionadas con la escala cronoestratigráfica de **Berggren et al.** (1995). Se ha indicado la extensión vertical de diversas secciones basadas en datos de **Bordine** (1974). @ Posición tentativa de las faunas de moluscos.

Los foraminíferos

La fauna señala un mar abierto de medio nerítico de plataforma externa en la parte inferior de la sección que pasa a una rápida somerización con abundancia de moluscos. La presencia de *Amphistegina lessoni* y varias especies de *Quinqueloculina*, *Massalina* y *Nodobaculariella* en diversas secciones y en el Arroyo Tubará, indicarían un medio rico en carbonatos, próximo a medios arrecifales según **Collins** (1996). La ausencia de formaciones arrecifales en estas áreas hace pensar en un medio de aguas relativamente someras con sedimentos ricos en detritus carbonatados de origen biogénico que son muy abundantes.

Tabla II. Número de especies según **Redmond** (1953) y **Bordine** (1974) en la sección de Arroyo Tubará y número de taxones comunes que citan los dos autores.

	REDMON (1953)	BORDINE (1974)
Especies planctónicas	5	22
Especies bentónicas	78	41
Especies planctónicas comunes	1	
Especies bentónicas comunes	33	

Si se comparan las listas dadas por **Redmond** (1953) con las de **Burgl et al.** (1955) en la Sección de Arroyo Saco, se nota una marcada diferencia (Tabla II). Entre las especies planctónicas tan sólo un 3,1% son comunes. Si se toman las especies bentónicas que son las más abundantes, se observa un 20.4% de comunes.

Burgl et al. (1955) indican claramente que hay poca semejanza entre ambas faunas, pero la atribuyen a que la fauna de **Redmond** ocupa una posición estratigráfica más alta. **Redmond** señala explícitamente que su sección abarca los Horizontes O-S de **Anderson**. En consecuencia, existe una parte que es común entre las dos secciones y que cubre por lo menos parte del Plioceno inferior y medio.

De las 83 especies citadas por **Redmond** (1953), 14 son comunes entre el Atlántico y el Pacífico.

La Sección de Puerto Colombia

Al sur de esta localidad situada al oeste de Barranquilla, **Bordine** (1974) estudió un corte de 205 m de potencia. La serie está formada por shale de color oscuro y limolitas cortadas por paleocanales de arenas con restos de moluscos y fuerte bioturbación con *Ophiomorpha* y *Gyrolithes*.

Los niveles finos son ricos en foraminíferos que datan la sección como Mioceno superior-Plioceno inferior.

Bordine atribuye la sección a la Formación Tubará. Asignación que contrasta con la que figura en el Mapa de **Bueno** (1970), donde figura como Formación Perdices. Es evidente que por el contenido de foraminíferos no puede pertenecer a la Formación Perdices.

Comparación entre algunas secciones

En la Figura 8 se ha representado la relación entre la infauna y la epifauna en algunas secciones en las que aparece el límite Mioceno-Plioceno (Sección de Arroyo Tubará y Sección de Puerto Colombia) y el límite Plioceno inferior-Plioceno medio (Sección del Sinclinal de Tubará, Sección Juan de Acosta-Chorrera, Sección en la desembocadura de Arroyo Saco y Sección de Usiacurí).

En general, la infauna se presenta dominante con una mayor abundancia del grupo de cilindro-fusiformes. En la base del Plioceno inferior se observa una disminución de la infauna. Si bien se aprecian diferencias entre las secciones que son atribuibles a la existencia de facies diferentes.

La fauna de moluscos

Los Moluscos constituyen otro grupo sobre el que existen algunos datos, mientras que otros grupos taxonómicos como briozoos y corales son prácticamente desconocidos, al igual que peces marinos.

En general, los trabajos sobre los moluscos son antiguos: **Oinomikado** (1926), **Anderson** (1929), **Weisbord** (1929), **Pilsbry & Olsson** (1935), **Royo y Gómez** (1942; 1950) y **Barrios** (1961). En la Tabla III se da el número de especies que han citado algunos autores. Este número se refiere a todo el Neógeno del norte de Colombia pero no figuran las especies pertenecientes al Pleistoceno.

Tabla III. Número de moluscos registrados por diversos autores en el Neógeno marino del norte de Colombia.

	BIVALVOS	GASTERÓPODOS
Oinomikado (1939)	9	27
Anderson (1929)	83	87
Weisbord (1929)	29	45
Royo y Gómez (1941)	39	27
Royo y Gómez (1950)	14	13
Barrios (1961)	47	34

Las zonas caribeñas próximas a Colombia como son Venezuela y Panamá cuentan con abundante información paleontológica. Durante las últimas décadas se han realizado diversas revisiones y actualizaciones de la fauna de moluscos de Venezuela (**Weisbord**, 1962; 1964; **Jung**,

1965). También en los últimos años existen revisiones y nuevas aportaciones sobre diferentes grupos faunísticos especialmente en Panamá y Costa Rica (**Jackson, Budd & Coates**, 1996 y **Collins & Coates**, 1999), dentro del Panama Paleontology Project.

Es muy importante tener en cuenta los datos aportados por **Jackson et al.** (1999) a propósito del registro de moluscos de la Formación Cantaure (Venezuela). La multiplicación de colecciones con exploraciones a fondo, ha cuadruplicado el número de géneros y subgéneros y quintuplicado el número de especies.

En general, existe poca precisión en la posición estratigráfica y a veces también en la geográfica respecto a Colombia. Falta una revisión moderna de estas faunas si bien existen comentarios puntuales sobre la sistemática de algunas especies. Destacan los datos sobre los Muricidae (**Vokes**, 1988; 1990; 1992) y el Grupo Strombina (**Jung**, 1989; **Jackson et al.** 1996).

Los moluscos del Pacífico. Prácticamente los únicos datos de que se dispone corresponden a **Oinomikado** (1939) quien dio a conocer una lista de moluscos procedente de los ríos Copoma y Cucurrupí, dos afluentes del río San Juan, en el Departamento del Valle del Cauca. **Oinomikado** introdujo el nombre de "Cucurrupí beds" para situar la posición y litología de las capas que contienen esta fauna de moluscos: 9 bivalvos y 27 gasterópodos. Como ya se indicó anteriormente esta fauna puede ubicarse en la parte superior de la Formación Munguidó y su edad correspondería al Plioceno. Un total de 16 formas se encuentran representadas en el Grupo Tubará de **Anderson** (1929).

Aunque no existe una revisión completa de esta fauna se pueden reconocer las siguientes formas: *Arca* (*Arca*) *zebra* (Swainson, 1833); *Anadara* (*Rasia*) *dariensis dariensis* (Brown & Pilsbry, 1922); *Chama congregata* Conrad, 1833; *Bothrocorbula* (*Hexacorbula*) *gatunensis* (Toula); *Turritella* (*Torcula*) *altilira* Conrad, 1857; *Architectonica* sp.; *Natita* (*Stigmaulax*) *guppyana* Toula, 1909; *Sincola* (*Sinaxilia*) *tumbezia* (Olsson, 1932); *Sincola* (*Sinaxilia*) *chiriquensis* (Olsson, 1922); *Strombina* (*Strombina*) *cyphonotus* Pilsbry & Olsson, 1911; *Antilliphos* (*Antilliphos*) *candei gatunensis* (Toula, 1909); *Terebra* (*Paraterebra*) *cucurripiensis* Oinomikado, 1939.

MacNeil (1937) describe *Noetia atratoensis* del río Atrato y *Noetia macdonaldi* del río San Juan al Occidente de Quibdó.

Los moluscos de la sección El Carmen-Zambrano. El nivel más inferior se encuentra en Jesús del Monte y corresponde a la Arenisca de Mandatú. Fue señalado por

Anderson (1929). Se trata de una fauna con seis especies que no ha sido revisada.

Stevenson (en **Petters & Sarmiento**, 1956) señaló la presencia de tres niveles de moluscos relacionados con las zonas de foraminíferos, sin precisar la posición dentro de las zonas. En la Figura 5 la posición de estos niveles dentro de las zonas de foraminíferos es tentativa.

De la zona de *Bulimina carmenensis*, que corresponde a la Formación Jesús del Monte, se han citado 3 bivalvos y 11 gasterópodos.

En la Formación Zambrano aumenta considerablemente el número de moluscos como consecuencia de una somerización con predominio de facies mas someras. En la zona de *Uvigerina subperegrina*, en la parte inferior de la formación, el número de moluscos es de 30:9 bivalvos y 21 gasterópodos. La familia Turritellidae es la más numerosa con cinco especies.

La zona de *Ammonia beccarii* corresponde a una facies más litoral con 6 bivalvos y 23 gasterópodos. Se aprecia una tendencia a las condiciones salobres que se acentúan al techo de la formación con formas de carácter salobre y lacustre.

La fauna de la sección de El Carmen-Zambrano en conjunto está pendiente de revisión.

La fauna de Tubará. De la localidad tipo del Grupo Tubará **Anderson** (1929) da una lista de bivalvos y gasterópodos distribuidos en horizontes. Aunque no existe una revisión de esta fauna puede ser interesante para estudios futuros dar a conocer algunos datos numéricos.

Tabla IV. Distribución del número de especies de moluscos en los horizontes de la localidad tipo del Grupo Tubará de **Anderson** (1929).

	Horizonte	Bivalvos	Gasterópodos
Número de especies	M-N	33	26
	P	19	25
	R	13	13
Número de especies exclusivas	M-N	22	17
	P	10	15
	R	8	5
Especies comunes	M-N;P y R	2	1
	M-N y P	6	2
	M-N y R	8	3
	P y R	1	5

Comentarios sobre la fauna. Se ha iniciado una base de datos de todos los moluscos del Terciario marino de Colombia que se han publicado. También se está realizando un muestreo de los yacimientos clásicos y una primera exploración de nuevos yacimientos que conducirán a la revisión taxonómica de la fauna que en principio comprende las familias Arcidae, Glycymeridae y Pectinidae.

Arcidae. Entre las diferentes formas que se han citado de esta familia destaca la presencia de una forma de gran talla que **Weisbord** (1929) describió como *Scapharca grandis colombiensis* procedente de Usiacurí y Puerto Colombia.

Nosotros la hemos reconocido además en Arroyo Saco y en Punta Canoas. En todas las secciones tiene una edad Pliocénica de acuerdo con los datos cronoestratigráficos de que disponemos. Como existe bastante confusión con *Arca patricia* y *Arca usiacuri*, de momento la dejamos como *Arca (Scapharca) grandis* a la espera de un estudio morfométrico completo sobre el abundante material de estos taxones.

Se trata de una forma de manglar que en algunas localidades va asociada a *Chicoreus (Chicoreus) brevifrons* (Lamarck) que actualmente vive en las raíces de los manglares.

Glycymeridae. De esta familia **Pilsbry et al.** (1917), **Anderson** (1929), **Weisbord** (1929), **Nicol** (1945), **Barrios** (1961) y **Woodring** (1982) han citado diversas especies y subespecies en el Neógeno de Colombia (*G. canalis*, *G. secticostata*, *G. usiacuri*, *G. tumefactus*, *G. Lloydsmith*). Existe bastante confusión entre las diversas especies como se puede observar a través de la literatura. Es un grupo bien representado en diversas localidades. Por el momento se ha identificado *Tucetona* que estaría representado por varias especies.

Pectinidae. De la Loma Barragán, situada al norte de Cartagena, se ha identificado un ejemplar completo de *Nodipecten nodosus*. Un dato de U/Th basado en corales, situados por debajo del pectínido, dieron una edad de 138.540 años. Esta forma ya había sido citada por **Smith** (1991) del Pleistoceno del norte de Cartagena asociada a *Globorotalia truncatulinoides*. La misma autora ha señalado también la presencia de *Nodipecten arnoldi* en la Formación La Popa al norte de Cartagena y en Puerto Colombia.

Formación del istmo de Panamá

Durante una buena parte del Mioceno la comunicación entre el Caribe y el Océano Pacífico no da lugar a una diferenciación faunística entre ambas áreas. En el

Mioceno medio se forman una serie de pequeñas islas entre el NW de Colombia y América Central, que de una parte restringen la circulación marina y de otra facilitan un cierto puente para la primera migración de fauna terrestre (**Duque-Caro**, 1990b).

Aunque existen pequeñas diferencias entre los autores en la edad del cierre definitivo del Istmo, la cifra más aceptada es de 3.5 a 3.1 Ma (**Coates et al.** 1992; **Collins & Coates**, 1996; **Collins**, 1999; **Frank et al.**, 1999 y **Anderson**, 2001).

La formación del Istmo de Panamá produce un cambio en las corrientes marinas como han señalado **Keller et al.** (1989); **Duque-Caro** (1999b), entre otros. Se intensifica la glaciación del Hemisferio Norte, se forman las provincias paleobiogeográficas y las migraciones de la fauna terrestre entre las dos Américas.

Como consecuencia de la instalación del Istmo se ha invocado una marcada extinción en la fauna de moluscos. Para **Vermeij & Petuch** (1986) la extinción es más alta en el Atlántico que en el Pacífico, pero no existe uniformidad entre los distintos autores. **Allmon et al.** (1993) argumentan que la pretendida extinción se debe a un efecto del muestreo. El cierre del Istmo de Panamá produciría más bien una mayor diversidad en los moluscos según **Jackson et al.** (1999). Los foraminíferos bentónicos también señalan una mayor diversidad. Quizás son los corales arrecifales los que experimentan una regresión a causa de los intervalos glaciares del Pleistoceno.

No obstante, el modelo de diversidad a través del Istmo de Panamá no es aún completamente conocido. Falta todavía mucha información, por ejemplo sobre el Plioceno y Pleistoceno de Colombia tanto en las costas del Caribe como del Pacífico que apenas están esbozados.

Provincias paleobiológicas en el Caribe

Durante el Mioceno la ausencia del Istmo de Panamá permitía una libre comunicación entre el Pacífico y el Caribe. **Woodring** (1966) propuso una amplia provincia a la que denominó Provincia Caribe Terciaria que se extendía desde Tampico (Méjico) hasta el noreste del Brasil en el Océano Atlántico y desde el sureste de Nicaragua hasta el Norte del Perú en el Océano Pacífico oriental. Posteriormente **Woodring** (1974) restringe esta ancestral provincia al Mioceno medio incluyendo diversas localidades fósiles del norte de América del Sur y de América Central y establece seis subprovincias basadas en la distribución de géneros y subgéneros de moluscos. Las Costas Caribe y Pacífica de Colombia se integran en la subprovincia de América Central y norte de Sudamérica.

La zona comprendida entre Cartagena y La Guajira se superpone con la subprovincia de Colombia, Venezuela y Trinidad (Figura 10).

Petuch (1976) reconoció en la fauna actual de la Bahía Amuay, en la Península de Paraguaná (Venezuela), un particular ecosistema formado por detritus-*Turritella*. Este conjunto contiene elementos relictos de las faunas del Mioceno superior y Plioceno inferior del Proto-Caribe. Las únicas comunidades con estrechas afinidades a esta fauna son las de la Formación Angosturas del Mioceno superior de Ecuador y de la Formación Gatún del Mioceno superior-Plioceno inferior de Panamá.

En la Península de La Guajira (Colombia) registró también una fauna de gasterópodos representada por géneros y especies idénticas a las de aquellas formaciones. Entre otras formas relictas se encuentran: *Phyllonotus globosus*, *Cypraea mus* y *Murex chrysostomus*.

Petuch (1976) introdujo el término “enclave relictos” (relict pocket) o “fósiles vivientes” para esta fauna particular.

En 1981 el mismo autor añade otras 45 especies a la lista anterior. De estas formas un total de 11 se encuentran en las costas de La Guajira y Santa Marta (Colombia).

Estos enclaves relictos se han explicado por diversos procesos: catastrofismo biológico en el Plioceno superior por los efectos del cierre del Istmo de Panamá, fluctuaciones del nivel del mar por glaciaciones y por cambios de temperatura.

Basándose en estas observaciones, **Petuch** (1982) propone dos nuevas paleoprovincias que se pueden reconocer desde el Mioceno inferior al Pleistoceno inferior. La Provincia Caloosahachtiana, que se extiende desde el Cabo Hateras hasta el Golfo de Honduras, y la Provincia Gatuniana que comprende las Islas de Jamaica, Santo Domingo, Trinidad y las costas de Venezuela, Colombia, Panamá hasta Ecuador. En la primera quedan incluidas las faunas de las formaciones Virginia, Tamiami, Pinecrest Beds y Caloosahatchee. La segunda contiene las faunas de las formaciones Bowden, Gurabo, Springvale, Limón, Gatún, Mare y Esmeraldas.

Las faunas del Mioceno y Plioceno de Colombia quedan incluidas en la Provincia Gatuniana.

La fauna actual de Colombia presenta diferencias a lo largo del Litoral Caribe. **Díaz** (1995) basándose en la distribución de 266 especies de Caenogastrópoda entre Costa Rica y el delta del Orinoco-Surinam y aplicando el índice de “Amplitud del Rango Geográfico” define y propone cinco subprovincias. La costa colombiana desde el

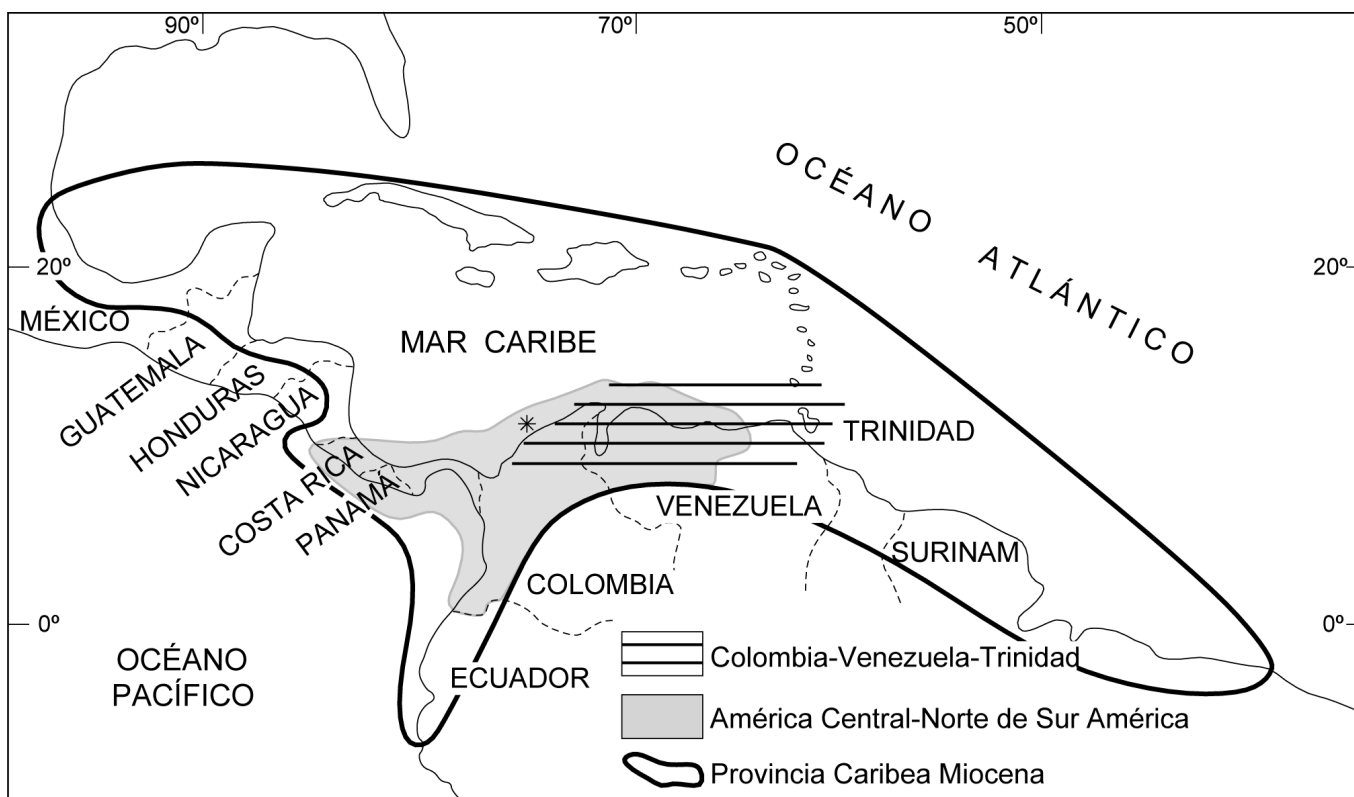


Figura 10. Provincias paleobiográficas de los moluscos. Compilación de datos de Woodring (1966; 1974 y 1978).

Golfo del Darién hasta Santa Marta formarían parte de la subprovincia "Istmiana". Santa Marta pertenecería a la subprovincia "Samaria-Venezuela" y la Península de La Guajira a la subprovincia "Guajira".

El área de Santa Marta registra una fauna específica que corresponde a la fauna relictiva de Petuch (1976). Esta particularidad se debe a las condiciones de upwelling, proceso que ya señaló Bula-Meyer (1977) para la flora de algas.

Los arrecifes coralinos

Collins (1999) señaló que con posterioridad a la formación del Istmo de Panamá se produjo un aumento de las facies carbonatadas en el área del Caribe.

En Colombia formaciones de tipo arrecifal se extienden desde el sur de Cartagena hasta Barranquilla en una distancia superior a los 100 km. Junto a Cartagena, el Cerro La Popa está formado por unos 25 m de calizas arrecifales que se apoyan sobre shales margosas y arenosas. Anderson (1929) denominó a todo el conjunto Formación La Popa. La parte basal la considera Mioceno y la

parte superior Plioceno. En realidad esta unidad ha tenido diferentes acepciones (Porta, 1974). Link (1927) ya señaló una edad pleistónica para las calizas arrecifales. Las shales margosas contienen *Alnus* (Solé de Porta, 1960) que indica también esta edad. Sin embargo, no todos los afloramientos presentan la misma sucesión estratigráfica. En las cercanías de Arroyo Piedras, al norte de Cartagena, las calizas arrecifales se apoyan discordantes sobre unos shales grises, pero aparecen dos niveles de calizas arrecifales separados por un tramo de arenas.

La misma disposición que en Punta Piedras registró Anderson (1929) en Puerto Colombia y Puerto Salgar. Entre Cartagena y Punta Piedras, en la zona de los Morritos, las lutitas arenosas sobre las que se apoyan las calizas arrecifales contienen *Alnus*.

La presencia de *Globorotalia truncatulinoides* en las lutitas arenosas sobre las que se apoyan las calizas coralinas en Turbaco, al sur de Cartagena, señalada por Duque-Caro (1967 y 1973) confirmaría esta edad, teniendo en cuenta la edad de la primera aparición de este taxón (1.9 Ma) en el Caribe (Cotton, 1999).

Datos preliminares de U/Th, sobre colonias coralinas recogidas en diversas localidades, indican que las edades varían entre los 300.000 y los 124.000 años.

Es posible que no todos los afloramientos de calizas arrecifales que se han atribuido a la Formación La Popa sean exactamente sincrónicos si bien se localizarían todos ellos en el Pleistoceno.

Levantamiento de la Cordillera Oriental

Existen pequeñas diferencias en cuanto a la edad de la formación de esta cordillera. Según **Van der Hammen et al.** (1973) la fase más activa se situaría entre 4.5 y 2.5 Ma y entre 5-3 Ma según **Adriessen et al.** (1993). **Hoorn** (1994) y **Hoorn et al.** (1995) señalan que se inicia en el Mioceno medio (12.9-11.5 Ma.), que es prácticamente la misma edad que señaló **Guerrero** (1997): entre 12.9 y 11.8 Ma. El proceso de la formación de la Cordillera Oriental comporta variaciones significativas en la distribución hidrográfica de la región amazónica. **Hoorn et al.** (1995) han esbozado la paleogeografía de la Amazonia y los Llanos. En el Oligoceno y Mioceno inferior los aportes proceden del Escudo de las Guayanas, mientras que la Cordillera Oriental se encontraba en un estado incipiente.

Como que la Cordillera Oriental no empezó a funcionar como tal hasta finales del Mioceno medio-superior, hay datos faunísticos que hablan a favor de conexiones entre la Amazonia y el valle superior del Magdalena. En Villavieja (Huila), la capa de peces del Miembro Baraya (Formación Villavieja) ha suministrado la fauna de peces de Teleosteos (*Colossoma* y *Arapaima*) citada por **Lundberg et al.** (1986). El techo de la Formación Victoria sobre la que descansa la Formación Villavieja, ha sido datada en 12.486 Ma (**Flynn et al.** (1996). También **Bondessio & Pascual** (1977) dan a conocer los restos de un Dipnoo (*Lepidosiren*). Así mismo, **Wood** (1976) describió el quelonio *Chelus colombianus*. Todas estas formas viven actualmente en la Amazonia y una buena parte de la fauna fósil de peces del Grupo Honda es actualmente endémica de la región de la Amazonia y del río Orinoco (**Lundberg & Chernoff et al.**, 1992; **Lundberg et al.**, 1995 y **Lundberg et al.**, 1997).

A partir del Mioceno superior tienen lugar cambios paleogeográficos muy importantes: La Cordillera de los Andes va adquiriendo su actual configuración. El río Orinoco cambia a su curso actual. Los drenajes fluvio-lacustres constituyen el precursor del actual río Amazonas y sus depósitos cubren las plataformas carbonatadas del Atlántico. La conexión Amazonia, Llanos y Caribe se cierra definitivamente.

Datos aportados por la vegetación

La información más abundante es suministrada por la palinología. Los restos de macroflora (hojas, troncos y frutos) son minoritarios y tienen un valor puntual. No siempre las condiciones de sedimentación, especialmente en medios continentales, permiten un muestreo denso y apropiado. A pesar de la menor resolución de las zonas palinológicas frente a las zonas de foraminíferos planctónicos como ha señalado **Duque-Caro** (1997), aportan considerable información de orden ambiental y climático.

Valle inferior del Magdalena

Por lo que respecta al medio marino los datos son escasos y no hay en general mucha precisión en la posición estratigráfica ni en las unidades litoestratigráficas.

Germeraad et al. (1968) figuraban la Formación Tubará sin mayor precisión como Mioceno medio y superior. **Muller et al.** (1987) consideran por ejemplo la misma Formación Tubará como Mioceno sin mayor precisión, mientras que las Arcillas de Bayunca (Bayunca Clay) que se colocan encima de la Formación Tubará se les asigna una edad Plioceno-Pleistoceno.

En el valle inferior del Magdalena, la Sección de Planeta Rica, situada en el extremo sur de la Cuenca de San Jorge, (**Solé de Porta**, 1961) y las perforaciones de la Formación Ciénaga de Oro, estudiadas por **Dueñas** (1979) contienen una flora de manglar y Palmas de Oligoceno y Mioceno inferior.

Graham (1992) ha indicado que durante el Cenozoico no hay una vegetación de zonas elevadas en el área de Costa Rica y Panamá. Las mismas condiciones parece que existieron en el valle inferior del Magdalena. Se trataba de una vegetación de zonas bajas con medios de ciénaga y pantanosas y un bosque más alejado.

Algunos elementos de bosque montañoso como *Podocarpus*, *Hedyosmum* e *Ilex* viven actualmente en el bosque húmedo del Pacífico (Chocó) en zonas poco elevadas, de tal manera que el registro fósil no necesariamente debe interpretarse como evidencia de enfriamiento climático en zonas poco elevadas (**Hooghiemstra & Van der Hammen**, 1998).

Sabana de Bogotá

En la Sabana de Bogotá la sucesión palinológica es bien conocida, aunque cubre solamente el Plioceno y Cuaternario. Las dataciones absolutas a partir de muestras de afloramientos y sondeos han permitido un registro muy

completo de la evolución de las condiciones ambientales y las variaciones climáticas entre los 6 y los 2.4 Ma.

Van der Hammen & et al. (1973) establecen varias unidades litoestratigráficas y una biozonación con siete zonas palinológicas. Estas unidades y zonas son ampliadas posteriormente por **Helmens** (1990) y **Helmens & Van der Hammen** (1995). En 1995 **Van der Hammen & Hooghiemstra** introducen formalmente unidades cronoestratigráficas que se relacionan con las litoestratigráficas y las biozonas.

La unidad más antigua es la Formación Marichuela. Se caracteriza por ser detrítica grosera y se ha interpretado como depósitos de flujo torrencial y gravitatorio. No ha suministrado polen y por su posición estratigráfica se ha considerado como Mioceno.

En el Mediterráneo occidental la crisis de salinidad se desarrolló entre el Tortoniense más superior y el inicio del Messiniense en las cuencas internas (**Playà et al.**, 2000). En las cuencas marginales este evento tuvo lugar en el Messiniense superior. Los valores de 5.7 a 3.3 Ma señalados por **Gauthier et al.**, (1994) en las cuencas marginales, trasladados a la Sabana de Bogotá corresponderían a la Formación Marichuela y a la sección de Balsillas que tampoco contiene polen.

Sin duda la fase de enfriamiento del Mioceno superior tuvo una escasa repercusión en latitudes bajas, especialmente si éstas coincidían con zonas poco elevadas.

El Plioceno es bien conocido y está representado por las Zonas I, II y parte de la III, con una flora de carácter tropical cálida con *Humiria zipaconensis* (Berry). La sedimentación de esta flora tuvo lugar a una altitud de unos 500 m y en la actualidad se encuentra a una altitud de 2.250 m. Esta diferencia supone una tasa de elevación de la Cordillera Oriental en este sector de 1-5 mm año (**Adriessen et al.** 1973).

El enfriamiento climático registrado en la zona IV se sitúa a 2.7 Ma, aunque podría ser más reciente extendiéndose alrededor de 2.4 Ma. Se relacionaría con la fase final del levantamiento de la Cordillera Oriental (**Van der Hammen et al.** 1973; **Helmens**, 1990 y **Hooghiemstra**, 1995). La interpretación de este enfriamiento climático varía en relación con la posición del límite Plio-Pleistoceno. **Helmens** (1990) lo sitúa a 2.4 Ma, **Helmens & Van der Hammen** (1995) y **Van der Hammen & Hooghiemstra** (1995) entre 2.4 y 2.2 Ma y estaría relacionado con las primeras glaciaciones del Cuaternario. **Hooghiemstra** (1995) ya indicó que podría corresponder a la glaciación del Plioceno superior, pero considerando

la posición del límite en la estratigrafía continental opta por situarlo a 2.7 Ma.

Teniendo en cuenta que el límite Plio-Pleistoceno se sitúa a 1.9 Ma (**Berggren et al.**, 1995) el evento correspondería a la glaciación del Plioceno superior.

Si el cierre del Istmo de Panamá termina a 3.5 Ma como indican los últimos datos (**Collins & Coates**, 1999) y **Anderson** (2001), el enfriamiento climático estaría relacionado con este evento.

En la Figura 11 se resumen los diferentes tipos de unidades, así como la posición estratigráfica de algunas secciones y sondeos, edades absolutas y los eventos más señalados.

Intercambios entre América del Norte y América del Sur

La problemática de las migraciones de la fauna de vertebrados entre América del Norte y América del Sur ha sido discutida por diversos autores: (**Whitmore & Stewart**, 1965; **Porta**, 1969; **Hoffstetter**, 1970), entre otros.

La formación de un rosario de islas en el noroeste de Colombia y Panamá durante el final del Mioceno medio y en el Mioceno superior se ha señalado como una vía para la primera migración faunística entre las dos Américas como indicó **Duque-Caro** (1990b). Las migraciones pudieron realizarse como migraciones pasivas llevadas en balsas de vegetación arrancadas por tormentas.

La presencia de perezosos en América del Norte (**Weeb**, 1985) y de mastodontes y Prociónidos en el Mioceno superior de la Amazonia (**Frayley et al.**, 1995), pudo realizarse a través del sistema de islas en la Cuenca del Atrato, entre Colombia y Panamá. Hipótesis que no es compartida por **Iturralde-Vinent & Macphee**, (1999). Pero es la consolidación del Istmo de Panamá la que propicia el gran intercambio faunístico.

Representantes de más de 10 familias de mamíferos de América del Norte emigran a Sudamérica y se han registrado en Argentina (**Marshall & Cifelli**, 1990; **Marshall et al.**, 1979 y 1982). Algunos representantes de familias de mamíferos sudamericanos se conocen ya en el Plioceno del sur de Estados Unidos, pero los registros más abundantes corresponden al Pleistoceno: Texas, Arizona y Florida (**Marshall et al.**, 1979). **Whitmore et al.** (1965) señalaron que la existencia del Bolívar Trough separaba Panamá del continente sudamericano desde el Oligoceno al Plioceno. Hasta el momento la ausencia de registro de vertebrados en el norte de Colombia no permite anotar las migraciones en uno y otro sentido. Tan sólo se conoce la

MA	EDAD	FORMACIÓN MIEMBRO	UNIDADES CRONOESTRATIGRÁFICAS	BIOZONAS	EDADES	SECCIÓN	DATOS PALINOLÓGICOS
BERGGREN et al. 1995		HELMENS(1990) HELMENS & VAN DER HAMMEN(1995)	VAN DER HAMMEN HOOGHIEMSTRA (1995)	*			
1	PLEISTOCENO	SABANA	FUNZENSE	VII			
				VI			
2	GELASIENSE	SUBACHOQUE	ENGATIVENSE	V			
				IV	• 2.4	Funza	
3	PIAZENZIENSE	GUALÍ	CHOCOTENSE		• 2.7		Enfriamiento climático
		GUASCA	SISGENSE	III	• 3.2		Fase cálida
4	ZANCLIENSE	TIBAGOTA	FACATATIVENSE	II	• 3.7	Facatativá	Sin registro palinológico
		TEQUENDAMA	TEQUENDAMENSE	I	• 4.04	Mosquera	
5						Salto del Tequendama	Flora tropical (Humiriaceae)
6	MESSINIENSE	MARICHUELA			• 5.33	Río Frío	Sin registro palinológico
					• 6.2		Sin registro palinológico

Levantamiento
C. Oriental

Figura 11. Unidades litoestratigráficas y cronoestratigráficas y biozonas palinológicas aplicadas al Neógeno y Pleistoceno de la Sabana de Bogotá referidas a la cronoestratigrafía de **Berggren et al.** (1995). También se han señalado algunas edades absolutas y secciones del Neógeno con indicación de los eventos más significativos. Compilación a partir de los datos de: **Helmens** (1990), **Adriessen et al.** (1993), **Hooghiemstra** (1994), **Van der Hammen & Hooghiemstra** (1995) y **Helmens & van der Hammen** (1995). * Biozonas según **Adriessen et al.** (1993).

presencia de *Gyriabus royo*, un roedor de la Familia Dynomyidae, que fue descrito por **Stirton** (1953) en la Formación San Antonio Sandstone de **Beck** (1921), en las proximidades de Sincelejo (departamento de Bolívar), y cuya edad corresponde posiblemente al Plioceno (**Porta**, 1974). Otro dato se refiere a un Toxodontidae: *Mixotoxodon larensis crusafonti* descrito por **Porta** (1959) procedente de los alrededores de Corozal, con una posición estratigráfica más alta y que seguramente es ya un Pleistoceno.

Los únicos datos absolutos respecto a la fauna de mamíferos se encuentran en la Sabana de Bogotá. Corresponden a la fauna de *Haplomastodon* localizada en Mosquera, encima de una costra limonítica (**Porta**, 1961).

Este nivel forma parte de la Formación Mondoñedo en el sentido de **Van der Hammen** (1965) y su edad es de 30.245 ± 520 años según datos de **Van der Hammen** (1965).

Por lo que respecta a la flora, **Graham** (1992) señaló que las diferencias florísticas de América Central y norte de Sudamérica eran considerables en el Plioceno medio, sugiriendo que el Istmo no era todavía un corredor efectivo para la migración.

Bibliografía

Adameck, S. Frohlich, C. & Pennington, W. 1988. Seismicity of the Caribbean-Nazca boundary: constraints on microplate tectonics of the Panama region. *Journal of Geophysical Research*. **93**: 2053-2075.

- Adriessen, P.A.M., Helmens, K.F., Hooghiemstra, H., Rtezebos, P.A. & Van der Hammen, Th.** 1993. Absolute chronology of the Pliocene-Quaternary sediment sequence of the Bogota area, Colombia. *Quaternary Science Review*. **12** (7): 483-501.
- Allmon, W.D., Rosenberg, G., Portell, R.W. & Schindler, K. S.** 1993. Diversity of Atlantic coastal plain mollusks since the Pliocene. *Science*. **260**: 1626-1629.
- Allmon, W.D., Rosenberg, G., Portell, R.W. & Schindler, K.S.** 1996. Diversity of Pliocene-Recent mollusks in western Atlantic: extinction, origination and environmental change. in *Evolution and environment in tropical America* J.B.C Jackson, A.F. Budd, & A.G. Coates (eds.) University of Chicago Press, Chicago: 271-302.
- Anderson, F.M.** 1926. Original source of oil in Colombia. *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists*. **10** (4): 382-40.
- Anderson, F.M.** 1927. The marine miocene deposits of North Colombia. *Academy of Sciences*. **14** (3): 87-95.
- Anderson, F.M.** 1929. Marine Miocene and related deposits of north Colombia. *Proceedings of the California Academy of Sciences*. **18** (4): 73-213.
- Anderson, 2001.** Temporal and geographic size trends in Neogene Corbulidae (Bivalvia) of tropical America: using environmental sensitivity to decipher causes of morphologic trends. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **166**: 101-120.
- Bandy, O.L.** 1970. Upper cretaceous-Cenozoic paleobathymetric cycles eastern Panama and northern Colombia. *Transactions Gulf Coast Association of Geological Society*. **20**: 181-193.
- Barrero, D., Álvarez, J. Kassem, T.** 1969. Actividad ígnea y tectónica en la Cordillera Central durante el Meso-Cenozoico. *Boletín Geológico*, **17** (1-3): 145-173.
- Barrios, M.** 1961. Algunos moluscos del Terciario medio de Colombia. *Boletín Geológico*. **6** (1-3): 213-306.
- Beck, E.** 1921. Geology and oil resources of Colombia the coastal plain. *Economic Geology*. **16** (17): 457-473.
- Berggren W.A. D.V. Kent, M.P. Aubry & J. Handerbold** (eds.). 1995. Geochronology, Time scales and global stratigraphy correlation. *SEPM Special Publication* **54**:
- Bondesio, P. & Pascual, R.** 1977. Restos de Lepidosirenidae (Osteichthyes, Dipnoi) del Grupo Honda (Mioceno tardío) de Colombia. Sus detonaciones paleoambientales. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. **32** (1): 34-43.
- Blow, W.H.** 1969. Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal Biostratigraphy. in: P. Bronniman & H.H. Renz (eds.). *Proceedings of the First International Conference on Planktonic Micropaleontology*. Geneva. E. J. Brill, 1: 199-241. Geneva.
- Bordine, B.W.** 1974. Neogene biostratigraphy and paleoenvironments Lower Magdalena Basin, Colombia. Ph. D Dissertation, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. Department of Geology: 262 pp.
- Bueno, R.** 1970. The Geology of the Tubara region Lower Magdalena Basin. Eleventh Field Conference, 27-28 February: 299-324.
- Bula-Meyer, G.** 1977. Algas marinas bénticas indicadoras de un área afectada por aguas de surgencia frente a la Costa Caribe de Colombia. *Annales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín*. **9**: 45-71.
- Bürgl, H.** 1961. Historia Geológica de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* **1** (43): 137-191.
- Bürgl, H., Barrios, M. & Rostrom, A.M.** 1955. Micropaleontología y estratigrafía de la sección de Arroyo Saco, departamento del Atlántico. *Boletín Geológico*. **8** (1): 1-114.
- Case, J.E., Durán, L.G., López, A & Moore, W.R.** 1971. Tectonic investigations in western Colombia and eastern Panama. *Bulletin of the Geological Society of America*. **82**: 2685-2712.
- Coates, A.G., Jackson, J.B.C., Collins, L.S., Cronin, T.M., Bybakk, L. M., Jung, P. & Obando, J.A.** 1992. Closure of the Isthmus of Panama: The near-shore marine record of Costa Rica and western of Panama. *Geological Society of America Bulletin*. **104** (7): 814-828.
- Collins, L.S.** 1995. Environmental changes in Caribbean shallow water relative to the closing Tropical American seaway. In: Jackson, J.B.C., Budd, A.F., Coates, A.G. (eds.) *Evolution and environment in tropical America*. University of Chicago Press: 130-167.
- Collins, L.S.** 1999. The Miocene to Recent diversity of Caribbean benthic foraminifera from the Central American Isthmus. In: Collins, L.S. & Coates, A.G. (eds.). *A paleobiologic survey of caribbean faunas from the Neogene of the Isthmus of Panama*. *Bulletins of American Paleontology*, **357**: 91-107.
- Collins, L. S., Coates, A. G., Bergreen, W.A., Aubry, M.P. & Zangh, J.** 1996. The Late Miocene Panama Isthmus Strait. *Geology*. **24** (8): 687-690.
- Cossio, U.** 1994. Mapa geológico generalizado del departamento de Chocó. Escala 1:600.000 Memoria Explicativa. Ingeominas: 7-46.
- Corliss, B.H.** 1985. Microhabitats of benthic Foraminifera with deep-sea sediments. *Nature* **314**: 435-438.
- Corliss, B.H.** 1991. Morphology and microhabitat preferences of benthic foraminifera from the northwest Atlantic Ocean. *Marine Micropaleontology*. **17** (3-4): 195-236.
- Corliss, B.H. & Chen, C.** 1988. Morphotype patterns of Norwegian Sea deep-sea benthic foraminifera and ecological implications. *Geology*. **16** (8): 716-719.
- Cotton, M.A.** 1999. Neogene planktic foraminiferal biochronology of the South Central American Isthmus. In: Collins, L.S. & Coates, A.G. (eds.). *A Paleobiologic Survey of Caribbean faunas from the Neogene of the Isthmus of Panama*. Panama Paleontology Project. *Bulletins of American Paleontology*. **357**: 61-80.
- Díaz, J.M.** 1995. Zoogeography of marine gastropods in the Southern Caribbean: a new look at provinciality. *Caribbean Journal of Science*. **31** (1-2): 104-121.
- Dueñas, H.** 1979. Estudio palinológico del Pozo -E-22, Oligoceno superior a Mioceno inferior, Planeta Rica, norte de Colombia. *Boletín Geológico*. **23** (3): 96-115.

- Duque-Caro, H.** 1967. Observaciones generales a la bioestratigrafía y geología regional en los departamentos de Bolívar y Córdoba. *Boletín de Geología*. Universidad Industrial de Santander. 24: 71-87.
- Duque-Caro, H.** 1971. A reply to "On planktonic foraminiferal zonation in the Tertiary of Colombia". *Micropaleontology*, **17** (3): 365-368.
- Duque-Caro, H.** 1972a. Ciclos tectónicos y sedimentarios en el norte de Colombia y sus relaciones con la paleoecología. *Boletín Geológico*. **19** (3): 1-23.
- Duque-Caro, H.** 1972b. Relaciones entre la bioestratigrafía y la cronoestratigrafía en el llamado Geosinclinal de Bolívar. *Boletín Geológico*. **19** (3): 25-68.
- Duque-Caro, H.** 1975. Los foraminíferos planctónicos y el Terciario de Colombia. *Revista Española de Micropaleontología*. **7** (3): 403-427.
- Duque-Caro, H.** 1976. Características estratigráficas y sedimentarias del Terciario marino de Colombia. *Segundo Congreso Latinoamericano de Geología*. 945-964.
- Duque-Caro, H.** 1978. Major structural elements and evolution of northwestern Colombia. In: J.S. Watkins, L. Montadert & P.W. Dickerson (eds.). *Geological and Geophysical investigations of continental margins*. AAPG. 29: 329-351.
- Duque-Caro, H.** 1984. Structural style, diapirism, and accretionary episodes of the Sinú-San Jacinto terrane, southwestern, Caribbean borderland. In: W. E. Bonini, R.B. Hargraves & R. Shagam (eds.). *The Caribbean South American plate boundary and regional tectonic*. 162: 303-316.
- Duque-Caro, H.** 1990a. The Choco Block in the northwestern corner of South America: Structural tectonostratigraphy and paleogeographical implications. *Journal of South American Earth Sciences*. **3** (19): 71-84.
- Duque-Caro, H.** 1990b. Neogene stratigraphy, paleoceanography and paleobiogeography in northwest South America and the evolution of Panama Seaway. *Palaeogeography, Palaeoclimatology Paleocology*. **7** (3-4): 203-234.
- Duque-Caro, H.** 1997. The Llanos Basin (Colombia). *Journal of Petroleum Geology*. **20** (1):96-99.
- Duque-Caro, H., Guzmán, G. & Hernández, R.** 1996. Mapa geológico de Colombia. Plancha 38. Carmen de Bolívar. Ingeominas: 1-83.
- Durham, J. W.** 1985. Movement of the Caribbean plate and its importance for biogeography in the Caribbean. *Geology*. **13** (1): 123-125.
- Frayley, C.D. & Campbell, K.E. & Romero-Pittma, L.** 1996. Early proboscideans in the Amazon Basin of South America. *Journal of Vertebrate Paleontology*. **16** (suppl.) 34A:
- Germeraad, J.H., Hopping, C.A. & Muller, J.** 1968. Palynology of Tertiary sediments from tropical areas. *Review of Palaeobotany and Palynology*. **6** (3-4): 188-348.
- Gautier, F., Clauzon, G., Suc, J.P., Cravate, J. & Violanti, D.** 1994. Age et durée de la crise de salinité messinienne. *Comptes Rendu Academie des Sciences Paris*. **318** (ser. II): 1103-1109.
- Graham, A.** 1992. Utilization of the isthmian land bridge during the Cenozoic paleobotanical evidence for timing and selective influence of altitudes and climate. *Review of Paleobotany and Palynology*. **72** (1-2): 119-128.
- Grosse, E.** 1926. El Terciario carbonífero de Antioquia. 361pp. Dietrich Reimer Ed.
- Guerrero, J.** 1997. Stratigraphy, sedimentary environments, and the Miocene uplift of the Colombian Andes. In: Kay, R., Madden, R.H. Cifelli, R.L. & Flynn, J.J. (Eds.). *Vertebrate Paleontology in the Neotropics. The Miocene fauna of La Venta, Colombia*. Smithsonian Institution Press: 15-43.
- Haffer, J.H.** 1970. On the Geology of the Uraba and northern Choco regions, NW Colombia. Colombian Petroleum Company. Open File Report 809: 1-106.
- Helmens, K. F.** 1990. Neogene-Quaternary Geology of the High Plain of Bogotá (Eastern Cordillera, Colombia). *El Cuaternario de Colombia*. **17**:1-202.
- Helmens, K.F. & Van der Hammen, Th.** 1994. The Pliocene and Quaternary of the High Plain of Bogotá (Colombia): a history of tectonic uplift basin development and climatic changes. *Quaternary International*. **21**: 41-61.
- Hoffstetter, R.** 1971. Vertebrados cenozoicos de Colombia. Yacimientos, fauna y problemas planteados. *Geología Colombiana*, **8**: 37-62.
- Hooghiemstra, H.1 & Ran, E.T.H.** 1993. Late Pliocene-Pleistocene high resolution pollen sequence of Colombia: an overview of climatic change. *Quaternary International*. **21**: 68-80.
- Hooghiemstra, H.** 1995. Los últimos tres millones de años en la Sabana de Bogotá: registro continuo de los cambios climáticos de vegetación y clima. *Análisis Geográficos* **24**: 33-50.
- Hoorn, C.** 1993. Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: results of a palynostratigraphic study. *Palaeogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology*. **105** (3-4): 267-309.
- Hoorn, C.** 1994. An environmental reconstruction of the paleo-Amazon River (Middle-Late Miocene, NW Amazonia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **310** (1-2): 187-238.
- Hoorn, C., Guerrero, J., Sarmiento, G.A. & Lorente, M.A.** 1995. Andean tectonics as a cause for changing drainage patterns Miocene northern South America. *Geology* **23** (3): 237-240.
- Iturralde-Vinent, M.A. & MacPhhee, R.D.E.** 1999. Paleogeography of the Caribbean region: implications for Cenozoic Biogeography. *Bulletin of the American Museum of Natural History*. **238**: 1-95.
- Jackson, J.B.C., Jung, P., Coates, A.G. & Collins, L.S.** 1993. Diversity and extinction of tropical american mollusks and emergence of the Isthmus of Panama. *Science*. **260**: 1624-1629.
- Jackson, J.B.C., Budd, A.F. & Coates, A. G.** (eds.). 1996.- Evolution and environment in Tropical America. The University of Chicago Press: 1-425. Chicago & London.

- Jackson, J.B.C., Jung, P. & Fortunato, H.** 1996. Paciphila revisited: transisthmian evolution of the *Strombina* Group (Gastropoda: Collumbellidae) in: J.B.C. Jackson, A.B. Budd & G. Coates (eds.) Evolution and environmental in Tropical America. The University of Chicago Press: 234-270.
- Jackson, J.B.C., Todd, A., Fortunato, H. & Jung, P.** 1999. Diversity assemblages of Neogene Caribbean Molluscs of lower Central America. in: L.S. Collins, A.G. Coates (eds). A paleobiotic Survey of Caribbean faunas from the Neogene of the Isthmus of Panama. *Bulletins of American Paleontology*. **357**: 193-230.
- Jung, P.** 1965. Miocene Mollusca from the Paraguana Peninsula, Venezuela. *Bulletins of American Paleontology*. **49** (223): 389-673.
- Jung, P.** 1989. Revision of the *Strombina*-group (Gastropoda: Collumbellidae), fossil and living. *Schweizerische Paläontologische Abhandlungen*, **111**: 1-298.
- Keller, G., Zenker, C.E., Stone, S.M.** 1989. Late Neogene history of the Pacific-Caribbean gateway. *Journal of Foraminiferal Research*. **2** (1): 73-108.
- Kellogg, J.N. & Vega, V.** 1995. Tectonic development of Panama, Costa Rica and the Colombian Andes: Constrains from Global Positioning System geodetic studies and gravity. in: P. Mann (ed.). Geologic and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in South Central America. Geological Society of America. Special Paper **295**: 75-90.
- Kolarski, R.A., Mann, P. Monechi, S.** 1995. Stratigraphic development of southwestern Panama as determined from interpretation of marine seismic data and onshore geology. In: Mann, P. (ed.). Geologic and Tectonic development of the Caribbean plate boundary in southern Central America. Vol. Special Paper. **295**: 159-188. Deformation in Panama. *Geology*. **18** (6): 558-562.
- Link, T.A.** 1927. Post-Tertiary strand-lines oscillations in the Caribbean Coastal Area of Colombia, South America. *Journal of Geology*. **35** (1): 58-72.
- Lundberg, J. G., Machado-Alison, A. & Kay, R.F.** 1986. Miocene characid fishes from Colombia: evolutionary stasis and extirpation. *Science*. **234**: 208-209.
- Lundberg, J. G. & Chernoff, B.** 1992. A Miocene fossil of the Amazonian fish Arapaima (Teleostei, Arapaimidae) from the Magdalena River region of Colombia-Biogeographic and evolutionary implications. *Biotropica*. **24**. (1): 2-14.
- Lundberg, J.G.** 1997. Freshwater Fishes and their paleobiotic implicatios. In: R.F. Kay, R.H. Madden, R.L. Cifelli & J. J. Flynn (eds.). Vertebrate Paleontology in the Neotropics. The Miocene fauna of La Venta, Colombia. Smithsonian Institution Press: 67-91. Washington.
- MacNeil, F.S.** 1938. Species and genera of Tertiary Noetinae. *U.S. Geological Survey Professional Paper*. **189A**: 1-49.
- Mann, P. & Corrigan, J.** 1990. Model for Late Neogene deformation in Panama. *Geology*. **18** (6): 558-562.
- Mann, P., Kolarsky, R. A.** 1995. East Panama deformed belt: structure, age, and neotectonic significance. In: Mann, P. (ed.). Geologic and tectonic development of the caribbean plate boundary in Southern Central America. *Geological Society of America*. Special Paper. **295**: 11-130.
- Marshall, L.G., Butler, R.F., Drake, R.E., Curtis, G.H. & Tedford, R.H.** 1979. Calibration of the Great American Interchange. *Science*. **204** (4390): 272-279.
- Marshall, L.G., Webb, S.D., Sepkoski, J.J. & Raup, D.M.** 1982. Mammalian evolution and the Great American Interchange. *Science*. **215** (4538): 1351-1357.
- Marshall, L.G. & Cifelli, R.L.** 1990. Analysis of changing diversity patterns in Cenozoic Land Mammal age faunas, South America. *Palaeovertebrata*. **19** (4): 169-210.
- Muller, J. Di Giacomo, E & Van Erve, A.M.** 1987. A palynological zonation for the Cretaceous, Tertiary and Quaternary of Northern South America. *A.A.S.P. Contribution series*. **19** : 7-76.
- Nicol, D.** 1945. Reestudy of some Miocene species of *Glycymeris* from Central America and Colombia. *Journal of Paleontology*. **19** (6): 622-624.
- Nygren, W.E.** 1950. The Bolivar Geosyncline in northwestern South America. *Bulletin of the American Association Petroleum Geologists*. **4** (10): 1998-2006.
- Oinomikado, T.** 1939 Miocene mollusca from the neighbourhood of Cucurupi, Department of Chocó, Colombia. *Transactions of Palaeontological Society of Japan*. **46**: 617-630.
- Petters, V. & Sarmiento, R.** 1956. Oligocene and lower Miocene biostratigraphy of the Carmen-Zambrano area, Colombia. *Micropaleontology*. **2** (1): 7-35.
- Petuch, E.J.** 1976. An unusual molluscan assemblage from Venezuela. *The Veliger*. **18** (3): 322-325.
- Petuch, E.J.** 1981. A relict Neogene Caenogastropod fauna from the northern South America. *Malacologia*. **20** (2): 307-347.
- Petuch, E.J.** 1982. Geographical heterochronology: contemporaneous coexistence of Neogene and Recent Molluscan faunas in the Americas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleoecology*. **37** (2-4): 277-31.
- Pilsbry, H.A., Brown, A.P.** 1917. Oligocene fossils from the neighborhood of Cartagena, Colombia, with notes on some Haitian species. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. **63**: 32-41.
- Playà, E., Ortí, F. & Rosell, L.** 2000. Marine non-marine sedimentation in the upper Miocene evaporites of the Eastern Betics, SE Spain: sedimentological and geochemical evidence. *Sedimentary Geology*. **133**: 135-166.
- Porta, J. de.** 1959. Nueva subespecie de Toxodóntido del Cuaternario de Colombia. *Boletín de Geología*. Universidad Industrial de Santander. **3**: 55-61.
- Porta, J. de.** 1961. La posición estratigráfica de la fauna de mamíferos del pleistoceno de la Sabana de Bogotá. *Boletín de Geología*. UIS. **7**: 37-54.
- Porta, J. de.** 1962. Consideraciones sobre el estado actual de la estratigrafía del terciario en Colombia. *Boletín de Geología*. UIS. **9**: 5-43.
- Porta, J. de.** 1969. Les Vertébrés fossiles de Colombie et les problèmes posés par l'isolement du Continent Sud-Américain. *Palaovertebrata*, **2** (2): 77-94.

- Porta, J. de.** 1970. On planktonic foraminiferal zonation in the Tertiary of Colombia. *Micropaleontology*. **16** (2): 216-220.
- Porta, J. de.** 1974. Lexique Stratigraphique International. Volume V Amérique Latine. Fasc. 4: 1-692. Centre National de la Recherche Scientifique. Paris.
- Rosoff, D.B. & Corliss, B. H.** 1992. An analysis of recent deep-sea benthic foraminiferal morphotypes from the Norwegian and Greenland Seas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **1** (1-2): 13-20.
- Royo y Gómez, J.** 1942. Fósiles del Terciario del Norte de Colombia. *Compilación Estudios Geológicos Oficiales de Colombia*. **5**: 461-488.
- Royo y Gómez, J.** 1950. Geología de la Isla de Tierrabomba, Cartagena, y estudio del abastecimiento de Caño de Loro mediante aguas subterráneas. *Compilación Estudios Geológicos Oficiales de Colombia*. **8**: 33-66.
- Redmond, C.D.** 1953. Miocene foraminifera from Tubara Beds of Northern Colombia. *Journal of Paleontology*. **27** (5): 703-733.
- Skyes, L.R., McCann, W.R. & Kafka, A.L.** 1982. Motion of Caribbean plate during last 7 million years and implications earlier Cenozoic movements. *Journal of Geophysical Research*. **17**: 10656-10676.
- Smith, J.T.** 1991. Cenozoic giant pectinids from California and the Tertiary Caribbean Province. U. S Geological Survey *Professional Paper*. **1391**: 1-155.
- Solé de Porta, N.** 1960. Observaciones palinológicas sobre el Plioceno de Cartagena (Colombia). *Boletín de Geología*. **4**: 45-50.
- Solé de Porta, N.** 1961. Contribución al estudio palinológico del Terciario de Colombia. *Boletín de Geología*. **7**: 55-81.
- Stirton, R.A.** 1953. Vertebrate paleontology and continental stratigraphy in Colombia. *Bulletin Society Geological of America*. **64**:603-622.
- Stone, B.** 1968. Planktonic foraminiferal zonation in the Carmen-Zambrano area, Colombia. *Micropaleontology*. **14** (3): 363-364.
- Van den Bold, W.A.** 1966. Upper Miocene Ostracoda from the Tubara Formation (northern Colombia). *Micropaleontology*. **12** (3): 360-364.
- Van der Hammen, Th.** 1957. Estratigrafía palinológica de la Sabana de Bogotá (Cordillera Oriental). *Boletín Geológico*. **5** (2): 187-303.
- Van der Hammen, Th.** 1965. The age of the Mondoñedo Formation and the Mastodon fauna of Mosquera. *Geologie en Mijbouw*. **44**: 384-390.
- Van der Hammen, Th.** 1978. Stratigraphy and environments of the Upper Quaternary of the El Abra Corridor and rock shelters (Colombia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **25** (1-2): 111-162.
- Van der Hammen, Th.** 1978. Prehistoric Man on the Sabana of Bogotá: data for an ecological prehistory. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleoeecology*. **25** (1-2):179-190.
- Van der Hammen, Th. & Helmens, K.F.** 1995. Memoria explicativa para los mapas del Neógeno-Cuaternario de la Sabana de Bogotá. Cuenca alta del río Bogotá (Cordillera Oriental, Colombia). *Análisis Geográficos*. **24**: 96-142.
- Van der Hammen, Th. & Hooghiemstra, H.** 1995. Cronoestratigrafía y correlación del Plioceno y Cuaternario de Colombia. *Análisis Geográficos*. **24** 51-67.
- Van der Hammen, Th. Werner, J. H., & Van Dommelen, H.** 1973. Palynological record of the upheaval of the Northern Andes: a study of the Pliocene and Lower Quaternary of the Colombian Eastern Cordillera and the early evolution of its High-Andean biota. *Review of Paleobotany and Palynology*. **16**: 1-222.
- Vermeij, G.J. & Petuch, E.J.** 1986. Differential extinction in tropical American molluscs: Endemism, architecture, and the Panama land bridge. *Malacologia*. **27** (1): 29-41.
- Vokes, E.H.** 1988. Muricidae (Mollusca): Gastropoda of the Esmeraldas beds, Northwestern Ecuador. *Tulane Studies*. **21** (1): 1-50.
- Vokes, E.H.** 1990. Cenozoic Muricidae of the Western Atlantic region. Part. VIII. *Murex* s.s., *Haustellum*, *Chicoreus* and *Hexaplex*. Additions and corrections. *Tulane Studies*. **23** (1-3): 1-96.
- Vokes, E.H.** 1992. Cenozoic Muricidae of the Western Atlantic region. Part. IX. *Pterynotus*, *Poirieria*, *Aspella*, *Dermomurex*, *Colotrophon*, *Acantholabia* and *Attiliossa*; additions and corrections. *Tulane Studies*. **25** (1-3): 1-108.
- Weeb, S.D.** 1985. Late Cenozoic mammal dispersals between the Americas. In: F.G. Stheli & S.D. Webb (eds.). *The Great American Biotic Interchange*. Plenum Press: 357-386. New York.
- Weisbord, N. E.**1929. Miocene Mollusks of Northern Colombia. *Bulletin American Paleontology*. **14** (4): 1-310.
- Weisbord, N.E.** 1962. Late Cenozoic gastropods from the northern Venezuela. *Bulletins of American Paleontology*. **42** (193): 1-672.
- Weisbord, N.E.** 1964. Late Cenozoic Pelecypods from Northern Venezuela. *Bulletins of American Paleontology*. **54** (204): 5- 564.
- Whitmore, F.C. & Stewart, R.H.** 1965. Miocene Mammals and Central American Seaways. *Science*. **148**: 180-185.
- Wood, R.C.** 1976. Two new species of *Chelus* (testudines, Pleurodira) from the late Tertiary of northern South America. *Breviora*. Museum of Comparative Zoology, Harvard University. **435**: 1-26.
- Woodring, W.P.** 1965. Endemism in Middle Miocene Caribbean Mann, P. & Corrigan, J. 1990. Model for Late Neogene mollusca faunas. *Science* **148** (3672): 961-963.
- Woodring, W. P.** 1966. The Panama land bridge as a sea barrier. *Proceedings of the American Philosophical Society*. **110** (6): 425 443.
- Woodring, W.P.** 1974. The Miocene Caribbean faunal Province and its subprovinces. *Verhandlungen Naturforschende Gessellschaft in Basel*. **84** (1): 209-213.
- Woodring, W.P.** 1982. Geology and Paleontology of Canal zone and adjoining parts of Panama. Description of Tertiary mollusks (Pelecypods: Propeamusiidae to Cuspidariidae. Additions to Families covered in P 306-E. Additions to Gastropods; Cephalopods. *Geological Survey Professional Paper*. **306-F**: 541-759.