



Evolución Ambiental de la Depresión Momposina (Colombia) desde el Pleistoceno Tardío a los Paisajes Actuales

LUISA FERNANDA HERRERA⁽¹⁾

GUSTAVO SARMIENTO⁽²⁾

FREDY ROMERO⁽¹⁾

PEDRO JOSE BOTERO⁽³⁾

JUAN CARLOS BERRIO⁽⁴⁾

(1) Fundación Erigae, A.A. 89657, Bogotá, Colombia. E-mail: ferigaie@gaitana.interred.net.co.

(2) Universidad Nacional de Colombia, Dpto. de Geociencias, AA 14490 Bogotá, Colombia, E-mail: gsarmiento@ciencias.unal.edu.co.

(3) Fundación Terra Preta, Cra. 67 No. 50 - 47, Bogotá, Colombia. E-mail: pedrobotero@hotmail.com.

(4) University of Amsterdam, Hugo de Vries-Laboratory, Dept. of Palynology and Paleo/Actuo-Ecology, Kruislaan 318, 1098 SM Amsterdam, Holanda. Fax: 31-020-25257662, E-mail: berrio@bio.uva.nl.

HERRERA, L.F., SARMIENTO, G., ROMERO, F., BOTERO, P.J. & BERRIO, J.C. (2001): Evolución ambiental de la Depresión momposina (Colombia) desde el Pleistoceno Tardío a los Paisajes actuales.- GEOLOGIA COLOMBIANA, 26, pp. 95-121, 10 Figs., 2 Tablas, Bogotá.

RESUMEN

La Depresión Momposina, ubicada en el valle bajo del Río Magdalena, N de Colombia, se constituye a partir del límite Pleistoceno-Holoceno, en un ejemplo de un sistema fluvial anastomosado, desarrollado como respuesta al hundimiento progresivo de una cuenca transtensiva.

El sistema anastomosado se encuentra controlado por bloques microtectónicos delimitados por fallas que indican una subsidencia diferencial, con un hundimiento mayor de los bloques S y W en el área. Los cuerpos y cursos de agua presentan un corrimiento hacia al SW de la región, producto de esta subsidencia diferencial.

La secuencia estratigráfica del pozo Boquillas permitió determinar una sucesión fluvial enmarcada dentro de tres episodios principales, el primero caracterizado por canales trenzados y llanuras bajas de inundación, durante el último máximo glacial, hace 21000 años. El segundo episodio, representado por la transformación del sedimento en un suelo rojo tropical, señala una interrupción en la sedimentación en un ambiente seco, el cual coincide con el "Younger Dryas" o Tardiglacial, al límite Pleistoceno-Holoceno. El tercer episodio, se inicia a los 10000 A.P. y refleja la sedimentación holocénica que se mantiene con variaciones menores en la dinámica fluvial, semejante a la que actualmente se desarrolla en la Depresión Momposina.

Se analizaron las diferentes variaciones climáticas, la dinámica fluvial antigua y actual del Río Magdalena, la evolución de los suelos y de la vegetación a partir del Holoceno. Así mismo se registró la presencia del hombre prehispánico y las adecuaciones que ejecutó en el paisaje y los suelos, mediante la construcción de canales y camellones para la transformación de áreas para el control de inundaciones y desarrollo de la agricultura.

Palabras clave: Sedimentología de la Depresión Momposina, Sistema anastomosado del río Magdalena, Subsistencia, Neotectónica, Cambio climático, Pleistoceno-Holoceno, Geomorfología del bajo Magdalena

ABSTRACT

The Momposina Basin, located in the lower Magdalena valley, in northern Colombia, is an example of an anastomosed system since the Pleistocene, which was developed as an answer to the progressive sinking of a transtensive basin.

The anastomosed system is controlled by microtectonic blocks, which are limited by faults indicating a differential subsidence with a major sinking of the southern and western blocks. Water sources move towards the southwestern part of the region, as a product of the differential subsidence.

The stratigraphic sequence of Boquillas core showed a fluvial succession with three main episodes. Braided channels and lower flooded plains characterize the first episode during the Last Glacial Maximum, 21000 years ago. The second episode is represented by a transformation in the sediments with reddish tropical soils. At this time, there is a period of no sedimentation, within a dry environment,

coinciding with the Younger Dryas period, at the limit of the Pleistocene-Holocene. The third episode begins at 10000 years BP and reflects the Holocene sedimentation with minor variations in the river dynamics, similar to present sedimentation at the Momposina Basin.

Different climatic variations were analyzed, as well as ancient and present river dynamics of the Magdalena River, the evolution of soils and vegetation since the beginning of the Holocene. The presence of prehispanic groups was also registered together with the human intervention on the landscape and soils with the construction of ridge fields and canals to transform large areas and control flooding and to adequate them for agricultural practices.

Keywords: *Sedimentology of the Momposina Basin, Anastomosed system of the Magdalena River, Geomorphology of the Lower Magdalena River, Subsidence, Neotectonics, Climatic Change, Pleistocene-Holocene*

INTRODUCCIÓN

Mediante estudios interdisciplinarios tales como la sedimentología, el análisis geomorfológico, palinología, geoquímica, geocronología, arqueología, cartografía comparada y la interpretación de diferentes tipos de imágenes de sensores remotos, se lograron documentar los grandes cambios paleoambientales que ocurrieron en la Depresión Momposina, en el paso del último período glacial hasta el presente y cuyo resultado final es el paisaje actual.

La Depresión Momposina define una cuenca de sedimentación anómala dentro del sistema fluvial del Río Magdalena, que ha sido objeto de investigaciones durante la década de los setenta por parte de instituciones Colombianas y Holandesas dentro del "Proyecto Cuenca Magdalena-Cauca". Los resultados de estos estudios se encuentran en una serie de 17 volúmenes de informes no publicados (HIMAT 1977). Posteriormente, VAN DER HAMMEN (1986) utilizó las fechas de ^{14}C y estableció una serie de períodos secos y húmedos, basado en las perforaciones realizadas durante el proyecto HIMAT. Dichos resultados fueron comparados con los cambios observados en los niveles de inundación del Río Amazonas y la acumulación de nieve en un casquete glaciar en Perú (VAN DER HAMMEN & CLEEF 1992), mostrando una aparente similitud regional de las variaciones climáticas. VAN DER HAMMEN (1986), determina una tasa de sedimentación promedio de 3.8 mm por año para los últimos 7500 años, variando a 3 mm por año para los últimos 1500 años. SMITH (1986), basado en información del mismo proyecto, caracterizó la geomorfología fluvial de la Depresión Momposina como un sistema anastomosado que guarda semejanza con otros ríos, como el Alexandra y el Mistaya de Canadá. Por otra parte determina tasas de sedimentación, basado en fechas radiocarbónicas y en los datos de aportes de sedimentos antes de entrar a la depresión, en cercanías a El Banco y una vez pasada la Depresión, a la altura de Tacalao. SMITH (*op. cit.*) y VAN DER HAMMEN (*op. cit.*) concluyen que la velocidad de subsidencia es similar a la tasa de sedimentación, la cual equivale en promedio a 3.8 mm/año para los últimos 8000 años.

Entre 1995 y 2000 el Instituto Nacional de Adecuación de Tierras -INAT- y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria -CORPOICA- llevaron a cabo un estudio multidisciplinario titulado, "Adaptabilidad de la producción agropecuaria sostenible en los ecosistemas de la región de La Mojana", tendiente a la elaboración de un modelo del comportamiento de dicha región. Dentro del marco de este proyecto se llevó a cabo un estudio palinológico en campos de cultivos prehispánicos en caño Carate, donde se estableció una alternancia de períodos de mayor y menor humedad de la zona y cambios en los sistemas de aprovechamiento de recursos. Así mismo se definió la tasa de sedimentación y su posible relación con la subsidencia (HERRERA & BERRÍO 1998). Dicho estudio se llevó a cabo utilizando el material de suelos y los datos de las investigaciones de PLAZAS *et al.* (1988).

La evolución sedimentológica en un lapso equivalente a los últimos 21000 años A.P., contrastada con el desarrollo actual del paisaje, plantean el propósito de esta investigación sobre la magnitud de dicho cambio desde el punto de vista paleoambiental. Se hace énfasis en la evolución sedimentológica, relacionándola con el cambio global que define el intervalo del límite Pleistoceno-Holoceno y con la subsidencia activa como respuesta de la microtectónica. Las características geomorfológicas de la Depresión Momposina, desarrolladas en un área donde el proceso de sedimentación es continuo, permiten ilustrar el cambio climático que caracterizó el paso del último período glacial a las actuales condiciones holocénicas.

Con el objeto de conocer la historia sedimentológica y ambiental desde finales del Pleistoceno hasta los depósitos recientes, se perforó el pozo estratigráfico en el poblado de Boquillas, en el departamento de Bolívar, al SE y SW de los poblados de Magangué y Mompox respectivamente.

Estudios arqueológicos llevados a cabo desde 1976 (PLAZAS & FALCHETTI 1981) dieron a conocer una extensión de más de 500.000 hectáreas, que fueron utilizadas por grupos prehispánicos para la construcción de poblados, canales y camellones que sirvieron para la conducción del agua de la

sociedad zenú. El sistema de camellones reguló el flujo de desbordes y obtuvo una fertilización periódica de los suelos con sedimentos aportados por el río (PLAZAS *et al.* 1988), lográndose con ello el rápido desalojo y la conducción del agua hacia las ciénagas, como parte de sistemas agrícolas complejos. Dicho manejo requirió de una alta organización por parte de las sociedades que los construyeron y mantuvieron, y permitió que durante los meses húmedos del año, el agua fuera conducida, evacuada o represada en diferentes partes, mediante canales construidos entre los diques naturales y las ciénagas, y que durante los meses secos se almacenara agua. Con esta historia de más de 2000 años de control y manejo de las inundaciones, es necesario profundizar acerca de su historia paleoambiental y de observar desde cuándo la región ha estado sometida, de manera natural, a inundaciones anuales periódicas.

GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

Aspectos geográficos

El Río Magdalena es el más largo de Colombia (IGAC 1989), con un recorrido desde su nacimiento hasta su desembocadura de 1550 kilómetros y de dirección predominante sur-norte, controlada por la orientación de las principales macroestructuras geológicas. En la Depresión Momposina, a partir de la población de El Banco, en el departamento del Magdalena, cambia por primera vez esta dirección predominante y corre E-W; se divide en múltiples canales formando un sistema anastomosado y define su primera gran área de sedimentación (Fig.1). Cuando sale de la depresión, retoma su curso general hacia el norte.

La Depresión Momposina concentra alrededor del 80% del total de ciénagas de la región, tiene una forma cóncava y es una de las más grandes áreas inundables que existen en América, afectando aproximadamente 10.000 km² (HIMAT 1977). Su génesis está directamente relacionada al cambio de curso del Río Magdalena como respuesta a la actividad tectónica del Cuaternario (SMITH 1986).

La Depresión Momposina es alimentada por cuatro sistemas fluviales (Fig. 1), a saber:

1. Río Magdalena
2. Río Ariguaní – Cesar – Ciénaga de Zapatosa
3. Río Cauca - Ciénagas del Sur
4. Río San Jorge – Ciénagas del SW

Dichos ríos son los principales contribuyentes a las inundaciones anuales. Hacia la parte sur del departamento de Bolívar, el Río Magdalena se bifurca, formándose el Brazo de Mompos y el Brazo de Loba y a partir de este último, se desprende el Río Chicagua. En inmediaciones al Río

Chicagua se localiza la población de Boquillas, sitio donde se llevó a cabo la perforación. Se encuentra a 13 kilómetros del Brazo de Loba, 45° NE, y al SW de Mompos, entre 74° 33' 45" Coordenada Este y 9° 7' 25" coordenada Norte (Fig. 1).

El volumen total de agua promedio (m³/seg) que aportan las diferentes fuentes a la Depresión Momposina es: Río San Jorge, 220 a 500; Río Cauca, 2600 a 4000; Río Magdalena antes de llegar al poblado de El Banco, 4224 y Río Cesá, 50 en la desembocadura a la Ciénaga de Zapatosa y hacia el Río Magdalena.

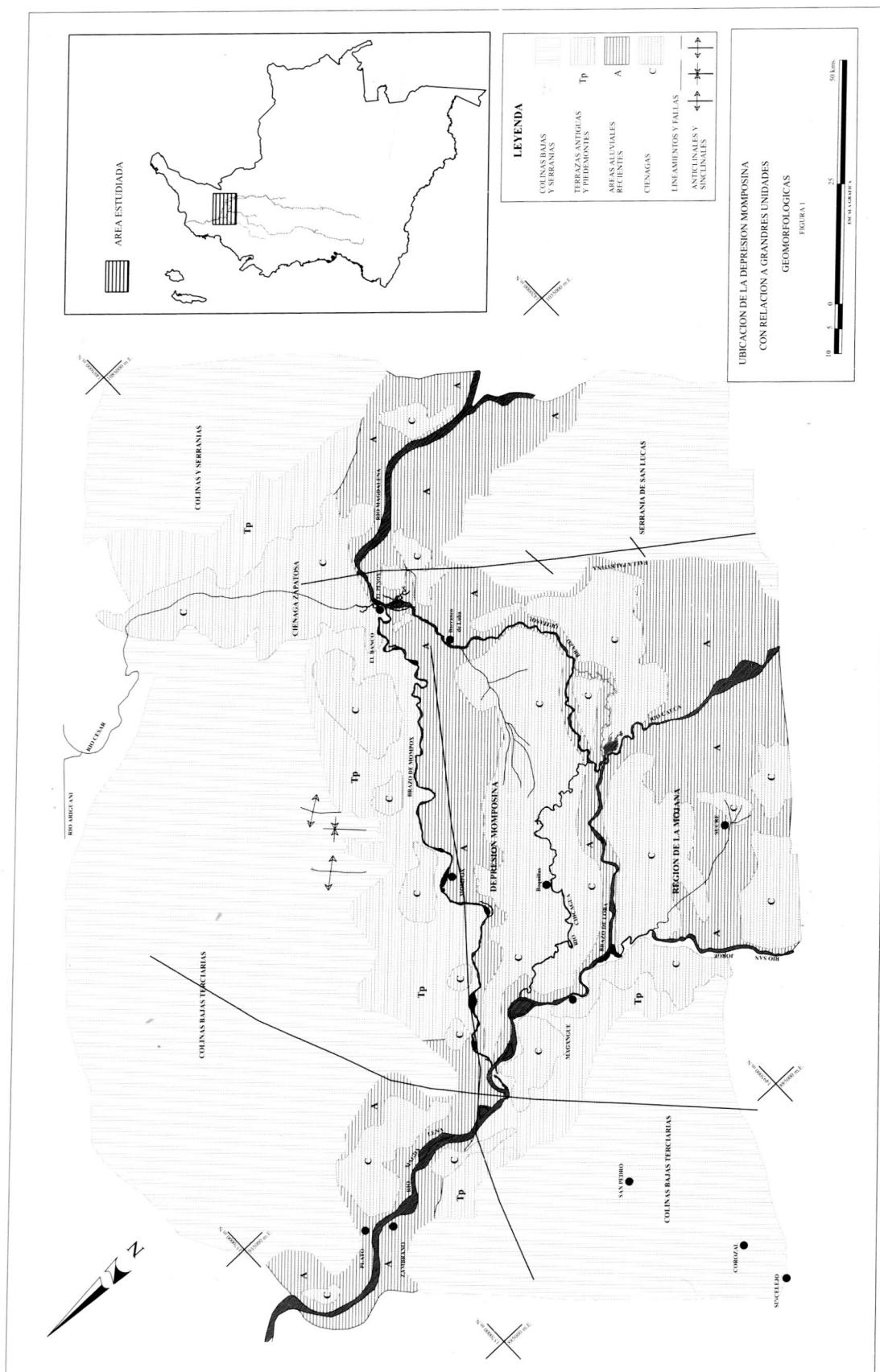
Debido a los sistemas de desborde en ciénagas, los sedimentos que llegan al Brazo de Loba se encuentran totalmente disminuidos, con respecto a los transportados por estos ríos. Lo mismo puede decirse de los aportes potenciales de los ríos Ariguaní – Cesar, que al pasar por la Ciénaga de Zapatosa quedan atrapados y las aguas que se vierten al Magdalena en El Banco, son limpias.

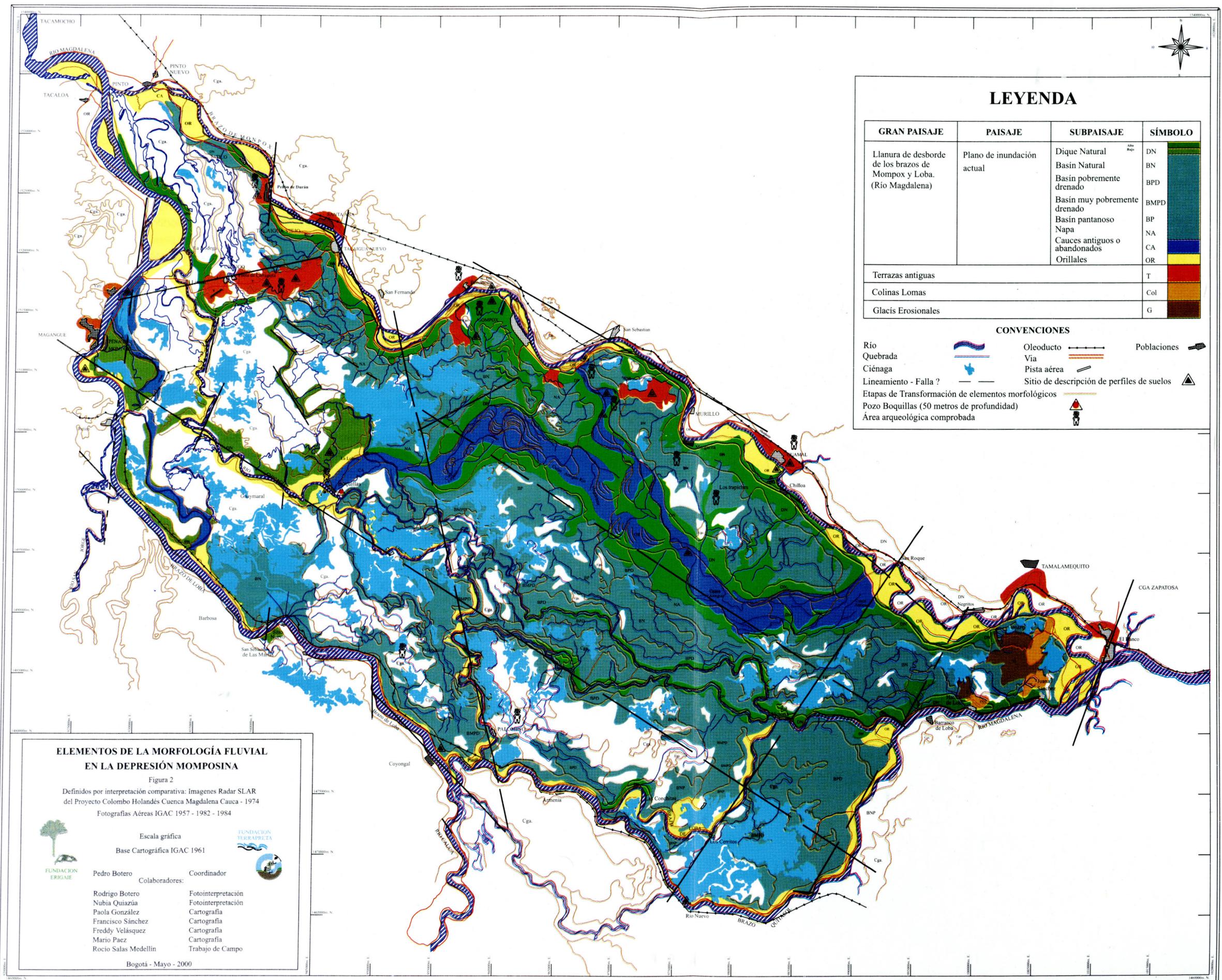
Aspectos climáticos

El comportamiento climático actual se caracteriza por un período seco que principia a fines de noviembre y se prolonga hasta fines de marzo, una época húmeda que corresponde a los meses desde mayo hasta octubre y períodos de transición en los meses de abril y octubre-noviembre. La precipitación total anual está alrededor de 1500 mm en Magangué y Mompos, aunque se observan variaciones en dirección E-W. En El Banco, la precipitación total anual es de 1700 mm; un poco hacia el Este, en Pinillos aumenta hasta cerca de 2500 mm anuales y finalmente en San Marcos es de 2250 mm.

Es evidente un aumento en la precipitación en sentido S y W. De acuerdo con la clasificación climática de KOEPPE (1948) y TREWARTHA (1943), el clima en la mayor parte de la Depresión, se clasifica como AW Tropical estacional húmedo – seco (sabana).

La temperatura promedio para la región de La Mojana y la Depresión Momposina tiene una fluctuación mensual relacionada con los períodos lluviosos y secos: entre 27° y 28°C en los meses de octubre y noviembre (meses lluviosos) y de 31° a 32°C para los meses de enero a abril (meses secos). Durante los meses transicionales de invierno a verano o verano a invierno, lluvia y temperatura tienen el mismo comportamiento. El Río Magdalena tiene dos épocas de crecientes bien definidas: la más importante, a fines de Septiembre alcanzando su nivel máximo en los primeros días de Diciembre. La creciente menor se inicia a fines de Abril y termina a finales de Junio (IGAC 1998).





Aspectos geológicos regionales

Los tipos de rocas aflorantes que rodean la Depresión Momposina conforman al N y W el Cinturón de San Jacinto, que comprende rocas sedimentarias de edad Terciario y al sur la Serranía de San Lucas formada por rocas metamórficas y volcánicas. Las rocas sedimentarias son areniscas, conglomerados y lodoletas, depositadas en un ambiente fluvial y lacustre, en una secuencia de aproximadamente 2000 metros de espesor. Las rocas metamórficas de la Serranía de San Lucas son neises y en menor proporción anfibolitas y esquistos negros grafitos; también afloran en esta parte flujos volcánicos riolíticos a riodacíticos del Jurásico (FORERO *et al.* 1997; BALLESTEROS 1983).

La parte norte de Colombia se halla ubicada en una zona de alta actividad tectónica, por la interacción de las placas de Nazca, Sudamérica y Caribe (KELLOGG & VEGA 1995; TABOADA *et al.* 2000). Limitando el área de estudio se encuentran las Fallas de Palestina, Romeral y Chicagua (BALLESTEROS 1983; FORERO *et al.* 1997). Las dos primeras fallas son de dirección S-N y la última, junto con fallas menores son de dirección NE y NW (Fig. 1). Las fallas transversales son cortas y unen entre sí las longitudinales extensas. Se presentan igualmente grandes lineamientos como el que pasa por el municipio de Mompox de dirección aproximada N60°E (Fig. 2). Al NE de la ciénaga de Zapatoso y en dirección NNW se reconoce la falla de Santa Marta – Bucaramanga.

METODOLOGÍA

Se llevó a cabo un estudio geomorfopedológico de la región, utilizando la metodología trabajada por CIAF-IGAC (BOTERO 1977; BOTERO & VILLOTA 1987; VILLOTA 1994; ZINCK 1987). Se utilizaron planchas cartográficas del IGAC (1961) a escala 1:100.000, imágenes de radar SLAR, a escala 1:200.000 (1974), y fotografías aéreas del IGAC, a escala 1:20.000 y 1:40.000 de los años 1957, 1982 y 1984. Posteriormente se hizo una verificación en campo. La información resultante de los materiales mencionados y del trabajo de campo se digitalizó en mapas base del IGAC a una escala de 1:100.000. Los datos físico-químicos de los suelos que caracterizan las unidades geomorfológicas fueron analizados basándose en la metodología del CIAF-IGAC (BOTERO 1977; VILLOTA en prensa; SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO 1991; IGAC 1990). Se verificó también la presencia del hombre prehispánico en esta región, encontrando evidencias de camellones y plataformas de vivienda, observadas en las imágenes de radar y fotografías aéreas (Fig. 2).

El pozo de Boquillas se llevó hasta una profundidad de cincuenta metros con un taladro Acker, modelo Mountainer de alta capacidad. En la recuperación continua de los núcleos se utilizaron los muestreadores tipo Shelby y Split Spoon mediante percusión, hincamiento y rotación con broca de diamante. El tipo de tubería utilizada en la perforación y en la toma de muestras fue AW, NQ de 2.5 pulgadas y HQ de 3 pulgadas.

Del núcleo continuo se tomaron muestras cada 50 centímetros para análisis granulométrico y de geoquímica de suelos; cada 10 centímetros hasta el final del pozo, en los intervalos no arenosos, para análisis palinológico; cada 50 cm a partir del metro 14 hasta el final del pozo, para mineralogía de arenas. Para los análisis de mineralogía de arcillas, se hizo un muestreo a partir de la superficie, cada 50 cm, en los primeros 17 metros. Así mismo, se tomaron 21 muestras para geocronología y 40 para δC^{13} a diferentes profundidades.

En el análisis sedimentológico se utilizaron los siguientes parámetros: Categorización de espesores en cada cambio litológico, reconocimiento de estructuras sedimentarias, efecto de la bioturbación sobre la laminación original, rasgos texturales y descripción del color según la tabla de MUNSELL (1975).

En la granulometría y química de suelos se utilizaron los métodos del IGAC (1990). La preparación, cuantificación e identificación de las características químicas de los minerales se hizo de acuerdo a la metodología de WHITIG & ALLARDICE (1986) y THOREZ (1986).

Cronología

La cronología del Pozo se llevó a cabo en los laboratorios Krueger Enterprises (USA) y Van der Graaff de la Universidad de Utrecht (Holanda) (Tabla 1).

La datación se efectuó en dos etapas. En la primera, las muestras que se seleccionaron a lo largo de la columna se fecharon por el método tradicional de AMS, utilizado para contenidos muy bajos de materia orgánica (menos de 5 gramos). En este caso, las fechas obtenidas no dieron una secuencia lógica en la profundidad del Pozo. Para resolver este problema, se tomaron muestras en una segunda etapa en donde se separaron los ácidos húmicos del residuo, para garantizar que el material fechado fuera materia orgánica *in situ* y así descartar contaminación por restos orgánicos redepositados por el sistema fluvial. De esta forma, se logró mejorar sustancialmente la cronología del pozo.

Los ácidos húmicos se producen normalmente durante

los procesos de pedogénesis, por transformaciones de la materia orgánica de las plantas, quedando íntimamente ligados a las fracciones minerales del suelo, formando el humus. Este tipo de carbón no está "libre" y por lo tanto es más estable y menos propenso a procesos como movimientos dentro o sobre el suelo, o por contaminación (SHORE *et al.* 1995). Los ácidos húmicos, por otra parte, no perduran mucho tiempo a la intemperie, no pueden ser arrastrados lejos del sitio donde se acumulan, y normalmente no son manipulados o transportados por gente o animales. Los aspectos anteriores los diferencian de fragmentos de carbón, madera, hueso u otros materiales duros que en algunos casos podrían indicar edades mucho mayores que las correspondientes al momento de sedimentación y transformación de la materia orgánica en ácidos húmicos. Los ácidos húmicos, por lo tanto, reflejan de una manera más confiable la edad de los sedimentos (suelos) en los que se han encontrado (WALKER & HARKNESS 1990). Por esta razón, las fechas que se seleccionaron en la interpretación de la cronología del Pozo, fueron las correspondientes a los ácidos húmicos, aunque en la Tabla 1 se presentan la totalidad de las fechas obtenidas. Mientras no se realicen nuevas perforaciones que permitan comparar las edades de los sedimentos, no es posible inferir cual puede ser la causa de las fechas anómalas, encontradas en algunos materiales extraídos del Pozo Boquillas.

RESULTADOS DEL ESTUDIO GEOMORFO-PEDOLÓGICO

Análisis geomorfológico

El sistema fluvial del Río Magdalena antes de formar la Depresión Momposina se caracteriza por conformar un río trenzado, de baja pendiente, poca sinuosidad y comunes barras longitudinales y transversales de arena, que se desarrolla en una llanura aluvial estrecha, entre las Cordilleras Oriental y Central, como puede deducirse de los estudios geomorfológicos de la llanura aluvial del río efectuado sobre la base de imágenes de radar y fotografías aéreas del proyecto HIMAT (1977, anexos 5J, 9H y 9K y las diferentes figuras presentes en estos). La carga de fondo que arrastra es arena y grava (tamaños máximos guijos finos) hasta Puerto Berrio, la cual disminuye aguas arriba y antes de entrar en la Depresión es de arenas medianas y gruesas (HIMAT 1977, Anexo 5J).

Poco antes de la población de El Banco, el río gira 90° y penetra a la región plana e inundable de la Depresión Momposina, afectando un área de aproximadamente 3000 km². En esta área se presenta un cambio total en el desarrollo del sistema fluvial, sin pasar por los tradicionalmente descritos sistemas intermedios de ríos meandríticos. La región

está formada por un complejo sistema de brazos o canales interconectados (principales y secundarios), los cuales encierran áreas inundables vegetadas o parcialmente vegetadas, e incluso forman extensas masas de agua (ciénagas) (Fig. 2). Lo anterior corresponde a lo que se denomina como un sistema anastomosado, de acuerdo a las definiciones de SCHUMM (1985), SMITH (1986) y MAKASKE (1998). El sistema anastomosado conforma una serie de subambientes sedimentológicos y geomorfológicos que se acomodan al proceso dinámico de hundimiento de la cuenca. El pozo Boquillas da pautas para seguir la historia evolutiva de este sistema anastomosado desde finales del Pleistoceno, hasta la época actual. De la misma forma, el levantamiento geomorfológico y cartográfico, permiten analizar la variabilidad horizontal de sus características espaciales actuales (Tabla 2).

A partir de Tacalao, en un desarrollo centrípeto, el Río Magdalena nuevamente se torna en un monocanal, recuperando su orientación inicial hacia el norte. Dinámicamente se rejuvenece, manteniendo ahora un sistema trenzado sinuoso, como se puede deducir de los estudios de geomorfología fluvial (HIMAT 1977, Anexo 9J y figuras contenidas en éste), siguiendo la orientación del tren estructural general (Fig. 2).

La amplia red de canales principales y secundarios con sus respectivos rasgos laterales característicos, es descrita en términos de su patrón de drenaje, sinuosidad y tendencia a formar uno o más sistemas de canales. Los interfluvios son diferenciados por su proximidad al canal activo: los diques naturales y explayamientos (ZINCK 1987; VILLOTA 1994) se presentan en la parte más próxima a las corrientes, las napas y ciénagas en las áreas más alejadas de ellas. Las ciénagas se caracterizan por ser de baja profundidad, frecuentemente inundadas, cortadas por canales que avulsionan a partir de deltas de desborde que tienden a llenarlas de sedimentos, pero que una vez estabilizan su cauce mantienen su estructura por unos años. Las ciénagas se comportan como cuerpos de agua inestables que se expanden y contraen no siguiendo exactamente el régimen de inundaciones de los ríos (HIMAT 1977, Anexo 5M) y logrando un cambio continuo de forma y posición. La confluencia centrípeta de los brazos y los canales del sistema fluvial en Tacalao hace que esta zona se constituya en un dique natural de tal manera que las ciénagas se llenan primero antes de que el río suba su nivel y viceversa en los períodos secos (HIMAT 1977, Anexo 5M). La vegetación invade las áreas marginales, especialmente durante la época seca. Esta dinámica causa la alteración posdeposicional de los sedimentos, al ser afectados por procesos incipientes de formación de suelos.

TABLA 1
FECHAS DE RADIOCARBONO DE LA COLUMNA ESTRATIGRAFICA DEL POZO BOQUILLAS

No. laboratorio	Tipo de análisis	Profundidad (m)	Fecha A.P.
GX-25444*	AMS ácidos húmicos	0.60	1.860±40
GX-24479	AMS residuo	3.30	9.420±50
GX-24479*	AMS ácidos húmicos	3.30	8.280±60
GX-24336	AMS	3.45	8.750±50
GX-24339	AMS	4.18	11.900±70
GX-24338	AMS	5.82	9.130±50
GX-24337	AMS	6.28	12.990±80
UtC-10461*	AMS ácidos húmicos	11.00	8.040±60
UtC-10462*	AMS ácidos húmicos	12.20	6570±60
GX-24477*	AMS ácidos húmicos	12.40	8.710±60
GX-24477	AMS residuo	12.40	11.510±50
GX-24169	AMS	12.50	7.430±50
UtC-10463*	AMS ácidos húmicos	13.50	9270±60
GX-24335	AMS	15.10	8.160±60
GX-26589*	AMS ácidos húmicos	15.30	10.010±50
GX-25445	AMS residuo	15.60	16.620±130
GX-24478*	AMS ácidos húmicos	36.80	15.730±70
GX-24478	AMS residuo	36.80	16.150±90
GX-25446*	AMS residuo	50.00	21.120±230

Laboratorios: GX- Krueger Enterprises y UtC -del laboratorio Van der Graaff de la Universidad de Utrecht.

AMS (Analysis mass spectrometry)

* Muestras utilizadas en la geocronología del pozo Boquillas

Las unidades geomorfológicas que caracterizan el sistema anastomosado de la Depresión Momposina se describen a continuación:

• **Canales principales y secundarios:** Los canales son descritos en términos de su patrón visto en planta, es decir de su sinuosidad y tendencia a formar uno o más sistemas de canales. Los patrones de drenaje están condicionados y reflejan los procesos tectónicos que están ocurriendo en los microbloques. Al norte, en los A (Figs. 2 y 3), los cursos de agua son bien definidos, presentan meandros fuertes, de baja angulosidad y densidad media (BOTERO & VILLOTA 1982). En los microbloques B (Fig. 3), la densidad del patrón es más alta, es notoria la angulosidad de algunos caños menores, las ciénagas son más grandes y más abundantes que en A y se observa colmatación en muchas de ellas. Sobre todo el conjunto anterior se desarrolla un patrón distributario, formado por el delta interno que produce el Brazo de Loba a partir del poblado de La Victoria (Fig. 2), donde se divide en tres brazos

mayores y varios menores, entregando aguas y sedimentos a las ciénagas que rodean el río Chicagua. Los microbloques C que conforman la región más hundida de la Depresión, muestran una gran superficie cubierta por muchas ciénagas, la mayoría de ellas interconectadas. A estas ciénagas les llega agua de los desbordes del Brazo de Loba, Río Chicagua y del delta de desborde en Sitio Nuevo (Fig. 4). Toda el agua de desborde sale de la Depresión por la zona C1 y hacia el norte corta la terraza pleistocénica de Cicuco. Al pasar esta barrera natural, donde confluyen los Brazos de Mompox, Loba, y drenajes de las ciénagas, se forma un patrón centrípeta con salida permanente de sus aguas en el mismo punto.

Los canales mayores presentan durante su curso, tramos rectilíneos y angulares, controlados por fallas o lineamientos. En algunos tramos son meándricos, con diferente sinuosidad, de acuerdo con el grado de control que ejerza sobre ellos la actividad neotectónica de los microbloques. Los microbloques no solamente indican

TABLA 2
CARACTERIZACION DE SUELOS PRESENTES EN LAS UNIDADES
GEOMORFOLOGICAS MAYORES DEL AREA DE ESTUDIO

UNIDAD FISIOGRAFICA	TAXONOMIA	Prof. (cms)	Textura			pH	Meg/100g.		P	Meg/100 g.				C %	
			Arena %	Limo %	Arcilla %		CIC	ppm		Ca	Mg	K	Na		
TERRAZAS ANTIGUAS (PLEISTOCENICAS) CON SUELOS ROJOS	Paleustult (Decapitado)	50 - 80	62	14	24	3,97	11,2	2,9	2,8	1,2	0,42	1	0,12		
		130	64	12	24	5	8,2	1,4	2,6	0,4	0,05	0,05	0,06		
		200	64	14	22	4,81	10	1,4	1,2	0,4	0,03	0,04	0,23		
		380	72	14	14	4,79	6,5	1,1	0,8	0,6	0,04	0,03	0,01		
	"Anthropic" Paleustalfs	00 - 40	90	8	2	7,2	7	130,4	7,2	0,8	0,25	0,02	0,87		
		80-100	72	10	18	6,8	11	172,7	8,8	0,8	0,15	0,05	0,17		
		150-170	72	8	20	6,63	13,5	183,3	9,6	0,8	0,32	0,05	0,08		
	Typic Paleustalfs	15 - 30	94	2	4	5,54	4,6	44,2	1,6	0,4	0,04	0,02	0,16		
		35-55	92	4	4	5,5	3,2	32,7	0,8	0,2	0,03	0,01	0,04		
		120-140	64	8	28	6	9	11,4	4,5	1,1	0,07	0,09	0,27		
	"Anthropic" Paleustult	00-50	80	16	4	5,05	7,6	183,3	4,22	0,24	0,07	0,1	0,78		
		50-70	74	16	10	5,74	7,9	255	4	0,27	0,06	0,15	0,35		
		70-100	74	16	10	5,7	6,1	241	2,85	0,21	0,08	0,13	0,33		
DIQUES NATURALES ALTOS (RECIENTES)	Aquic Dystruptepts	10.30	24	42	34	6,8	21,5	17,2	14,8	5,2	0,06	0,29	0,42		
		40-60	28	50	22	6,05	17,5	38,5	9,9	3,5	0,04	1,75	0,2		
		80-100	28	50	22	6,24	18	80,2	19,2	5,7	0,06	2,95	0,26		
		140	60	34	6	8,1	12	77,5	8	4,4	0,04	6,6	0,08		
		165	44	46	10	8,1	15	74,8	14,4	6,4	0,04	3,45	0,15		
		190-200	96	2	2	8,56	7	45,4	3,2	2	0,02	1,25	0,03		
	"Anthropic" Haplustalf	345	26	54	20	8,66	18	83,66	12,4	3,6	0,06	1,2	0,19		
		00 - 09	42	44	14	5,93	16,5	288,7	10,4	2,6	0,3	0,64	1,01		
		09-30	34	42	24	6,78	18	310,1	11,9	2,9	1,05	0,21	0,44		
		30 - 35	32	42	26	6,55	19,5	321,1	12,9	2,3	1,05	0,12	0,35		
		35 - 40	32	42	26	6,55	2	310,1	14,8	7,2	0,61	0,16	0,29		
		40 - 45	32	42	26	6,37	19,5	299,3	15,6	8,4	0,65	0,15	0,26		
		45 - 50	20	45	38	6,26	23,4	288,72	13,6	3,2	0,72	0,14	0,25		
		50 - 55	28	42	30	6,17	22	288,72	14,4	4,4	0,5	0,25	0,22		
		55 - 60	30	40	30	6,1	21	257,8	15,2	4,4	0,5	0,21	0,19		
		60 - 66	28	44	28	6,11	21,5	288,7	14	3,9	0,65	0,2	0,26		
		66 - 74	28	42	30	6,1	21	310,1	14,2	4	0,62	0,2	0,26		
		74 - 80	28	40	32	6,1	23	332,2	14,8	6,4	0,62	0,2	0,37		
		80 - 87	28	40	32	6,07	23,4	332,2	15	4,6	0,62	0,23	0,4		
		87 - 92	32	38	30	6,09	21,8	288,7	14,3	4,1	0,61	0,21	0,37		
		92 - 99	50	28	22	6,11	20,5	332,2	13,6	4,8	0,42	0,24	0,4		
Entic Haplustolls		99-105	38	38	26	6,2	22	299,3	13,8	3,6	0,58	0,21	0,53		
		105 - 115	38	36	26	6,26	19	321,1	13,2	3,2	0,36	0,21	0,42		
		115 - 120	56	18	26	6,26	20,6	332,2	13,2	3,4	0,34	0,32	0,43		
Tropofluvent	00 - 40	42	48	10	6,80	16,5	218,2	10,4	2,4	0,17	0,32	0,80			
	40 - 50	46	34	20	7,00	16,5	299,3	7,4	3,4	0,35	0,10	0,32			
	50 - 100	38	44	18	8,35	15,5	218,7	9,5	2,7	0,70	0,06	0,25			
	100 - 160	54	32	14	7,61	14,5	278,3	7,3	3,0	0,25	0,27	0,24			
	Aquic Ustifluvent		160 - 240	22	52	26	7,70	19,0	155,1	12,5	3,9	0,32	0,06	0,24	
Typic Ustifluvent	00 - 40	18	62	20	6,21	20	47,7	12,48	26,6	0,09	0,05	1,51			
	40 - 80	18	50	32	6,43	21	34,5	13,84	3,8	0,05	0,1	0,66			
	140	16	44	40	6,5	21,5	62	14,4	3,4	8,08	0,1	0,88			
	200	28	50	22	6,9	20	52,3	12,24	3,7	0,05	0,12	0,34			
	240	54	42	4	7,1	11,5	80,3	5,36	4,4	0,06	0,05	0,52			
	300	30	54	16	7,26	17	52,3	11,76	4	0,05	0,14	0,33			
	00 - 50	34	34	32	5,62	19,5	45,5	12,4	3,4	0,07	0,11	1			
	50-100	68	28	4	7,04	11,0	80,3	8,8	0,8	0,04	0,08	0,31			
	120	58	38	4	7,4	12,0	72,2	9,6	4,3	0,04	0,08	0,23			
	210	30	44	26	6,4	20,0	83,0	12,4	3,8	0,06	0,14	0,80			
	Typic Ustifluvent		00 - 33	32	58	10	7,03	15,0	62,0	13,0	1,6	0,07	0,21	0,83	
			53 - 68	82	14,00	4,00	7,32	9,5	74,8	9,2	1,2	0,04	0,11	0,20	
			180	24,00	46,00	30,00	6,3	20,5	72,2	14,4	5,6	0,08	0,21	0,81	
			180	24	46	30	7,27	21	43,2	14,2	5,5	0,06	0,1	0,58	
			200	44	40	16	7,2	17	47,7	10,9	4,2	0,04	0,1	0,43	

TABLA 2
CARACTERIZACION DE SUELOS PRESENTES EN LAS UNIDADES
GEOMORFOLOGICAS MAYORES DEL AREA DE ESTUDIO (Cont.)

NAPAS Y BASINES ACTUALES	Fluvaquentic Epiaquept (Fluvaquent)	00 - 20	30	36	34	5.94	20.0	26.2	10.6	4.5	0.10	0.60	0.58
		20 - 30	28	38	34	6.81	20.5	6.81	12.0	6.1	0.05	1.30	0.24
		30 - 36	26	40	34	7.80	20.5	31.0	14.5	6.8	0.05	1.80	0.13
		36 - 48	26	42	32	8.10	20.5	28.5	17.3	8.0	0.04	2.30	0.12
		48 - 60	36	40	24	8.30	20.5	44.2	10.9	6.8	0.03	3.20	0.14
		60 - 75	32	42	26	8.42	18.0	240.8	14.5	8.0	0.04	3.20	0.10
		75 - 90	30	38	32	8.52	19.0	38.5	12.6	8.5	0.05	3.50	0.37
		90-105	22	44	34	8.63	20.5	35.49	11.9	9.1	0.05	4.00	0.15
		120	20	40	40	8.60	21.5	182.37	11.5	9.6	0.05	4.30	0.12
		130	18	48	34	8.65	23.0	35.5	14.2	9.8	0.06	4.20	0.10
		140	22	46	32	8.61	23.5	44.8	15.7	10.2	0.06	4.20	0.11
		150	18	42	40	8.60	23.0	28.5	13.4	9.4	0.05	4.00	0.14
		155	18	38	44	8.51	24.5	24.1	14.2	9.8	0.06	4.00	0.14
		165	18	44	38	8.50	25.5	31.8	13.9	9.7	0.06	3.80	0.14
		176	28	50	22	8.48	24.0	28.5	13.0	9.0	0.07	3.50	0.14
		180	24	48	28	8.49	24.0	27.7	15.8	9.7	0.07	3.20	0.16
		190	18	40	42	8.56	24.0	29.3	17.0	8.8	0.06	2.60	0.33
		202	18	28	54	8.57	23.0	32.7	14.6	7.7	0.05	2.30	0.18
		213	32	44	24	8.30	24.0	40.7	14.7	8.6	0.07	2.00	0.13
		225	32	44	24	8.20	22.2	37.5	17.2	6.8	0.05	1.55	0.12
		235	32	44	24	8.00	22.0	41.8	15.6	4.8	0.05	1.25	0.12
		244	30	42	28	7.78	26.0	41.8	26.0	4.8	0.06	1.30	0.15
		255	30	42	28	7.65	26.2	40.7	14.8	8.8	0.06	1.25	0.14
		264	18	56	26	7.50	24.0	52.6	14.8	7.6	0.06	1.10	0.13
		277	36	38	26	7.66	21.0	64.5	12.8	9.2	0.05	1.00	0.15
		290	36	38	26	7.62	22.0	72.2	12.8	7.2	0.06	1.05	0.13
		305	18	34	48	7.55	26.0	59.5	16.0	7.2	0.07	1.25	0.15
		312	22	26	52	7.48	30.0	46.8	16.8	6.4	0.07	1.25	0.26
CAUCES ABANDONADOS DEL RIO MAGDALENA	Aquic Haplusteps	00 - 11	14	20	66	5.1	29.6	3.0	14.7	6.3	0.30	1.50	22.20
		11 - 82	10	36	54	6.9	20.6	2.0	14.9	6.2	0.20	1.60	0.49
		48 - 82	42	38	20	7.2	11.4	1.0	9.3	2.6	0.05	0.70	0.35
		82 - 98	28	52	20	8.2	13.1	1.0	20.9	2.1	0.10	1.00	0.27
		98 - 120	48	40	12	7.8	9.7	3.0	7.0	2.9	0.04	1.10	0.12
	Aeric Epiaquepts	00 - 07	76	1	23	6.1	18.8	8.0	10.0	3.0	1.10	0.20	2.33
		07 - 45	19	46	35	6.9	21.8	6.0	13.1	4.5	0.20	0.50	0.26
		45 - 150	31	33	36	6.5	21.0	8.0	11.2	6.1	0.20	0.40	0.19

condiciones generales en cuanto a los patrones de drenaje, por áreas, sino que también muestran que los ríos mayores cambian la forma de su curso. Por ejemplo, al pasar de A1- A2 hacia A3, el Brazo de Mompos del Río Magdalena cambia de meándrico a rectilíneo-angular; al llegar a C1 pasa nuevamente a un comportamiento suavemente meándrico. Al salir de la Depresión Momposina, dónde se unen todas las aguas, el río toma el carácter de río trenzado de baja sinuosidad (Figs. 2 y 3).

- **Las ciénagas:** son formadas en áreas depresionales amplias y poco profundas. Sus características las diferencian claramente de lagos y lagunas:
 1. No tienen límites bien definidos; cambian frecuentemente de acuerdo con el aporte variable de agua principalmente proveniente de los ríos que las alimentan o porque los ríos avulsionan sus cauces y las van llenando de sedimentos. Entonces se forman nuevos

canales, flanqueados por diques naturales bajos, con lo cual cambia también el patrón de drenaje y sedimentación en estas áreas.

2. Las aguas de las ciénagas fluyen permanentemente, algunas veces bloqueando las entradas o salidas, haciendo que cambie su configuración.

Por los motivos anteriores, las ciénagas reciben sedimentos limosos y con arena fina, diferentes de los típicos lodos que se acumulan en las lagunas. La vegetación hidrófila crece abundante en sus orillas, la cual puede llegar a cubrir varios kilómetros. Entre las estaciones seca y húmeda, o en años más o menos lluviosos, así como en áreas de brazos deltaicos, la cubierta vegetal se expande o contrae continuamente; también cambia de ubicación debido a la variabilidad en la configuración del patrón de drenaje. Estas condiciones afectan directamente las posibilidades de pedogénesis en los sedimentos y por lo tanto se extiende fácilmente

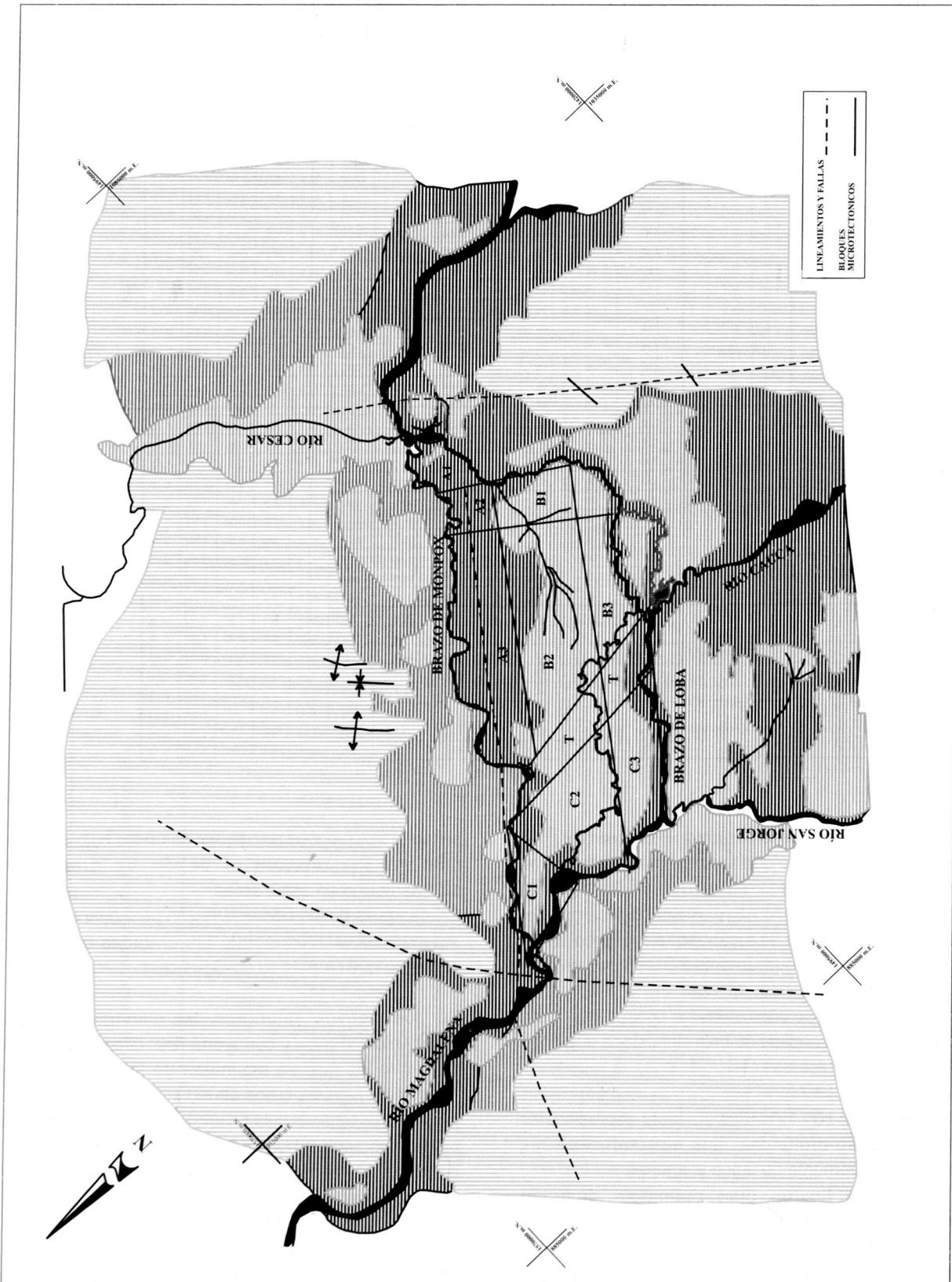


Fig. 3. Bloques microtectónicos

una parte de la variabilidad en las características de los materiales recuperados en el Pozo Boquillas.

• **Diques naturales altos (sub-recientes)**¹: esta unidad se encuentra en el plano de inundación "sub-reciente"; esto significa que en la actualidad el río está en un plano más bajo ("actual"), con aproximadamente 3 m de diferencia en el nivel. El relieve es plano, con microrelieve plano-convexo, no disectado, modelado por escurrimiento difuso, con pendientes entre 0-3%. Los suelos se han formado a partir de sedimentos aluviales de textura media a fina; son profundos², con drenaje natural, moderadamente rápido². Fueron clasificados como: Aquic Haplustolls, Aquic Ustropepts, "Antrópicos" Haplustalfs, Entic Haplustolls, Typic Ustifluvents y Aeris Tropic Fluvaquents (USDA 1998). De la vegetación arbórea original, se observaron en el campo especies como *Mimosa saman* (campano), *Guazuma ulmifolia* (guásimo), *Triplaris americana* (guacamayo), *Attalea butyracea* (palma de vino), *Sabal mauritiiforme* (palma amarga), *Tecoma* sp. (roble), *Garcia nutans* (naranjito), *Crescentia cujete* (totumo) y otras.

• **Diques naturales bajos (actuales)**¹: esta unidad se ubica en el plano de desborde de los Ríos Magdalena, Cauca y San Jorge, al sur del área estudiada. El relieve es plano, con pendientes menores a 1%. La unidad está formada por arenas finas, limos y arcillas. Los suelos dominantes en esta unidad son Aquic Ustifluvents moderadamente profundos², limitados por arenas y niveles freáticos en algunas épocas; poseen drenaje rápido² y no se inundan por largos períodos.

• **Napas y basines actuales**³:

esta unidad ocupa grandes extensiones, se encuentra en el plano de desborde actual en la posición más depresional y en transición hacia los diques naturales. El relieve es plano-cóncavo, con pendientes menores a 1%, sometido a inundaciones frecuentes y prolongadas. El material parental de los suelos está constituido por texturas arcillosas a limosas. Son superficiales, con drenaje natural lento a muy lento. Se clasifican como Fluvaquentic Epiaquepts, Aeris Fluvaquents. Durante el trabajo de campo se reconocieron algunas especies vegetales, en su mayoría herbáceas hidrófilas, observándose plantas típicas como *Commelinia virginica* (trípala de pollo), *Paspalum* sp. (gramalote), *Scirpus validus* (juncos), *Calathea* sp. (bijao), *Echinochloa colonum* (paja de arroz) y *Borreria laevis* (tabaquillo) entre otros. En

algunos canales distributarios de los deltas de desborde, crece vegetación arbórea como *Crataeva* sp. (naranjuelo) y *Cordia* sp. (uvito), además de algunos pastos utilizados para pastoreo durante el verano; en las partes más altas y mejor drenadas aparecen *Neltuma juliflora* (trupillo) y *Vachellia farnesiana* (aromo). El uso agropecuario de la unidad está limitado al pastoreo extensivo en época de verano, ya que durante el invierno permanece inundada. Los principales limitantes para el uso agropecuario son la escasa profundidad efectiva de los suelos por el nivel freático, las inundaciones frecuentes y prolongadas y la presencia de sales y sodio en algunos suelos.

• **Terrazas antiguas (pleistocénicas)**¹: esta unidad se encuentra en los alrededores de los poblados: Peñón de Durán, Santa Ana, Peñóncito, Guamal, Tamalamequito, Cicuco, Magangué, Yatí, El Limón, Talaigüa Nuevo, además de pequeñas áreas en los municipios de Mompos y San Fernando (Fig. 2). El material parental de los suelos está formado por sedimentos aluviales pleistocénicos gruesos, como arenas y gravillas bien redondeadas en el que se han desarrollado suelos rojos con arcillas de neoformación. El relieve es plano a ligeramente ondulado con pendientes entre 1 y 7%, formando áreas positivas que se elevan entre 4 y 8 m sobre el nivel medio de los cauces principales. Los suelos son de texturas medianas a gruesas sobre finas; en algunos lugares se encuentra erosión laminar moderada a severa y en algunos casos formación de cárcavas profundas. Los suelos se clasifican como: Typic Paleustults, "antrópico" Paleustalfs. En ésta áreas se ubican preferencialmente los poblados y vías terrestres. Las tierras están dedicadas principalmente a la ganadería extensiva con producción de diversos tipos de pastos. También se encuentran pequeñas áreas dedicadas a diversos cultivos. Los principales limitantes para el uso actual son la baja retención de humedad, la baja fertilidad natural de los suelos y la deficiencia de lluvias durante un semestre. Las condiciones edafoclimáticas favorecen la formación de Bosque Seco Tropical. Se pudieron observar especies como *Cavendishia* sp. (uva de lata), *Crescentia cujete* (totumo), *Hymenaea courbaril* (algarrobo), *Inga* sp. (guamo), *Tabebuia chrysanthia* (guayacán polvillo), *Tabebuia dugandii* (cañaguate), *Spondias mombin* (hobo), *Salvia paleaefolia* (mastranto) y *Enterolobium cyclocarpum* (piñón de oreja). Como vestigios de la vegetación arbórea natural se encuentran especies de *Attalea butyracea* (palma de vino), *Gliricidia*

¹ Terminología de acuerdo con IGAC (1998); VILLOTA 1994; ZINCK 1987.

² Clasificados de acuerdo con SOIL SURVEY STAFF (1951).

³ VILLOTA (1994); ZINCK (1987).

sepium (matarratón), *Crataeva* sp. (naranjuelo) y *Samanea saman* (campano).

• **Cauces abandonados del Río Magdalena:** en el brazo de Mompox, entre los poblados de Negritos y San Roque hacia el SW se presenta una antigua salida del Río Magdalena por un cauce ahora abandonado. Este cauce, algunas veces corría hacia el N, donde ahora se ubica el poblado de Mompox; otras veces se desvió netamente al W, cruzando por donde hoy queda el poblado de Boquillas. Posteriormente su curso fue muy similar a lo que es hoy el Río Chicagua. Otro cauce abandonado importante del Río Magdalena es el que se encuentra al W del área, en el Brazo de Loba y que aparentemente también fue cauce antiguo del Río San Jorge, dentro de la Depresión Momposina. Estos casos muestran los frecuentes procesos de avulsión de los cauces en la red fluvial. Estas áreas presentan un relieve en general plano a plano-cóncavo con microrelieve convexo-cóncavo. Los suelos más importantes en esta unidad son los Aquic Ustropepts y los Typic Tropaquepts; sus texturas son muy variables desde arenosas hasta arcillosas, también en algunos casos con altos contenidos de limo. Las demás características son muy similares a las de los diques naturales actuales, excepto por los bajos contenidos de fósforo, que indican poca influencia humana sobre estos suelos.

• **Glacís y colinas bajas – lomas¹:** esta unidad constituye el tipo de relieve de glacís de erosión - lomas, en el sector Barranca de Yuca -Tacasaluma, municipio de Magangué, y en los municipios de Barranco de Loba y San Martín de Loba (IGAC 1998). El relieve varía de ligeramente plano a ondulado, disectado, modelado por escurreimiento difuso y concentrado. Los glacís presentan pendientes entre 0 y 12%; existe erosión laminar moderada. En las colinas y lomas el relieve predominante es quebrado, con laderas cortas y cimas subredondeadas. El material parental de las colinas y lomas está constituido por rocas volcánicas (IGAC 1998) que originan suelos bien drenados, moderadamente profundos a superficiales. En los glacís el material parental está constituido por arcillas y arenas, con o sin capas de gravillas en la superficie y dentro del perfil. El uso de la tierra en esta unidad está dominado por pastos naturales y rastrojos; existen pequeños campos de cultivo, además de relictos de bosque natural reconociéndose en estos sitios especies tales como *Attalea butyracea* (palma de vino), *Hymenaea courbaril*

(algarrobo), *Bombax* sp. (ceiba), *Canna coccinea* (capacho), *Curatella americana* (peralejo) y *Lindackeria* sp. (carbonero). Los principales limitantes para el uso del suelo son la baja fertilidad, la erosión, la acidez y las escasas lluvias durante un semestre. Los suelos derivados fueron clasificados como Oxic Haplustepts. En las colinas rocosas se encuentran también suelos Ustoxic Dystropepts; Lithic Ustorthents en las áreas donde la roca dura está muy cerca de la superficie.

Relación entre la neotectónica y la geomorfología de la Depresión Momposina

Las primeras evidencias de conformación del sistema de drenaje, con el Río Magdalena como eje principal en dirección NS y desembocadura en el Mar Caribe, fueron a comienzos del Mioceno Tardío cuando se inicia el levantamiento de la Cordillera Oriental (GUERRERO 1997; LUNDBERG *et al.* 1998). Lo anterior se dio como consecuencia de la acreción continental del bloque Chocó en la esquina norte de Sur América (KROONENBERG *et al.* 1990; DUQUE 1990). Durante la evolución terciaria del sistema fluvial del Río Magdalena se han producido episodios de formación de sistemas anastomosados: en el área de Neiva durante el Mioceno Tardío (GUERRERO 1997) y al norte en la cuenca de Pitalito durante el Pleistoceno Tardío (BAKKER *et al.* 1989).

El mayor levantamiento, por lo menos de la parte central de la Cordillera Oriental, ha sido documentado durante el Plioceno, entre 3 y 5 millones de años (VAN DER HAMMEN 1973; KROONENBERG *et al.*, 1990; HELMENS & VAN DER HAMMEN 1995). A inicios del Cuaternario la conformación del paisaje cordillerano de los Andes colombianos había llegado a su expresión actual (VAN DER HAMMEN 1966, 1974). No obstante, una gran actividad exógena se desarrolló durante el último millón de años, la cual se manifiesta en los grandes volúmenes de sedimento, producto de procesos erosivos intensos. Estos se derivan principalmente del complejo comportamiento climático de los períodos glaciares e interglaciares los cuales hacen parte de depósitos intracordilleranos y llanuras intercordilleranas que conforman principalmente el Valle del Río Magdalena.

La estructura del sistema anastomosado, está relacionada al hundimiento progresivo de la Depresión Momposina, enmarcada en una área deprimida de origen tectónico (SMITH 1986), que constituye una cuenca transtensiva que se desarrolla por la interacción del sistema de fallas paralelas NNE (Falla de Romeral) y NNW (Falla Santa Marta - Bucaramanga) (BALLESTEROS 1983; FORERO *et al.* 1997), con comprobada actividad neotectónica y movimiento lateral (TABOADA *et al.* 2000). La interacción descrita genera adicionalmente un sistema de fallas de

¹ Terminología de acuerdo con IGAC (1998); VILLOTA 1994; ZINCK 1987.

rumbo perpendicular al anterior, con dirección NWW, ocasionando el continuo movimiento de la cuenca. La actividad tectónica Cuaternaria en el Sistema Romeral es moderada a alta, sustentada en la sismicidad somera y en los rasgos geomorfológicos y neotectónicos observados a lo largo del flanco W de la parte N de la Cordillera Central (TABOADA *et al.* 2000), pocos kilómetros al sur del área de trabajo.

De acuerdo con la interpretación de las imágenes de sensores remotos y las verificaciones efectuadas durante el trabajo de campo, se observa un neto corrimiento de los cursos y cuerpos de agua hacia el SW. Los grandes lineamientos, prolongación de las fallas regionales reconocidas en la cartografía geológica (BALLESTEROS 1983; FORERO *et al.* 1997), y señalados en la Fig. 2, junto con lineamientos menores identificados a partir de la expresión geomorfológica, indican y separan grandes bloques de terreno que presentan en conjunto condiciones diferentes en cuanto a suelos, hidrología, drenaje o inundabilidad, y que en consecuencia, están relacionados con la subsidencia diferencial que se presenta en la región (Fig. 3).

La Depresión Momposina se presenta como una serie de bloques microtectónicos delimitados por fallas que indican una subsidencia diferencial, por la cual los bloques al S y al W (Fig. 3), contra el Brazo de Loba, Río Cauca y Río San Jorge, son los más bajos (C1 – C2 – C3 en Fig. 3) y se encuentran sometidos totalmente a procesos de inundación, desborde y sedimentación en ciénagas, donde son frecuentes y muy activos los deltas de explayamiento (ZINCK 1987: p. 57-61) y un mayor desarrollo de canales en red, típicos de un sistema anastomosado. El bloque intermedio en posición y elevación (entre A – C en Fig. 3), al SE de Boquillas (B1 – B2 en Fig. 3), presenta una serie de ciénagas parcialmente colmatadas, ya que a partir de La Victoria, el tamaño de los brazos es mayor y más antiguo. En este sector es notoria la angularidad de muchos caños pequeños. En el bloque norte, desde San Fernando y Mompox hacia el SE (A3 – A2 – A1 en Fig. 3), están las áreas más elevadas de la Depresión. Por esta razón los suelos son los más evolucionados, llegándose en algunos casos al estadio de Alfisoles, en donde en la mayoría del área ya no se presentan inundaciones o desbordes anuales. Allí es factible identificar unidades geomorfológicas con edades, suelos y morfologías diferentes a ambos lados de los lineamientos, lo cual indica que la neotectónica es un factor determinante de la configuración actual de la Depresión. Los patrones de drenaje están fuertemente influenciados por ella y las columnas estratigráficas no se podrían entender sin contar con los movimientos diferenciales permanentes, debido a la subsidencia activa que ha afectado la zona durante el Cuaternario (Fig. 5).

El desarrollo progresivo de la cuenca durante el Cuaternario Tardío, ha permitido la acumulación de grandes volúmenes de sedimentos, donde la variable climática se constituye en un elemento determinante del tipo de sedimento que se acumula. Las fechas obtenidas a lo largo de la columna demuestran que el cambio sedimentológico coincide con el paso del Último Período Glacial (Pleistoceno tardío) al Holoceno. Esto muestra que este gran cambio climático fue sincrónico con el hundimiento de algunas partes de la cuenca, lo cual influyó determinantemente en la dinámica de sedimentación y en las características paleoecológicas de la región. Sin embargo, no se puede descartar que la sedimentación holocénica esté relacionada al aumento progresivo del nivel del mar, que a partir del Tardiglacial ha incrementado aproximadamente 80 m hasta alcanzar el nivel actual (VAN DER HAMMEN 1986).

RESULTADOS SEDIMENTOLÓGICOS Y GEOQUÍMICOS DEL POZO BOQUILLAS

Para seguir la sucesión de eventos en la evolución sedimentológica, se describen diferentes segmentos en sentido vertical, de abajo hacia arriba. En la Fig. 6 se representan las características sedimentológicas agrupadas en 10 segmentos de acuerdo a las variaciones granulométricas reconocibles. En la Fig. 7, las curvas corresponden a los datos granulométricos, geoquímicos y mineralógicos.

Segmento 1:

Los últimos centímetros recuperados en la perforación son lodoletas de color gris con manchas rojizas, bajos contenidos de materia orgánica, alta capacidad de intercambio catiónico y altos contenidos de fósforo intercambiable. La cronología obtenida a 49.9 metros de profundidad dio una edad de 21120 ± 230 A.P.

Segmento 2:

Entre 49.7 y 38.2 metros. Está caracterizado por un conjunto de capas gruesas de litoarenita feldespática, en general, grano decrecientes, con abundantes intraclastos de lodo dispersos y algunas capas con niveles de guijos finos. El techo del segmento es una capa de conglomerado arenoso de guijos finos y medios, clasto soportado. Los contenidos de Na, P, Ca y Mg, son en este segmento los más altos del registro y el pH es totalmente alcalino.

Segmento 3:

Entre 38.2 y 30.2 metros. Este segmento se caracteriza por un predominio de lodos y limos con intercalaciones menores de arenas finas, las cuales aumentan en cantidad y frecuencia, hacia la parte superior. Los lodos y limos son de color grisáceo con manchas amarillas producidas por

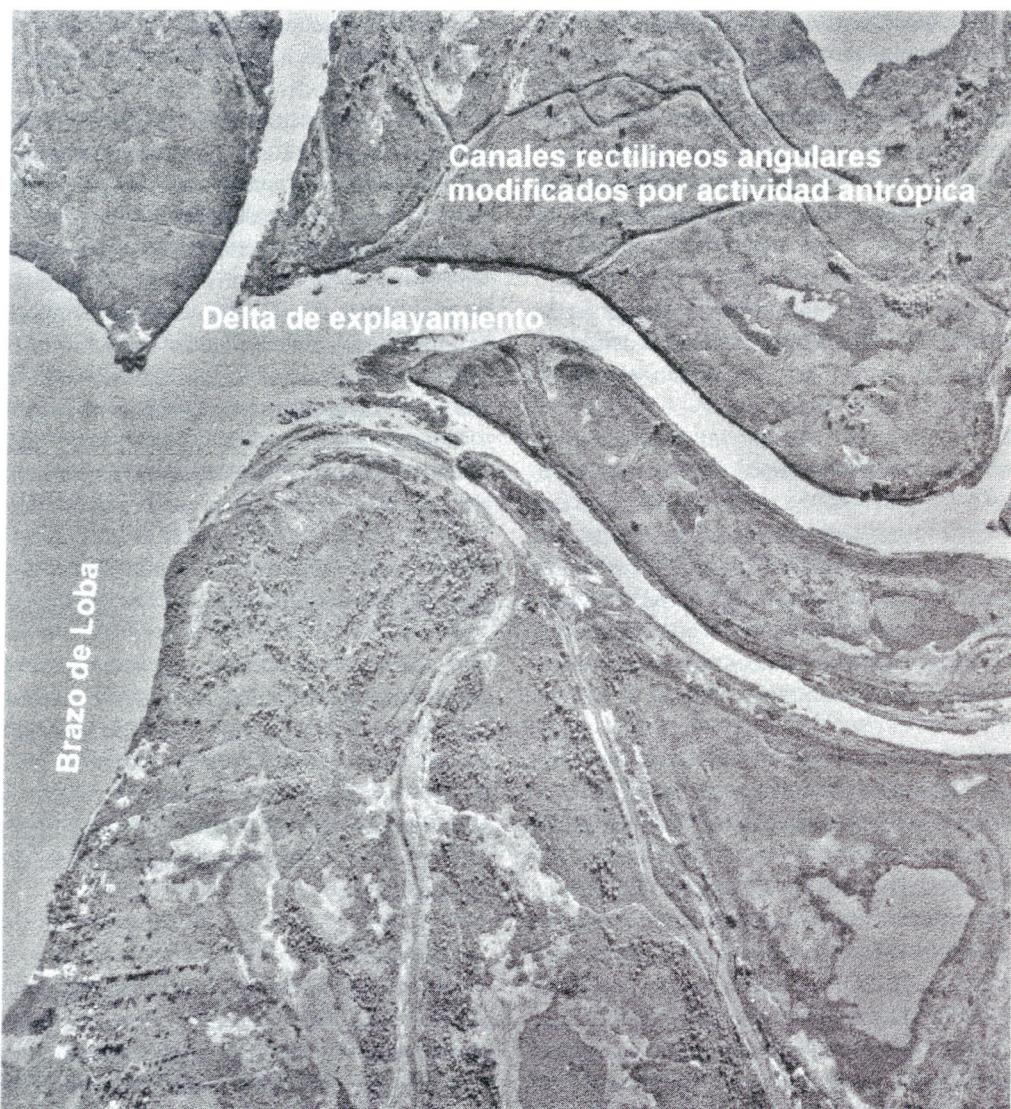


Fig. 4. Delta de explayamiento y canales modificados por actividad antrópica cerca de Sitio Nuevo.

oxidación. Se reconocen fragmentos de materia orgánica poco preservados y afectados por la oxidación.

Segmento 4:

Entre 30.2 y 22.1 metros. Consta de una sucesión de capas de arenita, en su mayor parte ligeramente grano decreciente, con buena selección y ausencia de matriz al igual que de materia orgánica. Los contactos entre capas son algunas veces superficies de reactivación. El material es limpio y no se reconoce oxidación.

Segmento 5:

Entre 22.1 y 15.4 metros. Se presentan intercalaciones de arenas medias (capas gruesas), con arenas gruesas y gravas (gránulos a guijos finos y medios), sin ningún tipo de estructura interna visible. La tendencia es a presentar las

capas de grava hacia el techo, prevaleciendo la buena selección granulométrica. Los datos geoquímicos muestran un dominio ligero de cationes, Ca y K, altos pH y P. Entre 22.5 y 17.5 m, los contenidos de P bajan notoriamente, aunque por otro lado, los contenidos de Ca y Mg son mayores. La acidez se mantiene, llegando cerca de la basicidad al tope del segmento. Los contenidos de materia orgánica son muy bajos y no se aprecian en muestra de mano.

Segmento 6:

Entre 17.4 y 15.4 metros. Este segmento, junto con el anterior, sedimentológicamente se caracteriza por presentar capas con la granulometría más gruesa encontrada en el pozo. Son capas gruesas de arenas medias y gravas de gránulos hasta guijos finos. En general las partículas que

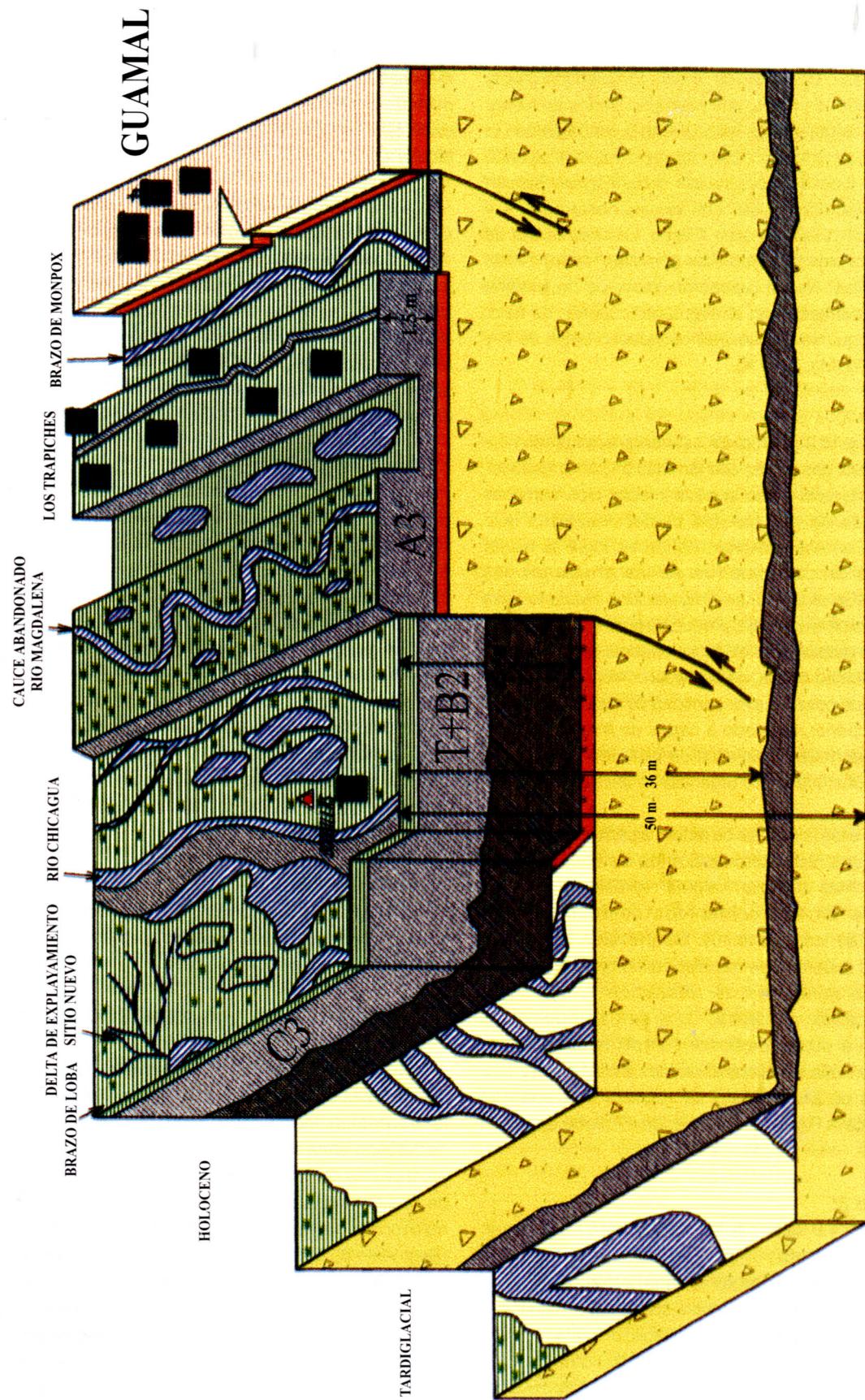


Fig. 5. Bloques Microtectónicos y geoformas en un sistema anastomosado actual. En la parte inferior izquierda se representa un sistema trenzado del río Magdalena en el Tardiglacial.

constituyen el armazón de las diferentes capas, presentan un alto grado de oxidación y presencia de matriz de limo y arcilla ferruginosa. La oxidación, afecta también los guijos, dejando alrededor de estos, una pátina de óxidos de hierro. El aspecto del segmento es rojizo fuerte y contrasta con la totalidad de los sedimentos infra y suprayacentes incluyendo los materiales lodosos. Los análisis mineralógicos indican un alto contenido de caolinita, con valores hasta de 87% y en menor proporción minerales illíticos. La cristalinidad de las caolinitas es baja (Kf) y las illitas son illitas "open" e illitas mal cristalizadas. No se presentan vestigios de materia orgánica y el contacto con el segmento superior es neto. Los datos geoquímicos muestran cantidades bajas de P y de cationes (Ca, Mg, Na y K).

Segmento 7:

Entre 15.4 y 10.2 metros. En este segmento predomina la arcilla de color gris medio con laminación plana paralela, bien preservada sólo hacia la parte media. Son comunes los fragmentos de plantas, los cuales muestran leve oxidación. Es en este intervalo donde se logró la mayor recuperación de palinomorfos en las preparaciones palinológicas (BERRIO *et al.* en preparación). Hacia la base se presenta bioturbación baja, producida por microrganismos y un desarrollo incipiente de oxidación; además se reconocen dos capas de arena media, no oxidada, con contactos netos con la arcilla que posee mayor cantidad de restos vegetales. En la parte superior, asociado a capas de limo de aspecto terroso, se desarrollan biotúbulos de diámetro menor a 0.5 cm (túbulos construidos por organismos animales).

En cuanto a los minerales de arcilla, a partir del segmento 7 se registra una fuerte disminución de las caolinitas. Las esmectitas e illitas alcanzan valores representativos y las fluctuaciones en sus contenidos contribuyen a la identificación de los segmentos. Se presenta un registro discontinuo de minerales esmectíticos e hidromicas y valores continuos de minerales de alteración (vermiculita, interestratificados y cloritas). Los datos pedológicos corresponden a suelos arcillosos con pH tendientes a la neutralidad con valores ácidos anómalos entre 13.5 m y 12.5 m. A 15.3 m de profundidad se registró una edad de 10010 ± 50 años A.P. y a 12.4 metros, de 8710 ± 60 años A.P. (Tabla 1).

Segmento 8:

Entre 10.2 y 4.8 metros se presentan intercalaciones de lodos, limos y arenas muy finas. Las arenas están subordinadas y forman parte de dos sucesiones grano decrecientes de 1 m de espesor, con amplia oxidación, pedobioturbación y presencia de raicillas oxidadas. Las capas de limo están comúnmente oxidadas y pedobioturbadas por una abundante cantidad de raicillas,

las cuales se encuentran menos oxidadas que el resto de la materia orgánica presente. Los lodos son de colores grises manchados de amarillo en las zonas oxidadas, presentan menor ocurrencia de raicillas que muestran una incipiente oxidación. También son frecuentes las capas de lodo con biotúbulos.

La mineralogía registra ligeras variaciones en el contenido de caolinita, manteniéndose siempre como mineral principal. Las esmectitas, aunque fluctúan en proporción, presentan los valores más altos, mientras que las illitas disminuyen en forma gradual y aparecen productos de alteración tipo hidromicas, vermiculitas e interestratificados al comienzo del segmento. Estos, hacia su parte superior, se presentan en mayores cantidades y son coincidentes con los cambios en la cristalinidad de illitas y caolinitas.

Segmento 9:

Entre 4.8 y 2 metros son lodos gris amarillentos pedobioturbados, con presencia de raicillas no oxidadas e intercalaciones de capas lodosas con abundantes biotúbulos. En la base se reconoce una capa de arcilla gris, compacta, ligeramente oxidada y bioturbada por acción de organismos animales, semejantes a los del segmento 7. Hacia el metro 3.5 se registra un marcado valor de las caolinitas y ausencia de esmectitas, manteniéndose luego la caolinita dentro de sus valores promedio normales. Las illitas aumentan progresivamente hasta la parte media del segmento donde se presenta el valor más alto y luego disminuyen hacia la superficie. Los productos de alteración representados en hidromicas, pirofilitas, interestratificados y vermiculitas, son claramente manifiestos.

Segmento 10:

Entre 2 m y la superficie. Se reconocen sedimentos limosos y arenosos de aspecto terroso y fuertemente modificado por acción antrópica.

INTERPRETACIÓN DE LOS MEDIOS DE DEPÓSITO

Las características granulométricas, mineralógicas y geoquímicas del Pozo Boquillas plantean para esta área de la Depresión Momposina tres episodios. El primero demarcado entre el fin del pozo y el segmento 5, donde se produce una sedimentación fluvial dinámica con un intervalo de llanuras bajas de inundación. Un segundo episodio, de no-depósito con la consecuente pedogenización del sustrato (Segmento 6), formando un suelo rojo tropical maduro, que contrasta fuertemente con cualquiera de los otros intervalos de pedogenización, comunes en estos medios sedimentarios. Finalmente, entre el segmento 7 y la superficie, un tercer episodio, caracterizado por una evolución de medios de depósito semejante a la que

actualmente se desarrolla en la Depresión Momposina. En este intervalo, el proceso sedimentario ocurre de manera continua, en una ciénaga en la que varía el nivel del agua hasta una llanura de inundación con ocasionales desbordes (segmento 8) que llegan de canales ubicados lateralmente. El tercer episodio, como tal, representa un proceso de acreción vertical, que corresponde con la evolución del sistema fluvial anastomosado que actualmente caracteriza la Depresión Momposina (Fig. 6). Se inicia esta última fase a partir de los 15.4 metros, profundidad que, según las fechas, coincide con el Holoceno.

Episodio I: Sucesión de Canales Trenzados y Llanuras Bajas de Inundación, Edad relativa < 21000 - 13000 A.P. (intervalo entre 50 m y 15.4 m)

Este episodio registra comparativamente el evento sedimentológico más dinámico de toda la columna, caracterizado por las gravas y arenas intercaladas por dos intervalos de lodos y limos con efectos de pedogénesis incipiente hacia la parte baja e intermedia. Son sedimentos en promedio más gruesos que los arrastrados actualmente como carga de fondo por el Río Magdalena o sus tributarios (HIMAT 1977, Anexo 5J, Suplemento B), en los sectores donde la dinámica fluvial es de sistema trenzado antes y después de la Depresión Momposina.

En la parte más baja del Pozo la lodoleta gris con manchas rojizas (segmento 1), evidencia procesos pedogenéticos incipientes, desarrollados en condiciones áridas. Entre 49.7 y 38.2 metros (segmento 2), el conjunto de capas gruesas de arenita y conglomerados indican un período de sedimentación dinámica. La amalgamación de las unidades deposicionales formadas por arenitas granodecrescentes, la apreciable cantidad de matriz presente en las arenas, con abundantes intraclastos y la ausencia de intercalaciones de lodo, caracterizan un río trenzado de relativa baja energía. La ausencia de capas de lodo descarta la posibilidad de que hubiera sido acumulada por canales meandriformes, más aún, cuando en algunos ríos trenzados es común encontrar un afinamiento textural menor hacia el techo de los estratos. El nivel de gravas hacia el límite superior es reflejo de los cambios laterales que podrían presentarse en un sistema mezclado entre canales trenzados y llanuras bajas.

La geoquímica de suelos representada en los altos contenidos de Na, P, Ca y Mg, así como un pH alcalino, confirma que los materiales fueron sedimentados en un clima seco y con actividad biológica asociada, tal como ocurre actualmente en áreas con dichas condiciones (IGAC 1998: p. 80-84). Adicionalmente, la presencia de feldespato en las arenas y la composición de los fragmentos de roca,

característicos de las cordilleras Central y Oriental, confirman al Río Magdalena como medio de transporte de los sedimentos.

Entre 38.2 y 30.2 metros (segmento 3), el predominio de lodos y limos con intercalaciones menores de arenas finas y los datos de geoquímica, caracterizan una llanura de desborde con una sedimentación tranquila, donde se presentan procesos intermitentes de formación de suelo, que oxidan parcialmente la materia orgánica y destruyen los palinomorfos. La fuerte acumulación de P confirma la presencia de fauna abundante. La pedobioturbación afecta casi en su totalidad la laminación original.

Entre 30.2 y 15.4 metros se restablece el sistema de canales trenzados, los cuales entre el segmento 4 y el 6 evidencian un progresivo aumento en la energía del medio fluvial, fundamentado en la cada vez más frecuente ocurrencia de niveles de grava. Los datos sedimentológicos y geoquímicos indican el desarrollo de un sistema activo de ríos trenzados sin formación de llanuras aluviales o suelos (Fig. 6). Los materiales provienen del transporte del Río Magdalena por el predominio de guijos de chert con microfósiles de foraminíferos bentónicos (*Siphogenerinoides* sp.), típicos de algunas unidades del Cretáceo Tardío del Valle Superior del Magdalena y de la Cordillera Oriental (GUERRERO *et al.* 2000).

Episodio II: Desarrollo del paleosuelo tropical al límite Pleistoceno – Holoceno (Aprox. 13000 - 10000 A.P.)

Este Episodio se caracteriza por el desarrollo de un paleosuelo rojo tropical que afecta las gravas y arenas previamente sedimentadas por un río trenzado de alta energía. Entre 17.4 y 15.4 metros de profundidad las arenas y gravas presentan un alto contenido de matriz de limo y arcilla totalmente oxidada. La oxidación y los procesos pedogenéticos afectan el material parental hasta transformarlo en un suelo rojo tropical (Ultisol con Plintita). El alto contenido de caolinita, la illita subordinada y el tipo de cristalización de las mismas, implican transformaciones en ambientes secos de baja fertilidad (BESOAIN 1985). Esto último se encuentra sustentado en la baja cantidad de P, al igual que de los otros cationes que no lavan las bases del suelo, a pesar de la meteorización.

Una vez sedimentadas las gravas y arenas durante un régimen dinámico en un sistema de ríos trenzados, el proceso de acumulación se interrumpe. Esto se infiere del contraste entre las gravas del segmento 6 y los sedimentos lodosos que las suprayacen, y el cambio de color rojo a gris oscuro. Las características de este suelo, sin presencia de los horizontes A, AB y B, permiten deducir que sólo se

sepultaron los horizontes BC y C, mientras que los superiores fueron erosionados previamente al reinicio de los procesos de sedimentación. Lo anterior se explica por un acentuado efecto climático que seca la vegetación y la superficie del suelo es progresivamente erodida. Sobre el terreno, ahora subexpuesto, se inicia un proceso de formación de suelos en un ambiente altamente oxidante, que involucra un prolongado intervalo de tiempo (miles de años), en el que se forman arcillas por pedogénesis hasta transformar el material parental en un suelo rojo tropical, con un grosor aproximado de dos metros. La ausencia de materia orgánica, restos vegetales y microrestos (palinomorfos) es total por efectos de la oxidación y la erosión de los horizontes superficiales del suelo rojo. Esta situación es similar a la de los suelos rojos moteados plintíticos, que se forman bajo condiciones de intensa y prolongada meteorización, con una tabla de agua fluctuante en la región de los Llanos Orientales de Colombia (IGAC 1999), y en extensas planicies cálidas y secas al norte de Colombia (sabanas de Córdoba y Sucre) (IGAC 1968), asociados a condiciones climáticas secas, en superficies erosionales, que en Boquillas se desarrolla justo en el límite Pleistoceno-Holoceno.

Episodio III: Evolución Holocénica (10000 A.P. al presente) de llanuras de desborde y ciénagas en un sistema de ríos anastomosados (intervalo entre 15.4 m y la superficie)

La sedimentación en los 15.4 m restantes hasta la superficie es marcadamente contrastante con relación a la registrada en la mayor parte del Pozo Boquillas. Aquí desaparecen totalmente los intervalos de gravas y arenas gravosas y la máxima granulometría que se alcanza es de arenas finas, predominando los lodos, con contenidos intermedios a bajos de materia orgánica derivada de restos vegetales. Los datos sedimentológicos medidos por HIMAT (1977, Anexo 5J) como carga de fondo en diferentes puntos de la depresión y que involucran los brazos principales y los tributarios grandes del Río Magdalena son de arenas finas, corroborando la coincidencia entre el tipo de material sedimentado a lo largo del Holoceno y el efecto del clima.

No obstante la sedimentación fina, las diferencias granulométricas, la mineralogía de las arcillas y la geoquímica de los sedimentos, permiten distinguir los cuatro segmentos, los cuales muestran progresivamente que la estabilización de los medios de depósito corresponde con la evolución del paisaje, que actualmente caracteriza la Depresión Momposina. Los cambios interpretados coinciden con subambientes que guardan semejanza con las unidades geomorfológicas descritas y cartografiadas en la superficie actual de la Depresión.

Las arcillas y lodos del segmento 7 se depositaron en una llanura de desborde. Un progresivo aumento en el nivel del agua permite que el medio evolucione, hasta constituirse en un ambiente de ciénaga permanente. La bioturbación producida por microorganismos y la ausencia de disturbio por raíces de vegetación lacustre, caracterizan la parte central de esta ciénaga. El máximo nivel que alcanza el agua y que sólo llegaría a ser de pocos metros, se presenta entre 13.5 y 12.5 metros, y se deduce por la laminación plana paralela, el alto contenido de materia orgánica, que induce un pH anormalmente ácido y la incipiente bioturbación que refleja actividad biológica en la parte central de ciénagas cuya lámina de agua es suficientemente delgada para permitir crecimiento de plantas y animales en su fondo.

La abundancia en el segmento 7 de los minerales primarios tipo esmectitas, es relativamente opuesta a los valores de caolinita. Dichas variaciones cristaloquímicas indican cambios rápidos en las condiciones climáticas (THOREZ 1986), intercalando períodos secos y cálidos con períodos húmedos, respuesta acorde con una ciclicidad en las asociaciones de vegetación deducidas de las curvas palinológicas (BERRÍO *et al.* en preparación).

La bioturbación va aumentando hacia el techo del segmento donde se presentan dos capas de lodos, de aspecto terroso por el abundante contenido de materia orgánica, con biotúbulos que implican una somerización rápida de la ciénaga.

En el Segmento 8 (entre 10.2 y 4.8 metros) se reconocen dos secuencias granodecrescentes, características de pequeños ríos que cambiaron rápidamente de curso (avulsión) o de sucesivos desbordes en un delta de desborde, como actualmente se reconoce en algunos de los cauces (Fig. 8). La bioturbación y oxidación del material original es el producto del desarrollo incipiente de suelos, aspecto que implica el transcurso de un determinado tiempo después de la sedimentación, donde crecería vegetación en condiciones de sequía. Hay una preservación de al menos dos horizontes de color pardo con biotúbulos abundantes y con muy altos tenores de P, característico de la presencia de organismos en suelos subexpuestos.

Sobre los depósitos grano decrecientes y los suelos con biotúbulos se depositaron limos y lodos parcialmente oxidados; en estos es importante la presencia de pequeñas raíces, en general no oxidadas, típicas de un área de depósito de ciénaga con niveles variables de la tabla de agua, pero que en general permanece inundada, no permitiendo el desarrollo de suelos, pero sí la oxidación por las variaciones del nivel freático. Se asume que ese medio fue propicio para el crecimiento de vegetación acuática o subacuática que no

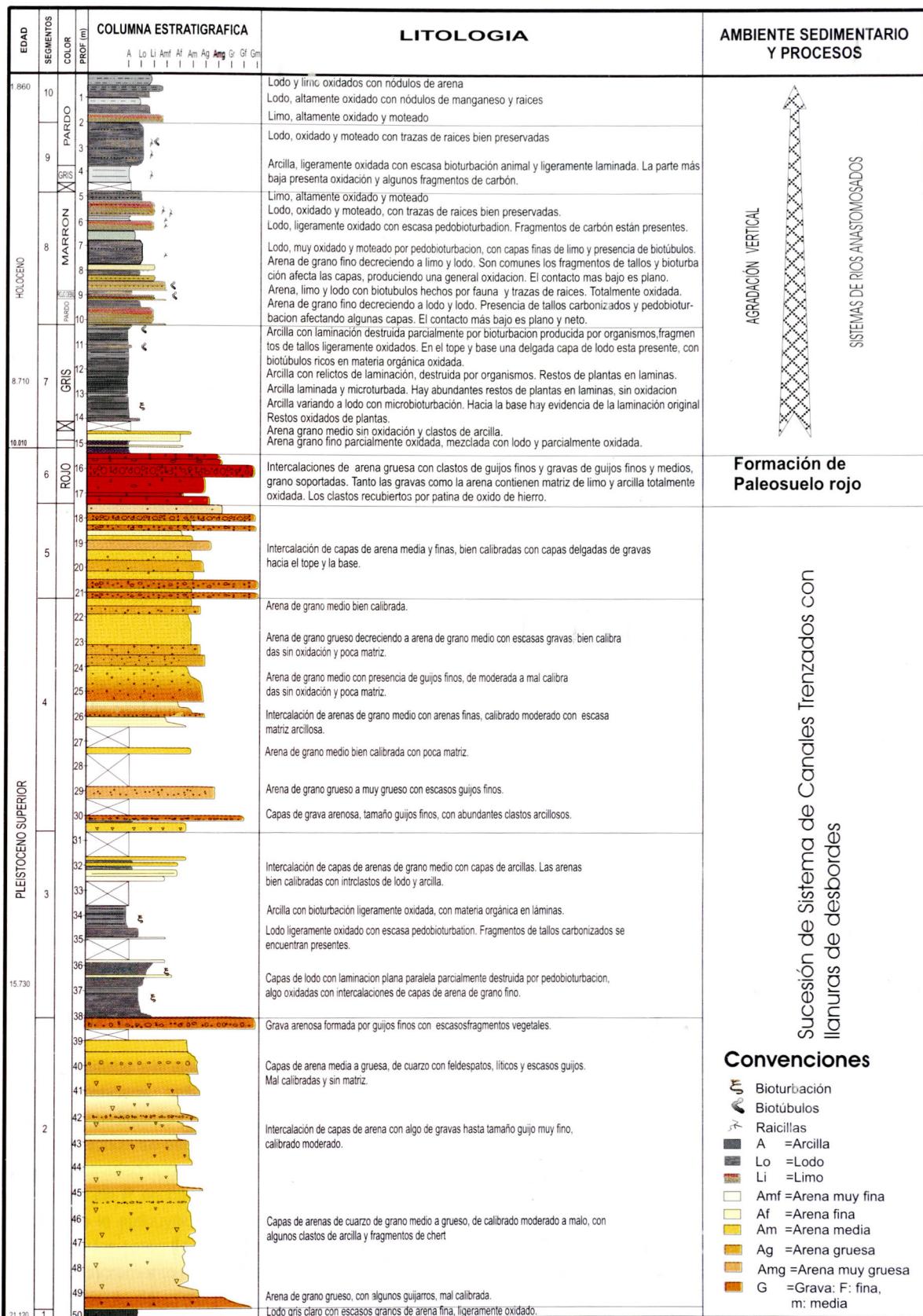


Fig. 6. Columna estratigráfica del Pozo Boquillas

Convenciones

-  Bioturbación
-  Biotúbulos
-  Raicillas
-  =Arcilla
-  =Lodo
-  =Limo
-  =Arena muy fina
-  =Arena fina
-  =Arena media
-  =Arena gruesa
-  =Arena muy gruesa
-  =Grava: F: fina, m: media

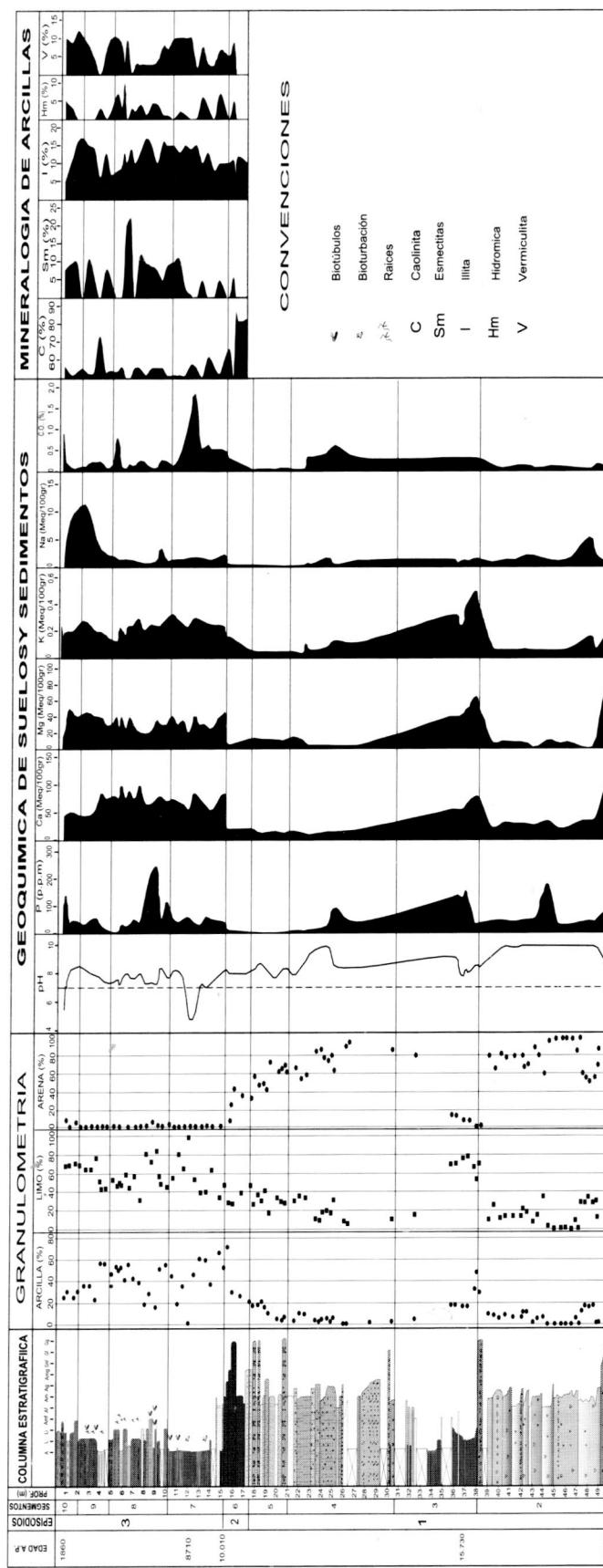


Fig. 7. Columna estratigráfica con datos granulométricos, geoquímicos y mineralógicos del Pozo Boquillas

requería de un sustrato estable. La identificación de productos de alteración tipo hidromicas, vermiculitas e interestratificados al comienzo del segmento, en baja cantidad, caracterizan procesos leves o rápidos de meteorización, en condiciones cálidas y secas (BESOAIN 1985; THOREZ 1986). Adicionalmente las variaciones en la cristalinidad de illitas y caolinitas, confirman los cambios en los procesos de meteorización de las superficies expuestas, fundamentalmente debido a la variación del nivel de las ciénagas, generalmente vegetadas. Sin embargo, hacia la parte superior del segmento, dichos minerales secundarios se presentan en mayores cantidades y son coincidentes con el mayor desarrollo de minerales esmectíticos, opuestos en abundancia relativa a los caoliniticos (6.2 y 5.8 metros), representando un período cálido y seco, con un proceso pedogenético mayor que oxida la materia orgánica.

En el Segmento 9 (entre 4.8 y 2 metros de profundidad), la capa de arcilla gris bioturbada por acción de microorganismos, los lodos pedobioturbados, las raicillas no oxidadas y las intercalaciones de capas lodosas con materia orgánica y abundantes biotúbulos, indican que el área permaneció anegada durante algunos períodos de tiempo, llegando incluso a estar subexpuesta, formándose suelos pantanosos.

Los datos geoquímicos muestran que el pH tiende totalmente a la neutralidad y el contenido de P es el más bajo de toda la columna. Los contenidos de Ca aumentan fuertemente y los demás elementos continúan en tenores medianos. Se observa una mayor influencia de pedogénesis.

Entre 3.5 y 2 metros de profundidad, parece que se presentaran condiciones de aridez porque los contenidos de Na son extremadamente altos y la materia orgánica (vegetación) es escasa. El Mg y el Na dominan el complejo de intercambio, señalando condiciones muy desfavorables para el crecimiento de la vegetación. Los pH son básicos, aunque de acuerdo con el Na deberían ser alcalinos, indicando arcillas de alta actividad y capacidad de acción amortiguadora.

Entre 2 metros y la superficie se reconocen sedimentos limosos y arenosos, con abundante materia orgánica y fuertemente modificado por la acción antrópica. En el área inmediata a donde se efectuó la perforación se encuentran indicios de actividad humana precolombina (Fig.9). Las altas proporciones de P en condiciones no tan áridas como las anteriores se le atribuyen a la influencia humana. Los pH son neutros y los contenidos de materia orgánica aumentan, indicando un incremento en la vegetación, con calentamiento y humedecimiento del clima (BEHLING & HOOGHIELSTRA 1998, 1999). El Na baja a niveles normales, favoreciendo la

fertilidad natural del suelo; así mismo, las demás características físico-químicas apuntan en la misma dirección a esta profundidad. Se registra un aumento de los minerales esmectíticos, confirmando mejores suelos, así como de alteración (interestratificados, hidromicas y vermiculitas).

ANÁLISIS Y CONCLUSIONES DE LA EVOLUCIÓN DEL PAISAJE DE LA DEPRESIÓN MOMPOSINA DESDE EL TARDIGLACIAL HASTA EL PRESENTE

El marco neotectónico que define varios microbloques con subsidencia diferencial para la Depresión Momposina (Fig. 5), es heredado de la evolución de una cuenca transtensiva producto de la interacción entre fallas como las de Bucaramanga y Romeral que actualmente permanecen activas. La sedimentación continua en los microbloques tectónicos se refleja actualmente en el paisaje de un sistema fluvial anastomosado. La perforación del pozo estratigráfico en la parte central de la Depresión Momposina, permitió estudiar mediante el uso de diferentes herramientas, su proceso evolutivo desde finales del Pleistoceno hasta el presente y adicionalmente se registró la presencia e impacto del hombre prehispánico sobre el paisaje.

El hecho de haber demostrado mediante las fechas obtenidas a lo largo de la columna, que el cambio sedimentológico mayor coincide con el paso del último período glacial al Holoceno, se constituye en un argumento para establecer que la dinámica de sedimentación está controlada por la subsidencia como efecto tectónico y los cambios climáticos, algunas veces sincrónicos. La sedimentación que actualmente ocurre en la depresión o zona inundable y la carga de fondo transportada por los sistemas fluviales trenzados antes y después de la zona de estudio (HIMAT 1977, Anexo 5J), demuestra que el potencial de arrastre de sedimentos es considerablemente menor en el Holoceno. El sistema fluvial fue afectado desde el último Período Glacial por los cambios en el régimen climático y la mayor parte de los glaciares de montaña de las Cordilleras Central y Oriental que disminuyeron en extensión o desaparecieron (KURHY 1988), dando lugar, en consecuencia, a una mayor velocidad de erosión de las áreas cordilleranas, y a un régimen alto de sedimentación en las partes bajas del Río Magdalena y tributarios. No se descarta que la configuración de la depresión pudo haber sufrido un proceso más complejo de sedimentación que mezcle ríos trenzados en un marco fluvial anastomosado, donde los cambios laterales de facies coincidan con los períodos de formación de llanuras de inundación, pero todo esto, en un esquema sedimentológico más dinámico que el actual.

Las fechas reportadas en uno de los pozos construidos durante el proyecto colombo-holandés (HIMAT 1977) cerca



Fig. 8. Delta de explayamiento y área cenagosa. A: Bordes de ciénagas afectadas por influencia antrópica. B: Canales afectados por construcciones prehispánicas.

de Boquillas, muestran que hasta 30 metros, profundidad a la que llegó el pozo, no se había alcanzado el límite Pleistoceno-Holoceno (7945 ± 305 A.P.). Las características sedimentológicas que marcan el contraste entre los lodos y las arenas se reportan a 32 m aproximadamente, mientras que para el pozo Boquillas, este contraste se da a 15.4 m. Lo anterior plantea una discusión sobre si el pozo perforado por el proyecto colombo-holandés cortó una secuencia sedimentaria ubicada en un bloque más hundido con relación al de la presente investigación. Este interrogante sólo podrá ser aclarado con un proyecto que contemple la perforación de varios pozos a lo largo de toda la Depresión Momposina que permitan comprobar la diferencia de hundimiento de los distintos bloques planteados en este estudio.

El último Máximo Glacial (UMG)

El Episodio 1 o de sucesión de canales trenzados y llanuras bajas de inundación refleja un período de sedimentación dinámica. De acuerdo a la fecha obtenida en la parte más profunda del intervalo donde se hizo el muestreo (21120 ± 230 A.P.), corresponde con el Último Máximo Glacial (UMG), que estaría caracterizado por una apreciable actividad erosiva sobre las áreas fuente. Han sido pocos los

períodos de la historia de la tierra que han registrado cambios climáticos tan grandes como los del UMG hasta el presente, no solo en las latitudes altas y medias sino también a nivel del cinturón tropical (WEBB III *et al.* 1993; MARKGRAF 1993; ANDERSEN & BURNS 1994). En Europa y Norteamérica por ejemplo, se tiene documentado que este período se caracteriza por un retiro general de los glaciares (ANDERSEN & BURNS 1994), no de manera lineal sino fluctuante. La máxima extensión glaciar en Colombia está documentada en la Sierra Nevada del Cocuy entre 45000 y 25000 A.P.; a partir de 21000 A.P. se inicia un proceso de retirada progresiva del hielo (VAN DER HAMMEN *et al.* 1980-81; KHURY 1988), lo que traería en consecuencia una fuerte actividad erosiva y de transporte de sedimentos por parte de los ríos.

La edad de 15730 ± 70 A.P., obtenida a 36.8 metros de profundidad en lodos podría coincidir con uno de los intervalos de calentamiento climático de carácter global, ocurrido dentro del último glacial (COLTRINERY 1993; ROBERTS 1998; GUILDESON *et al.* 1994; HEUSSER *et al.* 1994), aunque también podría relacionarse con una variación lateral en los sistemas de canales, tal cual se presenta en un régimen distributivo donde hay frecuentes cambios en los medios de transporte y sedimentación.

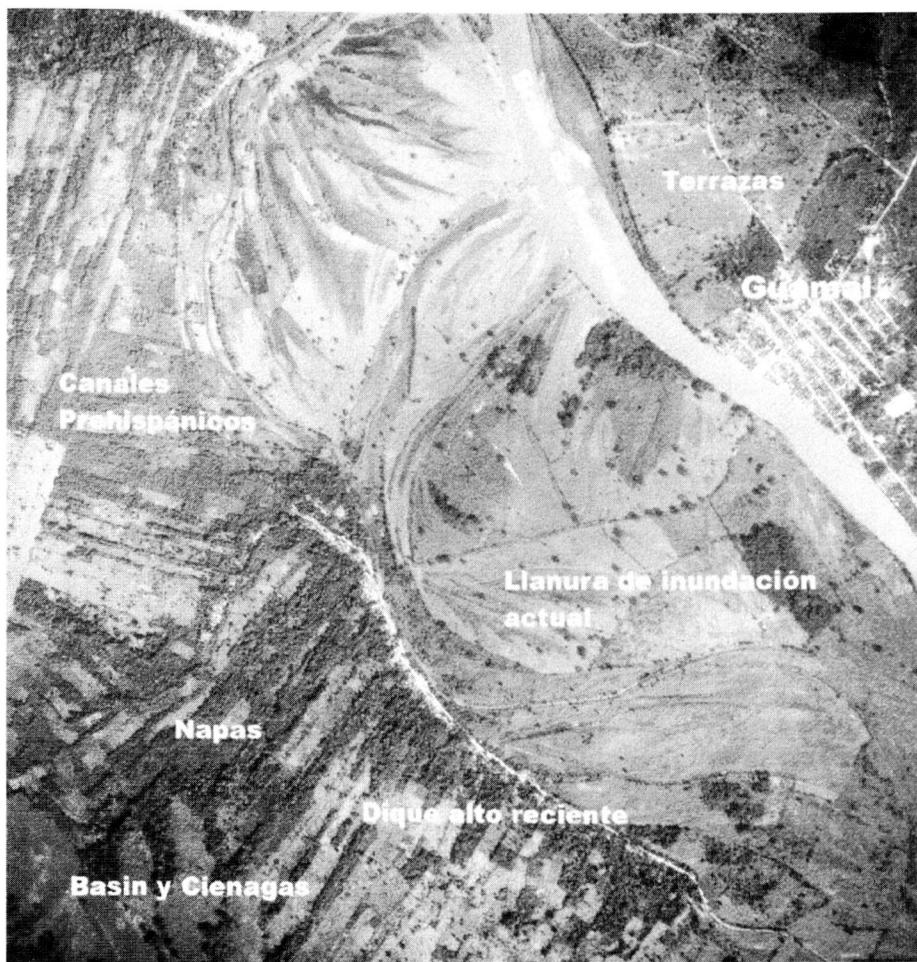


Fig. 9. Geoformas asociadas con canales prehispánicos, cerca a Guamal.

En la parte superior de este episodio se restablecen los canales trenzados que progresivamente aumentan de energía, como reflejo de mayores amplitudes térmicas en el clima, como se ha reportado ocurre a finales del Pleistoceno, durante el último estadial, con los consecuentes deshielos y la desaparición de la mayor parte de glaciares de montaña en las Cordilleras Central y Oriental (VAN DER HAMMEN *et al.* 1980-81; KUHRY 1988). Un ascenso generalizado de la línea de costa, reflejo de la fusión progresiva de las masas de hielo, es claramente reportada en la cuenca baja del Río Amazonas (IRION *et al.* 1997). En la Depresión Momposina el fenómeno se manifiesta en el Pozo Boquillas en una granulometría cada vez más gruesa que implica una sedimentación más dinámica y las características del sistema trenzado, seguramente fueron generalizadas para toda la Depresión Momposina.

La transición del Pleistoceno al Holoceno

El paleosuelo rojo encontrado en el pozo entre 15.4 y

17.4 m, formado en un substrato de arenas y gravas es la interfase entre la sedimentación dinámica del Tardiglacial y los lodos, limos y arcillas holocénicas. Este paleosuelo plintítico se ha interpretado como consecuencia de un período seco durante un intervalo de no-sedimentación, que caracteriza el final del Pleistoceno y el inicio del Holoceno. Dicho suelo rojo desarrollado en gravas como sustrato, se encontró en diferentes localidades tanto en la Depresión Momposina, como en Guamal y Los Trapiches, a diferente profundidad y son la base para la interpretación de las distintas velocidades de hundimiento de los microbloques (Fig. 5). El estado de maduración de este suelo, implica sub-exposición prolongada y coincide con el "Younger Dryas", fenómeno climático al límite Pleistoceno – Holoceno que se desarrolló a escala regional y global y que se manifiesta en la zona por una apreciable sequía.

El paisaje holocénico

El Holoceno se caracteriza por el calentamiento global



Fig. 10. Cauce abandonado del Río Magdalena, llegando al poblado de Boquillas; además, área de plataformas prehispánicas al norte del poblado.

que sufre el planeta y que causa la retirada más drástica de los glaciares. Está representado por contrastes en el registro sedimentario, objeto de estudios detallados, confrontados con modelos teóricos y enfocados tanto a entender los mecanismos y las causas que lo produjeron, como también el momento crítico que define el límite Pleistoceno–Holoceno (WRIGHT *et al.* 1993). Subsecuentemente en la deglaciación ocurrida durante el Holoceno Temprano, la influencia climática asociada al hielo disminuye, incluso en las zonas inmediatas a las regiones polares, estableciéndose en términos generales, el régimen climático actual (WEBB III *et al.* 1993).

En la Depresión Momposina, a partir de los 15.4 m. se inicia un régimen de sedimentación menos dinámico, el cual se enmarca en el sistema fluvial anastomosado que en la actualidad caracteriza la región. La evidencia sedimentológica y geoquímica que confirma el cambio drástico en las condiciones climáticas asociadas al inicio del Holoceno, se sustenta además con la fecha de 10010 ± 50 años A.P., tomada a un centímetro de la base de los lodos grises (metro 15.3) (Tabla 1). A lo largo de este intervalo se registran ligeros cambios en el sistema fluvial como respuesta

a variaciones ambientales menores. Algunos fenómenos detectados en la definición de las unidades geomorfológicas, como segmentos de río avulsionado, deltas de explayamiento y la tendencia general de los cursos de agua a migrar hacia el SW, demuestran que el sistema fluvial presenta una cierta inestabilidad, relacionada con los bloques microtectónicos delimitados por fallas, que indican la subsidencia diferencial y cambios leves en la sedimentación.

El segmento inferior diferenciado durante la sedimentación holocénica (segmento 7), indica que el reinicio de ésta se dio alcanzando los mayores niveles de agua y en condiciones de muy baja energía, aspecto que coincide con el rápido aumento relativo del nivel del mar, documentado para las costas del mar Caribe, en el Holoceno Temprano (RULL *et al.* 1999). Estas curvas que representan el aumento en el nivel del mar, son coincidentes con otras reportadas, por ejemplo para la cuenca del Río Amazonas (IRION *et al.* 1997), en las cuales se aprecia un aumento rápido del nivel del mar hasta los 8000 años A.P. y a partir de 10 m una relativa estabilización. Para el Holoceno Tardío (últimos 8 m del pozo), tanto los procesos pedogenéticos descritos como los datos geoquímicos, evidencian el clima actual de la

región.

Hacia la parte superior del pozo y en general en gran parte de la Depresión Momposina, se reconocen evidencias de actividad humana. Esta región, conectada como sistema fluvial con la zona del bajo Río San Jorge, albergó en épocas prehispánicas una alta densidad demográfica, aunque en la zona del bajo Río San Jorge muestran la mayor expresión de manejo del sistema hidráulico (Plazas & Falchetti, 1981; Plazas et al., 1993). Sin embargo, para la zona de estudio, se advirtió la presencia de camellones y canales perpendiculares al Río Magdalena, Brazos de Loba y de Mompox, Río Chicagua, así como en meandros abandonados. Se observan además, canales cortos (fig. 9) y plataformas de vivienda prehispánicas (fig. 10), así como el trazo rectilíneo con ángulos rectos de algunas de las ciénagas y tramos largos de canales (fig. 4), lo que hace suponer que los antiguos pobladores modificaron sus características con el fin de unir varias ciénagas a través de canales y además habitar y cultivar en sus orillas.

La comparación de los materiales culturales encontrados, con los del bajo Río San Jorge y bajo Magdalena, sugiere que el grupo que ocupó dicha región fueron los Malibúes. Sin embargo, hasta el momento sólo se ha llevado a cabo una prospección general de la región, haciendo falta la excavación de plataformas de vivienda que aporten información sobre los habitantes de la región y su cronología.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se desarrolló dentro del Proyecto 6212-13-537-96 entre la Fundación Erigaie y Colciencias. Queremos agradecer de forma muy especial a Colciencias por el apoyo financiero a este proyecto, sin el cual hubiera sido imposible su desarrollo. El apoyo de la gente de la región, especialmente de la familia Rocha en Boquillas, fue muy importante en la etapa de campo. Así mismo, agradecemos a Rocío Salas por su colaboración en el aspecto arqueológico, durante la fase de trabajo de campo. Queremos agradecer de manera especial a los profesores Henk Berendsen, Henry Hooghiemstra, Salomón Kroonenberg y Thomas van der Hammen por sus valiosos comentarios en diferentes etapas del desarrollo del proyecto y a la Universidad de Amsterdam, Laboratorio Hugo de Vries, de Paleoactuoecología por la financiación de tres fechas de C^{14} y material bibliográfico de referencia. Finalmente al Dr. Javier Guerrero por la revisión del texto.

REFERENCIAS

- ANDERSEN, B. G. & BURNS, H. W. (1994): An introduction to Quaternary history and research with emphasis on North America and Northern Europe during the last 2.5 million years.- 208 p., Scandinavian University Press, Oslo.
- BAKKER, J.G.M., KLEINENDORST, T.W. & GEIRNAERT, W. (1989): Tectonic and sedimentary history of the Late Cenozoic intermontane basin (the Pitalito Basin, Colombia).- Basin Research, v. 2, p. 161-187.

- BALLESTEROS, C. I. (1983): Mapa geológico generalizado del departamento de Bolívar. Escala 1:500.000.- INGEOMINAS, Bogotá.
- _____ (1983): Memoria explicativa del mapa geológico del departamento de Bolívar. Escala 1:500.000.- INGEOMINAS, Bogotá.
- BEHLING, H. & HOOGHIEMSTRA, H. (1998): Late Quaternary palaeoecology and palaeoclimatology from pollen records of the savannas of the Llanos Orientales in Colombia.- Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 139, p. 251-267.
- _____ (1999): Environmental history of the Colombian savannas of the Llanos Orientales since the Last Glacial Maximum from lake records El Pinal and Carimagua.- Journal of Paleolimnology, v. 21, p. 461-476.
- BERRÍO, J.C.; BOOM, A.; BOTERO, P.J.; HERRERA, L.F.; HOOGHIEMSTRA, H.; ROMERO, F. & SARMIENTO, G. (en preparación): Multi-proxy Holocene history of a cultivated floodplain area in the wetlands of northern Colombia. Vegetation History and Archaeobotany.
- BESOAIN, E. (1985): Mineralogía de arcillas de suelos.- 1189 p. CIDA e IICA, eds., Costa Rica.
- BOTERO, P.J. (1977): Guías para el análisis fisiográfico.- Notas de clase. IGAC-CIAF, Bogotá.
- BOTERO, P.J. & VILLOTA, H. (1982): Análisis de corrientes individuales y patrones de drenaje.- Notas de clase. IGAC-CIAF, Bogotá.
- COLTRINAY, L. (1993): Global Quaternary changes in South America.- Global and Planetary Change, v. 7, p. 11-23.
- DUQUE, H. (1990): El Bloque del Chocó en el noroccidente Suramericano: Implicaciones estructurales, tectono-estratigráficas y paleogeográficas.- Boletín Geológico de Ingeominas v. 31, No.1, p. 1-45, Bogotá.
- FORERO, G., FERREIRA, P. & MAYA, M. (1997): Atlas geológico digital de Colombia (versión 1.0) plancha 2, escala 1:500.000.- INGEOMINAS, Bogotá.
- GUERRERO, J. (1997): Stratigraphy, sedimentary environment and the Miocene uplift of the Colombian Andes.- Kay, R.F., 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, p. 15-43. Washington D.C.
- GUERRERO, J., SARMIENTO, G. & NAVARRETE, R.E. (2000): The stratigraphy of the W side of the Cretaceous Colombian Basin in the Upper Magdalena Valley. Reevaluation of selected areas and type localities including Aipe, Guaduas, Ortega, and Piedras. Geología Colombiana, v. 25, p. 45-110, Bogotá.
- GUILDERSON, T.P.; FAIRBANKS, R.G. & RUBENSTONE, J.L. (1994): Tropical temperature variations since 20,000 years ago: modulating interhemispheric climate change.- Science, v. 263, 663-665.
- HELMENS, K. & VAN DER HAMMEN, T (1995): Memoria explicativa

- de los mapas del Neógeno y Cuaternario de la Sabana de Bogotá. Cuenca alta del Río Bogotá.- Análisis Geográficos, v. 24, p. 91-142, Bogotá.
- HERRERA, L.F. & BERRÍO, J.C. (1998): Vegetación natural y acción antrópica de los últimos 1000 años en el sistema prehispánico de canales artificiales del Caño Carate en San Marcos (Sucre, Colombia).- Revista de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuarias, v. 2, No. 2, p. 35-43. Bogotá.
- HEUSSER, L.E. & SHACKLETON, N.J. (1994): Tropical climatic variation on the Pacific slopes of the Ecuadorian Andes based on a 25,000-year pollen record from deep-sea sediment core Tri 163-31B.- Quaternary Research, v. 42, p. 222-225.
- HIMAT (1977): (Inédito). Proyecto Cuenca Magdalena-Cauca. Informe final, proyecto Colombo-Holandés, 17 volúmenes con mapas, Bogotá.
- ____ (1977): (Inédito). Proyecto Cuenca Magdalena-Cauca. Informe final, proyecto Colombo-Holandés, v. 1, cap. 4, Bogotá.
- ____ (1977): (Inédito). Proyecto Cuenca Magdalena-Cauca. Informe final, proyecto Colombo-Holandés, Anexo 5J, Transporte de sedimentos y morfología fluvial, v.10, Bogotá.
- ____ (1977): (Inédito). Proyecto Cuenca Magdalena-Cauca. Informe final, proyecto Colombo-Holandés, Anexo 5M, Utilización de embalses para la protección contra inundaciones en la zona lacustre, v.10, Bogotá.
- ____ (1977): (Inédito). Proyecto Cuenca Magdalena-Cauca. Informe final, proyecto Colombo-Holandés, Anexo 9H, Proyecto Cantagallo, Estudio de prefactibilidad, v. 14, Bogotá.
- ____ (1977): (Inédito). Proyecto Cuenca Magdalena-Cauca. Informe final, proyecto Colombo-Holandés, Anexo 9J, Proyecto Plato, estudio de prefactibilidad, v. 14, Bogotá.
- ____ (1977): (Inédito). Proyecto Cuenca Magdalena-Cauca. Informe final, proyecto Colombo-Holandés, Anexo 9K, Proyecto Papayal, Estudio de prefactibilidad, v. 14, Bogotá.
- IDEAM (2000): Valores totales mensuales de precipitación en Mompox y San Marcos. (Material no publicado).
- ____ (1968): Estudio general de suelos y aptitud agropecuaria, municipios Barranco de Loba, San Martín de Loba. Departamento de Bolívar. Con mapa escala 1:100.000, Bogotá.
- ____ (1968): Estudio general de suelos y aptitud agropecuaria, municipios de Mompox, Margarita, San Fernando. Departamento de Bolívar. Con mapa escala 1:100.000, Bogotá.
- ____ (1974): Municipio de Mompox. Mapa del uso de la tierra. Escala 1:100.000, Bogotá.
- ____ (1989): Atlas Básico de Colombia, 446 p., Bogotá.
- ____ (1990): Métodos analíticos del laboratorio de suelos.- 502 p., 4^a edición. Subdirección Agrológica, Bogotá.
- ____ (1998): Estudio general de suelos del departamento de Bolívar.- 176 p., IGAC, Bogotá.
- ____ (1999): Paisajes fisiográficos de la Orinoquia-Amazonia (ORAM) Colombia.- Análisis Geográficos, Pedro Botero ed. v. 27-28, p. 361. Bogotá.
- KELLOGG, J. & VEGA, V. (1995): Tectonic development of Panama, Costa Rica and the Colombian Andes: Constraints from Global Positioning System geodetic studies and gravity.- GSA Special Paper, v. 295, p. 75-90.
- KROONENBERG, S. B., BAKKER, J. & VAN DER WIEL, A.M. (1990): Late Cenozoic uplift and paleogeography of the Colombian Andes: constraints on the development of high-andean biota.- Geologie en Mijnbouw, v. 69: 279-290.
- KOEPPEN, W. (1948): Climatología.- 478 p., Fondo de Cultura Económica, México.
- KUHRY, P. (1988): Palaeobotanical-palaeoecological studies of tropical high Andean peatbog sections (Cordillera Oriental, Colombia).- 241 p., Dissertationes Botanicae DD, J. Cramer, Berlin Stuttgart.
- IRION, G., JUNK, W.J. & DE MELLO, J. (1997): The large central Amazonian river floodplains near Manaus: geological, climatological, hidrological and geomorphological aspects.- Ecological Studies. The Central Amazon Floodplain. Junk (ed). Springer-Verlag v. 126, p. 23-46, Berlin.
- LEYDEN, B.W. (1985): Late Quaternary aridity and Holocene moisture fluctuations in the Lake Valencia basin, Venezuela.- Ecology, v. 66 No. 4, p. 1279-1295.
- LIPS, J.M. & DUVENVOORDEN, J.F. (1994): Geomorphic and Lithostratigraphic evidence of Pleistocene climatic change in Amazonia: New data from the middle Caquetá area, Colombia.- Colloquium Climatic Change and Geomorphology in tropical environments, p. 21-47, Brussels.
- LUNDBERG, J.G., MARSHALL, L.G., GUERRERO, J., HORTON, B., MALABARBA, L.R., & WESSELINGH, F. (1998): The stage for neotropical fish diversification: a history of tropical South American rivers.- Malabarba, L.R., Reis, R.E. Vari, R.P., Lucena, Z.M. & Lucena, C.A.S., (eds): Phylogeny and Classification of neotropical Fishes. p. 13-48, Edipucrs, Porto Alegre.
- MAKASKE, B. (1998): Anastomosing rivers: forms, processes and sediments.- PhD Thesis, University of Utrecht, 287 p. Utrecht.
- MARKGRAF, V. (1993): Climatic history of Central and South America since 18,000 yr B.P: comparison of pollen records and model simulations.- Wright, H. E., Kutzbach, J.E., Webb III, T., Ruddiman, W.F., Street-Perrott F.A. & Bartlein P.J., eds. Global Climates since the Last Glacial Maximum. p. 357-385, University of Minnesota Press, Minneapolis.
- MUNSELL SOIL COLOR CHARTS. (1975): Kollmorgen Corporation, Baltimore.
- PLAZAS, C., & FALCHETTI, A.M. (1981): Asentamientos prehispánicos en el bajo Río San Jorge.- 76 p., Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales, Banco de la República, Bogotá.
- PLAZAS, C.; FALCHETTI, A.M.; VAN DER HAMMEN, T. & BOTERO, P.J. (1988): Cambios ambientales y desarrollo cultural en el Bajo Río San Jorge.- Boletín Museo del Oro, Banco

- de la República, v. 20, p. 55-88. Bogotá.
- PLAZAS, C., FALCHETTI, A.M., SAENZ, J. & ARCHILA, S. (1993): La sociedad hidráulica Zenú. Estudio arqueológico de 2.000 años de historia en las llanuras del Caribe colombiano.- Banco de la República, Bogotá.
- ROBERTS, N. (1998): The Holocene. An environmental history.- Blackwell Publishers. 2^a edición. Massachusetts.
- RULL, V., VEGAS-VILARRUBIA, T. & DE PERNIA, N.E. (1999): Palynological record of an early-mid Holocene mangrove in eastern Venezuela. Implications for sea-level rise and disturbance history.- *Journal of Coastal Research*, v. 15, No. 2, p. 496-504, Florida.
- SCHUMM, S.M. (1985): Patterns of alluvial rivers.- *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 13 p. 5-27.
- SHORE, J.S., BARTLEY, D.D. & HARKNESS, D.D. (1995): Problems encountered with the ¹⁴C dating of peat.- *Quaternary Science Reviews*, v. 14, p. 373-383.
- SMITH, D.G. (1986): Anastomosing river deposits, sedimentation rates and basin subsidence, Magdalena River, north-western Colombia, South America.- *Sedimentary Geology*, v. 46, p. 177-196.
- SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO (ed.). (1991): Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego.- 323p., Editorial Montoya y Araujo, Bogotá.
- TABOADA, A., RIVERA, L.A., FUENZALIDA, A., CISTERNAS, A., PHILIP, H., BIJWAARD, H., OLAYA, J. & RIVERA, C. (2000): Geodynamics of Northern Andes: Subductions and intra-continental deformation (Colombia).- *Tectonics*, v. 19, No. 5, p. 787-813.
- THOREZ, J. (1986): The bases of clay geology (or argillogenesis).- Liege State University. Faculty of Science, Liege, Belgium.
- TREWARTHA, G.T. (1943): Introduction to weather and climate.- 545 p., Mc.Graw Hill, 2^a edición, New York.
- USDA (1998): Keys to soil taxonomy.- 8^a edición, Washington DC.
- VAN DER HAMMEN, T. (1966): The Pliocene and Quaternary of the Sabana de Bogotá (The Tilitá and Sabana Formation).- *Geologie en Mijnbouw*, v. 45, p. 102-109, Leiden.
- VAN DER HAMMEN, T.; 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 Palaeobotany and Palynology*, v. 16, p. 1-22.
- VAN DER HAMMEN, T. (1974): The Pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America.- *Journal of Biogeography*, v. 1, p. 3-26.
- VAN DER HAMMEN, T.; BARELDS, J.; DE JONG, H. & DE VEER, A.A. (1980-81): Glacial sequence and environmental history in the Sierra Nevada del Cocuy (Colombia).- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 32, p. 247-340.
- VAN DER HAMMEN, T. (1986): Fluctuaciones Holocénicas del nivel de inundaciones en la Cuenca del Bajo Magdalena-Cauca-San Jorge (Colombia).- *Geología Norandina*, v. 10, p. 11-18. Bogotá.
- VAN DER HAMMEN, T. & CLEEF, A. (1992): Holocene changes of rainfall and river discharge in northern South America and the El Niño phenomenon.- *Erdkunde*, v. 4, p. 252-256.
- VAN DER HAMMEN, T. & HOOGHIEMSTRA, H. (1995): The El Abra Stadial, a Younger Dryas equivalent in Colombia.- *Quaternary Science Reviews*, v. 14, p. 841-851.
- VILLOTA, H. (1994): Geomorfología aplicada a los levantamientos edafológicos y a la zonificación física de la tierra.- 211 p., IGAC, Bogotá.
- VILLOTA, H. (en prensa): Clasificación fisiográfica del terreno.- 2^a edición, IGAC, Bogotá.
- WALKER, M.J.C. & HARKNESS, D.D. (1990): Radiocarbon dating the Devensian Lateglacial in Britain: new evidence from Llanilid, South Wales.- *Journal of Quaternary Science*, v. 5, p. 135-144.
- WEBB III, T.; RUDDIMAN, W. F.; STREET-PERROTT, F. A.; MARKGRAF, V.; KUTZBACH, J.E.; BARTLEIN, P.J.; WRIGHT, H.E. & PRELL, W.L. (1993): Climatic changes during the past 18,000 years: regional syntheses, mechanisms, and causes.- Wright, H. E., Kutzbach, J.E., Webb III, T., Ruddiman, W.F., Street-Perrrott F.A. & Bartlein P.J., eds., *Global Climates since the Last Glacial Maximum*, p. 514-535, University of Minnesota Press, Minneapolis.
- WHITIG, L.D. & ALLARDICE, W.R. (1986): X-ray diffraction techniques in methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods.- *Agriculture Monograph*. American. Society of Agriculture v. 9, p. 331-362, 2^a edición. Madison.
- WRIGHT, H. E.; KUTZBACH, J.E.; WEBB III, T.; RUDDIMAN, W.F.; STREET-PERROTT F.A. & BARTLEIN P.J. (1993): *Global Climates since the Last Glacial Maximum*.- 569 p. University of Minnesota Press, Minneapolis.
- ZINCK, A. (1987): Aplicación de la geomorfología al levantamiento de suelos en zonas aluviales y definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos.- 178 p., IGAC, Bogotá.

Manuscrito recibido, Febrero de 2001

Manuscrito aprobado para publicación, Agosto de 2001