

AMBIENTE DE SEDIMENTACIÓN FLUVIAL EN ÁREAS CRATÓNICAS.

JAVIER HERNANDO SERRANO QUINTERO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2.010

AMBIENTE DE SEDIMENTACIÓN FLUVIAL EN ÁREAS CRATÓNICAS.

JAVIER HERNANDO SERRANO QUINTERO

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de
Geólogo**

Director del proyecto:

Geólogo Msc. ALBERTO ORTIZ FERNANDEZ

ECOPETROL, ICP

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS

ESCUELA DE GEOLOGÍA

BUCARAMANGA

2.010

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Señor, Creador de todas las cosas y dueño de los misterios de la ciencia, que como prueba de su generosidad nos revela esos detalles que nos permite alcanzar un mayor bienestar.

Agradezco especialmente a mi director de proyecto, el Msc Alberto Ortiz Fernandez, no solamente por dirigirme en el desarrollo del trabajo sino por darme la oportunidad de llevarlo a cabo al ofrecerme el tema y apoyarlo en su desarrollo.

Igualmente agradezco al profesor Juan Diego Colegial, quien con su experiencia me sirvió de guía y atendió las dudas producidas durante el desarrollo del trabajo.

También agradezco a mis padres, profesores y demás personas que han estado cerca, formándome y que han puesto su confianza en mí.

CONTENIDO

	Pág.
OBJETIVO GENERAL	1
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1
JUSTIFICACIÓN	2
INTRODUCCIÓN	3
1. METODOLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN	4
2. CONCEPTOS IMPORTANTES DEL AMBIENTE FLUVIAL	6
2.1 DESCARGA	6
2.2 CORRIENTE	7
2.3 FLUJOS	7
2.4 VELOCIDAD DEL FLUJO	7
2.5 EL CORTE HIDRÁULICO	7
2.6 FLUJO LAMINAR O TURBULENTO	8
2.7 CARGA DISUELTA	9
2.8 CARGA DE FLOTACIÓN	9
2.9 CARGA SUSPENDIDA	9
2.10 CARGA DEL LECHO: SALTACIÓN Y TRACCIÓN	10
2.11 CORRIENTES MEÁNDRICAS	10
2.12 LONGITUD DE ONDA DEL MEANDRO Y RADIO	11
2.13 SISTEMAS TRENZADOS	11
2.14 CANALES ANASTOMOSADOS	11
2.15 SISTEMA GRADADO	11
2.16 EL PERFIL GRADADO	12

3. UNIDADES CRONO Y LITOESTRATIGRÁFICAS DE LA ORINOQUÍA ORIENTAL DE COLOMBIA	13
3.1 COMPLEJO MITÚ (PP-Cmi)	13
3.2 GRUPO TUNUÍ (MP-Gt)	14
3.3 SUITE INTRUSIVA PARGUAZA (MP-Pfl)	15
3.4 SEDIMENTITAS PALEÓGENO-NEÓGENO NO DIFERENCIADAS DE LA ORINOQUÍA Y AMAZONÍA COLOMBIANAS (EN-Sc)	15
3.5 CORAZAS FERRUGINOSAS	16
3.6 DEPÓSITOS EÓLICOS (Qe)	17
3.7 DEPÓSITOS DE TERRAZAS (Qt)	17
3.8 DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS DE ORIGEN FLUVIAL (Qal)	17
4. GEOGRAFÍA DE LA ORINOQUÍA COLOMBIANA	18
5. GEOLOGÍA DE LA ORINOQUÍA COLOMBIANA	22
6. GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO BITA EN EL DEPARTAMENTO DEL VICHADA	26
6.1 AMBIENTE DE LA LLANURA EXTERNA	26
6.2 AMBIENTE DEL VALLE DEL RÍO	27
6.3 EL CANAL DEL RÍO BITA	29
6.4 ELEMENTOS FLUVIALES EN LA CUENCA DEL RÍO BITA	32
6.5 LAGUNAS DEL CANAL ESTACIONALMENTE ABANDONADO	32
6.6 LAGUNAS EN PROCESO DE DESCONEXIÓN DEL CANAL PRINCIPAL DEL RÍO	33
6.7 BARRAS DE ARENA DE CURVATURA CERRADA	33
6.8 BARRAS DE ARENA ASOCIADAS A LA SOMERIZACIÓN DEL LECHO.	34
6.9 DEPÓSITOS DE POINT BAR	35
6.10 LA LLANURA DE DESBORDE CONTENEDORA DEL CANAL	35
7. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS Y DINÁMICA DEL RÍO BITA	36

7.1 LAS MEGADUNAS Y LA CORRIENTE DEL RÍO	36
7.2 ESTRUCTURAS DE REFLUJO DE CORRIENTE	48
7.3 ESTRUCTURAS TIPO FLASER	49
7.4 ESTRUCTURAS EÓLICAS	49
7.5 ESTRUCTURAS DE HUELLAS POR ACTIVIDAD ANIMAL	51
8. SEDIMENTOLOGÍA Y FORMAS SUPERFICIALES DE LOS DEPÓSITOS FLUVIALES	53
8.1 ANÁLISIS DE LA GRANULOMETRÍA DE LOS DEPÓSITOS EN TRES BOCAS	53
8.2 ANÁLISIS DE LA GRANULOMETRÍA DE LOS DEPÓSITOS EN UN BAJO FONDO DE TRANSICIÓN A LA DESEMBOCADURA DEL RÍO	56
8.3 TEXTURA DE LAS PARTÍCULAS SEDIMENTARIAS	60
9. CONCLUSIONES	63
BIBLIOGRAFÍA	65

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Datos obtenidos de las megadunas del sector A en Tres Bocas, Río Bitá.	38
Tabla 2. Datos de las megadunas en el sector B en Tres Bocas, Río Bitá.	39
Tabla 3. Valores de la velocidad de la corriente del río en el perfil A-B relacionado con la posición.	41
Tabla 4. Datos de las dunas en el sector bajo del Río Bitá, en un bajo del lecho antes de la desembocadura.	42
Tablas 5 y 6. Relación entre distancia, profundidad y velocidad de la corriente para los perfiles transversales al canal A-A' y B-B', cerca a la desembocadura.	45
Tabla 7. Relación entre distancia, profundidad y velocidad de la corriente para el perfil transversal al canal C-C', cerca a la desembocadura.	46

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Flujograma de trabajo para el desarrollo del proyecto.	5
Figura 2. Elementos del canal involucrados en la descarga.	6
Figura 3. El corte hidráulico.	8
Figura 4. Principales rasgos fisiográficos de la Orinoquía Colombiana.	19
Figura 5. Orígenes de los frentes colonizadores en la Orinoquía Colombiana.	20
Figura 6. Sabana del Departamento del Vichada donde se observa la presencia residual de óxidos de hierro.	22
Figura 7. Relación cronológica de los principales eventos Precámbricos en el Escudo de Guayana, y mapa esquemático del Escudo	23
Figura 8. Afloramientos de las rocas presentes en la cuenca del Río Bitá, cerca a Puerto Carreño, Departamento del Vichada	24
Figura 9. Llanura del Vichada ribereña al Río Bitá en el sector de transición a la desembocadura en el Río Orinoco.	26
Figura 10. Mapa mostrando los elementos morfológicos de la llanura o sabana del Vichada.	27
Figura 11. Sectorización del valle del Río Bitá.	28
Figura 12. Llanura Neógena sedimentaria continental del Vichada, cortada por el cauce del Río Bitá.	28
Figura 13. Distribución del tipo sedimentológico del valle del Río Bitá, en base al estilo en que se acomoda el material y sus características.	30
Figura 14. Perfil longitudinal del río Bitá a través de un corte de la cuenca, y mostrando el gradiente del valle.	31

Figura 15. Antiguo canal del río. (a) Laguna producto del abandono y aislamiento de un antiguo canal, (b) canal o ruta de desborde del río que comunica a la laguna con el canal activo cuando el nivel del agua asciende.	32
Figura 16. Dunas sigmoidales emergentes del lecho en la temporada de verano.	33
Figura 17. Duna de arena en una curvatura cerrada.	34
Figura 18. Dos tipos de barras de arena.	34
Figura 19. Representación de las megadunas.	37
Figura 20. Representación de las megadunas en el sector B de Tres Bocas en el Río Bitá.	39
Figura 21. Relación entre la velocidad de la corriente en superficie y el perfil del canal A-B en la zona de Tres Bocas.	40
Figura 22. Laminación cruzada plano paralela en las dunas de Tres Bocas en zanja	41
Figura 23. Megadunas del lecho expuestas por somerización a causa del descenso del nivel del río.	42
Figura 24. Perfiles batimétricos en el sector del bajo del lecho, previo a la desembocadura del Río Bitá.	44
Figura 25. Corte de los sedimentos en el bajo de lecho del Río Bitá, antes de la desembocadura	47
Figura 26. Corte de los depósitos de la barra que separa al Río Bitá del Río Orinoco	47
Figura 27. Estructuras de óndulas simétricas causadas por el reflujo de la corriente del río.	48
Figura 28. Depósitos altos divisorios entre el canal principal y un canal conectado de aguas estancadas en el sector de Tres Bocas	49
Figura 29. Estructuras tipo Flaser. En superficie a la izquierda y en corte vertical en la imagen de la derecha.	50

Figura 30. Ondulitas eólicas.	50
Figura 31. Transporte eólico sobre material grueso.	50
Figura 32. Estructuras producto de la bioturbación o huellas de actividad animal registrada en los sedimentos.	51
Figura 33. Modelo aplicado a la relación velocidad de la corriente contra dominio granulométrico.	52
Figura 34. Distribución de las fracciones granulométricas en el sector de Tres Bocas en el Río Bitá, Vichada.	54
Figura 35. Modelo volumétrico de los depósitos sedimentarios fluviales del Río Bitá en el sector de Tres Bocas.	55
Figura 36. Distribución de las fracciones granulométricas en el sector del Bajo del lecho del Río Bitá, previo a la desembocadura.	57
Figura 37. Variación transversal de la granulometría del canal del río.	59
Figura 38. Modelo volumétrico de los depósitos fluviales en el sector de los bajos fondos, cerca a la desembocadura del Río Bitá.	60
Figura 39. Distribución de las formas de las partículas sedimentarias a lo largo de los depósitos del Río Bitá.	61
Figura 40. Distribución de la angulosidad en las partículas de los depósitos del Río Bitá.	61
Figura 41. Fotografía de las partículas de arena a través de lupa de luz reflejada.	62

RESUMEN

TÍTULO: AMBIENTE DE SEDIMENTACIÓN FLUVIAL EN ÁREAS CRATÓNICAS*.

AUTOR: JAVIER HERNANDO SERRANO QUINTERO**.

PALABRAS CLAVES: Río Bitá, llanura del Vichada, Puerto Carreño, perfil no gradado, barras de arena, análisis granulométrico, morfología fluvial, velocidad de la corriente.

DESCRIPCIÓN:

Las unidades de roca en el oriente de la Orinoquía colombiana (según Galvis et al., 1979, referenciado en Celada et al., 2006), comienzan con un basamento cristalino que es la unidad más antigua del país (El Complejo Mitú), y luego es intruida por plutones félsicos, que posteriormente es cubierta por una secuencia sedimentaria continental siguiente a un tiempo largo de no registro litológico que culmina en el Paleógeno. Estas son las rocas de la llanura del Vichada, que son cortadas por ríos en sentido suroeste-noreste, de la Cuenca del Orinoco. El Río Bitá es una de estas corrientes sobre una superficie casi plana, en una trayectoria sinuosa, donde las curvas de nivel en la cuenca, están entre 45 msnm y 65 msnm mientras el río alcanza una distancia de 40 km.

Aquí se determinan dos grandes dominios ambientales, el primero es la llanura externa que contiene al sistema fluvial y el segundo es el sistema fluvial con todos los elementos en el valle inundable del río. Los materiales sedimentarios provienen del temperismo, la disolución de las arcillas de la llanura, y la erosión del valle, depositandosen luego por los cambios energéticos, donde el agente principal creador de estructuras sedimentarias es la corriente del río, con una importante participación eólica.

El análisis granulométrico señala que los depósitos con la mayoría de las estructuras sedimentarias del valle son las arenas media y gruesa, principalmente asociadas con formas de megadunas del lecho, donde se tomaron datos de la dirección, longitud, y ángulos de inclinación de cada eje. La comparación del ancho del canal y las barras de arena, así como las dimensiones verticales, y las formas del lecho son medibles, aunque cada elemento fluvial tiene límites sedimentológicos graduales que deben ser establecidos con mucho cuidado.

* Trabajo de Grado Modalidad Investigación: Convenio de Cooperación Tecnológica UIS-ICP 005 de 2007.

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología. Director: Geólogo Msc. Alberto Ortiz Fernández (ECOPETROL-ICP).

SUMARY

TITLE: ENVIRONMENT OF FLUVIAL SEDIMENTATION IN CRATONIC AREAS*.

AUTHOR: JAVIER HERNANDO SERRANO QUINTERO**.

KEY WORDS: Rio Bitá, plain of the Vichada, Port Carreño, not graded profile, bars of sand, analysis granulometric, fluvial morphology, speed of the stream.

DESCRIPTION:

Units or rock in the east of the Colombian Orinoquía (according to Galvis et al., 1979 indexed in Celada et al., 2006), they begin with a crystalline basement that is the most ancient unit of the country (The Complex Mitú), and then it is intruded for felsic igneous rocks, that later is covered by a sedimentary continental sequence following a long time of not lithologic recorded that culminates in the Paleogene. These are the rocks of the Vichada's plain, which were cut by rivers in the sense of southwest - northeast, of the Orinoco's Basin. The Bitá River is one of these currents on this flat surface, in a sinuous path, where the level curves in the basin, are between 45 msnm and 65 msnm while the river reaches a distance of 40 km.

Two environmental domains big, the first it is the external plain that contains to the fluvial system and the second one is the fluvial system with all the elements in the river's valley. The sedimentary materials come of the weathering, dissolution of the clays of the plain, and erosion of the valley, settling them by the energetic changes, where the principal creative agent of sedimentary structures is the current of the river, with important wind participation.

The analysis granulometric indicates that the deposits with the majority of sedimentary structures of the valley are the medium and thick sand, principally associated with form of megadunes of bed, where there took information of the direction, length, and angles of inclination of axis. The comparison of the width of the channel and bars of sand, as well as the vertical dimensions, and the forms of the bed are measurable, though every fluvial element has gradual limits sedimentologic that they must be established with a lot of care.

* Work of Degree Modality Investigation: Agreement of Technological Cooperation UIS-ICP 005 of 2007.

** FACULTY OF PHYSICIST – CHEMISTRY ENGINEERINGS, SCHOOL OF GEOLOGY.
Director: Geology Msc. ALBERTO ORTIZ FERNANDEZ (ECOPETROL-ICP).

OBJETIVO GENERAL.

Realizar un análisis sedimentológico de los depósitos en el ambiente fluvial actual del Río Bitá en el Departamento del Vichada, con el fin de conocer este sistema y obtener un modelo integral de sus componentes.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Realizar un muestreo de los depósitos de point bar y del lecho del río en el ambiente fluvial de la zona de estudio, para llevar a cabo un análisis granulométrico de los sedimentos.
- Llevar a cabo una descripción textural de los granos a través de lupa de luz reflejada en las muestras de arena, que sea representativa de los depósitos de point bar y del lecho del río del ambiente fluvial del Río Bitá en Vichada.
- Elaborar un análisis del comportamiento de los depósitos fluviales del área de estudio, teniendo en cuenta la geología, la morfología y la dinámica fluvial en el proceso sedimentológico.

JUSTIFICACIÓN.

Como investigadores en el área de las ciencias de la tierra, sabemos bien que la clave del pasado geológico está en los escenarios geológicos actuales, y es esto lo que se reconoce cuando se dice que para tener un mayor conocimiento de las formaciones fluviales antiguas, es necesario observar y estudiar el proceso de depositación de sedimentos en dichos ambientes actuales.

Lo que se busca es estudiar la morfología, la sedimentología y las geometrías propias de un ambiente fluvial que se desarrolla sobre zonas cratónicas para conocer mejor las rocas reservorio originadas en este tipo de ambiente en Colombia, tópico importante para Ecopetrol S. A., dentro de su interés por profundizar su conocimiento sobre formaciones sedimentarias de roca reservorio en cuencas cratónicas como un análogo de reservorios existentes en la cuenca de Llanos (ej: Campo Rubiales).

INTRODUCCIÓN

La naturaleza de la carga del sedimento dentro de un sistema fluvial, es la que controla la morfología del canal del río, y así es como el volumen de sedimento y el calibrado, son muy importantes en el control de la forma de la sección transversal del mismo (Schumm, 1.960), y de sus dimensiones (Carson, 1.984; Schumm, 1.985; Ferguson, 1.987; Miall, 1.996; Tooth y Nanson, 2.004). Existe una relación entre la carga suspendida y la carga del lecho, relación que influencia a las fracciones de depositación resultantes, a las estructuras sedimentarias y a las sucesiones aluviales, por lo tanto, es la identificación geomorfológica la que establece inicialmente los parámetros que sirven para el estudio de depositación en el ambiente fluvial, y que en el dominio meándrico, son observadas concentradas en las características que se forman en los depósitos.

Generalmente en los ríos de baja energía, la depositación sobre una barra progradante ocurre por la acreción oblicua de cubiertas de arena fina y lodo en suspensión, que terminan como una estratificación cruzada de sedimentos heterogéneos (Thomas et al., 1.987; Page et al., 2.003), y que además, están asociados con una lenta migración lateral y con una alta carga en suspensión con relación a la carga del lecho, lo que parece expresarse como un proceso general de construcción de una llanura de inundación (Nanson y Croke, 1.992; Gibling et al., 1.998; Page et al., 2.003; Brooks, 2.003).

Un perfil de río maduro normal muestra que los valles proximales a la cabecera están conformados por meandros arenosos, mientras los mas distales están caracterizados por meandros lodosos (Smith, 1.987), y así, los patrones normales son los que hay que tener en cuenta ya que sirven como comparación directa de las características de sistemas ya descritos bajo las mismas condiciones hidrológicas, y que puede ser una ayuda en el momento de iniciar la labor investigativa.

El Río Bitá en el Departamento del Vichada es un sistema fluvial que drena gran parte del departamento, con una alta producción de sedimento obtenido del labrado de la llanura orinoquense colombiana, donde la producción de material está sujeta a las variables que controlan el drenaje de la cuenca, y que son, las morfométricas, las hidrológicas, y las climáticas. Así es como se puede llevar a cabo la observación de los procesos que involucran el ciclo sedimentario y el análisis sedimentológico de un río, a través de las observaciones realizadas directas e indirectas.

1. METODOLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN.

Las etapas desarrolladas durante la ejecución del proyecto de investigación, se enuncian a continuación, y de una forma resumida se muestra a través de la figura 1.

- Revisión de la topografía y del gradiente superficial para el área de estudio a través de imágenes de satélite (Google Earth) a una escala de detalle (1:50.000).

- Identificación de rasgos geomorfológicos en campo en el área de estudio y a través de imágenes de satélite (Google Earth).

- Utilización del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para el establecimiento de coordenadas de los elementos de estudio. Esta labor se lleva a cabo donde el valle y la llanura de inundación es accesible.

- Ubicación de los puntos de datos en un mapa de rasgos topográficos sobre el valle y la llanura de inundación. El número de puntos se determina dependiendo de los cambios representativos observados de los sedimentos, y de la morfología de los depósitos.

- Extracción de columnas de sedimentos (≤ 50 cm de profundidad) con muestreador, en varios puntos del valle inundable, en el interior de las curvas de los meandros y en el lecho del río. El número de columnas de sedimento es establecido en base a la variación de la sedimentología de los depósitos.

- Construcción de trincheras (una por estación) para las locaciones seleccionadas a lo largo de la ribera, en el interior de los bancos de meandros para examinar estructuras sedimentarias. Las trincheras son excavadas perpendiculares al canal en la parte de máxima curvatura de los meandros.

- Medición de perfiles de playa y de perfiles batimétricos del canal en cada estación.

- Secado, tamizado y separación en subclases de tamaño de grano de las muestras en el laboratorio. El número de muestras totales es de 37, y se obtuvieron dependiendo de las variaciones representativas observadas en las columnas de sedimento de los depósitos.

- Establecimiento del porcentaje másico de las poblaciones de tamaño de grano de los sedimentos tamizados en cada muestra.

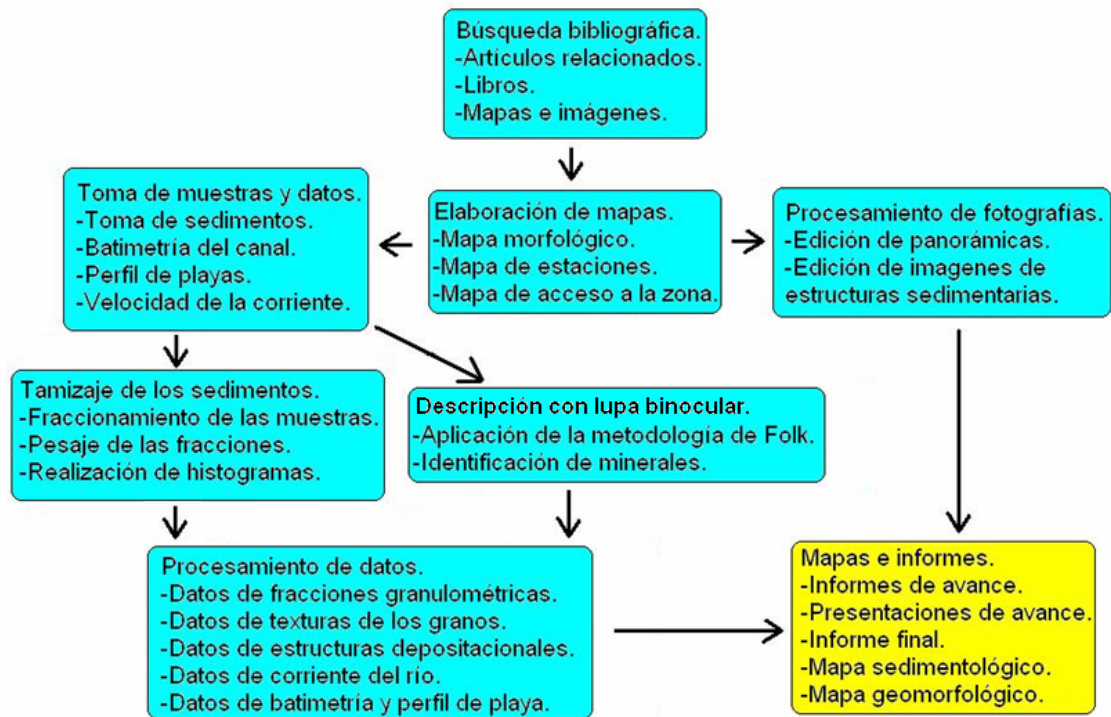
- De estas fracciones resultantes, 8 de las más gruesas fueron seleccionadas para la descripción textural a través de lupa petrográfica de luz reflejada, por

medio de un conteo de granos y establecimiento del porcentaje de cada rasgo textural.

-Análisis y determinación del grado de sinuosidad y otros parámetros morfológicos generales del Río, y en relación con su gradiente superficial.
-Identificación de factores geológicos diferentes al gradiente del valle que controlan la forma de la trayectoria del canal del río.

-Integración de la información de campo y de laboratorio en un informe, y construcción de mapas de distribución de sedimentos y otras características sedimentarias utilizando Corel Draw.

Figura 1. Flujograma de trabajo para el desarrollo del proyecto.



2. CONCEPTOS IMPORTANTES DEL AMBIENTE FLUVIAL.

Para tomar el tema de un ambiente fluvial, hay algunos términos que es bueno tener claro y en caso de requerírseles consultar nuevamente, así las ideas serán entendibles para el lector de este trabajo.

Estos son los términos más aplicados en el tema fluvial, y que se extrajeron del libro "Surface Processes and Landforms" de Don J. Easterbrook (1.999), así mismo las gráficas proceden del mismo autor y de la mencionada obra.

2.1 DESCARGA

La descarga de la mayoría de las corrientes es derivada principalmente de la precipitación, así como provocada por las contribuciones del agua subterránea y el derretimiento de la nieve. Del total de precipitación que cae sobre la tierra, solamente alrededor del 25 al 40 por ciento corre por fuera de la superficie como descarga de corriente.

La velocidad y turbulencia son reguladas por el límite del flujo y por la descarga. La descarga, es el volumen de flujo por unidad de tiempo a través de una sección transversal dada, es el producto de la velocidad promedio y el área de la sección transversal.

$$Q = VA$$

$$Q = wdv$$

donde

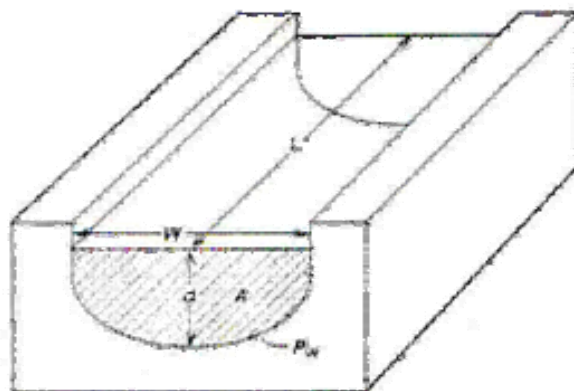
Q = descarga

w = ancho

d = profundidad

v = velocidad

Figura 2. Elementos del canal involucrados en la descarga.



Tomado de Don J. Easterbrook (1.999).

2.2 CORRIENTE

Se inicia sobre los piedemontes, el agua laminar empieza a concentrarse dentro de grietas, las cuales se encuentran en función de alimentar grandes barrancos, los cuales eventualmente corren dentro de otros más grandes y con corrientes más grandes.

2.3 FLUJOS

Los canales de la corriente se ajustan para cargar la descarga normal de agua desde corriente arriba y desde los tributarios. La descarga (Q) de una corriente, el volumen de flujo por unidad de tiempo a través de una sección transversal de un canal, es el producto de la velocidad promedio (v) en el tiempo del ancho (w) y la profundidad (d) de la corriente.

Descarga = ancho $\times$ profundidad $\times$ velocidad

2.4 VELOCIDAD DEL FLUJO

La energía potencial inherente a la masa de agua equilibrada por encima de un nivel base llega a convertirse en energía cinética, al igual que los flujos de agua cuesta abajo. La velocidad del agua fluyendo en un canal es una función de la conversión de energía potencial a energía cinética del agua por declives, bajo de la influencia de la gravedad.

$$F_p = F_g \sin\theta$$

donde

F_p = componente de la gravedad paralelo a la inclinación

F_g = fuerza de la gravedad

θ = ángulo de inclinación

El agua como un fluido viscoso Newtoniano, tiene cero resistencia al corte y sufre continuas deformaciones bajo cualquier esfuerzo. Así, la energía potencial PE del agua dentro de una inclinación es fácilmente transformada en energía cinética KE .

$$PE = KE$$

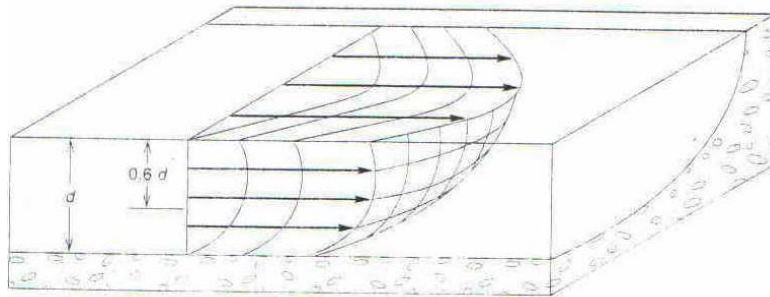
KE = fricción interna + fricción externa + transporte

2.5 EL CORTE HIDRÁULICO

A causa de que la velocidad del agua fluyendo por un canal incrementa al alejarse del lecho, se desarrolla un corte hidráulico. El movimiento del agua

puede ser considerado como una serie de delgadas, capas paralelas que se mueven con diferentes velocidades las cuales cada una de ellas se desplaza una sobre la otra, causando esfuerzos de seccionamiento hidráulico entre ellas (figura 3).

Figura 3. El corte hidráulico.



Tomado de Don J. Esasterbrook (1.999).

El esfuerzo del seccionamiento hidráulico es generado por la resistencia con la cual cada capa paralela de agua se mueve sobre la otra de abajo. Es proporcional a la diferencia en la velocidad de una capa a la siguiente. Así, para el flujo laminar, el esfuerzo del corte hidráulico μ en un punto y por encima del suelo del canal es

$$\tau = \mu(dv/dy)$$

donde

μ = viscosidad

dv = relación de cambio de la velocidad

dy = relación de cambio de la distancia

dv/dy = diferencia en la velocidad entre capas (gradiente de velocidad).

2.6 FLUJO LAMINAR O TURBULENTO.

La emisión del agua puede ser laminar o turbulenta. Un flujo laminar es un flujo aerodinámico de partículas de agua a lo largo de trayectorias paralelas. En el flujo laminar, las líneas de corriente permanecen diferentes, y la dirección del movimiento en cada punto permanece invariable con el tiempo. El flujo laminar raramente existe para una distancia en corrientes naturales excepto para una capa delgada en el lecho del canal.

La observación del flujo natural en canales abiertos revela perturbaciones de flujo relacionado con la fricción de alguna parte de la corriente frente a los contactos. Esta turbulencia involucra complejas mezclas del flujo en las cuales una forma que aparece son los remolinos en la superficie, y las partículas

suspendidas dando vueltas a lo largo de patrones erráticos con velocidades variables.

2.7 CARGA DISUELTA

El mayor porcentaje de carga disuelta es contribuida por el temperismo químico de las laderas, por capturas de tributarios, y por agua subterránea efluente. La carga disuelta refleja el régimen de temperismo y solubilidades de la cuenca de drenaje, tanto de la superficie y del subsuelo. El muestreo de las cargas disueltas de los ríos más grandes del mundo sugiere que cerca de la mitad del material transportado está en solución. Las fluctuaciones en la cantidad diaria de la carga disuelta de un orden de magnitud refleja las actividades disolventes de las corrientes durante los flujos y no están relacionados con la habilidad de transporte de la corriente, como es el caso para la carga clástica.

2.8 CARGA DE FLOTACIÓN

La carga de flotación depende esencialmente del fenómeno de sostenimiento, el cual, aunque menor y poco consecuente para muchos ríos, puede localmente ser importante. Los fragmentos de roca y granos de mineral de tamaños apropiados pueden ser sostenidos por la tensión superficial, burbujas, hielo, y vegetación. Parches de arena, son detenidos arriba por la tensión superficial, pudiendo viajar indefinidamente tanto como ellos permanezcan parcialmente secos. El proceso requiere de una corriente superficial relativamente quieta porque una fuerte turbulencia superficial moja los granos y ellos se pueden hundir.

2.9 CARGA SUSPENDIDA

El grano fino, de las partículas clásticas puede ser transportado mecánicamente en suspensión por las corrientes, porque el flujo turbulento es básico para el transporte de carga suspendida ya que la turbulencia genera movimientos aleatorios con componentes ascendentes. La velocidad con la cual el lodo y la arcilla se depositan en el fondo de la corriente depende principalmente de la fuerza de levantamiento de turbulencia. Para que un grano sea mantenido en suspensión, la velocidad de asentamiento V_s , puede ser igual o menor que la velocidad de turbulencia V_t .

$$V_s \leq V_t$$

La velocidad de asentamiento V_s , está gobernada por la ley de Stockes.

$$V_s = \frac{2}{9} \frac{(d_p - d_f)gr^2}{\mu}$$

donde

d_p = Densidad de la partícula.

d_f = Densidad del fluido.

g = Gravedad.

r = radio de la partícula.

μ = viscosidad.

2.10 CARGA DEL LECHO: SALTACIÓN Y TRACCIÓN.

Con un incremento en la energía, las partes de la carga del lecho son lanzadas en suspensión, y mucha de la carga suspendida y la carga del lecho son conducidas.

La parte de la gradación en la carga del lecho dentro de la carga suspendida es debido al transporte por saltación, un proceso de salto o rebote a lo largo del lecho del canal (Gilbert, 1.914). Los granos de arena momentáneamente se elevan saliendo del lecho del canal, moviéndose corriente abajo hacia delante y sumergiéndose en el fondo, solamente cuando sea levantada de nuevo se repetirá el proceso.

Las partículas involucradas en la saltación ruedan sobre los traseros de sus vecinos corriente abajo y son tumbados hacia delante por la corriente.

2.11 CORRIENTES MEÁNDRICAS.

El estilo de los meandros de una corriente puede ser medido cuantitativamente por el índice de sinuosidad S , a través de una de las imágenes de la forma geométrica:

$$S' = \frac{\text{longitud de la corriente}}{\text{longitud del valle}}$$

$$S' = \frac{\text{longitud del thalweg}}{\text{longitud del valle}}$$

$$S' = \frac{\text{longitud del canal}}{\text{longitud del eje del cinturón del meandro}}$$

$$S' = \frac{\text{longitud del canal}}{\text{longitud de onda del meandro}}$$

2.12 LONGITUD DE ONDA DEL MEANDRO Y RADIO.

La longitud de onda de los meandros varía con la descarga de la corriente; eso es, corrientes grandes tienen meandros grandes y corrientes pequeñas tienen meandros pequeño. La relación empírica entre la longitud de onda del meandro y la descarga puede ser cuantificada como:

$$\text{Longitud de onda} = kQ^x$$

donde

Q = descarga

k y x = constantes

Friedkin (1.945) demostró experimentalmente que el tamaño de los meandros se incrementaba con el incremento de la descarga, y un incremento en la descarga resulta en un incremento en el radio de las curvas.

2.13 SISTEMAS TRENZADOS.

Los sistemas trenzados son caracterizados por canales múltiples que se bifurcan una y otra vez, con anastomosamiento, dividiendo y unificando, de canales amplios, poco profundos y llenos con numerosas islas. El factor crítico en el trenzamiento es el control de la erodabilidad del banco sobre la relación de ancho/profundidad del canal.

2.14 CANALES ANASTOMOSADOS

Otro tipo de patrón de corriente con múltiples canales es conocido como anastomosado. Esos tipos de canales no son los mismos que los canales trenzados porque ellos típicamente consisten de una red de canales de gradiente bajo, estrechos, profundos y con bancos estables (Schumm, 1.989).

2.15 SISTEMA GRADADO

Dutton (1.882), y Davis (1.909) reconocieron que las corrientes se comportan en una manera ordenada, y el termino gradado fue acuñado para describir corrientes que paren haber alcanzado un equilibrio entre la descarga que controlan, la carga, y las condiciones de inclinación del terreno. Un sistema gradado es uno en el cual, sobre un periodo de años, la inclinación es delicadamente ajustada a la descarga disponible y con características del canal prevalecientes, solo la velocidad requerida para el transporte de la carga suplida por la cuenca de drenaje (Mackin, 1.948).

2.16 EL PERFIL GRADADO.

La inclinación de una corriente gradada es una curva cóncava hacia arriba, donde las condiciones cambiantes de carga y descarga causan la forma de la curva cambie de una corriente a otra.

Una corriente opera dentro de los controles de la distancia y el relieve entre la cabecera y la desembocadura, con los materiales de las capas de terreno fluyendo hacia abajo en un perfil inclinado, el cual es más empinado cerca a la cabecera y progresivamente más suave hacia la desembocadura, produciendo una curva que conecta la cabecera y la desembocadura de la corriente lo más eficientemente. Las irregularidades a lo largo de un perfil, entonces, podrían ser indicios para los controles adicionales de estructura, litología, o deformación reciente del perfil por la tectónica o movimientos en masa. Tanto los gradientes altos y bajos de corrientes son gradados, y sus diferencias en inclinación son un resultado de diferencias en la descarga y calibrado de la carga transportada. La inclinación de un sistema gradado provee la velocidad suficiente requerida para transportar toda la carga suministrada por el sistema de drenaje, donde la inclinación del perfil longitudinal de una corriente gradada es esencialmente un perfil de equilibrio.

3. UNIDADES CRONO Y LITOESTRATIGRÁFICAS DE LA ORINOQUÍA ORIENTAL DE COLOMBIA

Las unidades de roca que conforman el oriente de la Orinoquía colombiana comienzan con un basamento cristalino, este es la unidad más antigua del país, que luego es intruida por plutones de tipo félsico, para después ser cubiertos por una secuencia sedimentaria continental siguiente a un tiempo largo de no registro litológico que culmina en el Paleógeno. Estas unidades son descritas a continuación, basadas en las definiciones hechas por autores referenciados por Celada et al., (2.006), en su obra: “Potencial de recursos minerales en el oriente colombiano: Compilación y análisis de la información geológica disponible”.

3.1 COMPLEJO MITÚ (PP-Cmi)

El nombre “Complejo Migmatítico de Mitú” fue propuesto en PRORADAM (Galvis et al., 1979, referenciado en Celada et al., 2.006), pero su gran variedad en composición y el hecho de que no todas las rocas aflorantes en la región son migmatitas, el nombre “Complejo Mitú”, parece más apropiado ya que cumple con los lineamientos estratigráficos internacionales (Celada et al., 2.006).

El Complejo de Mitú está compuesto por diferentes tipos de rocas metamórficas de alto grado con protolitos ígneos y sedimentarios asociados en conjuntos, donde las rocas metamórficas son neises cuarzofeldespáticos, anfibolitas con estructuras migmatíticas, cuarcitas y neises cuarzosos, que se diferencian por la abundancia de sus minerales accesorios como los fosfatos (monazita, apatito, xenotimo), los metálicos (ilmenita, magnetita), los minerales uranotoríferos (uraninita, branerita) y los circones (Celada et al., 2.006).

Los ortoneises, desde alaskita hasta monzonita, constituyen la mayor parte del complejo, mientras que los metagranitoides son diferenciados en seis facies: Granito porfiroblástico tipo “El Remanso” o “San Felipe”; Granito de grano medio; Granito de grano fino; Granitos de textura microgranuda; Granito de Atabapo, y Monzodioritas cuarzosas (Bruneton et al., 1982, referenciado en Celada et al., 2.006).

El Complejo Mitú puede correlacionarse con el basamento Río Negro en Brasil (Santos et al. 2.000) y Santos et al. 2.006, referenciados en Celada et al., 2.006). Este último es descrito como rocas bandeadas o foliadas que hospedan granitoides más jóvenes de las Suites Intrusivas Içana y Uaupés (Celada et al., 2.006).

Geocronológicamente, del Complejo de Mitú indica tres edades, 1.780 M.a. que correspondería al enfriamiento del Complejo Mitú al final de la Orogenia Transamazónica; 1.575-1.450 M.a., edad relacionada con el emplazamiento de

granitos tipo Parguaza, y 1.200-1.100 M.a. que correspondería al evento tectono-metamórfico Nickeriense de Surinam (Priem 1.979) y Priem et al. 1.982, referenciados por Celada et al. 2.006). Por otra parte, se reportan edades para los neises del Complejo Mitú entre 1.557 y 1.758 M.a. por el método Rb-Sr y entre 1.480 ± 70 y 1.846 ± 45 M.a. por el método U-Pb (Bogotá 1.981, referenciado por Celada et al., 2.006), así como otros que han realizado otras dataciones en rocas equivalentes en Venezuela y Brasil, mostrando una variedad que es señal de los varios procesos magmáticos y tectónicos en este conjunto (Celada et al., 2.006).

3.2 GRUPO TUNUÍ (MP-Gt)

Una secuencia de rocas metasedimentarias deformadas es definida “como Roraima” (Santos et al. 2.003, referenciado en Celada et al., 2.006), descansando en discordancia sobre las rocas del Complejo Mitú, y descritas en las Serranías de Naquén y Caranacoa (Por ECOPETROL – INGEOMINAS, referenciado en Celada et al., 2.006). Estas rocas son la mayor expresión topográfica del Guainía, serranías elongadas con 90 a 100 Km de longitud en sentido norte-sur, que alcanzan 800 m.s.n.m. La secuencia alcanza 2.800 m de espesor, y se compone de 90% de areniscas y 10% de lodolitas, con cierto grado de metamorfismo facies Esquistos Verdes (Santos, 1984; ECOPETROL – INGEOMINAS, 1989; Renzoni, 1989, referenciados por Celada et al., 2.006).

La secuencia estratigráfica aflorante en la Serranía de Naquén, Formación Maimachi (Renzoni 1.989, referenciado en Celada et al., 2.006), es correlacionable con el Grupo Tunuí, en base a la continuidad entre sus capas y las de Serra Caparro (Brasil), las de Serra da Jacobina y, a 20 km más al sur, las de Serra Tunuí (Santos et al. 2.003, referenciado en Celada et al., 2.006) con todas las rocas superficiales de la frontera Brasil – Colombia (serranías de Traira-Caparro-Naquén y Onça-Caranacoa) con el Grupo Tunuí, que en Colombia está dividido de más antiguo a más joven, en el Miembro Shanon (metalodolitas, metarenitas y metaconglomerados), el Miembro Piedras (metalodolitas, metarenitas y metalimolitas), y el Miembro Ima (metaconglomerados, metarenitas y metalodolitas) (Renzoni 1.989, referenciado en Celada et al., 2.006).

Diques ácidos subvolcánicos intrusivos del Grupo Tunuí dan una edad Rb-Sr en roca total de 1.496 ± 30 M.a. y una edad K-Ar de esquistos moscovíticos de 1.045 ± 19 M.a. y 1.293 ± 18 M.a. (Pinheiro et al., 1976, referenciado en Celada et al., 2.006), con una edad máxima de 1.895 ± 15 M.a. en dataciones U-Pb SHRIMP (Santos et al., 2000, referenciado en Celada et al., 2.006).

Las rocas metamórficas plegadas del Grupo Tunuí son correlacionadas con las rocas no plegadas del Grupo Roraima, (Menezes y Melo 1.994, referenciado en Celada et al., 2.006), por una edad máxima similar de 1.916 M.a. (Santos et al. 2.000, referenciado por Celada et al., 2.006), lo que significa que el Grupo Tunuí es el equivalente más occidental, mas deformado y metamorfoseado del

Grupo Roraima, por el evento colisional Rio Negro (Santos et al., 2000, referenciado en Celada et al., 2.006), aunque el Grupo Tunuí no debe ser correlacionado con el Supergrupo Roraima, sino con la “unidad Roraima”, debido a diferencias en edades de depositación, donde el Grupo Tunuí sería 310 M.a. más joven que las rocas más recientes del Supergrupo Roraima (Santos et al. 2.003, referenciado en Celada et al., 2.006).

3.3 SUITE INTRUSIVA PARGUAZA (MP-PfI)

El Granito del Parguaza aflora al oriente de Colombia a lo largo de la ribera occidental del Río Orinoco como parte de las rocas del Escudo Guyanés, que en el Departamento del Vichada se observa en forma de domos aislados de pendientes abruptas, desprovistos de vegetación, de tamaño variado e irregularmente distribuidos. Los afloramientos más grandes se localizan en los cerros Santa Elena, Angela y Angelita (Cristancho, 1989; González y Pinto, 1989; González y Pinto, 1990, referenciado en Celada et al., 2.006).

Son cuerpos aislados sobre la planicie de los departamentos de Vichada y Guainía, donde el Granito de Parguaza presenta textura porfirítica con fenocristales de hasta 3 cm de diámetro de feldespato potásico, generalmente rodeados por una aureola de plagioclasa, dándole textura rapakivi (Celada et al., 2.006).

Un gran número de diques tabulares, lentes, y masas irregulares de microgranitos, pegmatitas de cuarzo y feldespato, cortan el Granito del Parguaza siguiendo las principales direcciones de diaclasas, indicando intrusiones tardías de la cristalización del granito, estos diques de pegmatita y los filones de cuarzo son la principal fuente de casiterita y columbita-tantalita acumulados en depósitos aluviales proximales (Celada et al., 2.006).

Actualmente no se conocen dataciones del Granito del Parguaza en Colombia, la edad de 1.531 ± 39 M.a. (Gaudette et al., 1978, referenciado en Celada et al., 2.006) proviene de muestras de Puerto Ayacucho en Venezuela, correspondiendo al evento Parguenze (1.400-1.600 M.a.), y correlacionándolo con los batolitos de las Suites Intrusivas Içana y Uaupés (Celada et al., 2.006).

3.4 SEDIMENTITAS PALEÓGENO-NEÓGENO NO DIFERENCIADAS DE LA ORINOQUÍA Y AMAZONÍA COLOMBIANAS (EN-Sc).

Es un conjunto extenso y heterogéneo de rocas sedimentarias de origen continental, formadas en el Paleógeno-Neógeno, poco expuestas y cubiertas por una capa de suelo, vegetación, y depósitos posiblemente Holocenos de areniscas y aluviones fluviales (Franco, 2002, referenciado en Celada et al., 2.006). Las Sedimentitas Paleógeno-Neógeno se observan en el norte del Departamento del Vichada, formando las praderas y sabanas definidas como Terciario Superior Orinoquense, que son areniscas de grano medio a grueso,

conglomerados, y conglomerados con lodo, interestratificados con arcillolitas ferruginosas que por lixiviación forman costras ferruginosas de forma arriñonada en la parte superior (Cristancho, 1989, referenciado en Celada et al., 2.006).

Por la escasa exposición en superficie, no está definida una sección estratigráfica y litológica detallada, ni un espesor y otras relaciones de la edad de la unidad, aunque en la cuenca media del Río Guaviare un estudio geoelectrico determinó que las Sedimentitas del Paleógeno-Neógeno descansan en discordancia sobre la Formación Mapiripaná, alcanzando espesores mayores a 20 m (Franco, 2002, referenciado en Celada et al., 2.006).

La sedimentación del noroccidente de la Amazonía fue dominada por sistemas fluviales de baja sinuosidad dirigidos hacia el noroeste, y con fuente de sedimentos en el Escudo de Guayana en el Mioceno Temprano y Medio, pero en el Mioceno Medio a Tardío hubo un cambio en la dirección de los sistemas fluviales, ahora oeste-este, y donde la fuente de sedimentos se localizaba al occidente y la sedimentación era fluvio-lacustre (Horn et al. 1.995, referenciado en Celada et al., 2.006). “Para la cuenca de los Llanos, la depositación del Mioceno Temprano al Medio estuvo dominada por ambientes costeros a lagunales, mientras que en el Mioceno Tardío los depósitos son mayormente de molasas por el levantamiento de la Cordillera Oriental” (Celada et al., 2.006).

Por la similitud entre los niveles de conglomerados con cemento ferruginoso y nódulos de hierro de esta unidad del Terciario Superior para la región norte del Departamento del Vichada, (Cristancho 1.989, y Galvis et al. 1.979, referenciados en Celada et al., 2.006), se sugiere una equivalencia entre las Sedimentitas Paleógeno-Neógeno no diferenciadas de la Orinoquía y la Amazonía Colombiana, donde estudios palinológicos, asignan una edad de Oligoceno Superior a Mioceno Inferior y lo correlacionan con el segmento inferior de la Formación Solimões en Brasil (Hoorn 1990; referenciado en Celada et al., 2.006).

3.5 CORAZAS FERRUGINOSAS.

Las corazas ferruginosas son comunes en las llanuras Orinoquense (Khobzi et al., 1980; Navas, 1991, referenciados en Celada et al., 2.006), su distribución es irregular y de espesor variable, pero pueden ser importantes como recurso mineral, ya que son masas de alta concentración de hierro, soldadas y muy duras, de textura porosa granular o compacta arriñonada de color ocre oscuro (Celada et al., 2.006).

Las corazas se forman por lixiviación de material con alto contenido de óxidos y pueden generarse a partir de los depósitos acumulados en las laderas de las rocas graníticas o a partir de los sedimentos de edad Neógeno (Cristancho 1.989, referenciado en Celada et al., 2.006). Los espesores de las corazas son

de hasta 1 m, y junto con los horizontes ferruginosos de la región Amazónica de Brasil, se asocian con la generación de suelos lateríticos, ubicados en la columna estratigráfica por encima del horizonte bauxítico (Costa 1.991, referenciado en Celada et al., 2.006).

3.6 DEPÓSITOS EÓLICOS (Qe).

Son acumulaciones arenosas cuarzosas con espesores hasta de 5 m, donde criterios como su gran extensión y las formas dunales observadas permiten asignarles un origen eólico (Galvis et al., 1979, referenciado en Celada et al., 2.006), identificadas en la parte norte de la Orinoquía Colombiana y en la sabana Venezolana (Khobzi, 1981, referenciado en Celada et al., 2.006). Sedimentológicamente se destaca la casi perfecta esfericidad de los granos y una granulometría muy homogénea, criterios que manifiestan el origen eólico de estas arenas (Galvis et al., 1979, referenciado en Celada et al., 2.006).

3.7 DEPÓSITOS DE TERRAZAS (Qt).

Estas terrazas se encuentran conformadas por rocas sedimentarias antiguas de las planicies aluviales y que con el paso del tiempo han sido disectadas durante periodos de estabilidad de las corrientes, y que litológicamente se constituyen de gravas finas, areniscas de grano grueso y arcillolitas. La edad de estos depósitos es probablemente Pleistoceno (IGAC, 1999, referenciado en Celada et al., 2.006).

3.8 DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS DE ORIGEN FLUVIAL (Qal).

“Corresponden a extensos depósitos generados por los ríos actuales en la llanura de inundación por procesos de divagación lateral, y que están constituidos principalmente por arenas y sedimentos arcillosos de desborde generados en épocas de inundación” (Galvis et al., 1979; IGAC-CIAF, 1979; Khobzi et al., 1980; Suares y Mojica, 1985; INGEOMINAS, 1988; IGAC, 1999; entre otros, referenciados en Celada et al., 2.006).

3.9 DEPÓSITOS DEL HOLOCENO.

“Se distribuyen a lo largo de los cauces de los ríos, en las zonas bajas o de inundación y ocupando grandes extensiones planas. Incluyen depósitos de desborde en épocas de inundación, terrazas de arenas y gravas finas, aluviones recientes y depósitos eólicos” (Suárez y Mojica, 1985; IGAC, 1999; y otros, referenciados en Celada et al., 2.006).

4. GEOGRAFÍA DE LA ORINOQUÍA COLOMBIANA.

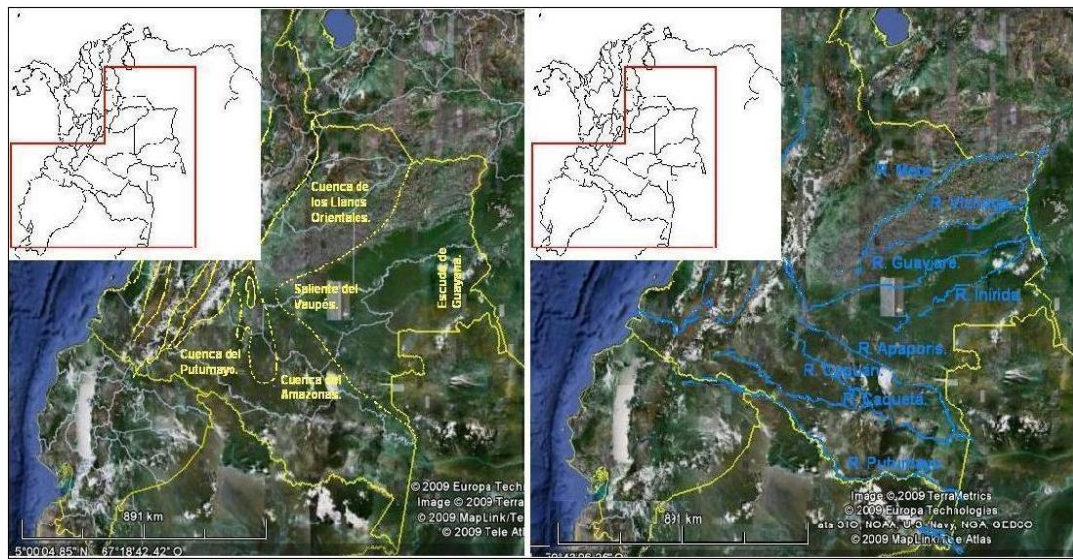
La Orinoquía Colombiana es una región grande de llanuras irrigadas por grandes ríos como los ríos Meta, Vichada e Inírida que son afluentes del río Orinoco y los ríos Vaupés, Caquetá, Putumayo y Apaporis cuyas aguas desembocan en el río Amazonas. Todas las corrientes están en sentido predominante del oeste al este, pero los tributarios del Orinoco tienen una tendencia hacia el norte, mientras los tributarios del Amazonas su tendencia es al sur (Toussaint 1.993), ver figura 4.

La Orinoquía es una región dividida en tres zonas. La parte septentrional que es la cuenca de los Llanos Orientales, esencialmente plana de tipo sabana. La región central tiene una topografía más ondulada, donde se forma el Alto o Saliente del Vaupés, de dirección WNW-ESE y que contiene en su extremo NW el bloque levantado de la Serranía de La Macarena. La parte meridional es plana, cubierta de una densa selva amazónica y comprende la cuenca del Putumayo y la del Amazonas (Toussaint 1.993).

“La Orinoquia colombiana presenta seis ecosistemas bien definidos, el Piedemonte, la Orinoquia inundable, la Orinoquia no inundable, el Andén Orinoqués, la Serranía de La Macarena y la Selva de Transición”. Delimitado por la Cordillera Oriental, el piedemonte es un cinturón pendiente de terreno con una altura que oscila entre 200 msnm a 1.000 msnm, que es producto de depósitos no muy antiguos, y posee los suelos menos propensos a las inundaciones, que por estar influenciado con los vientos de la cordillera, es el sector más habitado y explotado, donde Villavicencio, Yopal, Tame, Saravena, Villanueva, Aguazul y Granada, son los mejores ejemplos de urbanización acelerada de la zona, así como la ubicación de algunos de los más grandes depósitos petroleros. La Orinoquia inundable, al norte del río Meta, es una planicie en los departamentos de Arauca y Casanare, donde los ríos se desbordan en invierno y causan inundaciones periódicas que el llanero raizal maneja construyendo sus casas y las instalaciones en las partes altas. La Orinoquia no inundable comprende los departamentos del Meta y del Vichada, donde el agua de los ríos no se empoza pero sus avenidas son catastróficas por la deforestación de las cabeceras. Los suelos próximos a la cordillera y al lecho de los ríos son fértiles y aptos para la agricultura pero los de sabana solo admiten ganadería y cultivos nativos como el marañón. El Andén Orinoqués es la faja que bordea al Orinoco y la desembocadura de sus afluentes, son los afloramientos del macizo de Guayana llamados "*tepuyes*" que en lengua indígena significa montaña. Estos son los vestigios de antiguas altiplanicies afectadas por la erosión, y la presencia de estos en el lecho del Orinoco originaron los imponentes raudales de Atures y Maipures. Los suelos del andén son pobres en nutrientes por los altos contenidos de hierro que facilita la desertización. Irregularmente se presentan montes alternados, La Serranía de La Macarena, primeramente estudiada por Jules Crevaux, es una formación orográfica independiente del sistema andino y guayano-brasilero, desde la cual partieron especies para poblar el continente. Es más antigua que cualquier otra

cordillera (parece ser el último escombros del continente de Gondwana) la Serranía fue un paraíso tropical que albergó distintos especímenes de flora y fauna, que por la tectónica y la erosión, fue perdiendo altura hasta reducirse al presente al sur del departamento del Meta, entre los ríos Ariari y Guayabero. En el área de los departamentos de Guaviare, Vaupés y Guainía se encuentra la selva de transición que delimita a la Orinoquia con la Amazonía, y que presenta características de ambos ecosistemas, predominando la segunda. La inclusión de esta subregión a la Orinoquia obedece a razones económicas y políticas, por vínculos comerciales y culturales, ya que “los ríos, rutas aéreas y carretables conducen al área de influencia del Departamento del Meta, mientras sus vínculos económicos y culturales son débiles con la Amazonía”, (María E. Romero, 1.998).

Figura 4. Principales rasgos fisiográficos de la Orinoquía Colombiana.



Tomado de Google Earth (2.009).

Dentro del marco socioeconómico, la actividad principal en la Orinoquia colombiana ha sido la explotación de los recursos naturales y del medio, a través de la conquista de nuevos territorios, lo que ha resultado en una sociedad de colonizadores. Originalmente las misiones jesuitas fueron las desplazadas hacia los llanos orientales que son regiones poco codiciadas por los blancos, y que a partir del siglo XIX y hasta hoy, son los territorios de la Orinoquia los que reciben migraciones procedentes de los llanos de Venezuela del altiplano andino y del interior del país, como una población desplazada a causa de la violencia, las luchas por la tierra en el interior, la industrialización agrícola y ganadera que han contribuido al desplazamiento del campesinado hacia el oriente (Figura 5), (María E. Romero, 1.998).

Las características del suelo y pastos en la Orinoquia solamente permite la explotación ganadera mediante la destinación de grandes extensiones de tierra (siete hectáreas por cabeza). El sistema de tenencia de la tierra en la sabana requiere de miles de hectáreas para una familia, pareciéndose a las haciendas de los jesuitas que iban de rivera en rivera por los ríos. En la sociedad llanera también están los comerciantes y el Estado o instituciones que son intermediarios de bienes y servicios entre la sociedad del interior y la de la sabana. Estos colonizadores o migrantes del interior del país cumplen el papel de ampliar la frontera económica del piedemonte (Meta, Casanare, Arauca, Guaviare, y las sabanas del Vichada), mediante la apertura de terrenos para cultivos y pastoreo. (Romero, M.E., 1972).

La competencia por el territorio de sabana se ha presentado con los indígenas desde siempre, y el control de los recursos produce enfrentamientos ya que los indígenas explotan alternativamente la sabana y los bosques, mientras que la fauna de la sabana ha sido exterminada, y la ampliación de la frontera económica (hacia regiones de refugio indígena) empeora la situación (Romero, M.E., 1972).

Figura 5. Orígenes de los frentes colonizadores en la Orinoquia Colombiana.



Tomado de Romero, M.E., (1972).

Algunas comunidades de las sabanas del Vichada son la Guahibo, Puinave, Piaroa, Sáliva, y Curripao, en los ríos Muco, Guarrojo, Vichada, Bitá, Alto

Tomo, Cegua, Cadá y Uva y también en los núcleos urbanos de Puerto Carreño y Casuarito. El agravamiento de la situación económica y social en las sabanas del Vichada especialmente en la región de Planas llevó a que en 1970 muchos de los aborígenes de la región migraran hacia el sur, a asentarse en regiones ya no de sabana sino de selva (ríos Uva, Iteviare y Guaviare).

5. GEOLOGÍA DE LA ORINOQUÍA COLOMBIANA.

Como información base para relatar la geología de la Orinoquía de Colombia, Jean F. Toussaint entre los años de 1.993 a 1.999, realizó un trabajo de recopilación y construcción de la historia geológica del país, obra de alta calidad en la que se hace referencia en este capítulo, haciendo énfasis principalmente de la geología del oriente colombiano.

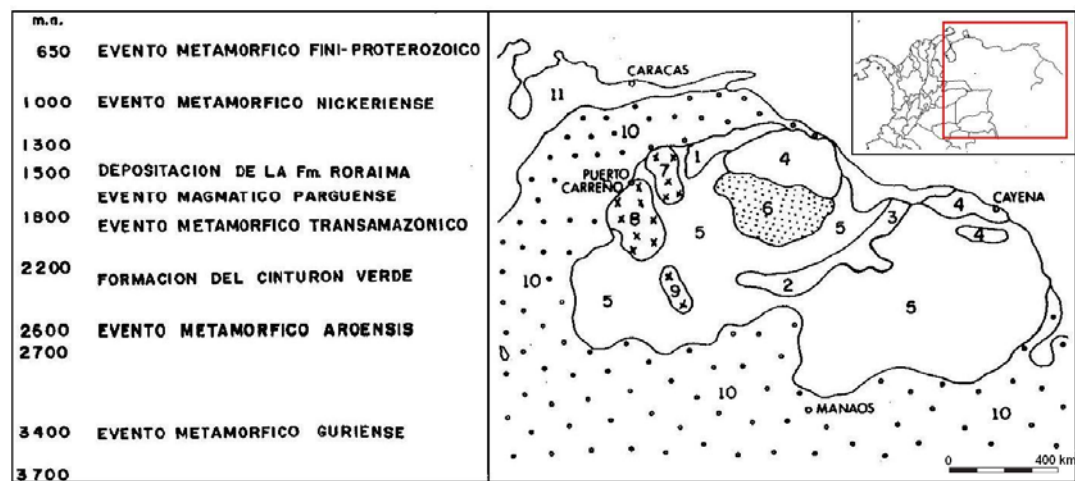
Las rocas más antiguas que se reconocen en Colombia se encuentran ubicadas en la parte más oriental del país, estas se generaron como producto del evento tectometamórfico transamazónico entre hace 2200 m.a. y 1800 m.a, mientras que posteriormente otros eventos proterozoicos se presentaron en Vichada, Guainía, Caquetá y Amazonas, Toussaint (1.993). Pero las rocas más antiguas del Escudo de Guayana están afuera, se encuentran en el Complejo de Imataca en Venezuela, los grupos Kanuku, Fallauratra y Bakhuyts de las Guayanas, de Surinam y de Brasil, los cuales son complejos granulíticos, principalmente piroxénicos asociados a cuarcitas con bandas de hematita y magnetita, sometidas a diferenciación magmática y precipitación química siliceo-ferruginosa, metamorfoseadas en ambientes de alta temperatura y baja presión del evento Guriense (entre hace 3.700 m.a. – 3.400 m.a.), y que se presume aportaron material de hematita en forma de depósitos lateríticos sobre sectores de la llanura orinoquense colombiana (Toussaint 1.993), donde pude observar durante el trabajo de campo, sectores de la llanura cubiertos con costras de hematita y una impregnación de óxido de hierro sobre las arenas cuarzosas de los depósitos fluviales del río Bitá, ver figura 6.

Figura 6. Sabana del Departamento del Vichada donde se observa la presencia residual de óxidos de hierro. Estos forman una capa en la superficie, donde en muestras de mano obtenidas de la ladera del Río Bitá, se observa óxido de hierro en forma de goetita (derecha arriba), y oolitos de hierro litificados en un estrato (derecha abajo).



Para el basamento proterozoico de la Orinoquía, también se tiene que su extensión e historia geológica van más allá de las fronteras colombianas, donde desde el Arcaico tardío, importantes eventos acrecionarios de pequeñas placas preexistentes en el evento Aroensis (entre hace 2.750 m. a. y 2.600 m. a.), y reactivaciones en el Proterozoico (entre hace 2.500 m. a. y 2.350 m. a. han ido conformando grandes masas continentales, Toussaint (1.993)), ver figura 7.

Figura 7. Relación cronológica de los principales eventos Precámbricos en el Escudo de Guayana, y mapa esquemático del Escudo. 1. Complejo de Imataca, 2. Gp. Kanaku, 3. Gp. Bakhuys, 4. Cinturón verde, 5. Unidades transamazónicas, 6. Fm. Roraima, 7. Batolito de Santa Rosalía, 8. Batolito de Parguaza, 9. Batolito de Surucucó, 10. Cobertura mesocenoica, 11. Cadena Andina y Cadena Caribe.



Modificado de Evolución geológica de Colombia, Jean F. Toussaint, (1.993).

Posteriormente, al norte del Cratón Amazónico, lo que también corresponde al Escudo de Guayana, se forma el Cinturón Verde (Martín, 1972, referenciado en Toussaint, 1.993) constituido de material volcano-sedimentario (basaltos toleíticos, turbiditas y sedimentitas de origen químico) que están tectonizados y metamorfoseados en la facies esquistos verdes por la orogenia transamazónica (2200 m.a. - 1800 m.a.), la cual tiene importantes removilizaciones del material de la corteza, y posteriores emplazamientos de grandes batolitos, donde el de Parguaza, corresponde al Departamento del Vichada en los alrededores de Puerto Carreño y que en conjunto suman un área de 80.000 km². Estos fueron datados en el rango de entre hace 1.800 m. a. y 1.500 m. a. (Evento Magmático Parguense), y tienen entre 30 km y 50 km de profundidad, además son ricos en feldespatos alcalinos, y contienen grandes concentraciones de tierras raras y elementos radioactivos formados posiblemente por anatexia, en la base de la corteza de naturaleza sílica y que están relacionados con las estructuras regionales en forma de domos o de grabenes (Martín, 1972, referenciado en Toussaint, 1.993).

Posterior al evento Parguense, el Escudo de la Guayana ascendió, quedando expuesto a la erosión y produciéndose una acumulación de material que sería la Formación Roraima, de sedimentos costeros, litorales y fluvio-deltaicos, de conglomerados y areniscas de estratificación cruzada e intercaladas con lutitas. La edad de la Formación Roraima se ubica entre los 1.850 m. a. y 1.500 m. a. (Keats, 1976, referenciado en Toussaint, 1.993), y donde entre hace 1.300 m. a. y 1.000 m. a., durante la orogenia Nickeriense, la Formación Roraima es afectada por plegamientos, así como por una reactivación de las fallas antiguas, y la formación en todo el Cratón Amazónico de valles de tipo rift curvados, con entre 500 km a 1.000 km de longitud, y con grabenes de entre 30 km a 50 km de ancho, relacionados también con un esfuerzo de cizallamiento de los eventos orogénicos, Martín (1972, referenciado en Toussaint, 1.993).

En la Orinoquía de Colombia, el zócalo está conformado mayormente por el Complejo de Mitú, el cual fué formado durante la orogenia transamazónica (desde hace 2200 m.a. - 1800 m.a.) constituido por neises migmatíticos, neises graníticos y granitoides asociados localmente con esquistos micáceos, cuarcitas y anfibolitas. Este está intruido en la parte más occidental por el Batolito de Parguaza, mientras que una cubierta sedimentaria, con abundante material detrítico y que es correlacionable con la Formación Roraima de Venezuela, lo recubre (Toussaint, 1.993), ver figura 8.

Figura 8. Afloramientos de las rocas presentes en la cuenca del Río Bitá, cerca a Puerto Carreño, Departamento del Vichada. A la izquierda se observa las areniscas lodosas Neógenas no diferenciadas de origen fluvial, a la derecha se puede ver el intrusivo plutónico de Parguaza, de naturaleza félsica.



El granito de Parguaza cuyo borde occidental aflora en Colombia entre Puerto Carreño y Puerto Inírida, y que se extiende unos 30.000 km² en Venezuela, es predominantemente un monzogranito con cuarzo, oligoclasa y microclina que presentan una textura orbicular de tipo Rapakiwi, biotita y hornblenda. Además, son frecuentes los granitos potásicos y ferríferos (Bruneton et al., 1982, referenciado en Toussaint, 1.993). El granito de Parguaza se ha interpretado como la fusión parcial de la corteza continental debido a un pronunciado alto flujo de calor regional, con raíces y asociados a rocas ultrabásicas, carbonatitas

y sienitas nefelínicas lo cual indicaría una cierta contaminación del manto, Jean F. Toussaint (1.993).

El Complejo de Mitú está cubierto formando una discordancia con un conjunto detrítico de areniscas blancas a grises, de grano entre fino y medio, intercaladas con arcillolitas grises, verdes y rojas, que en el Vichada, logra más de 1000 m. de espesor (Bruneton et al., 1.982, referenciado en Toussaint, 1.993), aunque no es clara la edad de esta cobertura para el territorio colombiano ya que los sedimentos parecen a veces anteriores y otras veces posteriores al evento magmático parguense, Jean F. Toussaint (1.993).

6. GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO BITA EN EL DEPARTAMENTO DEL VICHADA.

El Río Bitá es una corriente de agua que va del oeste al este cortando la superficie casi plana de la sabana llanera, y atravesando al Departamento del Vichada en una trayectoria sinuosa, que finalmente desemboca en el Río Orinoco, muy cerca al municipio de Puerto Carreño.

Las curvas de nivel de la superficie sobre la sabana del Vichada en la cuenca del Río Bitá, van desde 45 msnm hasta 65 msnm mientras el río recorre una distancia de 40 km en línea recta sin tener en cuenta la trayectoria sinuosa. Esto señala un gradiente general del terreno en la zona de estudio que resulta en promedio de 0,5 m de descenso por cada kilómetro recorrido en trayectoria recta.

En la zona que recorre el río, se pueden determinar dos grandes dominios ambientales, el primero es la llanura externa que contiene al sistema fluvial y el segundo es el sistema fluvial propio con todos los elementos fluviales contenidos en el valle inundable del río.

6.1 AMBIENTE DE LA LLANURA EXTERNA.

La llanura de sabana del Vichada es la superficie de una secuencia de estratos casi horizontales de arenisca fina lodosa y lodolita arenosa que forma colinas u ondulaciones expresadas en los lugares más altos, protegidos por vegetación de pastos y muy escasa presencia de vegetación arbórea. En los lugares más bajos de esta llanura, la superficie es más plana y más escasa de vegetación de pastos, aunque la vegetación arbórea se presenta de forma incipiente, esto como consecuencia del desborde del cauce del río en invierno y por la cubierta de material lodoso que queda en el área cuando las aguas se retiran (figura 9). Esta llanura tiene el papel de divisoria de aguas entre los cauces vecinos y además es una reserva de agua subterránea del río en el verano, lo que se observó en campo por la presencia de manaderos de agua en la superficie de contacto entre litologías distintas cortadas por el río.

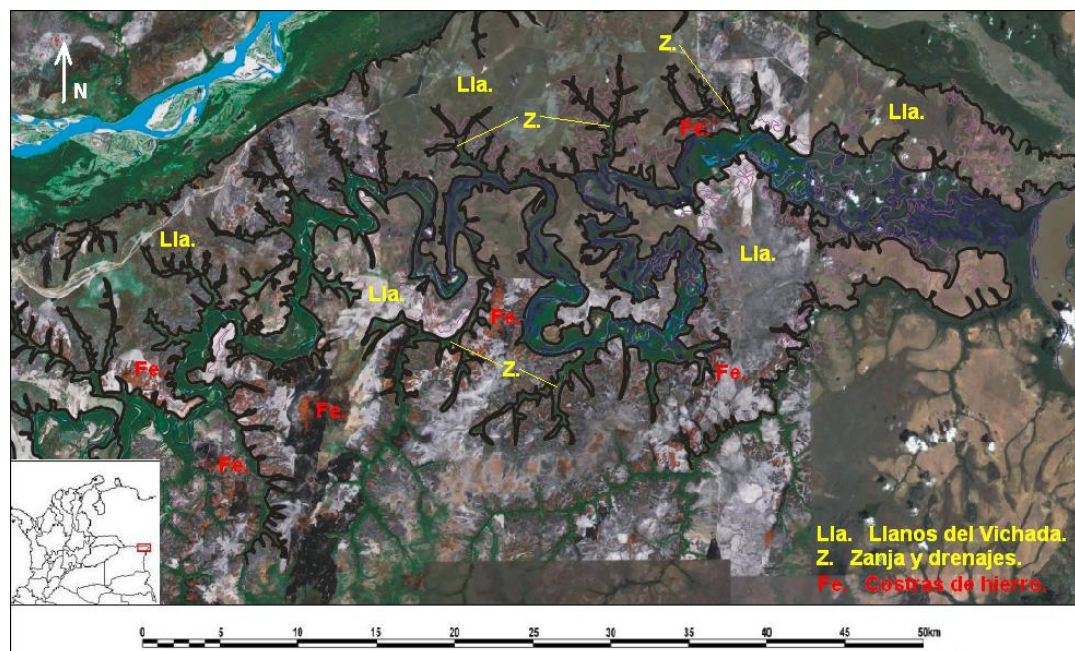
Figura 9. Llanura del Vichada ribereña al Río Bitá en el sector de transición a la desembocadura en el Río Orinoco.



También sobre la llanura es observada en muchos lugares, una costra de goetita y hematita en estado laterítico o por precipitación, protegiendo las colinas y ondulaciones más altas del área, ver figura 10.

En lo que se refiere a la canalización de las corrientes producto de las lluvias de invierno, se ha desarrollado una serie de drenajes dendríticos de segundo orden que recogen la corriente de agua laminar de la llanura y la llevan por una zanja que llega casi perpendicular al canal principal. Este tipo de drenaje obedece a la pendiente que deben recorrer las grietas y zanjas para bajar en promedio 4 metros en menos de 10 km hasta quedar casi al nivel del río y por el tipo de material de mala permeabilidad que debe recorrer.

Figura 10. Mapa mostrando los elementos morfológicos de la llanura o sabana del Vichada.



Modificado de Google Earth (2.009).

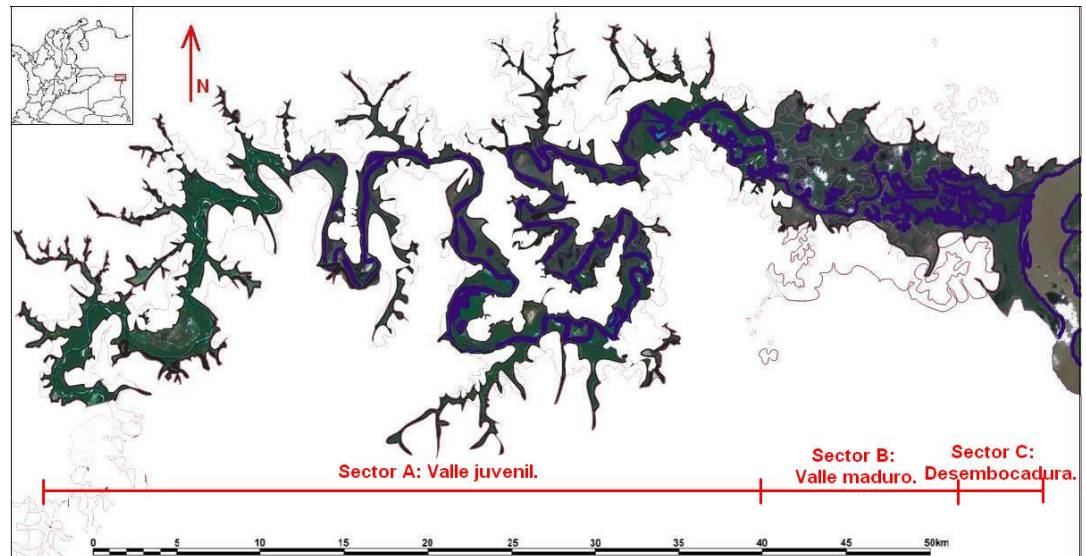
6.2 AMBIENTE DEL VALLE DEL RÍO.

El valle del Río Bita es el otro vasto ambiente identificado, y se puede sectorizar en tres grandes dominios, el del Alto Río Bita o valle juvenil, el del Río Bita medio o maduro y el del Bajo Río Bita o desembocadura (figura 11).

El Alto Río Bita o valle juvenil del río es un cauce de la corriente muy controlado por las rocas de la llanura externa a través de las cuales se abre paso cortándolas y dejando al descubierto paredes casi verticales que oscilan los 4 metros de altura. Todos los depósitos transportados y depositados por el río se observan dentro de este conducto severo y el trabajo del río es fácilmente observado en los puntos erosivos donde la fuerza de la corriente

socava esta muralla provocando el colapso de material areno lodoso y lodo arenoso en forma tajante y trayendo consigo el ingreso de troncos y raíces de los árboles rivereños. La sinuosidad del canal es muy elevada y aunque el abandono de canales por esta causa está presente, no es tan común gracias a la resistencia de las rocas del canal a la degradación, lo que impide el avance del desarrollo de las curvas. El gradiente del valle en trayectoria recta es en este tramo del río de 15m en una distancia de 45km, lo que equivale a 0,33m por cada kilómetro de avance en el valle sin tener en cuenta la trayectoria curva de los meandros.

Figura 11. Sectorización del valle del Río Bita.



Modificado de Google Earth (2.009).

Figura 12. Llanura Neógena sedimentaria continental del Vichada, cortada por el cauce del Río Bita. A la izquierda, pared del canal del río mostrando la estratificación de las rocas preexistentes consolidadas, y contenedoras del avance del río. A la derecha, señales de socavación y desmoronamiento del canal del río.



El Río Bita medio y maduro, es un sector de menor longitud que el Alto Bita, tanto en una distancia recta como en su trayectoria sinuosa. Aquí la sinuosidad

de la corriente es mucho menor y su valle es 2,5 veces más amplio. También el gradiente es distinto, se baja 5m verticales en un desplazamiento horizontal de 10 km, lo que indica 0,5m por kilómetro recorrido en línea recta, y que explica que el río sea menos sinuoso, ya que este gradiente no permite el desarrollo de tal grado de curvaturas. Este incremento río abajo del gradiente también señala que el perfil longitudinal del río es no gradado, ya que el río trata de acomodar el gradiente de su valle al nivel del valle del río Orinoco que está más abajo de lo que se encuentra gran parte del Río Bitá.

En este tramo del río no se ve muy claro el abandono reciente de canales causado por el desarrollo de los meandros, pero se observa una serie de lagunas y pozos con agua que es la evidencia de antiguos canales abandonados cuando el valle tenía un gradiente menor, propicio para la formación de los meandros observados río arriba, y entonces estas lagunas son los restos de esos canales abandonados que ahora ya han perdido su forma acanalada y algunos han sido borrados por el cauce activo del río o rellenos por material fino de las crecidas de invierno.

En el Bajo Río Bitá o desembocadura, se conserva un valle maduro pero adicionalmente presenta características de transición al Río Orinoco, a través de una especie de estuario fluvial donde se efectúa un intercambio de aguas y de material, siendo el Orinoco el que mantiene el control de este sector al ser de 8 a 10 veces más ancho, situación que provoca el ensanchamiento del canal del Bitá y la somerización del lecho con el fin de permitir el acceso de sus aguas al canal ocupado del Orinoco. Son 5 km aproximadamente los que contienen este sector del río, con un descenso de menos de 2m, siendo su gradiente aproximadamente menor a 0,4m por kilómetro, lo que estabiliza la superficie del fondo del valle, permitiendo un aumento de la sinuosidad de las corrientes que en este lugar se han distribuido en brazos del río en la temporada de verano, y que terminan formando un especie de estuario previo a la desembocadura. En la desembocadura, solo una barra con eje en dirección norte-sur, separa a los dos ríos, este elemento es producto del choque del Río Bitá en una trayectoria perpendicular al Orinoco, ocurriendo así una disipación de energía y un abandono del material fino del Bitá que queda atrapado en una corriente muy débil e incapaz de mantener su carga, lo mismo que ocurre con el Río Orinoco que tiene una carga de sedimento que se ve involucrada en el choque de corrientes y queda por fuera de la corriente de transporte. Además la corriente del Río Orinoco en esta rivera es erosiva, donde el río viene con una trayectoria de choque contra los depósitos del Bitá y los desprende, cortando y reacomodándolos paralelos a su cauce.

6.3 EL CANAL DEL RÍO BITÁ.

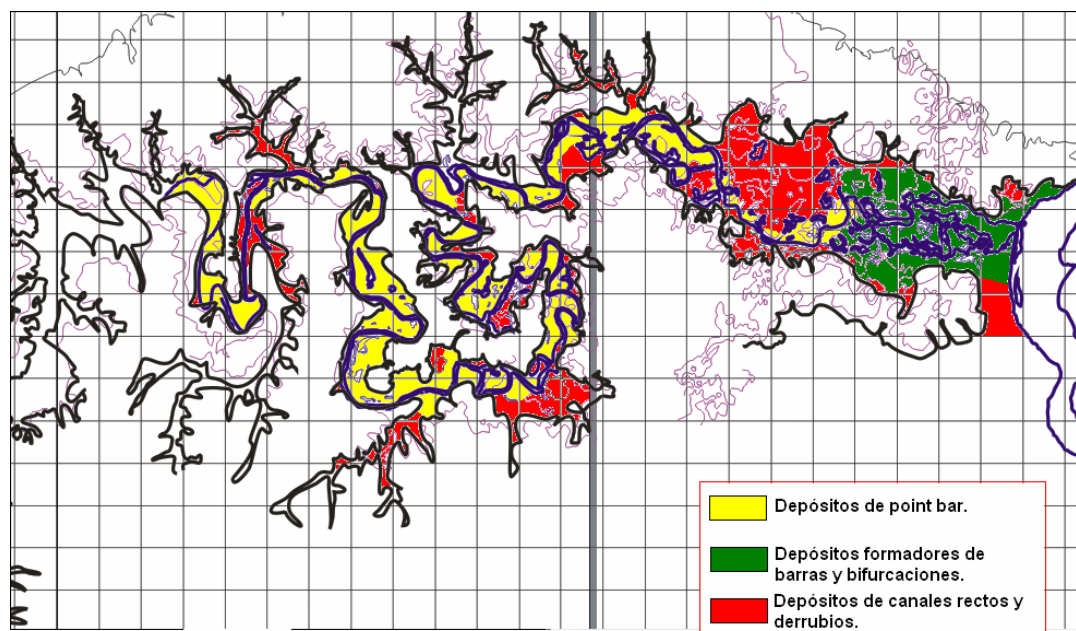
El Río Bitá es una corriente meándrica, muy sinuosa, su sinuosidad es convenientemente identificada en dos escalas distintas, una escala amplia y otra escala más detallada. En la escala general, el río presenta una sinuosidad del canal dentro de un rango entre $3,5/2,5 = 1,4$ hasta $6/1,5 = 4$, mostrando una

sinuosidad exagerada que no es homogénea, por lo que deben existir factores de encausamiento que impidieron que fuera más uniforme, posiblemente un cambio en la inclinación del terreno por donde corría el río, y asociado con una velocidad de erosión alta.

En el otro ciclo de sinuosidad se tiene un valor que alcanza $12/4 = 3$, y que se relaciona con una corriente que viaja por un fondo más inclinado, que está más próximo al nivel de erosión local que es la desembocadura en el Orinoco, y que está controlado por el valle.

Esto produce un cauce más rápido y que sería más sinuoso de no ser porque está controlado por las paredes del valle, forjado en el anterior evento erosivo formador del valle del río. Aún así, el río serpentea dentro de este espacio pequeño y es eso lo que permite tener una densidad de elementos fluviales muy concentrada en un área pequeña.

Figura 13. Distribución del tipo sedimentológico del valle del Río Bitá, en base al estilo en que se acomoda el material y sus características.

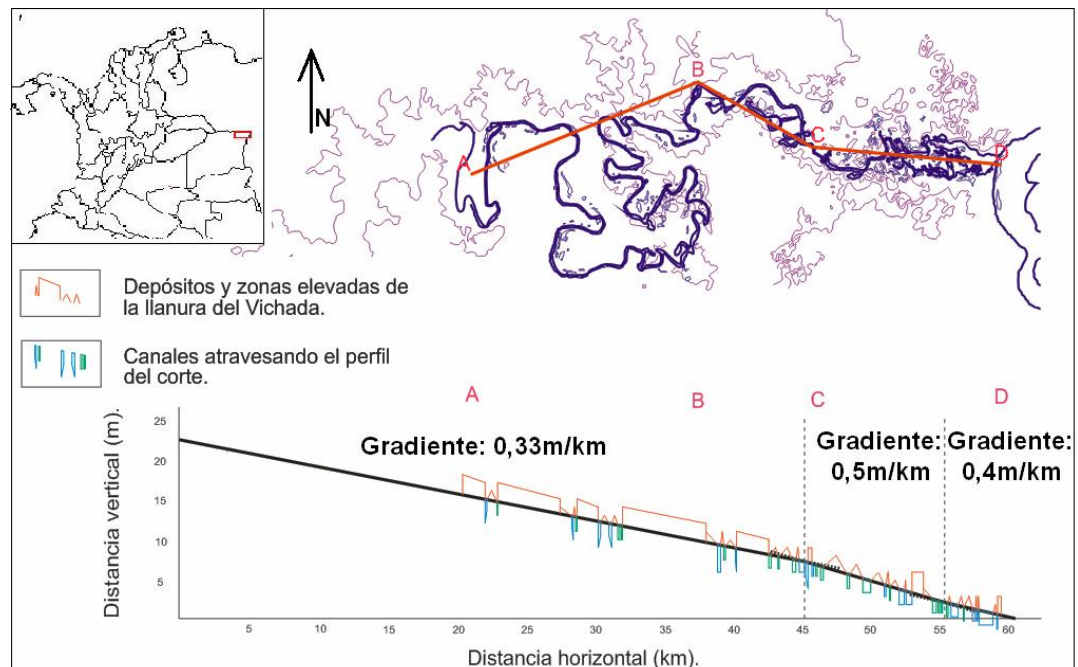


Los aportes del material que forma los depósitos, son el producto del temperismo y la erosión de las rocas de la llanura a través del viento y de los flujos superficiales, la erosión de las paredes del valle por la acción de la corriente del río escavando el cauce, y la carga del lecho del río que transporta material por arrastre como carga de fondo desde fuentes más lejanas por donde el río ha transitado. Granulométricamente se pueden entonces dividir en dos tipos de fuentes el material en los depósitos fluviales, una es la fuente próxima de las laderas externas del valle que aportan el material fino, arena

fina y lodo principalmente, y es el material que permanece en las aguas quietas, en las partes distales al canal principal que no están expuestos a la corriente de verano. La otra fuente es una fuente lejana que suministra arenas media y gruesa principalmente, y que es transportada por el lecho del río en el canal principal, y que es depositada en las riveras, en los ambientes de más alta energía.

Así, la depositación y el ordenamiento de los materiales, entonces es sometido a una selección por tamaños de partícula, por el tipo de elemento fluvial y por época del año, donde los depósitos que podemos observar hoy son los que quedan por un tiempo representando el proceso.

Figura 14. Perfil longitudinal del río Bitá a través de un corte de la cuenca, y mostrando el gradiente del valle.



Pero detrás de este ordenamiento de los depósitos está una relación muy estrecha que es el gradiente del valle por donde corre el río, este elemento es fundamental ya que obedece a la velocidad del agua y a su vez controla la velocidad de la corriente en llegar a su desembocadura. Cuando la temporada de verano llega, la corriente suele ser más sinuosa por que recorre todos los conductos más bajos del canal y realiza todas las trayectorias de manera lenta. En el invierno, el caudal aumenta y la velocidad del agua se incrementa, haciendo que los conductos o trayectos curvos no sean respetados como con caudales pequeños, y muchos tramos curvos se vuelven rectos, acortando el tiempo de recorrido del agua en los sectores intermedios del cuerpo del flujo.

Tres sectores se identificaron según el cambio del gradiente del valle, un sector muy largo inicial (0,33m/km), seguido de un sector corto donde se incrementa el gradiente (0,5m/km), y un sector final donde se vuelve a disminuir el gradiente antes de desembocar en el Orinoco (0,4m/km). Fácilmente es observable la relación que existe entre el gradiente y los elementos fluviales encontrados en el valle del río, así como la relación con la historia del río en el nivel de labrado de la llanura externa y la madurez del valle.

6.4 ELEMENTOS FLUVIALES EN LA CUENCA DEL RÍO BITA.

Los elementos dentro del Valle del Río Bita obedecen a la estación climática regente, así, el verano trae consigo una evacuación de las aguas, dejando al descubierto los depósitos acumulados, y produciendo un efecto de canalización de la corriente por los conductos más profundos, en la medida en que se requiera cada vez menos área transversal en el canal para un caudal dado.

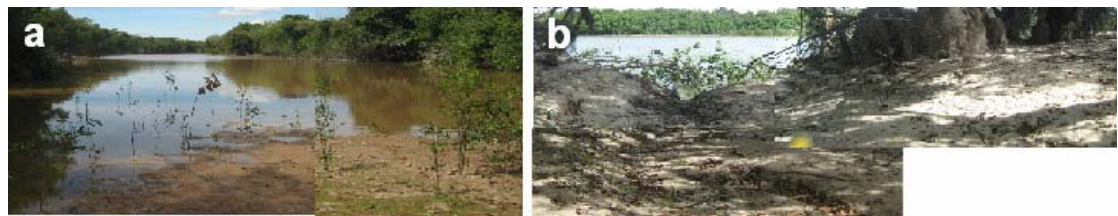
De otra forma, cuando comienzan las lluvias los depósitos vuelven a ser ocultos y la corriente busca la manera de evacuar su caudal por entre ellos, cortándolos formando brazos secundarios al canal principal e incrementando la fuerza de choque de la corriente, permitiendo una mayor eficiencia en el trabajo de las curvas que socavan las paredes del canal.

El cambio de nivel del agua en la cuenca del Río Bita oscila los 4m o 5m, quedando cubiertos todos los depósitos del valle y desbordándose el cauce a la llanura del Vichada.

6.5 LAGUNAS DEL CANAL ESTACIONALMENTE ABANDONADO.

Otra situación de este cambio estacional son la desconexión en verano de brazos del río que son menos profundos, canalizándose toda la corriente por el brazo más profundo capaz de soportar la descarga, y produciéndose lagunas desconectadas del canal principal pero cercanas, que contienen agua quieta, y un lecho lodoso por la falta de corriente. La acumulación de material fino y materia orgánica en este tipo de aguas, permiten que la vegetación surja, y se creen zonas similares a un manglar en sus alrededores, como un sitio de estancia y proliferación de aves, insectos y reptiles (figura 15).

Figura 15. Antiguo canal del río. (a) Laguna producto del abandono y aislamiento de un antiguo canal, (b) canal o ruta de desborde del río que comunica a la laguna con el canal activo cuando el nivel del agua asciende.



El serpenteo del canal es otro factor importante de esta aparición de las lagunas, en invierno la corriente viaja por el trayecto meándrico, pero el incremento de la energía y el incremento de la cantidad de agua ocasionan que otras rutas se reactiven y se socaven nuevos canales que de llegar a ser más eficientes, en verano se convertirán en el canal activo, y la curvatura del meandro no tendrá la corriente que opte por ese nuevo trayecto.

6.6 LAGUNAS EN PROCESO DE DESCONEXIÓN DEL CANAL PRINCIPAL DEL RÍO.

Otro proceso productor de elementos de agua quieta, es la migración en las curvas, del canal activo excavando lateralmente la pared del valle, con fuerza en invierno, y retrocediendo en verano a la ruta más profunda del canal. Es una oscilación estacional del canal que termina con la creación de un cuerpo lagunar que suele tener solamente una conexión angosta con el canal activo de verano, época en la cual, dunas sigmoidales quedan expuestas emergiendo sobre la curvatura del río preferentemente, mientras que en invierno continúan avanzando hasta lograr sellar la entrada y separar a los dos elementos cuando el nivel del río es bajo (figura 16).

Figura 16. Dunas sigmoidales emergentes del lecho en la temporada de verano. Estas formas van avanzando tratando de cerrar la conexión existente entre la laguna El Manatí (derecha) y el canal principal del Río Bitá (izquierda).



6.7 BARRAS DE ARENA DE CURVATURA CERRADA.

El río al correr se encuentra en muchos de los lugares de su trayectoria con curvaturas muy cerradas, aquí el río choca de frente con la pared del canal de roca consolidada, y esto produce un descenso de la energía del río, así como un descenso de la capacidad para mantener en transporte el material que lleva. El resultado es una curva del canal de casi 90°, con un muro casi vertical en contacto directo con el río, y una barra gigante de arena gruesa en la ribera contraria (figura 17). Estas barras alcanzan más de 3 m, casi la altura de la llanura del Vichada, probablemente porque el proceso eólico es muy fuerte en la sabana, y una altura mayor expone a la cresta de la duna que sería removida por el viento.

Figura 17. Duna de arena en una curvatura cerrada.



6.8 BARRAS DE ARENA ASOCIADAS A LA SOMERIZACIÓN DEL LECHO.

Este tipo de elementos aparecen cuando el valle del río comienza a ensancharse, en el momento en que el valle se vuelve amplio por causa de la historia de labrado de las paredes consolidadas de arcilla, y producto de esto un descenso del gradiente del lecho y un ensanchamiento del canal. Este canal menos profundo divide su cauce en bifurcaciones, donde el caudal se dispersa hacia las paredes del valle, y en el centro queda un bajo del lecho, en el cual se aumenta la fricción del agua con el fondo y disminuye la velocidad drásticamente (figura 18).

Como la energía del centro del canal en la superficie del agua es la que más veloz se mueve, todo ese material que es transportado en esta parte queda atrapado y se deposita formando las dunas sigmoidales una detrás de la anterior.

Una serie de dunas en mitad del canal y rodeada por los brazos del río forma una isla en el verano, pero en invierno simplemente es cubierta por el agua formando un bajo del lecho. El dominio sedimentológico es de arenas gruesas con algo de arenas media, escaseando las fracciones finas.

Figura 18. Dos tipos de barras de arena. Barra de arena longitudinal al canal, asociada a la somerización del lecho en la mitad del canal (izquierda). Barra acrecionada de depósitos de point bar en una curva del río (derecha).



6.9 DEPÓSITOS DE POINT BAR.

Los depósitos fluviales dentro del canal son arenas, que van desde arenas muy finas en los levee a arenas media y gruesa en los point bar. Este material arenoso es transportado por el río principalmente, y es depositado en los sitios donde la trayectoria se vuelve curva, dejando una gradación lateral con arena muy fina y lodo en el centro de la curvatura, pasando a una arena media y gruesa en el borde de la playa. Las playas de point bar se forman de una sucesión de dunas sigmoidales de eje corto que van curvándose en la medida en que el río describe la curvatura del meandro.

Esta diferenciación granulométrica del sedimento en los point bar puede obedecer a un cambio estacional de la energía, cuando hay verano el río corre más rápido en un nivel más bajo, lo cual limpia a los sedimentos bajos y más próximos al canal evitando la presencia de lodo, mientras que en invierno el nivel mayor del agua permite una velocidad suave en la parte superior permitiendo la depositación de material fino en las partes altas y más lejanas a la rivera.

Pero otro agente de transporte muy importante en esta zona es el componente eólico, que en muchas partes en dirección contraria al flujo del río, carga con el material fino y lo deposita en medio de las zonas de bosque protegidos por los arbustos que evitan que sean removidos nuevamente, y es en esta parte interna del meandro donde la vegetación hace su aparición.

6.10 LA LLANURA DE DESBORDE CONTENEDORA DEL CANAL.

La llanura es una planicie cubierta con pastos cortos resistentes a la sequía, y que son capaces de echar raíces en el suelo duro de la sabana, un suelo de composición lodo arenoso, muy compactado. Este suelo sabanero es una cubierta de arcilla de color blanco, que no está relacionada con los depósitos fluviales modernos del Bitá, sino que es un material Neógeno fluvial, sobre el que corren todos los ríos del Vichada, que sirve como receptora y almacenadora del agua invernal y suministra este líquido en el verano, dándole al agua del Río Bitá, un color blanco por la disolución de arcillas en suspensión en sus aguas cuando el nivel del río es muy bajo.

El agua que llega a la superficie de estas rocas arcillosas, infiltra hasta encontrar otra capa de arcilla impermeable que obliga a la expulsión de esta a través de la superficie de contacto entre litologías, y de la cual el río es alimentado cuando el nivel freático queda por encima del nivel del río. Estas capas horizontales de arcillas y arenas son tan duras que el río se encuentra atrapado en muchos lugares en contacto directo con una pared vertical, sin poder avanzar, y produciendo una disolución de las arcillas inferiores de color amarillo hasta el punto de producir desestabilización por socavación y es en esta situación donde se va abriendo paso a la ampliación del valle, que en la mayor parte de la cuenca es muy angosto.

7. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS Y DINÁMICA DEL RÍO BITA

Los depósitos sedimentarios en los que se presentan la mayoría de las estructuras sedimentarias del valle del Río Bita son las arenas media y gruesa, y la estructura que más se asocia con estos depósitos es la del tipo megadunas del lecho del río. Las megadunas obedecen a corrientes de alta energía, observables en los niveles bajos del río en el verano.

Con las estructuras podemos identificar la energía del ambiente, la dirección de las corrientes, y los eventos cíclicos de erosión y depositación, así como la historia sedimentológica del lugar.

Dos son los agentes encargados de modelar y crear las estructuras sedimentarias en los depósitos modernos del valle del Río Bita, el principal es la corriente del río, basada en el equilibrio entre la depositación y la erosión, mientras que otro, menos fuerte pero muy importante en esta región, es el viento, que al igual que la corriente de agua, interviene en la forma resultante de los depósitos. El trabajo de estos dos agentes se puede identificar con facilidad gracias a que muchas veces sus direcciones de transporte de sedimento, no coinciden y esa doble tendencia contrasta fuertemente, además, la energía del agente fluvial para transportar material es generalmente mucho mayor que el del agente eólico, lo cual permite identificar cuales partículas del sedimento son acomodadas por el río y cuales son transportadas por el viento, permitiendo entonces, que en superficies de depósitos de arenas media y gruesa, se formen ondulitas de arena muy fina y lodo que viajan y se mueven con las corrientes del viento.

Para el caso de las megadunas se realizó una toma de datos en campo de cada una de ellas asociadas a un depósito, con los valores de la dirección del eje de la duna, la longitud de ese eje, el ángulo de barlovento y el ángulo de sotavento, que son respectivamente, el ángulo de inclinación de la parte trasera de la estructura, y el ángulo del frente que es la superficie de avance. Para la descripción, se relacionan algunos lugares donde los depósitos sedimentarios tienen estructuras muy bien expresadas.

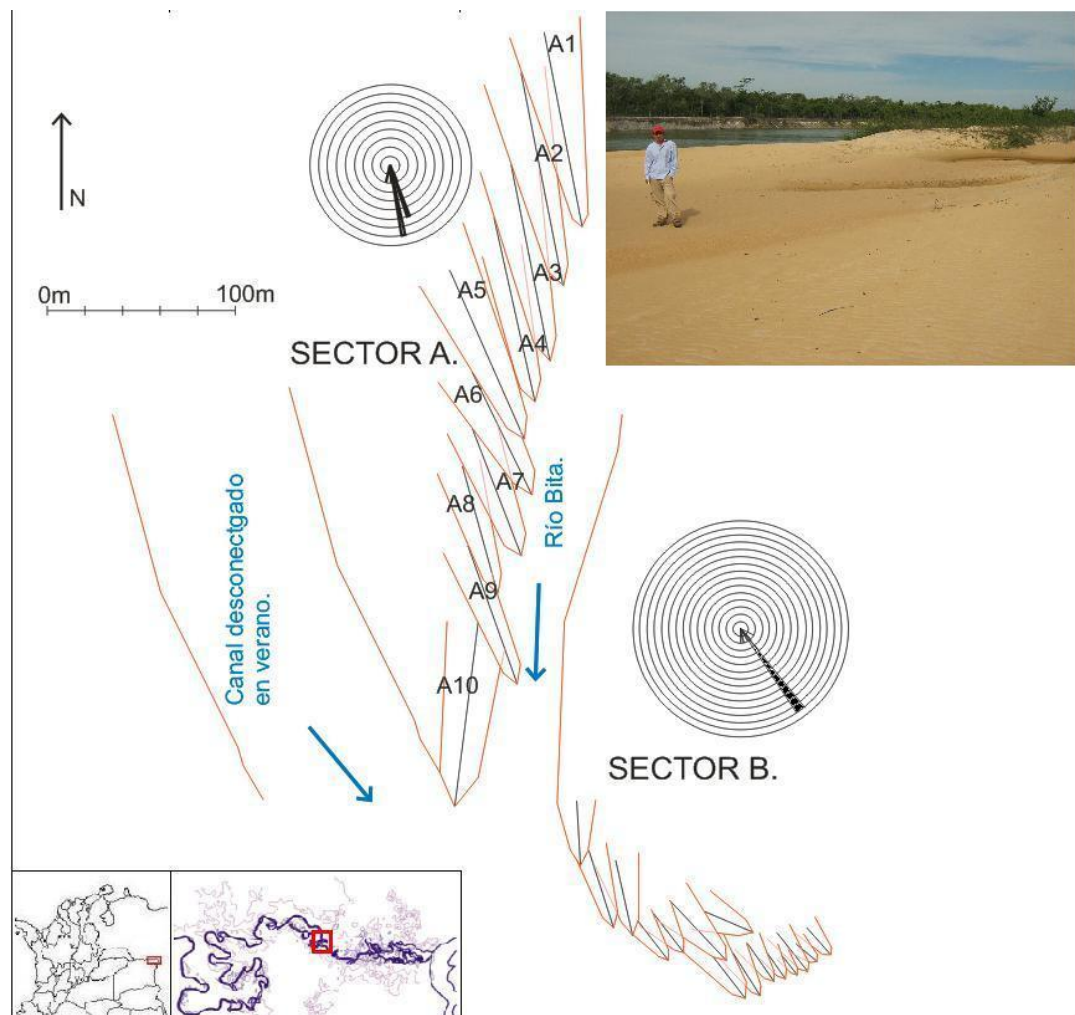
7.1 LAS MEGADUNAS Y LA CORRIENTE DEL RÍO

Como los elementos que forman las características de la dunas son fácilmente relacionados con la energía de la corriente y la dirección de esta misma, los datos obtenidos en campo son asociados con datos de velocidad del río en el momento, haciendo énfasis en que estas estructuras fueron depositadas durante ciclos completos de ascenso y descenso del nivel de la corriente, y los valores de velocidad solo obedecen a lo encontrado en el momento de la toma de información.

Dos lugares propicios para obtener esta información, son el sector de Tres Bocas (N 06° 10' 0,8" y W 67° 37' 10") y el sector del bajo del lecho próximo a la desembocadura (N 06° 10' 00" y W 67° 32' 10").

En el sector de Tres Bocas la corriente del momento tiene un canal norte-sur, y avanza hacia el sur, luego se estrella con la pared sedimentaria consolidada del valle, para girar en ángulo de casi 90° hacia el este. Antes del accidentado giro, es un canal depositacional en la ribera del oeste, y luego del giro, los depósitos aparecen en la ribera este (figura 19).

Figura 19. Representación de las megadunas. Megadunas en la ribera A y B, en el sector de Tres Bocas del Río Bitá.



En la ribera oeste, sector depositacional A, se encuentra una serie de dunas de gran tamaño, son diez dunas lenguadas cuyos ejes mantienen un dominio en dirección norte entre los 10° y 20° este. Solo una duna tiene su eje por fuera de

esta tendencia, su dirección señala el norte 9° oeste, y esta duna es determinada como la más antigua del lugar, lo que señalaría una corriente predominante del río en la dirección del dominio de las demás, pero que en algún momento esta dirección era otra.

Otro elemento a analizar es la longitud de las megadunas, donde dentro de las que tienen dirección concordante, se puede hacer dos agrupaciones, la primera obedece a las que tienen un eje con un rango de 100m a 110m de longitud, que son las número 1 a 4 y la segunda se refiere a las que su eje tiene entre 70m y 80m de longitud, las número 5 a la 9. El primer grupo tiene en común que son las más jóvenes, pero esto hay que entenderlo también espacialmente, y el primer grupo está ubicado río arriba respecto al segundo grupo.

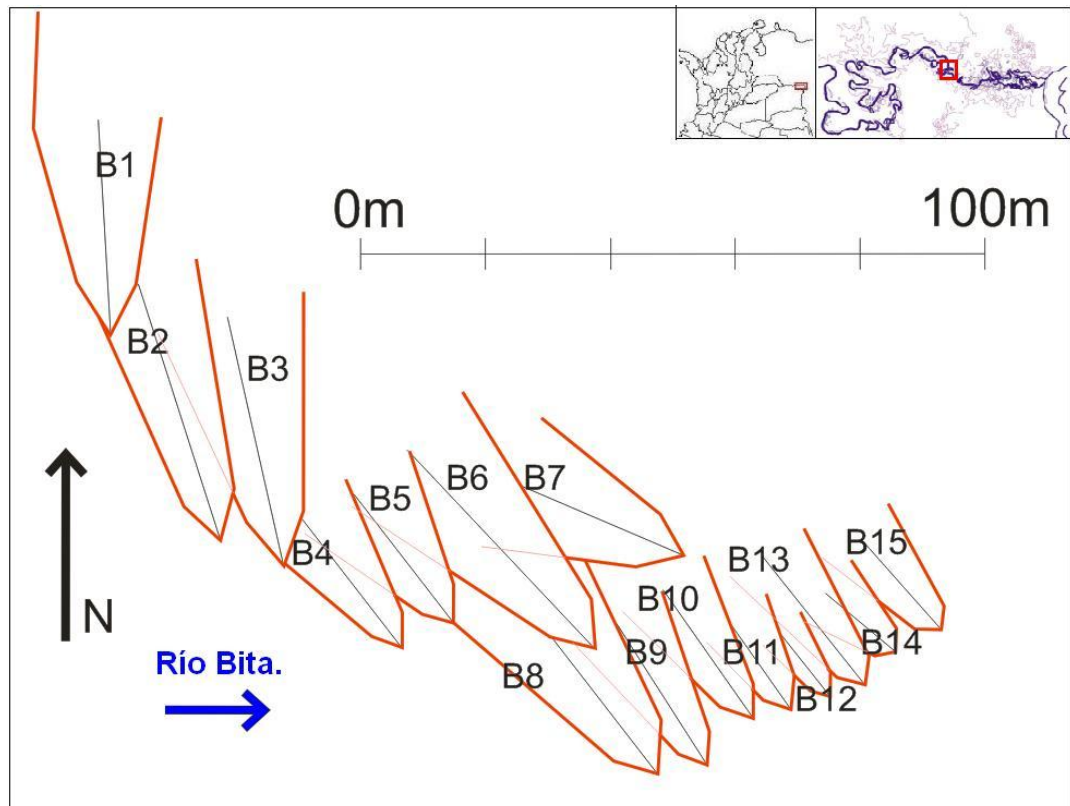
Tabla 1. Datos obtenidos de las megadunas del sector A en Tres Bocas, Río Bitá.

NÚMERO.	LONGITUD DEL EJE (m).	DIRECCIÓN DEL EJE.	PENDIENTE DE BARLOVENTO (°).	PENDIENTE DE SOTAVENTO (°).
1	105	N10°W	1	3
2	118,6	N10°W	-1	2
3	108	N10°W	0	6
4	101	N13°W	0	2
5	99,1	N22°W	1	5
6	72,8	N25°W	1	3
7	73,7	N20°W	1	1
8	70,7	N15°W	1	1
9	77,9	N20°W	0	2
10	97,8	N9°E	1	3

La velocidad del río en el sector fue establecida midiendo en la superficie desde una rivera a la otra, y muestra un máximo de 3.168 cm/minuto en la superficie a 311 cm del fondo, siendo condiciones aceptables para la formación de óndulas y megaóndulas en 2 dimensiones teniendo en cuenta que el material dominante se encuentra entre arenas media y gruesa. Esta misma situación debe ser superada para que las megadunas estudiadas se produzcan, seguramente con el ascenso del nivel del río en invierno.

En el sector B tenemos una serie de 15 megadunas que son fácilmente agrupadas por la tendencia de la dirección de sus ejes. Un grupo es el del norte entre los 0° oeste y los 15° oeste, para las dunas 1 a la 5. El otro grupo es el del norte entre los 35° oeste y los 50° oeste, donde están las dunas 8 a la 15. Quedan por fuera las megadunas 6 y 7 que tienen direcciones anómalas, y que obedecen seguramente al sentido de una corriente más antigua.

Figura 20. Representación de las megadunas en el sector B de Tres Bocas en el Río Bitá.



Existe una relación entre la longitud del eje y el lugar de la curvatura en la que se encuentra la duna, así, las dunas 1 a la 3 están entre los 30 m y 40 m de longitud, siendo los más largos y por lo tanto son la expresión de un nivel energético alto de la corriente. Las dunas entre la 4 y la 10 exceptuando la 6 y la 7, tienen entre 25 m y 30 m de longitud, siendo de menor energía que las primeras. El último grupo está entre las dunas 11 y 15, con longitud de sus ejes entre los 10 m y los 20 m. Así, en la medida en que se desarrolla la curva, la energía disminuye y los ejes son más cortos.

Tabla 2. Datos de las megadunas en el sector B en Tres Bocas, Río Bitá.

NÚMERO.	LONGITUD DEL	DIRECCIÓN DEL	PENDIENTE DE	PENDIENTE DE
	EJE (m).	EJE.	BARLOVENTO (°).	SOTAVENTO (°).
1	33,95	N2°W	1	10
2	42,83	N17°W	4	20
3	40,85	N11°W	4	22
4	25,55	N38°W	3	19

5	28,34	N39°W	2	9
6	27,82	N67°W	1	13
7	43,7	N42°W	3	12
8	26,2	N37°W	3	9
9	27,66	N32°W	0	16
10	25,15	N37°W	2	11
11	17,05	N36°W	1	23
12	13,02	N38°W	4	11
13	26,08	N38°W	-2	14
14	14,69	N49°W	0	12
15	19,33	N42°W	-2	14

Figura 21. Relación entre la velocidad de la corriente en superficie y el perfil del canal A-B en la zona de Tres Bocas.

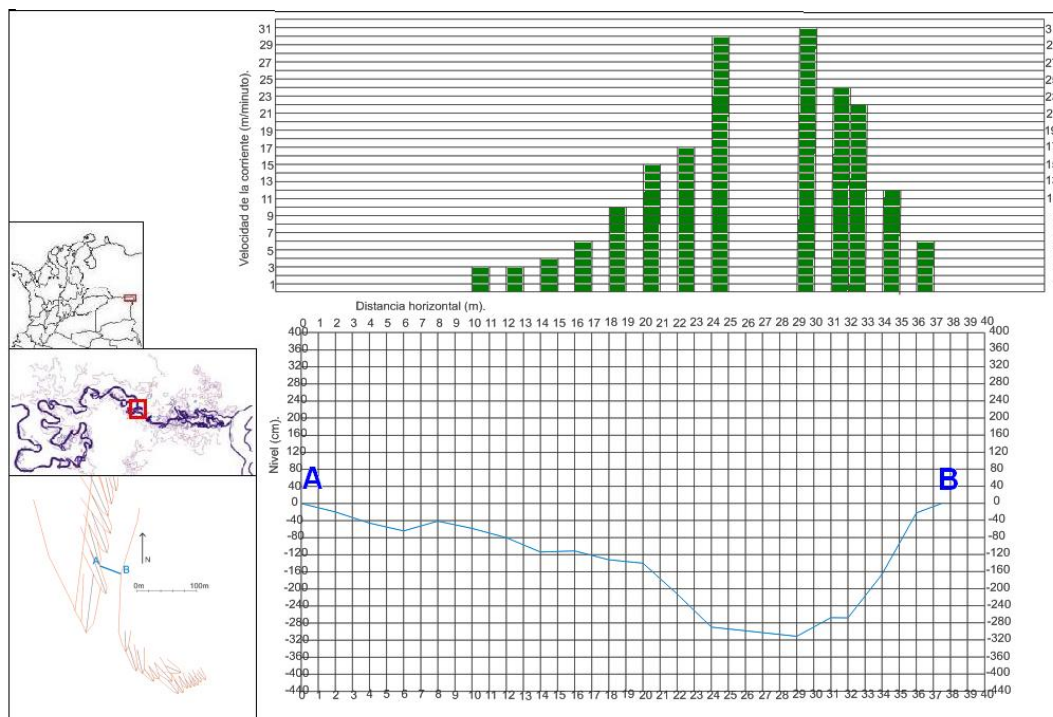


Tabla 3. Valores de la velocidad de la corriente del río en el perfil A-B relacionado con la posición.

DISTANCIA.	PROFUNDIDAD.	VELOCIDAD.
(m).	(cm).	(cm/minuto).
2	20	0
4	46	0
6	64	0
8	41	0
10	59	315
12	80	342
14	114	423
16	111	675
18	132	1.008
20	140	1.530
22	212	1.764
24	290	3.042
29	311	3.168
31	268	2.421
32	268	2.250
34	166	1.242
36	30	603

Otras observaciones de las estructuras se realizaron con el corte de los depósitos, donde es fácil identificar la estratificación cruzada plano paralela, de las capas que forman las dunas de arena cuarzosa media y gruesa de color amarillo.

Figura 22. Laminación cruzada plano paralela en las dunas de Tres Bocas en zanja. A la izquierda, corte transversal a la corriente principal, a la derecha, corte paralelo a la corriente, mostrando la dirección de la corriente hacia la derecha.



Otra serie de megadunas fueron observadas en el sitio del bajo transicional a la desembocadura, allí se puede ver el lecho del río expuesto en superficie cuando el nivel del río baja en verano. Aquí el material es un poco más grueso que en Tres Bocas, ya que normalmente la fracción más gruesa cuando ocurre una disminución de la energía de la corriente queda atrapada en el centro del canal.

Figura 23. Megadunas del lecho expuestas por somerización a causa del descenso del nivel del río.

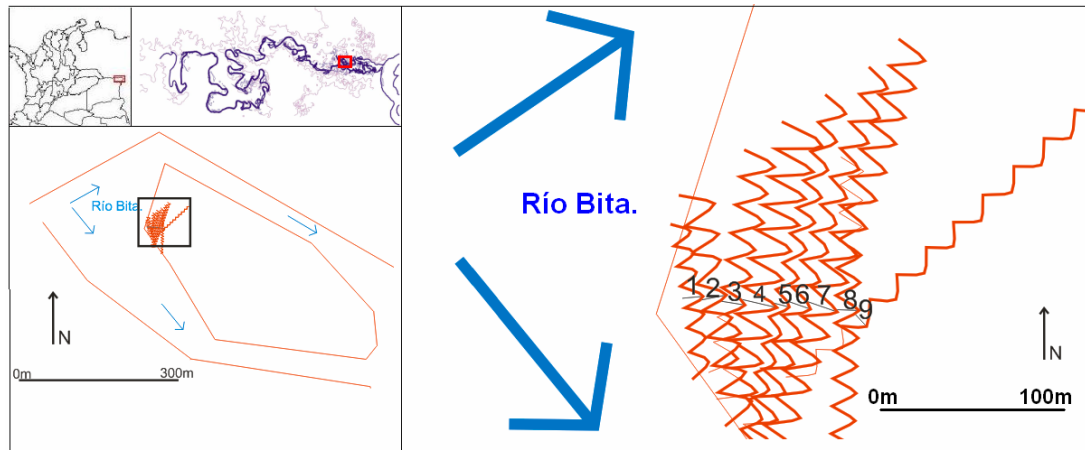


Tabla 4. Datos de las dunas en el sector bajo del Río Bita, en un bajo del lecho antes de la desembocadura.

NÚMERO.	LONGITUD DEL	DIRECCIÓN DEL	PENDIENTE DE	PENDIENTE DE
	EJE (m).	EJE.	BARLOVENTO (°).	SOTAVENTO (°).
1	3,8	N85°E	5	11
2	4,92	N80°E	2	15
3	4,54	N82°W	3	9
4	6,79	N77°W	5	12
5	3,15	N78°W	2	12
6	4,56	N72°W	3	7
7	5,86	N72°W	2	13
8	4,25	N88°W	2	15
9	3,2	N43°W	4	17
10	4,75	N58°W	5	9
11	4,6	N53°W	4	18
12	4,88	N60°W	2	15
13	4,55	N64°W	2	7
14	7,24	N57°W	1	5
15	3,86	N52°W	2	5

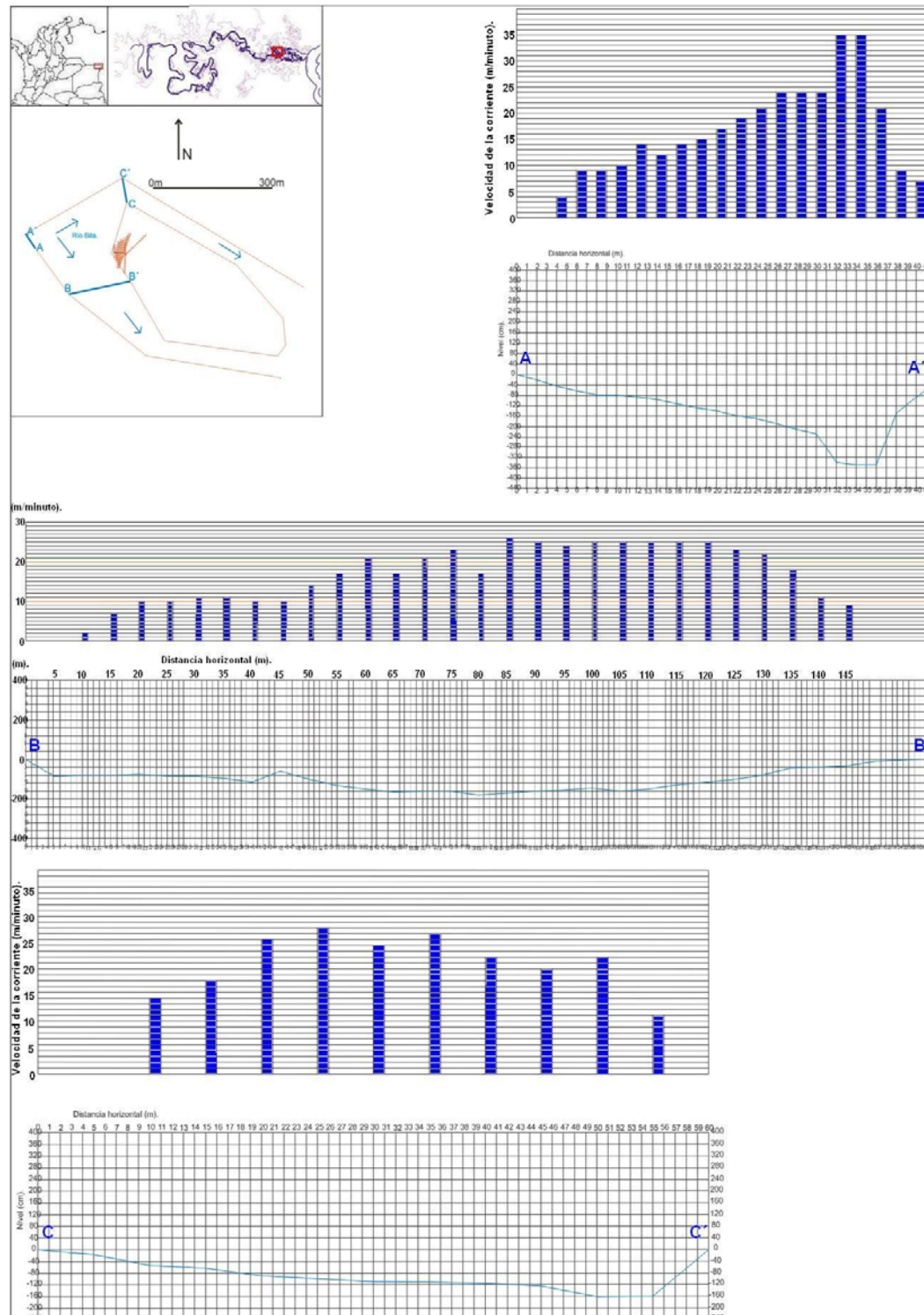
16	9,91	N52°W	4	6
17	9,7	N45°W	4	15
18	4,8	N50°W	6	9
19	3,88	N40°W	1	4
20	10,85	N43°W	4	7
21	8,2	N42°W	2	9
22	8,19	N55°W	2	4
23	5,48	N63°W	4	5
24	15	N38°W	1	7
25	4,23	N52°W	1	12
26	9,04	N37°W	7	7
27	12,3	N36°W	0	4
28	22,4	N32°W	1	9
29	20,55	N37°W	2	8
30	13,19	N50°W	2	5
31	12,26	N50°W	4	7
32	20,54	N44°W	0	6
33	11,04	N49°W	1	5
34	8,47	N43°W	1	6
35	15,09	N78°W	5	10
36	7,22	N50°W	4	7
37	10,49	N38°W	2	4
38	9,19	N60°W	1	5
39	6,46	N35°W	0	1
40	18,74	N50°W	0	2
41	8,04	N45°W	0	5
42	11,06	N40°W	0	7
43	8,62	N49°W	2	6
44	18	N52°W	0	6

Las asociaciones de las megadunas en este sector del río Bitá son las siguientes:

Asociaciones por la dirección del eje, las dunas 1 y 2 con dirección norte entre los 80° este y los 85° este. Las dunas 3 a la 8, con dirección norte entre los 70° oeste y los 90° oeste. Las dunas entre la 9 y la 25 con dirección norte entre los 40° oeste y los 60° oeste. Por último, el conjunto entre la 26 y la 44, que son direcciones oscilantes hacia el norte entre los 30° oeste y los 60° oeste.

Las asociaciones por longitud del eje de la estructura son las siguientes, las dunas del 1 al 19 con longitud entre 3 m a 9 m. Y las dunas entre 20 y 44, con longitudes entre 5 m y 20 m. Esto indica que siendo la duna más antigua la 44, y la más joven la 1, la energía de la corriente en el momento en que se produjeron las más antiguas fue mayor que la energía de las más recientes.

Figura 24. Perfiles batimétricos en el sector del bajo del lecho, previo a la desembocadura del Río Bita.



Tablas 5 y 6. Relación entre distancia, profundidad y velocidad de la corriente para los perfiles transversales al canal A-A' y B-B', cerca a la desembocadura.

Perfil A-A'.

DISTANCIA.	PROFUNDIDAD.	VELOCIDAD.
(m).	(cm).	(cm/minuto).
2	21	0
4	45	477
6	63	927
8	78	981
10	78	1.098
12	87	1.431
14	96	1.296
16	112	1.440
18	129	1.575
20	140	1.746
22	159	1.962
24	170	2.133
26	189	2.439
28	211	2.466
30	228	2.466
32	340	3.546
34	350	3.582
36	350	2.124
38	150	990
40	87	756
42	31	0

Perfil B-B'.

DISTANCIA.	PROFUNDIDAD.	VELOCIDAD.
(m).	(cm).	(cm/minuto).
5	85	0
10	80	279
15	81	756
20	75	1.053
25	84	1.044
30	85	1.152
35	96	1.170
40	115	1.053
45	60	1.098
50	100	1.467
55	132	1.737
60	150	2.106
65	165	1.764
70	160	2.115
75	159	2.394
80	180	1.746
85	170	2.628
90	160	2.592
95	155	2.448
100	145	2.520
105	160	2.592
110	150	2.520
115	129	2.520
120	116	2.529
125	102	2.322
130	80	2.205
135	45	1.836
140	41	1.197
145	34	954
150	10	0

Aquí, la corriente se bifurca por los trayectos más profundos del canal, rodeando el lecho emergente de megadunas descritas. Como el canal tiene modificaciones, la velocidad de la corriente expresa cambios que también afecta la forma del canal.

Cuando el canal activo es uno solo y el lecho es más profundo, el perfil batimétrico corresponde al A-A', cuando el canal se ensancha, el lecho se someriza y se bifurca la corriente en un brazo norte y un brazo sur. El brazo sur corresponde al perfil batimétrico B-B', y el brazo norte corresponde al perfil batimétrico C-C'.

La rivera erosiva en el perfil A-A', es la rivera norte, lo que se confirma con las pendientes del perfil y con la velocidad de la corriente fuerte en el sitio, que alcanza los 3.582 cm/minuto sobre 350 cm del lecho del río. Esta corriente fuerte al estar ubicada en la ribera norte, conserva su trayectoria y es transmitida al perfil C-C', que tiene pendientes del lecho menos fuertes, con una corriente más suave, que logra un máximo de 2.511 cm/minuto, y una profundidad máxima de 162 cm.

Por otro lado, en el brazo sur se encuentra el perfil B-B', con una corriente máxima de 2.628 cm/minuto y una profundidad máxima de 180 cm. Este perfil muestra que no hay una rivera erosiva bien definida, lo que si se conserva aunque menos marcado, en el brazo norte.

Tabla 7. Relación entre distancia, profundidad y velocidad de la corriente para el perfil transversal al canal C-C', cerca a la desembocadura.

Perfil C-C'.

DISTANCIA.	PROFUNDIDAD.	VELOCIDAD.
(m).	(cm).	(cm/minuto).

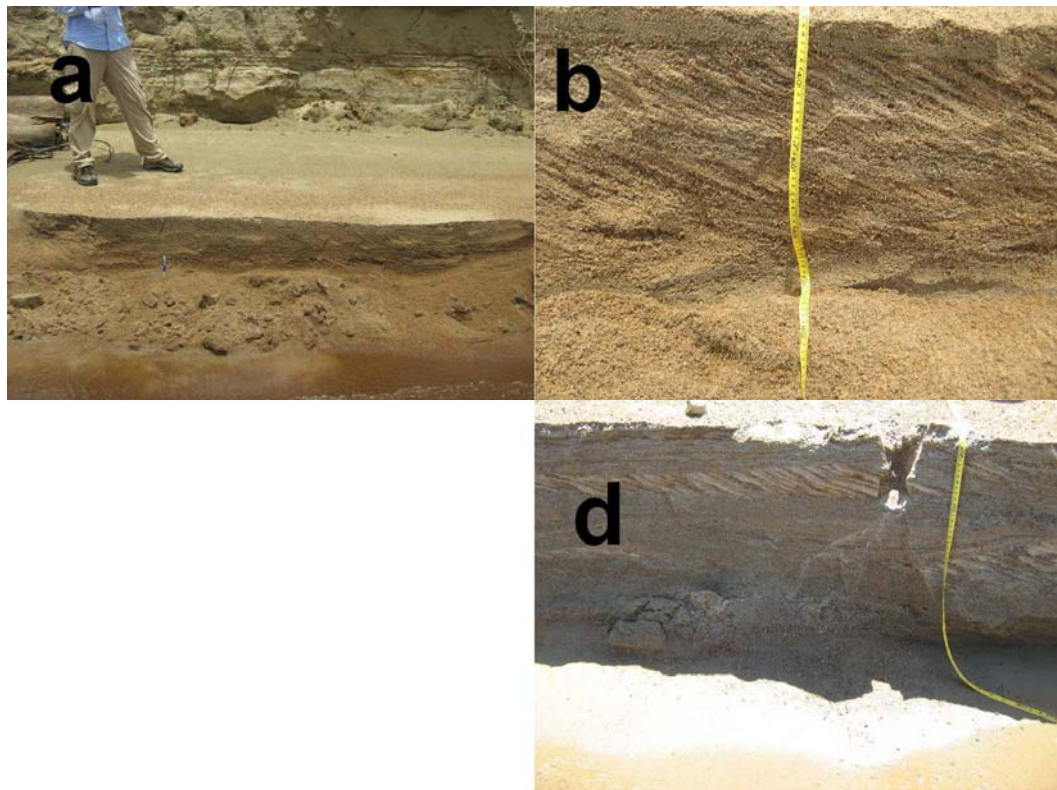
5	17	0
10	54	1.332
15	63	1.602
20	90	2.313
25	100	2.511
30	110	2.232
35	112	2.421
40	116	2.061
45	125	1.872
50	162	2.016
55	160	1.035

Las pendientes de las estructuras en el bajo del lecho del Bitá, mas horizontales, y una frecuente presencia de estructura tipo flaser, lo que indica la ocurrencia de ciclos de baja energía que permite una cubierta de lodo sobre las arenas gruesa del lecho somero. Estas arenas vienen acompañadas de material vegetal atrapado por las corrientes suaves, y las láminas de lodo que cubre los lentes de arena son de 1 mm de grosor, aunque hay capas más espesas.

Figura 25. Corte de los sedimentos en el bajo de lecho del Río Bita, antes de la desembocadura. A la izquierda corte paralelo a la corriente actual del río que corre con sentido hacia la izquierda en la imagen. A la derecha, corte transversal a la corriente.



Figura 26. Corte de los depósitos de la barra que separa al Río Bita del Río Orinoco. En A y B, el corte es paralelo al Río Orinoco y perpendicular al Río Bita, la corriente del Orinoco va hacia la derecha. En D el corte es Perpendicular al Río Orinoco y paralelo al Río Bira, la corriente del Río Bita va hacia la izquierda.



La desembocadura del Río Bita es la parte con las corrientes más débiles, aquí una barra separa un río del otro, aunque el intercambio de material y de aguas

se da en todo el sector cercano a la barra, sin importar en que cauce de río se produce.

Aunque actualmente este régimen de corrientes por parte del Río Bitá, no permite la formación de megadunas, un registro sedimentológico de la barra estudiada, deja ver dos dominios diferentes, donde el inferior se relaciona con una serie de ciclos de construcción de megadunas y erosión.

Es una serie de eventos de invasión del Río Orinoco, con sus materiales gruesos de arena gruesa y gravas, de cuarzos y óxidos de hierro, además de intercalación con material fino, arenas finas y lodos, erodados de los depósitos del Bitá por el Orinoco previamente y reacomodados en estructuras de laminación cruzada plano paralela y en artesa, con ángulos de inclinación general de 24°. El mismo Río Orinoco está ahora erosionando estos depósitos, y en el registro se ven numerosas superficies de erosión que borran parte de estas estructuras, y luego construye nuevamente mas estructuras de alta velocidad de corriente, sobre todo teniendo en cuenta que construye megadunas con partículas de diámetro mayor que las del Río Bitá.

7.2 ESTRUCTURAS DE REFLUJO DE CORRIENTE

Figura 27. Estructuras de óndulas simétricas causadas por el reflujo de la corriente del río. Estas aparecen en sitios donde las corrientes son suaves y con más de una dirección, en lugares de poca profundidad, generalmente están formadas de lodo y arena muy fina, y son propicias para el desarrollo de la vegetación.



Las estructuras de reflujo son ondulaciones suaves del terreno producidas por corrientes suaves en más de un sentido, esto produce una simetría de ondulas abiertas como colinas de material fino. En el valle del Río Bitá, estas estructuras se localizan principalmente en lugares altos que dividen depresiones que se intercomunican a través de estos, así mismo como lugares altos que dividen canales y que también son superficies de corrientes en doble sentido entre estos.

En la imagen se observa un corte de depósitos antiguos de estructuras de reflujo de corriente, es común la laminación semihorizontal y discontinua de los

sedimentos, además de capas de materia orgánica también subhorizontales que se acuñan, sin percibirse dirección de flujo alguna.

Figura 28. Depósitos altos divisorios entre el canal principal y un canal conectado de aguas estancadas en el sector de Tres Bocas. A la izquierda, corte transversal al río, a la derecha, corte paralelo con la corriente del río.



7.3 ESTRUCTURAS TIPO FLASER.

Estas estructuras se encuentran en casi todos los depósitos altos de arena, mostrando una disminución cíclica de la energía del medio, y cubriendo las formas arenosas con capas delgadas de lodo.

En la imagen izquierda se muestra una cubierta de lodo de la superficie de un depósito de arena gruesa en el sector del bajo de la desembocadura del río Bitá. En la imagen derecha se ve un corte de un depósito con estructuras de estratificación cruzada en artesa, con contactos cubiertos de láminas delgadas de lodo, donde hay eventos de deposición y erosión, con siguientes depositaciones de lodo y nuevamente erosión y deposición.

7.4 ESTRUCTURAS EÓLICAS.

Ondulitas asimétricas mostrando la dirección del viento, su alineación sinuosa es resultado de corrientes fuertes del viento, creando así un desplazamiento diferencial a lo largo del frente de onda. Otra característica es la superficie plana de su cresta, indicio también de la alta energía del viento y de la granulometría fina del material.

Otro tipo de ondulitas eólicas está representado por unas de arenas gruesas, que no permiten un alineamiento tan bueno como los materiales más finos ya que necesita más energía para su desplazamiento. En los lugares donde la corriente del viento es muy intensa, pendientes mayores son formadas con materiales gruesos, y esto produce estructuras grandes como dunas con altas pendientes.

Figura 29. Estructuras tipo Flaser. En superficie a la izquierda y en corte vertical en la imagen de la derecha. Estas son coberturas de lodo sobre las ondulitas arenosas.



Figura 30. Ondulitas eólicas. En la imagen de la izquierda se observa el depósito fluvial dejado por el río, y que por efecto de las corrientes del viento en sentido contrario, se forman ondulaciones superficiales de arena muy fina, la dirección del viento es hacia la derecha y hacia abajo. En la imagen de la derecha se ven las ondulitas eólicas detalladas, su dirección es hacia la izquierda y hacia abajo, mostrando la dirección del viento, la arena de tamaño de grano fino permite poca resistencia al arrastre, y una cresta plana con un mismo nivel para todas.



Figura 31. Transporte eólico sobre material grueso. En la izquierda este ofrece resistencia al transporte, y viaja por saltación y arrastre, formando lineamientos sinuosos de ondulitas poco desarrolladas. En la derecha, una corriente de viento muy fuerte en un depósito de arena gruesa genera una megaduna con pendientes muy altas, esto a causa de la estabilidad que tiene las partículas gruesas para conservar superficies con pendientes fuertes.



7.5 ESTRUCTURAS DE HUELLAS POR ACTIVIDAD ANIMAL.

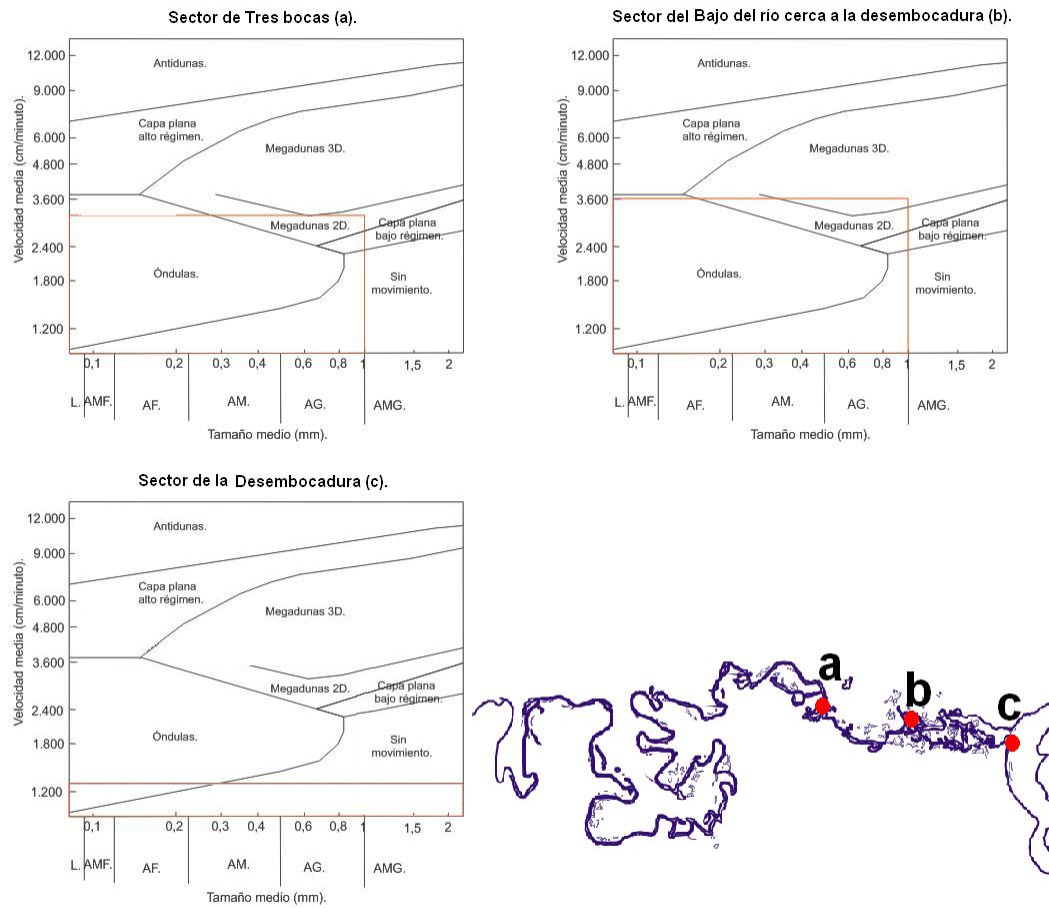
A causa de la abundancia de arena con respecto al lodo, las estructuras causadas por huellas de actividad animal se observan sobre superficies de depósitos donde las huellas de aves y la actividad de anélidos o insectos litófagos es común.

En la imagen dos ejemplos de huellas son observadas, huellas que pueden quedar grabadas si una capa de lodo cubre la superficie del depósito, situación que es posible cuando el nivel del río sube lentamente, permitiendo la precipitación del material fino.

Figura 32. Estructuras producto de la bioturbación o huellas de actividad animal registrada en los sedimentos.



Figura 33. Modelo aplicado a la relación velocidad de la corriente contra dominio granulométrico. Estas como variables en la producción de tipos estructurales sedimentológicos, aplicado a los depósitos del Río Bitá.



Tomado de Cátedras de sedimentología y rocas sedimentarias, Luis A. Spalletti, et al., Universidad Nacional de la Plata (2.007).

8. SEDIMENTOLOGÍA Y FORMAS SUPERFICIALES DE LOS DEPÓSITOS FLUVIALES

Los materiales que forman los sedimentos producto del temperismo y la disolución de las arcillas de la llanura, la erosión del valle que recorre la corriente de agua y la depositación de este material en un lugar determinado por los cambios energéticos, dictan las formas asociadas a las pendientes de los depósitos así como el tamaño de los granos del sedimento predominante en cada situación.

Aunque se pueda ver como es la arquitectura de los depósitos, no todo se preserva, y son necesarias las comparaciones de los anchos de los canales y de las barras de los ríos, con las dimensiones verticales de los canales y de las barras, las formas de las excavaciones por fricción del lecho en sección vertical. Así es como, las dimensiones verticales de los canales, las alturas de los cortes de bancos, las dimensiones verticales de las barras, y la amplitud de la inclinación de los cuerpos acrecionados, todas estas mediciones se relacionan con el canal y las características de la barra, al menos que estén vinculados con procesos alogénicos al río.

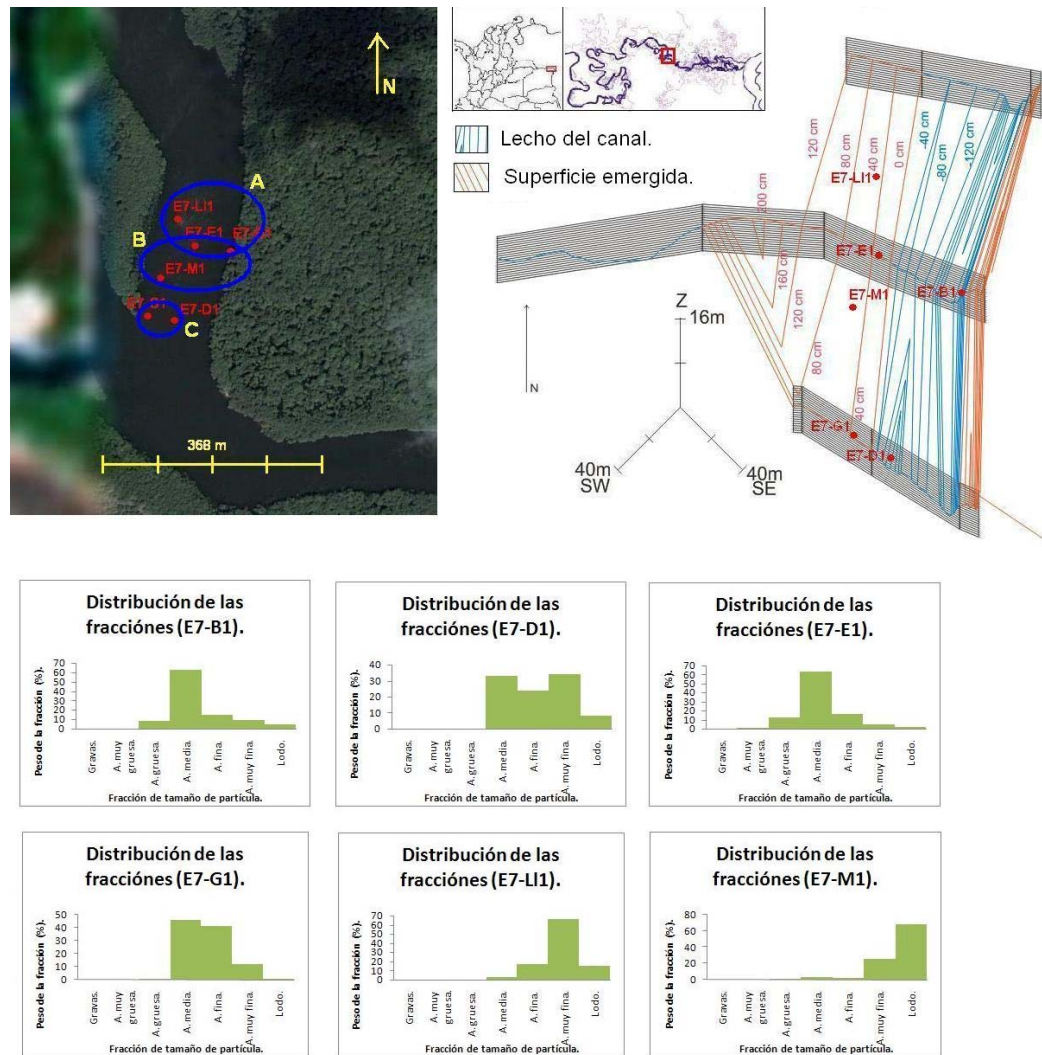
Cada elemento fluvial tiene límites sedimentológicos graduales que no son fáciles de determinar, y deben ser establecidos con mucho cuidado. Ahora se analizarán algunas localidades del valle del Río Bitá donde se observa todas estas características de los depósitos fluviales.

8.1 ANÁLISIS DE LA GRANULOMETRÍA DE LOS DEPÓSITOS EN TRES BOCAS.

En el sector de Tres Bocas tenemos tres asociaciones de la granulometría en grupos según el evento sedimentológico asociado al sitio que se desea observar, así se interpreta cual es la variación granulométrica en relación con el sitio.

La primera asociación de muestras se denomina con la letra A en la gráfica, e incluye a E7-B1, E7-E1, y E7-LI1. Esta asociación obedece a muestras con un buen calibrado, vinculadas con el canal activo de verano, que tiene una predominancia de arena muy fina en la curvatura antes de la recta, y una predominancia de arena media a medida en que se avanza por la recta del canal. Esta situación demuestra una disminución energética asociada con el desgaste de energía en la excavación de las paredes del lecho en la curva y luego un incremento de esta energía en la recta y por lo tanto escases de material más fino que pasa a ser transportado. De todas maneras existen las otras fracciones de tamaño del material en proporciones mucho más pequeñas, pero con la ausencia o escases de los tamaños de arenas muy gruesas y gravas, siendo esto indicio de la ausencia de este material.

Figura 34. Distribución de las fracciones granulométricas en el sector de Tres Bocas en el Río Bita, Vichada.

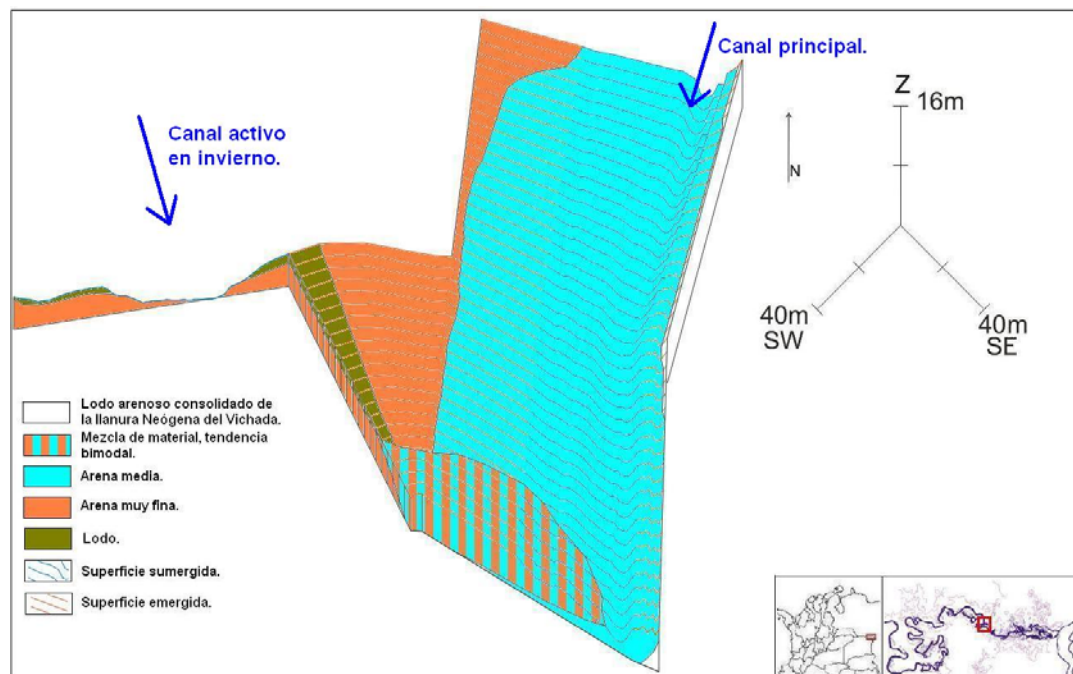


Otra asociación es la denominada como B, esta contiene a las muestras E7-B1, E7-E1, y E7-M1. Esta asociación permite observar que ocurre con los tamaños de las partículas en la medida en que nos desplazamos desde la playa hasta la otra rivera atravesando el canal del río. Así, en el canal se observa una predominancia de las arenas medias con una distribución de las otras fracciones en proporciones mucho menores y en forma simétrica, mientras que sobre los depósitos de playa en su parte más central, la predominancia es de lodo con una importante proporción de arena muy fina, así como escasa o nula presencia de las demás fracciones. Por lo anterior, la variación del tamaño de las partículas es menor en la medida en que se distancia más del eje del canal principal que siempre estará sometido a las corrientes más veloces, mientras que en el centro de los depósitos más altos, la corriente del río solo estará en

contacto con los periodos de ascenso del nivel del río y siendo así las corrientes más débiles y someras.

La tercera asociación contiene a las muestras E7-D1 y E7-G1. Estas muestras se ubican en el cruce entre dos canales del río donde un canal es de una energía mayor y así dos niveles energéticos diferentes aportan material de distinto diámetro. Las muestras tienen una proporción dominante de material entre arena muy fina, arena fina, y arena media, producto de una mezcla de sedimentos aportados por las dos corrientes. Además el calibrado no es muy bueno, debido al encuentro de corrientes que resta energía aunque se identifica claramente la tendencia bimodal de las fracciones.

Figura 35. Modelo volumétrico de los depósitos sedimentarios fluviales del Río Bitá en el sector de Tres Bocas.



La figura 35, es el modelo volumétrico de la distribución granulométrica de los sedimentos fluviales, donde se destaca la interacción entre dos subambientes, el canal principal del Río Bitá, el canal de la izquierda, que es activo solo con un nivel del río más alto y el canal principal a la derecha.

El subambiente del canal principal, tiene un predominio de arena media, mientras que el canal de la izquierda tiene un predominio de arena fina, y entre los que existe una relación de cambio lateral del material, así como una tendencia bimodal en el momento en que los dos canales se encuentran y se combinan los sedimentos.

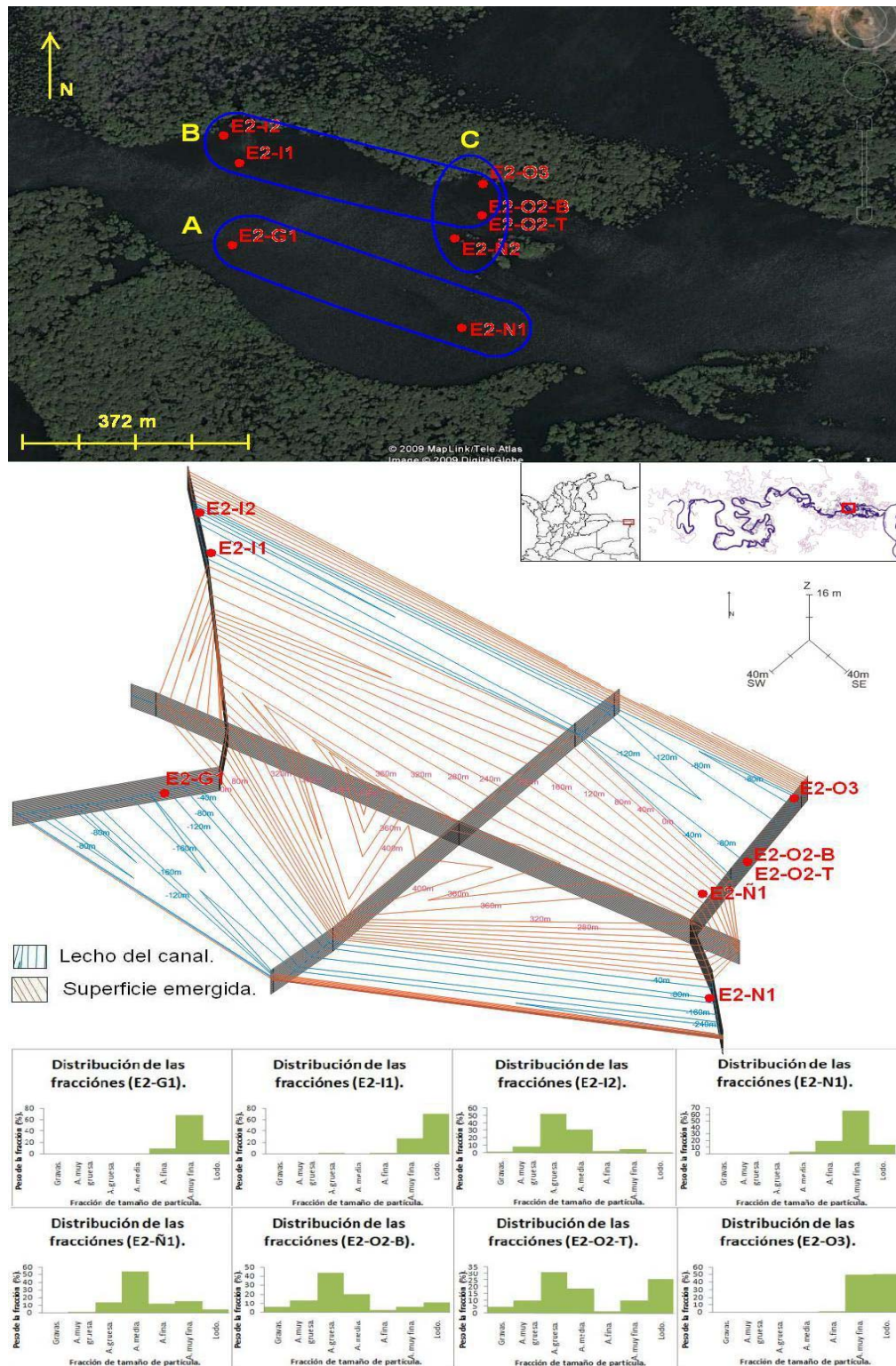
8.2 ANÁLISIS DE LA GRANULOMETRÍA DE LOS DEPÓSITOS EN UN BAJO FONDO DE TRANSICIÓN A LA DESEMBOCADURA DEL RÍO.

El Río Bitá en sus últimos kilómetros, se presenta como un sector de transición entre el ambiente fluvial meándrico y su desembocadura al Río Orinoco, donde se encuentran algunos bajos fondos que emergen en forma de islas de barras de arena con el nivel bajo del río en el verano. Aquí el canal se ensancha y el lecho del río se vuelve más somero, hasta el punto de dejar al descubierto su fondo arenoso en forma de una barra de arena rodeada por dos brazos del río. En este sector del río tenemos tres asociaciones de la granulometría según el elemento o cambios sedimentológicos que se quieren observar, así se interpreta cual es la variación granulométrica en relación con el sitio.

La primera asociación es la denominada con la letra A en la figura de distribución de fracciones granulométricas del sector. Las muestras seleccionadas son E2-G1 y la E2-N1, que describen el comportamiento granulométrico de los depósitos en el brazo sur del río. Aquí, la fracción dominante es la de arena muy fina a lo largo de todo el trayecto del sector, y con unas fracciones algo representativas de arena fina y de lodo, siendo las demás fracciones nulas o despreciables, indicando un nivel energético bajo y sin alguna variación energética notable en este trayecto.

La segunda asociación denominada B, incluye inicialmente las muestras E2-I1, y E2-I2 mostrando una complementación al observarse una tendencia bimodal, donde en una predomina la fracción arena gruesa y una incipiente aparición de arena muy fina mientras que en la otra un dominio de la fracción lodo y una incipiente aparición de arena gruesa. Estas dos muestras señalan el comienzo de una mezcla de material que no es muy clara. Luego las muestras E2-O2-B, y la E2-O2-T muestran el desarrollo de esa mezcla de material, con un dominio de arena gruesa y otro dominio de lodo, siendo la arena gruesa producto del material que viene transportado por la corriente del río, y el material fino el producto de la erosión de las paredes arcillosas del valle. Como prueba de la intensa erosión en el sector de las paredes del valle, la muestra E2-O3 se encuentra conformada por casi exclusivamente arena muy fina y lodo.

Figura 36. Distribución de las fracciones granulométricas en el sector del Bajo del lecho del Río Bitá, previo a la desembocadura.



La tercera asociación es llamada C, donde las muestras E2-Ñ1, E2-O2-B, E2-O2-T, y la E2-O3, permiten ver cómo cambia la granulometría de los depósitos partiendo del centro de la barra de arena, atravesando luego el brazo norte del río, y por último llegando a los depósitos de la rivera erosiva. Así, en la barra o lecho emergido del río, el dominio es de arena media con presencia significativa de casi todas las demás fracciones menos la fracción grava, y un incipiente desarrollo bimodal de la fracción arena muy fina. En el canal activo, el dominio es de arena gruesa con presencia significativa de todas las demás fracciones granulométricas hasta el tamaño grava, y un comportamiento bimodal mas desarrollado, donde el otro dominio es a la fracción lodo. Ya en la rivera erosiva, el dominio es muy parejo entre arena muy fina y lodo, con un muy buen calibrado, escaseando o siendo nulas las demás fracciones. Así, en el centro del canal del río, se logra transportar por el lecho, arena media y gruesa que queda atrapada con la somerización, y que comienza a mezclarse con material fino, en los canales más profundos, mezcla con arena fina y lodo proveniente de la erosión de las paredes del valle, donde los depósitos rivereños son material derribado de estas paredes.

En el modelo volumétrico de la distribución granulométrica de los depósitos fluviales, se destaca un ordenamiento de los dominios de los granos en sentido longitudinal con la corriente, donde en la rivera sur tenemos los dominios de los tamaños más finos, y hacia el norte se va aumentando el tamaño en los dominios sedimentológicos hasta lograr el de arenas gruesas, y donde existen gravas que no son dominantes pero que indican una posible fuente próxima ya que no se encontraron este tipo de materiales en otros lugares río arriba.

Esta forma de la curvatura del canal y la distribución de las corrientes, permite observar una selección de todas las fracciones de tamaño de grano que se mueven con la corriente del Río Bita, siendo ordenados de forma secuencial los materiales, donde las gravas y las arenas gruesas obedecen al material transportado por tracción en los canales más profundos del río, razón por la cual solo en este lugar y bajo estas condiciones es posible verlo cerca a la superficie. Otras fracciones son las arenas media y arenas finas, que viajan por saltación en los fondos profundos, y por suspensión en las corrientes turbulentas. Los lodos por otro lado viajan por flotación y disolución en el agua, en las corrientes moderadas de la superficie.

Precisamente en las fracciones más gruesas se destaca una mezcla in situ de material, teniendo así una tendencia bimodal de arenas gruesas y de lodos, producto de la energía de la corriente que se ve disminuida gracias a la fricción del lecho bajo, depositando el material grueso, pero también desgastando las paredes del valle de lodo arenoso.

La acumulación de estos depósitos emergentes, al parecer es causa de unos materiales que quedaron atrapados por la drástica disminución de la corriente, ocasionando un obstáculo mayor para otras partículas atrapadas posteriormente, y esto puede explicar la geometría prismática del lecho emergente, producto al parecer del equilibrio entre la resistencia del material a

ser transportado, y la fuerza de la corriente. En última instancia, la corriente choca y logra dispersar el material, poniéndolo en circulación por los flancos y produciendo una forma puntiaguda.

Figura 37. Variación transversal de la granulometría del canal del río. Se observa una ribera de baja energía con depósitos de lodo y escasez de estructuras sedimentarias (a), luego en el centro aparecen otros tamaños más gruesos y un incremento fuerte de la energía de la corriente lo mismo que laminación y superficies erosivas (b), y por último se alcanza tamaños tipo grava en la ribera erosiva (c).

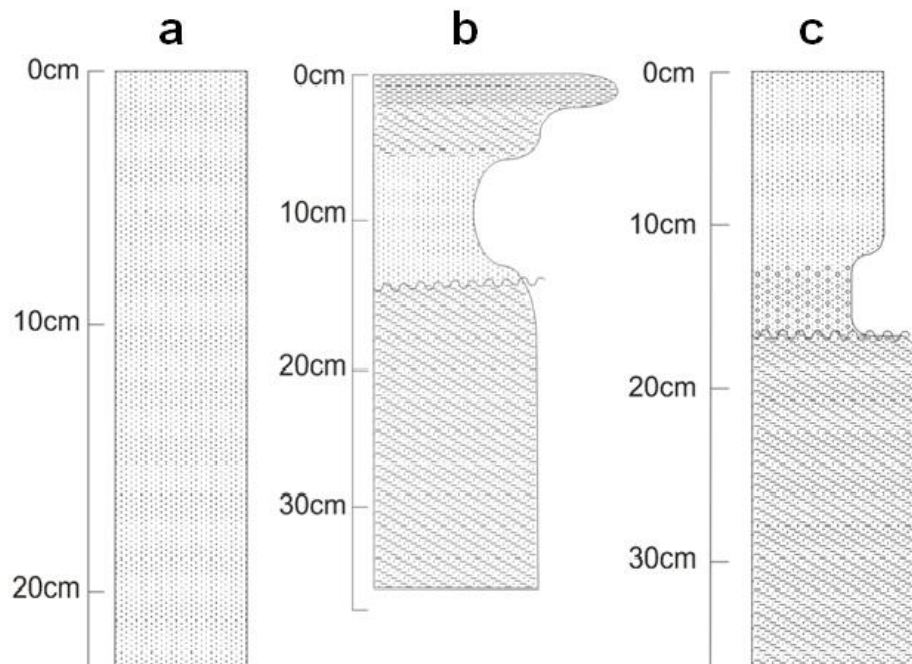
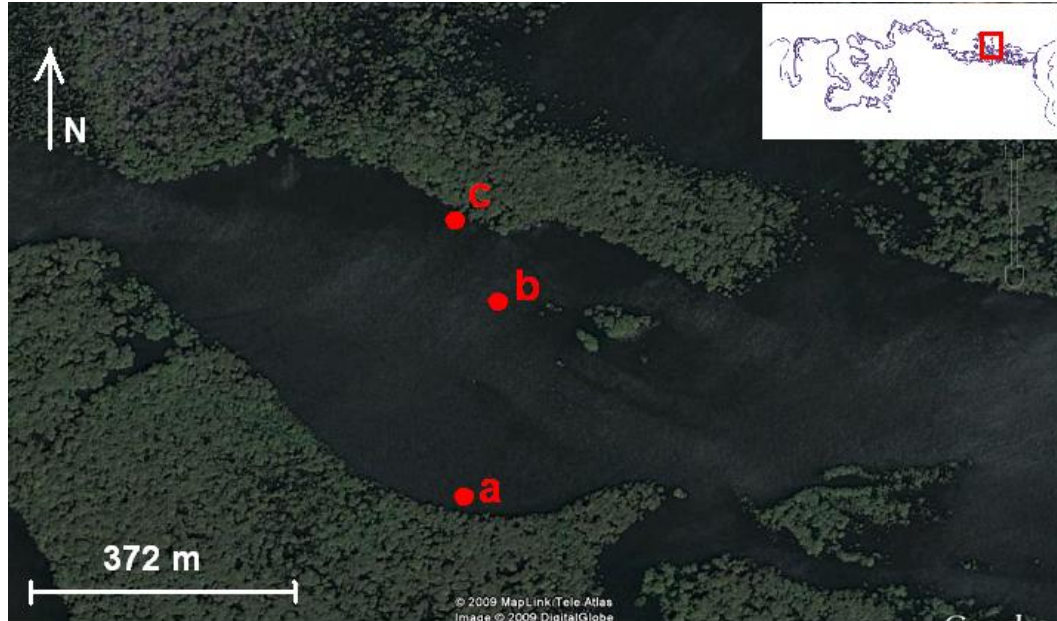
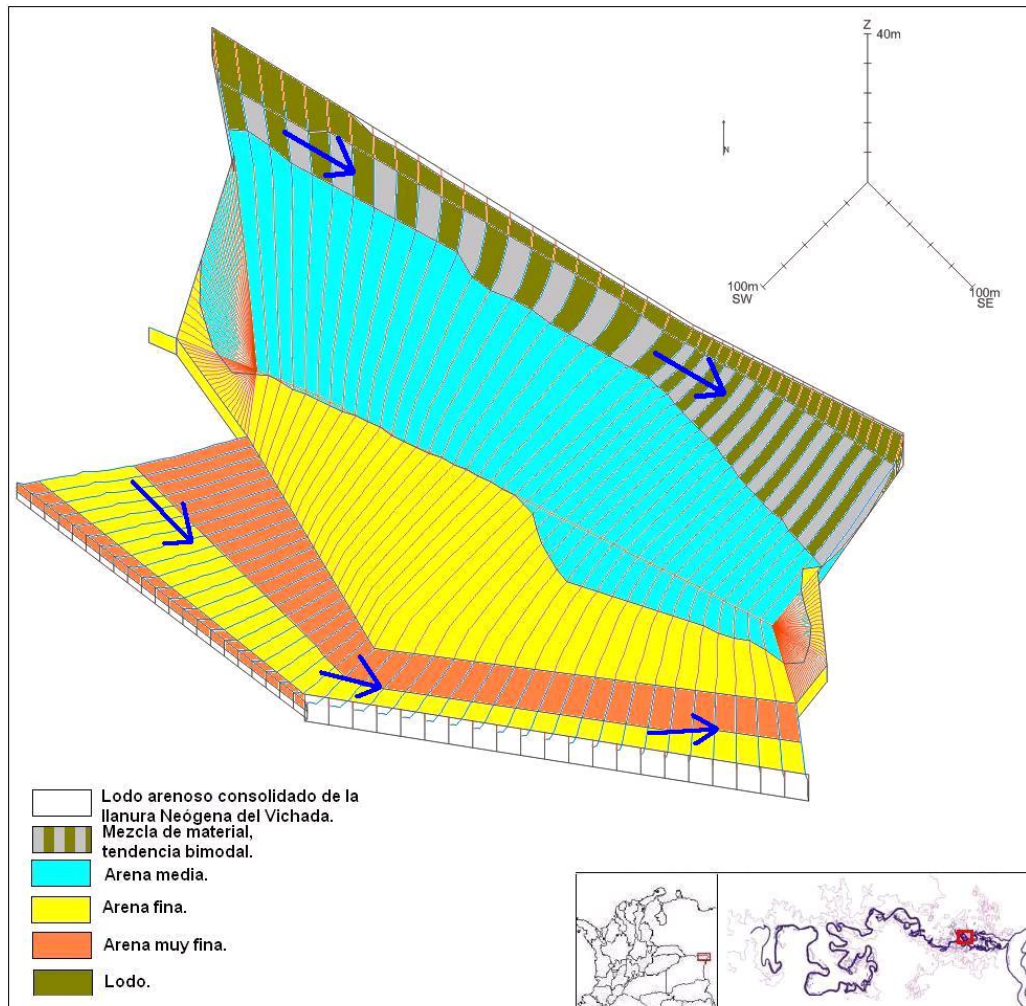


Figura 38. Modelo volumétrico de los depósitos fluviales en el sector de los bajos fondos, cerca a la desembocadura del Río Bitá.



8.3 TEXTURA DE LAS PARTÍCULAS SEDIMENTARIAS.

Para determinar la textura de las partículas de los depósitos del Río Bitá, tres características observadas son tenidas en cuenta, el nivel de esfericidad, la angulosidad de las esquinas, y las marcas superficiales de cada partícula. Información como tiempo de viaje de una partícula y estilo de transporte, son procesos que quedan asociados a estos rasgos, pero hay que tener en cuenta que mucho de este proceso es heredado de otras rocas y no son exclusivamente el producto del proceso de transporte por el río.

Figura 39. Distribución de las formas de las partículas sedimentarias a lo largo de los depósitos del Río Bita.

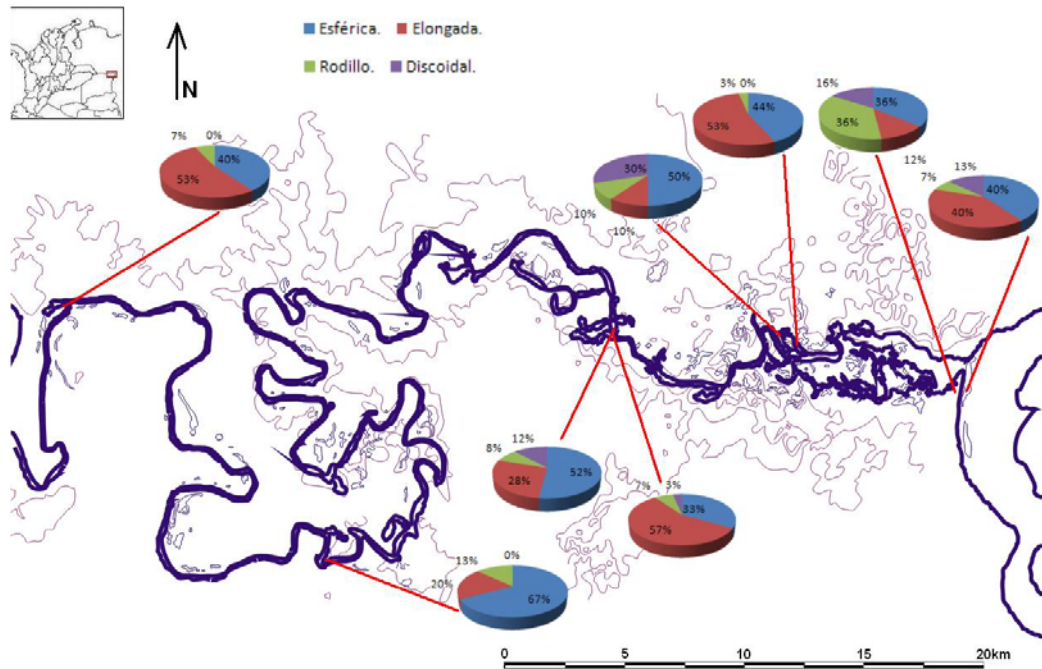


Figura 40. Distribución de la angulosidad en las partículas de los depósitos del Río Bita. MA=muy angular, A=Angular, SA=sub angular, SR=sub redondeado, R=redondeado, MR=muy redondeado.

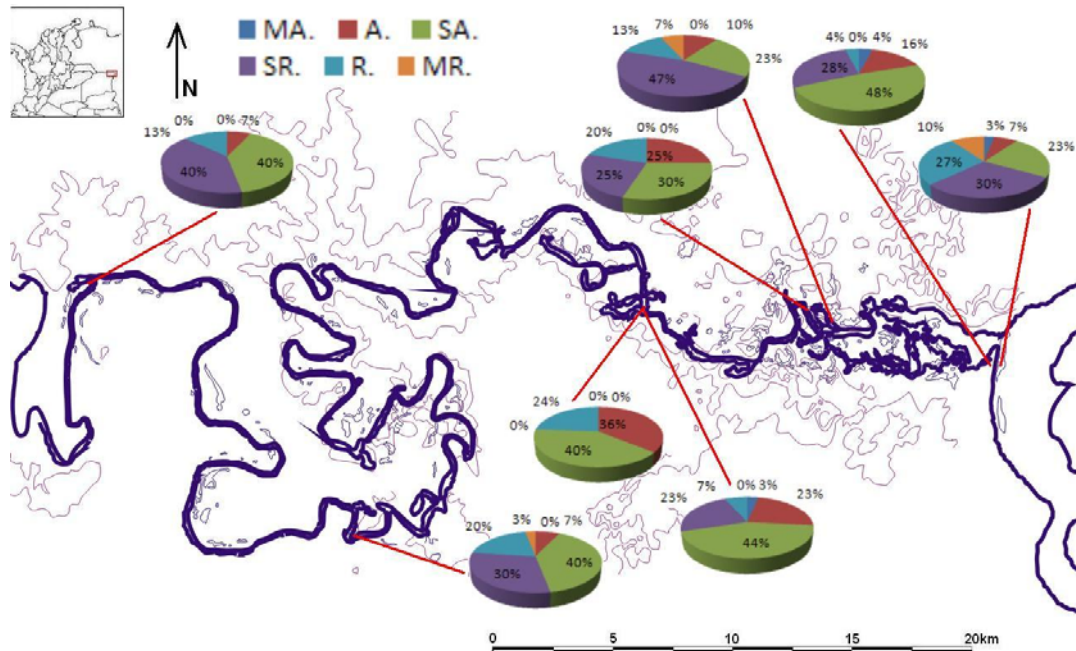
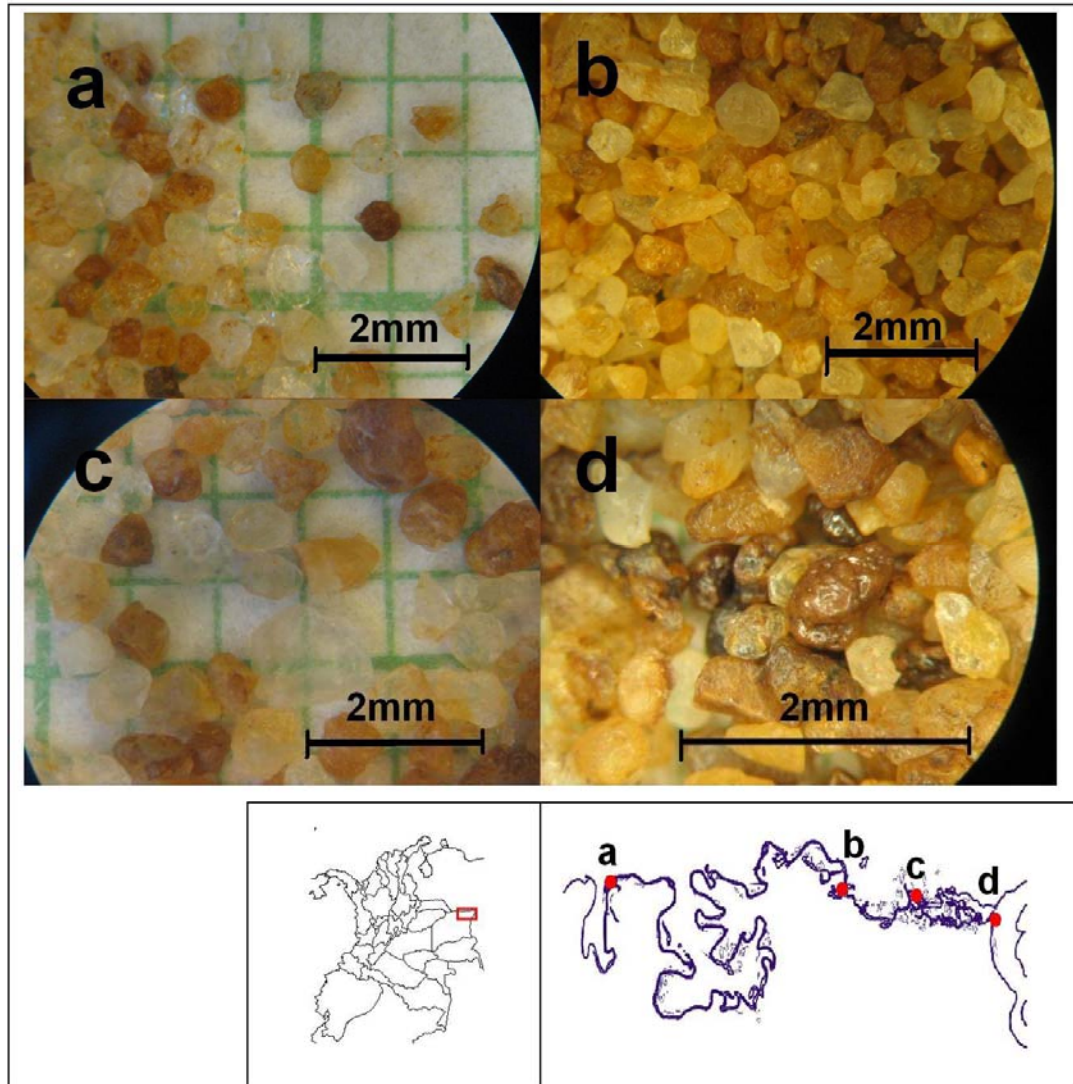


Figura 41. Fotografía de las partículas de arena a través de lupa de luz reflejada. Aquí se puede observar la textura de las partículas que conforman los depósitos del Río Bitá a lo largo de su trayectoria. a) En la parte más alta del río dentro de la zona de estudio, b) en la parte intermedia del río, c) en la parte cercana a la desembocadura, y d) en la desembocadura del río.



9. CONCLUSIONES

Trabajos como este en ambientes sedimentarios actuales, tiene la ventaja de mostrar las secuencias sedimentológicas en su variación areal y en profundidad, ayudando a entender los mecanismos de transporte y deposición, lo cual es muy útil ya que contrasta con muchas secuencias truncadas por los procesos erosivos y tectónicos en las formaciones antiguas.

En el gradiente del perfil longitudinal del valle del Río Bitá, muestra como un incremento a 0,5 m por kilómetro en el sector denominado Bitá intermedio en lugar de disminuir, está indicando que el perfil longitudinal del río es no gradado, producto de una diferencia de nivel entre el valle del Río Bitá y el del Río Orinoco, y resultando en un sector donde se incrementa este gradiente y que tiende a ir cada vez más río arriba acomodando todo el valle con respecto al nivel de erosión local de su desembocadura.

El río Bitá en su parte estudiada, cerca a su desembocadura es el ejemplo de un río de cuenca cratónica en donde se está rejuveneciendo parte del antiguo valle peneplanizado. Por esto se presentan los depósitos de barras dentro de la corriente, y lateral a esta se presentan depósitos de desborde propios de la temporada de lluvias, pero manteniendo siempre un alto contenido arenoso en todas las fracciones de sedimentos analizados.

En los depósitos de arenas del Río Bitá se puede observar al agente de transporte eólico actuando de manera importante, modelando y borrando estructuras sedimentarias inicialmente depositadas por el río, esto gracias a la fuerza con que el viento viaja por la superficie, para poder modelar los depósitos, lo que es posible en los llanos colombianos al no existir cadenas montañosas importantes, o vegetación alta que le resista.

Las fuentes del material identificado en los depósitos fluviales del Río Bitá, según su ubicación, son los materiales proximales de las llanuras del Vichada con bajo aporte de material lodoso y de arena muy fina, así como los materiales provenientes de las fuentes ribereñas de la parte alta río arriba, con un aporte importante de arena media y gruesa, y de fragmentos de mineral de hierro de las partes altas cubiertas de costras de óxidos de hierro, lo que da el color rojizo a los depósitos de arenas cuarzosas.

Durante la temporada seca, al quedar expuestas las barras normalmente sumergidas, las estructuras sedimentarias mejor definidas en los depósitos con los mayores tamaños de partícula, son las megadunas sigmoidales de los depósitos de point bar y los depósitos del lecho emergente en el río en su nivel bajo, con expresiones de megadunas e intercalaciones de arena y delgadas capas de lodo, así como los depósitos con estratificación cruzada en artesa y superficies erosivas horizontales señalando el comienzo de un nuevo ciclo depositacional principalmente en la desembocadura del río, donde ocurre una mezcla con arenas gruesas y gravas aportadas por el Río Orinoco.

En el estudio de las estructuras se pudo observar, una relación entre la longitud del eje de las megadunas y sus ángulos de barlovento y de sotavento, así como una relación de estos con la energía de la corriente, donde una corriente muy veloz refleja un eje más elongado y ángulos más suaves, mientras que una disminución de la energía de la corriente va acompañada de ejes más cortos y ángulos más pendientes.

Los ejes de las megadunas observadas en el estudio de las estructuras, oscilan entre los 70m y los 118m de longitud para el caso de las riberas rectas, y entre los 13m y los 43m de longitud para el caso de las riberas curvas.

En los depósitos sedimentarios del Río Bitá, están presentes las fracciones de arena muy gruesa y de gravas en casi toda su trayectoria, pero en porcentajes inferiores al 5%, situación que se debe a la escasez de este tipo de material dentro de la cuenca del río y al transporte de este tipo de partículas por tracción y saltación en las partes más profundas del canal principal, estando siempre emergidas. Esto queda confirmado al observarse el lecho emergente en un bajo del canal durante la temporada de verano, donde hay un dominio de las arenas gruesas y de gravas, lo que en otras circunstancias no es visible.

En este ambiente fluvial, un escenario de una bifurcación del canal del río en dos brazos alrededor de un depósito emergente de barra longitudinal, en la temporada de verano, es el resultado de cómo se distribuyen las corrientes y de una somerización del lecho asociado al ensanchamiento del valle, lo que se expresa en una selección de todas las fracciones granulométricas por una disminución repentina de la energía.

Texturalmente, las arenas de los depósitos del Río Bitá tienen una variada forma a lo largo de su trayecto, aunque las formas esférica y elongada están siempre en una proporción importante (estas suman entre el 48% y el 97%). En lo que se refiere a la angulosidad de los granos, siempre existe un porcentaje alto de subangulares (mínimo un 23%), mientras que los otros niveles de angulosidad abundan de forma variada a lo largo del trayecto del río. Lo anterior para las fracciones más gruesas (arena media, gruesa, muy gruesa y gravas).

Es importante anotar que en el Río Bitá los niveles de la lámina de agua oscila entre 8 y 10 m con la época de lluvias, lo que deja su huella en la vegetación al verse en el verano plantas parásitas que se adhieren a los troncos de los árboles solo cuando estos están sumergidos. El estudio se realizó predominantemente en época seca.

BIBLIOGRAFÍA

BOGGS Sam. Principles of sedimentology and stratigraphy. Prentice Hall. 2.001.

CELADA Carlos M., GARZÓN Miguel, GÓMEZ Ernesto, KHURAMA Sait, LOPEZ Julián A., MORA Myriam, NAVAS Orlando, PÉREZ Rosalbina, VARGAS Orlando, y WESTERHOF A. B. Phil. Potencial de recursos minerales en el oriente colombiano: Compilación y análisis de la información geológica disponible. INGEOMINAS. 2.006.

CRUZ Luis Enrique, ALVAREZ Marco Idelfonso, y CABALLERO Victor Manuel. Petrología sedimentaria. Universidad Industrial de Santander, 2.004.

EASTERBROOK Don J. Surface processes and landforms. Prentice Hall, 1.999.

FRIEDMAN Gerald M, y JOHNSON Kenneth G. Exercises in sedimentology. Jhon Wiley and Sons, 1.982.

GOOGLE EARTH, 2.009.

INGEOMINAS. Atlas Colombiano de información geográfico-minera para inversión. 1.999.

JOHNSON Mark J., STALLARD Robert F. y LUNDBERG Neil. Controls on the composition of fluvial sands from a tropical weathering environment: Sands of the Orinoco River drainage basin, Venezuela and Colombia. Geological Society of America. 1.991.

MIALL Andrew D. How do we identify big rivers? And how big is big? Sedimentary Geology. 2.006.

ROMERO María Eugenia. Ensayos orinoquenses. Biblioteca Luis Angel Arango. 1.998.

SCHUMM Stanley A. The fluvial system. Department of Earth Resources Colorado State University. 1.977.

SCHUMM S. A. The variability of large alluvial rivers. American Society of Civil Engineers. 1.994.

TOUSSAINT Jean François. Evolución geológica de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 1.993-1.999.