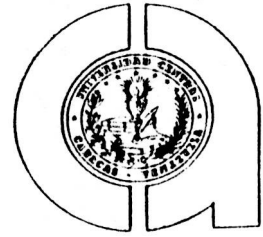




UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DPTO. DE INGENIERIA HIDROMETEOROLOGICA  
COMISION PROYECTO AMAZONAS



PROCESOS FLUVIALES EN LAS CUENCAS DE  
LOS RIOS SIAPA Y MAVACA  
AMAZONIA DE VENEZUELA

DAVID PEREZ HERNANDEZ

Caracas, Noviembre de 1993

" TRAEDNOS LAS AGUAS DE TRES O CUATRO GRANDES RIOS DE ESTAS TIERRAS AL BEBERLAS OS DIRE SIN EQUIVOCARME, DONDE HAN SIDO TOMADAS ESAS AGUAS; SI SON DE UN RIO BLANCO O DE UN RIO NEGRO , DEL ORINOCO O DEL ATABAPO, DEL PARAGUA O DEL GUAVIARE..."

Respuesta de un aborígen de la misión de Yavita, al inquirir Humboldt respecto al origen de las aguas ne gras de la Guayana Venezolana.

## P R E S E N T A C I O N

El Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, a través de la Comisión Proyecto Amazonas, atendiendo a los acuerdos que exhortan a las universidades nacionales a desarrollar programas de investigación y extensión en el Estado Amazonas, que se orienten a generar información y a formular propuestas que tiendan a estimular el desarrollo de la región, ha realizado la publicación del presente trabajo con la intención de contribuir a mejorar el conocimiento de los ríos de la Amazonia venezolana, en especial del Alto Orinoco.

Esta labor forma parte de un proyecto de mayor alcance que adelanta actualmente la Universidad Central de Venezuela en cooperación con la Gobernación del Estado Amazonas, del cual se esperan mayores y más exitosos logros.

## INDICE GENERAL

### PROCESOS FLUVIALES EN LAS CUENCAS DE LOS RIOS SIAPA Y MAVACA. AMAZONIA DE VENEZUELA

	PAG
1. INTRODUCCION .....	1
2. FISIOGRAFIA DE LA CUENCA DEL SIAPA.....	2
3. FISIOGRAFIA DE LA CUENCA DEL MAVACA.....	9
3.1 LA PLANICIE FLUVIAL DEL RIO MAVACA.....	12
3.2 MATERIA ORGANICA, DECAIMIENTO DEL FOLLAJE Y COLONIZACION POR LA VEGETACION DE LOS SUELOS EN LA PLANICIE FLUVIAL.....	15
3.3 ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS Y MEANDROS EN EL RIO MAVACA.....	17
4. SECCIONES BATIMETRICAS : RIOS SIAPA Y MAVACA....	22
5. CLIMATOLOGIA E HIDROLOGIA. GENERALIDADES.....	28
6. FLUVIOMETRIA.....	30
7. CURVAS DE CAUDALES. RIO MAVACA-BOCA DE MAVACA...	31
8. VARIABILIDAD DEL FLUJO Y EFECTOS ASOCIADOS.....	31
9. SUELOS EN LA PLANICIE FLUVIAL.....	37
10. GEOMETRIA HIDRAULICA.....	38
11. TRANSPORTE SOLIDO. RIO MAVACA-BOCA DE MAVACA....	42
12. MEDICIONES FLUVIALES DURANTE LA EXPEDICION DE FEBRERO DE 1989. RIOS SIAPA Y MAVACA.....	45
13. MATERIALES EN LOS LECHOS.....	50
14. CONCLUSIONES.....	57
15. BIBLIOGRAFIA.....	61

INDICE DE GRAFICOS, MAPAS, DIAGRAMAS Y TABLAS

<u>GRAFICOS</u>		PAG
Nº 1.	SECCION TRANSVERSAL A TRAVES DE LA SIERRA DE TAPIRAPECO-PENEPLANICIE DEL ALTO ORINOCO.....	9
Nº 2.	SECCIONES TRANSVERSALES DEL RIO SIAPA (OBTENIDAS POR ECOSONDEO).....	23
Nº 3a-3b.	SECCIONES BATIMETRICAS LONGITUDINALES DEL RIO MAVACA EN SU CONFLUENCIA CON EL MAVAQUITA Y DEL ALTO SIAPA (64 40 W).....	24
Nº 4.	SECCIONES TRANSVERSALES DEL RIO MAVACA (OBTENIDAS POR ECOSONDEO).....	26
Nº 5a-5b.	SECCIONES TRANSVERSALES DEL RIO ORINOCO Y DEL MAVACA EN SU CONFLUENCIA.....	27
Nº 6.	SECCION TRANSVERSAL DEL RIO MAVACA. CAMPAMENTO MRAKAPIWEI.....	30
Nº 7a.	CURVA DE CAUDALES RIO MAVACA (ESCALA NORMAL-LOG).....	32
Nº 7	CAMPO DE VELOCIDADES Y DISTRIBUCION DE CAUDALES EN LA SECCION BOCA DE MAVACA $Q=420$ M <sup>3</sup> /S; 22/07/1971.....	33
Nº 8.	CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDALES DIARIOS RIO MAVACA EN BOCA DE MAVACA.....	34
Nº 9.	ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL EDAFICO. PLANICIE FLUVIAL BOCA DE MAVACA.....	37
Nº 10.	RELACIONES HIDRAULICO-GEOMETRICAS. SECCION DEL RIO MAVACA-BOCA DE MAVACA.....	39
Nº 11.	RELACION AREA-CAUDAL EN LA SECCION DEL RIO MAVACA EN BOCA DE MAVACA.....	41
Nº 12.	CURVA DE SEDIMENTACION DEL RIO MAVACA EN BOCA DE MAVACA.....	44
Nº 13.	DISTRIBUCION DE CAUDALES SOLIDOS-LIQUIDOS. RIO SIAPA EN EL TRAMO EXPLORADO. FEB. 1989.....	46
Nº 14.	DISTRIBUCION DE CAUDALES SOLIDOS-LIQUIDOS DEL TRAMO EXPLORADO RIO MAVACA. FEB. DE 1989.....	49
Nº 15.	PROPIEDADES GRANULOMETRICAS DEL MATERIAL DEL LECHO EN EL RIO SIAPA.....	51

Nº 16.	MATERIAL DEL LECHO EN EL RAUDAL DE CHUCUMIPORA. ALTO SIAPA.....	52
Nº 17.	PROPIEDADES GRANULOMETRICAS DEL MATERIAL DEL LECHO EN EL RIO MAVACA.....	53
Nº 18.	HISTOGRAMAS Y CURVAS GRANULOMETRICAS DEL MATERIAL DEL LECHO ALTO ORINOCO Y MAVACA EN SU CONFLUENCIA.....	55

MAPAS Y DIAGRAMAS

PAG

-	MAPA DE UBICACION GENERAL DE LAS CUENCAS DEL SIAPA Y MAVACA EN VENEZUELA Y SUR AMERICA.....	3
Nº 1.	CUENCA HIDROLOGICA DEL RIO SIAPA.....	4
Nº 2.	CUENCA HIDROLOGICA DEL RIO MAVACA Y PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE.....	10
-	PATRON DE FRACTURAMIENTO DEL BASAMENTO. CONFLUENCIA DE LOS RIOS MAVACA-ORINOCO (DIAGRAMA ESQUEMATICO).....	20
A.	IMAGEN DE RADAR DEL SECTOR CUENCA DE MAVACA-ALTO ORINOCO.....	21

TABLAS

PAG

Nº 1.	ANALISIS DEL SUELO EN LA PLANICIE FLUVIAL DEL RIO MAVACA.....	37
Nº 2.	RELACIONES HIDRAULICO-GEOMETRICAS EN LA SECCION FLUVIAL DEL RIO MAVACA-BOCA DE MAVACA. (1970-1977)....	40
Nº 3.	RESUMEN DE LAS MEDICIONES HIDROLOGICAS Y SEDIMEN- TOLOGICAS EN LOS RIOS MAVACA Y ORINOCO.....	42
Nº 4.	RESUMEN DE LAS MEDICIONES FLUVIALES EN LOS RIOS SIAPA, MAVACA Y ALGUNOS DE SUS TRIBUTARIOS. (FEB 89)..	48
Nº 5.	CONDUCTIVIDAD Y ACIDEZ DE LAS AGUAS EN LOS RIOS SIAPA, MAVACA, ORINOCO Y ALGUNOS DE SUS TRIBUTARIOS (FEB 89).....	48

## DEFINICION DE TERMINOS Y CONCEPTOS

Los terminos literales y conceptos poco comunes que han sido utilizados en este estudio, se interpretan en la forma siguiente:

- A - Area de la sección recta mojada de un canal ( $L^2$ )
- b - Ancho promedio de la sección recta mojada del canal (L)
- d - profundidad promedio de una seccion fluvial (L)
- $d_{84}$ ,  $d_{16}$  - representan los diámetros correspondientes a los % en peso más finos, señalados en el sub-índice (L)
- $K_1, K_2, K_3$  - parametros que vinculan variables geométricas e hidráulicas en una seccion fluvial.
- L - Extensión longitudinal del valle a traves de la planicie fluvial (L).
- $L_i$  - Longitud del tramo lineal del canal principal con un orden i (L)
- P - Sinuosidad, el grado de curvatura de un canal (Adim.)
- Q - Caudal líquido en una sección fluvial. ( $L^3T^{-1}$ )
- $Q_s$  - Caudal sólido ó el transporte de sedimentos en una sección fluvial. ( $MLT^{-3}$ )
- s,  $\beta$ , r - Exponentes que definen las pendientes de rectas a escala logarítmica.
- $\sigma$  - (Desviación típica), una medida del grado de dispersión estadística entre variables.
- AGUAS NEGRAS - calificativo (no técnico), dado a las aguas con elevada turbiedad de algunos ríos del Escudo Brasileiro-Guayanés. Esta propiedad se atribuye a la presencia de materia orgánica compleja disuelta, aún no identificada.
- ACUIFERO - Medio poroso ó sistema fracturado capaz de almacenar y suministrar eficazmente agua.
- DIACLASAS - Fracturas de las rocas con limitado desplazamiento entre los bloques.
- ECOSONOGRAMA - Gráfico a escala que resulta del perfilaje del lecho fluvial mediante una ecosonda.
- GRANULOMETRIA - Distribución estadística del tamaño de las partículas que forman un material sedimentario.

PENEPLANACION -Estado tardío del proceso de erosión geológica en que se reduce significativamente el relieve a una condición de nivel de base regional, preservandose remanentes erosivos aislados más elevados. La superficie resultante se conoce como PENEPLANO.

SEDIMENTO - Material particulado formado por la alteración y/o la disgregación de los suelos y rocas. Cuando se acumula, transporta y deposita en agua, se habla del sedimento fluvial.

YANOMAMIS - Etnia primigenia asentada en el Territorio Brasileiro de Roraima y la cuenca del Alto Orinoco de Venezuela.

PROCESOS FLUVIALES EN LAS CUENCAS DE LOS RIOS SIAPA Y MAVACA.  
AMAZONIA DE VENEZUELA

1. INTRODUCCION

Durante los años 1983-1989 la Fundación para el Desarrollo de las Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (FUDECI), patrocinó y llevó a cabo dos expediciones a las remotas cuencas hidrológicas y sistemas montañosos más meridionales del Estado Amazonas de Venezuela, como parte de un ambicioso programa iniciado con la del Cerro La Neblina (1983-1985), y las cuales fueron dedicadas a la exploración científica multidisciplinaria de los últimos ambientes prístinos y poco conocidos del País.

La Junta Directiva de dicha Fundación, integrada por por los Drs: Francisco Carrillo Batalla, Victor Sardi Socorro, Arturo L. Berti, Khaty Phelps, Alberto Olivares, Luis Manuel Carbonell, Eugenio De Bellard Pietri y Francisco K. Vegas, tuvieron la gentileza de invitar a técnicos de la Dirección General de Investigaciones e Información del Ambiente del MARNR a participar en dicho evento, recayendo tal misión en los profesionales Alicia Moreau y David Pérez Hernández, quienes se integraron al grupo de trabajo, siendo éste el que ha tenido mayor participación de investigadores nacionales y del extranjero en misiones de este tipo en Venezuela.

Dentro de las actividades hidrometeorológicas se procedió a instalar una estación provisional para monitoreo ambiental en el Campamento Base de Mrakapiwei y a través de recorridos fluviales de los Ríos Siapa, Mavaca y hasta el Alto Orinoco (Platanal), se obtuvo información de: la geometría de las secciones y tramos de los canales mediante sondeos batimétricos, se practicaron mediciones de caudales líquidos y sólidos, muestreos de los sedimentos suspendidos y del lecho además mediciones de termicidad, conductividad eléctrica y acidez de las aguas en estos ríos, como en varios de sus tributarios.

Dado que el reconocimiento de campo coincidió con el lapso de menor pluviosidad, debe admitirse que los resultados obtenidos reflejen condiciones muy específicas del régimen hidrológico, aunque en el caso del Río Mavaca, se incorporó información recabada en el pasado por la Dirección de Hidrología y Meteorología, estableciéndose vinculaciones entre el comportamiento hidrológico de la cuenca, con el medio Físico-Geológico del Escudo Guayanés, resultando interesante la interpretación de imágenes aéreas y de radar, en combinación a las observaciones de campo, logrando de esta manera, la identificación de redes preactuales de drenaje muy activas, además de permitir describir patrones de meandros y sinuosidad de los canales, así como definir las características y evolución de algunas planicies fluviales.



## 2. FISIOGRAFIA DE LA CUENCA DEL RIO SIAPA

En el extremo más meridional de Venezuela, bordeando el Estado Amazonas en el Departamento de Río Negro, se encuentra localizada la cuenca hidrológica del Río Siapa.

Está comprendida entre las coordenadas  $64^{\circ}-66^{\circ} 05' W$  y los  $0^{\circ} 66'- 2^{\circ}N$ , se desprende de la Serranía de Curupira donde se le conoce como el Río Matapirire. El Río Siapa presenta en sus nacientes una orientación del drenaje hacia el Oeste, y gira al norte aproximadamente a los  $64^{\circ} 40'$  para penetrar en la Serranía de Aracamuni, donde después de salvar numerosos accidentes topográficos-estructurales que producen rápidos, saltos de agua y bruscos cambios locales de alineamientos, se une al Río Manipitare, el cual drena la vertiente occidental de la serranía de Aratitiope (\*) y confluye al Brazo Casiquiare. Este derivando del Río Orinoco aporta al Río Negro, a través de una extensa y amplia penillanura caracterizada por la presencia de aislados remanentes de rocas cristalinas, entre las cuales serpentean sinuosos canales, enlazando hidrográficamente al sistema de drenaje superficial más caudaloso y extenso del mundo, formado por el del Río Amazonas y Río Orinoco, con una superficie de drenaje de 7.2 millones de Km<sup>2</sup>.

Al estar la cuenca bordeada por grandes sistemas de cordilleras subparalelas y permanecer sus tierras elevadas con respecto a las planicies más bajas del Escudo Guayanés, ha llevado a considerársele como una meseta a manera de una antigua superficie erosional que conserva en el presente, remanentes de rocas superpuestas al basamento con grandes unidades parcialmente removidas por acción de la erosión geológica.

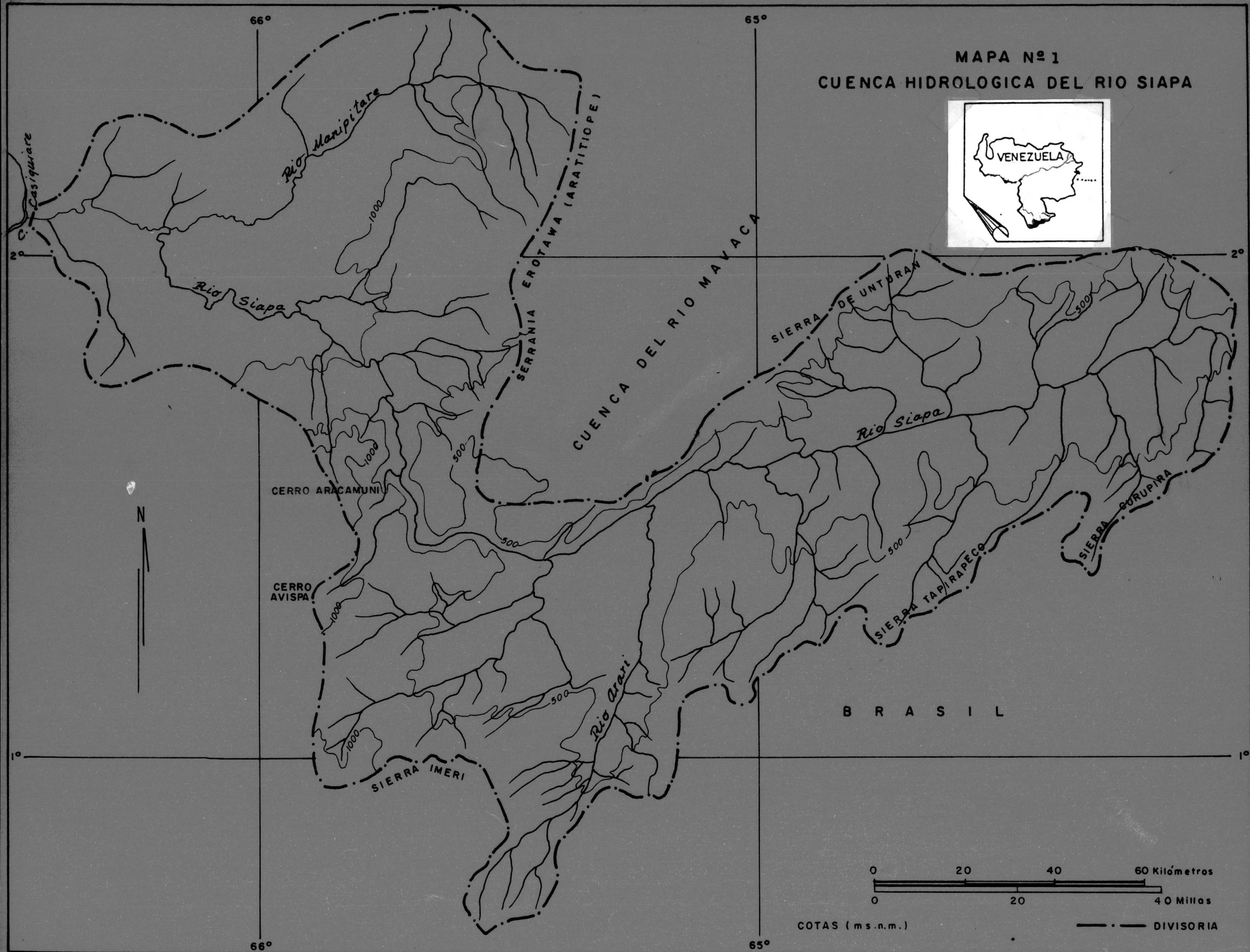
La cuenca es de forma irregular, asimétrica y alargada (Mapa N<sup>o</sup> 1) con una relación promedio largo/ancho de 4,6/1 en la cuenca alta y abarca una superficie de 20.000 Km<sup>2</sup> aproximadamente, hasta su confluencia con el Río Manipitare.

Está circundada en la parte alta y media, por dos grandes sistemas orográficos, al norte la de Unturán y al sur las de Imeri-Tapirapécó y Curupira. La superficie drenada hasta el tramo inferior, objeto del reconocimiento fué de 10.000 km<sup>2</sup>.

Estas serranías no presentan una definida continuidad topográfico-estructural, existiendo grandes bloques aislados como el de Aratitiope, Tepui Aracamuni, Avispa, Tapirapécó, etc. separados entre sí, por extensas zonas denudadas del basamento igneo-metamórfico, el cual ha sido transformado a una condición de peneplanación, dominando el paisaje colinar

(\*) Lenguaje Yanomami : nido de Guacamayas.

MAPA Nº 1  
CUENCA HIDROLOGICA DEL RIO SIAPA



sobre el cual se han impuesto sistemas de drenaje, cuyos canales y orientación de las redes, están influenciados por prominentes lineamientos tectónicos y enormes fracturas del basamento.

Las rocas de cobertura del basamento que conforman las serranías, presentan un conjunto de fracturas y diaclasamiento pseudo-rómbico, que ofrecen orientaciones predominantes en las direcciones N-25°-W y N-60°-E y ello ha contribuido a definir distintos grados de erosión en el relieve, al actuar la meteorización sobre las rocas. La orientación de las Sierras de Tapirapécó, parece asociarse al efecto dominante de la última lineación, lo que posiblemente refleje efectos tectónicos sobre las estructuras geológicas y la acción de la erosión fluvial, actuando conjuntamente para determinar el desarrollo de los valles y las redes de drenaje.

La configuración geomorfológica del relieve en ésta región del Escudo, evidencia que en tiempos contemporáneos o posteriores a la deposición de las rocas de cobertura del basamento igneo-metamórfico, los procesos tectónicos han sido más activos respecto a otras partes del cratón, donde dichas unidades conservan posiciones con bajo grado de deformación e inclinación, como se observa en dispersos y numerosos remanentes erosionales del tipo Tepuis, en otras regiones del Escudo. En capas de areniscas de la formación Unturán, bordeando el Río Siapa, se midieron inclinaciones de hasta 30°, lo que es sugestivo de la intensidad de tales procesos.

El Río Siapa presenta un canal con un gran control de drenaje por este efecto, orientando su cauce en la cuenca alta, según un eje de rumbo N-75°-E sobre el lecho rocoso, y permaneciendo adyacente a la Serranía de Unturán, con desarrollo de bruscos cambios locales de orientación causados por sistemas conjugados de fracturas y estructuras de desplazamiento, lo que origina la presencia de numerosos raudales y rápidos con diferentes desniveles, como son los de Chicumipora, Coyeda, Tereye y otros.

Antes de girar al norte, el Siapa recibe algunos tributarios por su margen izquierda, con un sentido contrapuesto de drenaje, los cuales se desprenden de la Serranía de Imerí y Avispa-Aracamuni que forman la divisoria occidental, entre estos destaca el Río Ararí. Al penetrar en las Serranías de Aratitiope-Aracamuni, el cauce presenta accidentes topográficos y su alineamiento adquiere gran complejidad dado el gran control litológico, haciéndose en éste tramo, difícil la navegación fluvial con botes y canoas.

Al salir del bloque de montañas, el río experimenta

cambios notables de orientación, transformándose en un río de llanura y sigue el patrón predominante de fracturas existentes en el basamento hasta confluir al Brazo Casiquiare en una extensa planicie inundable, después de recibir por la margen derecha al Río Manipitare, tributario que drena el sector occidental de la Sierra de Aratitiope, nudo montañoso que separa a ambos sistemas hidrográficos de la cuenca del Río Mavaca. Al penetrar hacia las llanuras más bajas, el río ameandrea sobre una gran extensión signada por las bajas pendientes, grandes almacenamientos de aguas superficiales y extenso desarrollo del bosque tropical.

Las mayores alturas de la cuenca se presentan hacia la divisoria meridional, representando la Serranía de Tapirapécó, la máxima expresión del relieve. Ella está conformada por un conjunto de bloques montañosos con sierras topográficamente orientadas en dirección Nor-Este. Presenta un relieve irregular destacando elevaciones máximas de 2340 msnm en el Pico de Tamacuari, localizado en la divisoria del Río Castaño con el Padaurí, que drena hacia el sistema Amazónico. Desde este sector, la serranía desciende gradualmente hacia el Este, para luego ensancharse y aumentar su altitud hasta alcanzar elevaciones de 1250 msnm hacia las cabeceras del Alto Orinoco. Al Suroeste, se continúa con la Serranía de Imerí, que alcanza en los límites de Venezuela con Brasil en el más conspicuo de los cerros, -La Neblina-una altitud de 3014 msnm.

El borde septentrional de la cuenca del Siapa, lo constituye la Sierra de Unturán, una altiplanicie de relieve colinar ondulado, con una altura relativamente uniforme y relieve entre 800-1200 msnm con elevaciones locales máximas de 1200 msnm, que le separa de la cuenca del Río Mavaca. La Serranía de Unturán representa un escalón topográfico a manera de terraza tectónica más baja que Tapirapécó, con un acentuado grado de disección en el relieve, lo que se refleja en un más alto grado de la erosión de naturaleza geológica.

El proceso erosional en estas serranías cuya remoción parcial ha expuesto las rocas del basamento a la superficie, ha contribuido a originar un paisaje irregular-ondulado, conservándose sierras y colinas relativamente bajas, cuyas crestas mantienen subparalelismo con prominentes lineamientos tectónicos.

En sitios donde la meteorización tropical ha sido acentuada, las rocas igneo- metamórficas más resistentes a la erosión, han sido expuestas y se presentan resaltando en el relieve circundante, a manera de estructuras tipo "Inselberg". El Cerro del Dinosaurio (Kairawe) en la cuenca alta, así identificado por su morfología reptiliana como el pico de Tamacuari, además de otros existentes hacia las

planicies bajas del Casiquiare, en el borde occidental del Escudo en su transición hacia los Llanos, son ejemplos de estas estructuras en la cuenca del Siapa.

El relieve de las zonas más bajas de la cuenca, es de tipo colinar con poca expresión superficial de las redes de drenaje, que están ocultas por el cubrimiento del denso bosque tropical, en tanto que las mayores elevaciones y crestas -afloramientos de las rocas cristalinas-, presentan una reducida o total ausencia de cubierta herbácea, condición que se alcanzó, debido al empobrecimiento y lavado de los suelos, por acción de la precipitación y la escorrentía superficial, actuando en continuos períodos de denudación.

El efecto térmico-diferencial de la meteorización en estas rocas es notable, siendo común observar fracturas tensionales formadas al producirse alternadamente, durante el día y la noche, calentamiento y enfriamiento en la superficie expuesta a la radiación solar, lo que se acompaña de dilatación y contracción en las estructuras cristalinas de los minerales constitutivos. El mecanismo es activado a causa del oscurecimiento de la superficie de las rocas, causado por el desarrollo de micro-organismos (hongos y líquenes), que favorecen por sus tonalidades, el almacenaje de calor en las rocas.

Además, como resultado de la acción hídrica se forman en las superficies y cuestas de éstos cerros, estructuras erosionales disectadas del tipo estrias y canalículos, producidas por la concentración del flujo de agua en la dirección de la pendiente. Cuando ésta se almacena temporalmente en las depresiones y cavidades de las rocas, se desarrollan reacciones químicas que producen soluciones mineralizadas y luego al ser excedida su capacidad de almacenamiento, se produce la escorrentía, originándose precipitados de colores gris-blancos, que contrastan de los tonos oscuros existentes en la superficie de las rocas expuestas a la atmósfera.

Como resultado del progresivo transporte de materiales y desplome gravitacional de los bloques y fragmentos de rocas, es común observar acumulaciones de laderas al pie y en las cuestas de los cerros, presentando una densa cubierta boscosa sustentada por gruesos espesores de suelos, lo que contrasta con la ausencia total de vegetación en las cimas redondeadas que se yerguen sobre el relieve general.

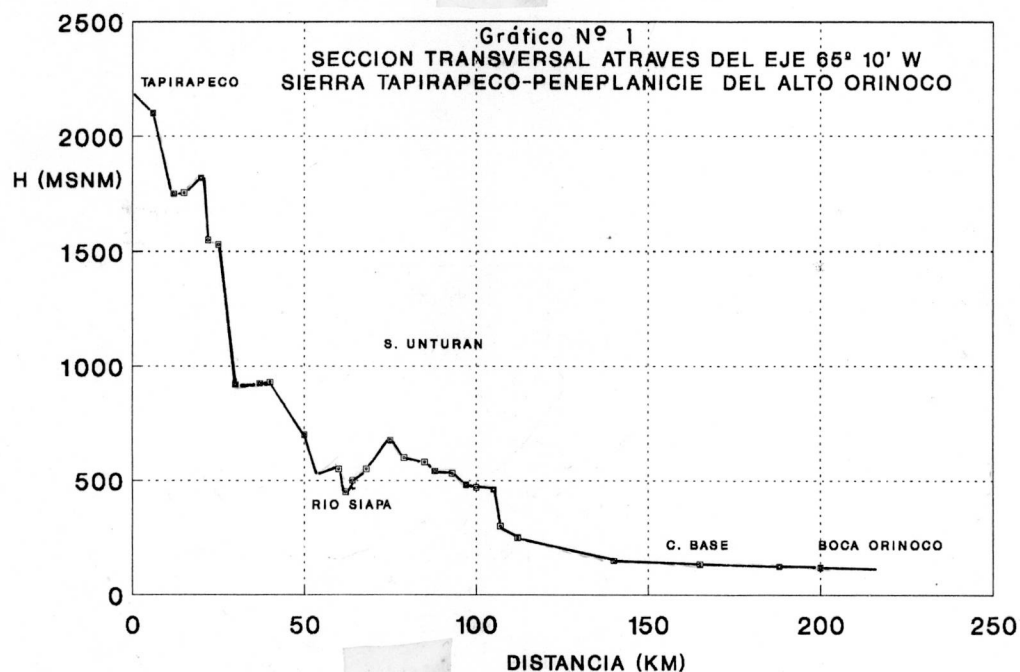
En el tramo alto y medio reconocido, el Río Siapa disecta el basamento rocoso y al emplazarse al pie de la Serranía de Unturán, recibe por esa margen un menor número de tributarios comparado con los que le aportan por la margen izquierda, esto produce una asimetría de las áreas contribuyentes respecto al eje de drenaje principal

constituído por el propio canal, pero en todo ese trayecto el río desarrolla bruscos cambios locales de alineamiento y curvatura, causados por la presencia de fracturas y los contactos de rocas con distintos grados de resistencia a la erosión.

El río en estos sectores no presenta desarrollo de una planicie fluvial, notándose la tendencia incipiente a desarrollar depósitos aluviales en las áreas de confluencia con sus tributarios. Generalmente, los taludes ascienden hacia las zonas colinarias que sustentan una espesa cubierta vegetal y los suelos superficiales tienen espesores relativamente delgados, con abundante material orgánico producto del decaimiento del follaje y la alteración de restos vegetales del bosque. Una condición análoga al bosque de las riberas, se observó en isletas que se han formado en las inmediaciones a sectores con rápidos y raudales, al producirse la migración lateral o bifurcación del canal. Tales estructuras sobre el lecho, deben haberse formado en períodos recientes, preservándose árboles contemporáneos con los existentes en las márgenes, dependiendo su subsistencia, del suministro periódico de sedimentos y aporte de nutrientes, que transportan los flujos de avenidas, cuando dichas islas son afectadas por los altos niveles de las aguas.

Para mostrar la variación altitudinal del relieve en estas cuencas y serranías se ilustra en el gráfico N° 1, el perfil longitudinal a través del frente de montañas de Tapirapécó-Unturán-Peneplanicie del Alto Orinoco, siguiendo aproximadamente el valle abierto del Río Mavaca en el eje  $65^{\circ} 10' W$ , donde resalta como desciende el perfil desde alturas superiores a 2200 hasta 450 msnm en el cauce del Siapa en un trayecto de 65 Km, con una abrupta elevación en el sector intermedio que corresponde a la Serranía de Unturán, que representa la divisoría de las cuencas del Siapa y Mavaca, hasta finalmente alcanzar niveles de 120 msnm en la planicie del Río Orinoco.

La continuidad gradual del relieve entre el Valle del Siapa con el Peneplano del Alto Orinoco en su extensión meridional hacia la cuenca del Río Mavaca, la discontinuidad topográfica en la Serranía de Unturán mostrando abras entre bloques aislados del sistema montañoso, como resultado de la mayor erosión fluvial en este sector y en particular, el curioso cambio en la posición del drenaje en algunos tributarios del Río Siapa como el Ararí y sus afluentes, que muestran un definido alineamiento con el actual eje fluvial del Río Mavaca, contribuyen a mantener la idea en el autor de que el paleo-drenaje de la cuenca del Río Siapa, contribuyó en el pasado geológico hacia el Alto Orinoco y tal vez, debido a un accidente (o serie de episodios) tectónico(s), y/o a la existencia de zonas de debilidad propensas a la erosión

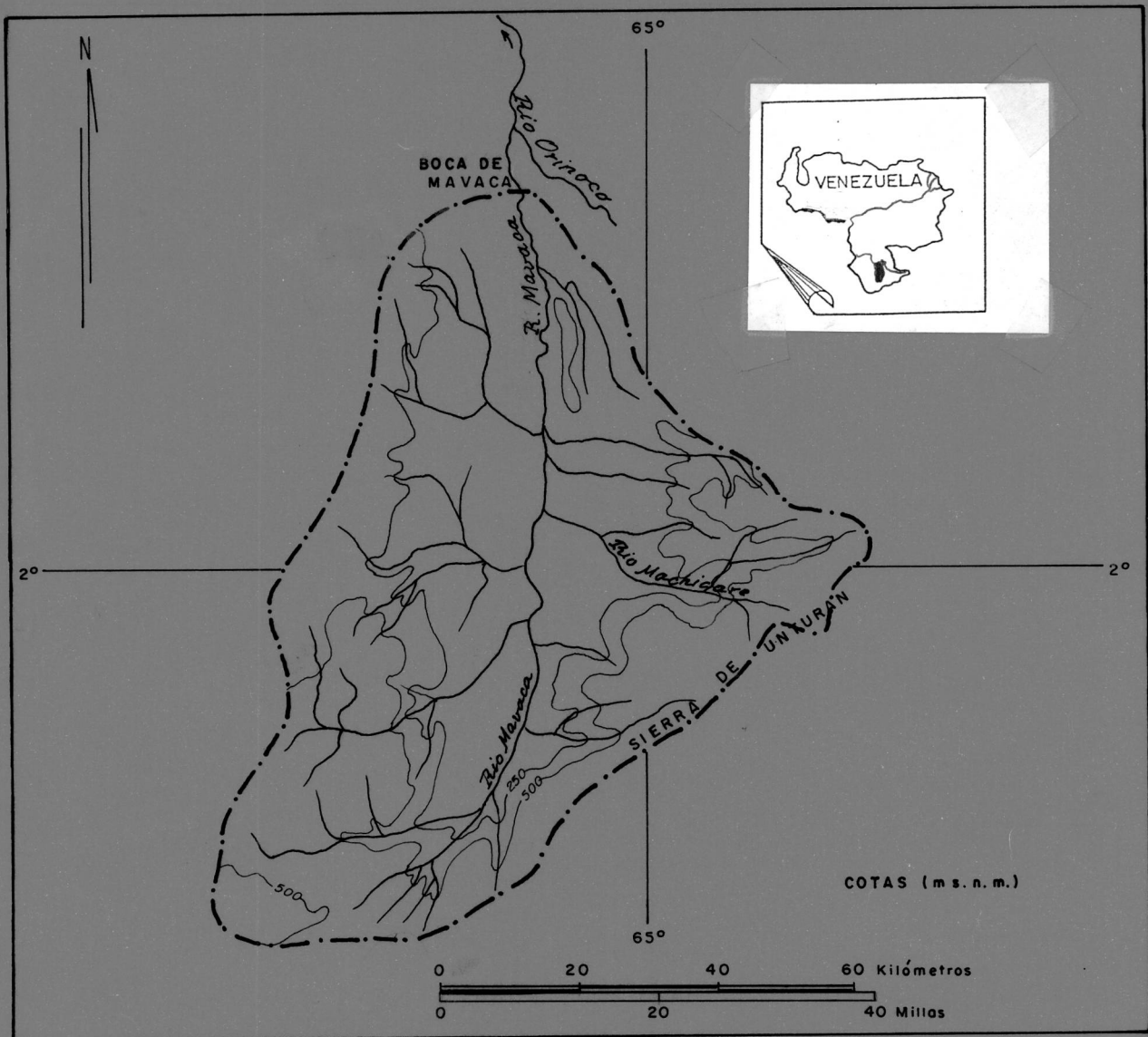


fluvial en la Serranía de Aratitiope, condujo a una reorientación del drenaje hacia la Planicie más baja del Casiquiare. Tal patrón fué erróneamente presentado en los primeros mapas editados del Territorio Federal Amazonas, debiéndose aplicar los modernos procedimientos cartográficos para corregir tal apreciación, lo que pudo ser factible de haber existido en estados más antiguos de la red de drenaje.

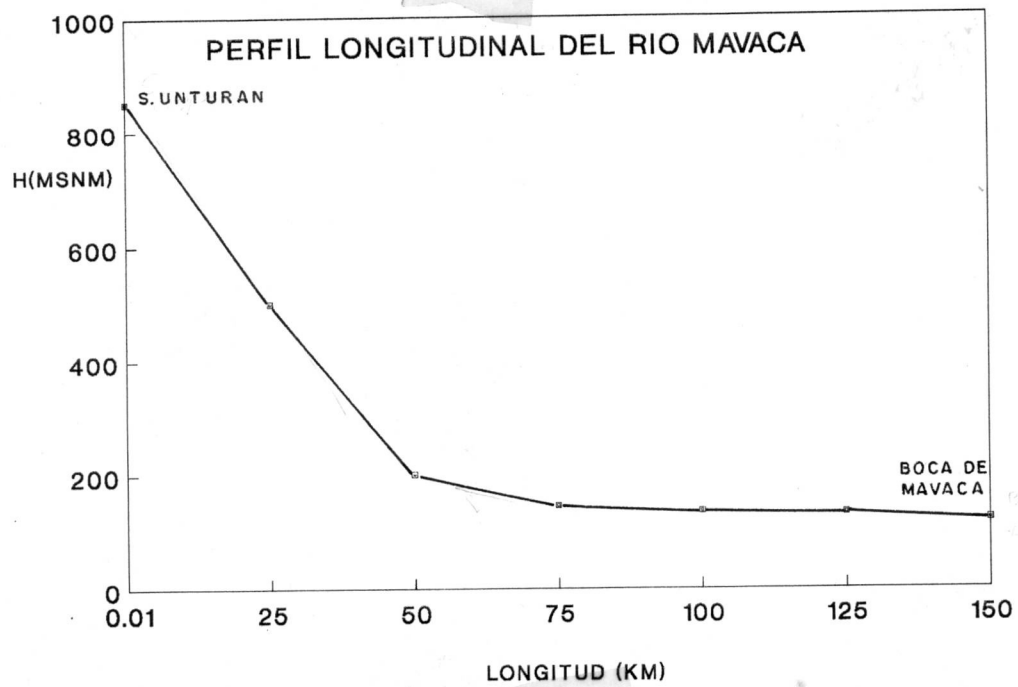
La existencia de una interconexión fluvial más reciente entre las cuencas del Siapa y Mavaca, similar a la del Orinoco-Casiquiare, fué sostenida por los primeros Geógrafos Europeos, hipótesis cuestionada por Humboldt, quién en su travesía hacia el Alto Orinoco anotó (3), "El arrastradero entre las fuentes de este afluente (Mavaca) y las del Idapa o Siapa, ha dado lugar a la fábula de una comunicación del Idapa con el Alto Orinoco", indicando ello que para ésta época, las comunidades aborígenes de ambos sistemas hidrográficos, mantenían relaciones interculturales estrechas o realizaban migraciones frecuentes como lo continúan haciendo en el presente los Yanomamis.

### 3. FISIOGRAFIA DE LA CUENCA DEL RIO MAVACA

Enclavada (Mapa N° 2) entre la Serranía de Unturán al sur y Aratitiope al Oeste, la cuenca del Río Mavaca - el Río de los Meandros-, por ser éste uno de sus rangos distintivos, conduce su drenaje hacia el Río Orinoco, representando al primer y más importante tributario por su margen izquierda, en un sector donde comienza a producirse



MAPA Nº 2 - CUENCA HIDROLOGICA DEL RIO MAVACA



la expansión de la cuenca del Río Orinoco sobre el Escudo, dado que a partir de la Boca del Mavaca, la cuenca desarrolla una notable elongación.

La confluencia se produce a una elevación de 120 msnm, desarrollándose la cuenca entre prominentes sistemas montañosos, con relieve disectado por acción de la erosión geológica y el fallamiento tectónico, conformando una estructura regional de tipo anticlinorium (1), y se preservan grandes macizos y bloques con un patrón de fracturamiento regional, similar al descrito en la cuenca del Siapa. Ello destaca en la Serranía de Unturán hacia el Sur y Este, así como en las montañas de Aratitiope al Oeste. En ésta última hacia el borde septentrional, existen altiplanicies como el Cerro Vinilla (800 msnm), el Pico de la Aguja y el Cerro Aratitiope (1700 msnm) en la cuenca inferior, que representan vestigios residuales de lo que fué inicialmente, una cubierta más amplia sobre el basamento.

El Río Mavaca se desprende desde la Serranía de Unturán en un sector de alto relieve en la divisoria común con la cuenca media del Río Siapa, drenando en un tramo de 50 Km en sentido NE, luego gira al Norte, penetrando sobre el basamento peneplanado hasta contribuir ortogonalmente al Río Orinoco en la Boca de Mavaca, frente a la Misión Salesiana del mismo nombre. Levantamientos altimétricos realizados en la extensión del canal durante el recorrido, muestran una elevación de 200 msnm al pie de la Serranía de Unturán, en el Campamento Base de Mrakapiwei 145 msnm y hasta su confluencia con el Río Orinoco 120 msnm, ésto determina una pendiente aproximada de 0,2 m/km o sea de 0,02 % en el último tramo con una extensión de 120 km.

La cuenca es de forma triangular ensanchada hacia el Norte, presenta un área drenada de 5750 Km<sup>2</sup>, una longitud total del cauce de 150 Km y un eje axial orientado N-S en la misma dirección del drenaje principal.

En la cuenca, un 80 % de la superficie total está comprendida entre 100-250 m.s.n.m., conformando parte de lo que se identifica como la peneplanicie del Alto Orinoco, que abarca sectores más amplios de las cuencas del Río Padamo, Ocamo y el Orinoco en el tramo comprendido entre la Esmeralda y el Raudal de Guaharibos. Esta es una región donde la intensidad de la erosión geológica, ha contribuido a remover y moldear las rocas del Escudo, produciendo un relieve más uniforme que el existente hacia las zonas periféricas. En ésta cuenca se notan segmentos de montañas y bloques aislados como la de Watupetitiope (\*) que destacan topográficamente dentro del relieve del basamento, así como estados transicionales de erosión más avanzados que los

---

(\*) Yanomami : nido de Zamuros.

observados en la cuenca del Siapa. En extensos afloramientos de rocas graníticas, donde el relieve adquiere un aspecto colinar, el sistema de drenaje puede ser identificado, ello difiere de las áreas más denudadas y cubiertas de vegetación, donde no es fácil definir las redes de escorrentía superficial.

A mayor escala, el conjunto de cauces tributarios del Río Mavaca que drenan los sectores más bajos de la cuenca, no son tan expresivos superficialmente y gran parte de ellos permanecen ocultos por causa del espeso manto boscoso. Esto es particularmente notorio hacia el sector oriental, donde la divisoria del drenaje de sub-cuencas está poco definido y en consecuencia, las áreas contribuyentes podrían ser superiores a las arriba asignadas a la cuenca, lo que precisa una mejor calidad de la cartografía existente para definirlo.

Los misioneros Salesianos, en sus recorridos fluviales, han identificado hasta 37 caños tributarios, de los cuales los más importantes son el Machicure, Mono, Chimatá, Auyapuey, Urafrarewei y el Mavaquita. Algunos de éstos fueron explorados durante nuestra travesía fluvial y se constató el efecto de represamiento de sus aguas por acción del Mavaca, lo que se acentúa durante el período lluvioso, cuando sus niveles de base locales controlados por el Río Mavaca, son más elevados. Ello impone una gran diferencia en el comportamiento hidrológico del Río Mavaca respecto al Siapa y determina condiciones especiales (hidrogeológicas, hidráulicas, sedimentológicas y geoquímicas) dentro de su planicie fluvial ampliamente desarrollada, la cual al localizarse en este sector particular del Escudo de Guayana, en lo relativo a posición altitudinal, le distingue de otros ríos de la Región Amazónica de Venezuela haciéndola apropiada de investigar en su proceso evolutivo y al comparar con hechos observados en ambientes de otras planicies. Algunos de estos aspectos se consideran a continuación.

### 3.1. LA PLANICIE FLUVIAL DEL RIO MAVACA

La investigación de los procesos hidrológicos y sedimentológicos que han conducido a la evolución y desarrollo de las planicies fluviales en los ríos Amazónicos de Venezuela, es de importancia para comprender una serie de mecanismos que operan en la zona de transición que separa el ambiente terrestre no sometido a la acción de los flujos de avenidas y el sistema de drenaje representado en los canales naturales, particularmente en ríos que drenan ambientes geológicamente estables, en término de la resistencia

litológica, pero tectónicamente deformados y sometidos a un alto grado de fracturamiento, bajo condiciones de intensa meteorización dentro del clima húmedo-tropical y con ocurrencia de complejas reacciones de intercambio geoquímicas, donde la biomasa desempeña un activo papel.

Ambientes acuáticos más extensos y con distintos grados de complejidad respecto a las mencionadas planicies fluviales, están representadas en la Varzea y el Pantanal del Río Amazonas y su estudio permitiría establecer gradaciones y definir la intensidad con que ocurren los procesos fluviales, analizando sistemas hídricos superficiales a distintas escalas - meso y macro escala-, cuando se someten a variables períodos de inundación, dentro de grandes intervalos del tiempo Geológico.

Los procesos que afectan estos ambientes hidrológicos no operan en forma similar de una a otra región, pero en general, los de mayor significación al tratarse de estudiar esos complejos sistemas superpuestos a Escudos antiguos, como el Guayanés son:

1. Efectos de cuerpos de agua asociados (grandes ríos, lagunas, bifurcaciones, etc).
2. Propiedades y espesor de los materiales aluviales formadores de las planicies y sus estructuras sedimentarias.
3. Procesos geológico-tectónicos que afectan las rocas cristalinas del basamento y la distribución de los depósitos recientes de la planicie fluvial.
4. Intercambios hidrogenoquímicos entre suelos, rocas, biomasa, sedimentos y el agua.
5. El suministro y alteración de la materia orgánica.
6. Inter-acción entre el canal y la vegetación (migración lateral y colonización)
7. Transporte sólido-soluble en el canal y su relación con el suministro o aporte hacia o desde las planicies fluviales.
8. Extensión de áreas inundables, persistencia de niveles, áreas inundables, etc.
9. Procesos constructivos (deposicionales) y erosionales en la planicie fluvial.
10. Almacenaje y resuspensión de sedimentos en la planicie fluvial.

El Río Mavaca presenta una extensa y bien desarrollada planicie fluvial y algunos de estos aspectos se consideran aquí en forma preliminar, otros ameritarían disponerse de un mayor grado de información.

El efecto de represamiento del Río Mavaca por Orinoco en el período lluvioso, representa uno de los factores más influyentes en la evolución de la planicie fluvial, mientras que en esta época, ambos ríos incrementan notablemente sus caudales y el exceso de almacenaje en el canal del Orinoco, produce desbordes mezclándose sus aguas en la zona de confluencia, lo que determina además, suministro de sedimentos y deposición sobre la planicie, esta condición es común a muchos ríos tributarios del Alto Orinoco.

Los depósitos aluvionales son relativamente de poco espesor (15-20 m), hecho atribuido a que la densa vegetación de los márgenes, contribuye a aumentar la resistencia al flujo, reducir las velocidades y sólo permiten el movimiento del sedimento fino en suspensión, hacia los suelos marginales de la planicie, mientras el más grueso continúa transportándose dentro del canal, donde es mayor la energía del flujo.

Es factible que gran parte de este material se acumule hacia la confluencia y luego sea resuspendido y transportado hacia el Río Orinoco, cuando se inicia el descenso de niveles y ello explica la causa por la cual, no fueron encontradas gruesas acumulaciones en las secciones batimétricas. En esta condición, especialmente el sedimento fino predeposicionado en la zona inundada de la planicie y/o mantenido en suspensión durante el período de altos niveles, es transportado hacia los cauces, al iniciarse el descenso de niveles.

De esta manera, la rata de acreción de los suelos en la planicie es lenta, habiendo requerido largos períodos y sucesivas etapas de inundación, para alcanzar el estado de equilibrio que mantiene actualmente.

Un efecto que actúa en el mismo sentido de evitar el aporte de sedimentos, incluso el fino hacia los bordes y depresiones de la planicie fluvial, sería consecuencia de que éstas son llenadas con agua de la precipitación directa y en esta forma, también se inhibe notablemente el suministro del sedimento procedente de los canales hacia dichas depresiones, condición que podría ocurrir en diversas lagunas aisladas del cauce del Río Mavaca, situadas en el tramo inferior.

¿Cuál de estos dos mecanismos es más importante y en qué forma incide el suministro sólido o el reciclaje de sedimentos en el desarrollo de la planicie?. Son preguntas

para las que no se dispone aquí de una respuesta precisa.

Los suelos depositados o formados en la planicie fluvial del Río Mavaca, difieren en textura, color y espesor según el mecanismo de deposición, el área de acumulación o la roca parental que les dio origen, a través de la meteorización. Hacia los bordes del canal, donde es más activa la erosión, el transporte sólido y la deposición a niveles superficiales se afectan las riberas, cortes de lazos de meandros, barras de punta, etc., predominando la arena (véase Materiales lecho), que alterna con delgados lentes de material fino y abundantes hojarasca y restos vegetales, no existiendo acumulaciones del tipo diques marginales. Donde el río ha disectado verticalmente, se han expuesto hasta 4 m de espesores de materiales finos arcillo-ferruginosos masivos, de colores pardo-amarillento. A estos materiales se identifican como depósitos de valle y tienen un origen reciente, para diferenciarlos de los formados por hidrólisis directamente a partir de la roca granítica infrayacente, lo que ha determinado se desarrollen "In Situ", suelos caolínicos que conservan asociados compuestos de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio.

### **3.2. MATERIA ORGANICA, DECAIMIENTO DEL FOLLAJE Y COLONIZACION POR LA VEGETACION DE LOS SUELOS EN LA PLANICIE FLUVIAL.**

Una característica de la Amazonía venezolana, donde es denso el bosque tropical como ocurre en esta cuenca, es la gran abundancia de follaje y restos vegetales que al caer continuamente sobre la superficie del suelo o en los cuerpos de agua, mantienen un proceso de decaimiento e intercambio de elementos donde la presencia del agua, la composición de los suelos y rocas, además de la condición del drenaje, determinan la mayor o menor rapidez de alteración. La materia orgánica no sólo interviene como una significativa fracción del transporte en los cauces desde y hacia la planicie, sino que condiciona numerosas reacciones de intercambio y de meteorización dentro del ambiente hidrogeoquímico, determinando la composición de las fases soluble y sólida, movidas por los flujos de agua.

La rata de acumulación de hojarasca está determinada por diferentes factores tanto biológicos (tipo de vegetación, estratificación, senescencia, tamaño de las hojas, etc), meteorológicos (velocidad y persistencia del viento, intensidad de la lluvia, energía cinética de las gotas, etc) y además de las condiciones físicas en la superficie de acumulación (pendiente, grado de enraizamiento, atrape del sedimento) y éstas últimas especialmente difieren notablemente de uno a otro sector de la planicie, siendo aquí más complejos los procesos de retención y almacenamiento, dado que al suministro directo desde el

bosque, debe agregarse el aporte o la removilización por acción del flujo de los ríos y esto depende entre otros factores, de la persistencia de los niveles, la forma y frecuencia con que ocurren las avenidas, la dirección y magnitud de la velocidad del flujo entre otros. En el borde de la Laguna Mono, sector inferior del Río Mavaca, en suelos sometidos a inundación se producen acumulaciones superficiales de 15-20 cms de espesor de hojarasca sobre suelos inclinados 15°-20°, aumentando los espesores hacia las zonas más planas y bajas, en las cuales se desarrolla un bosque denso de 40-45 m de altura.

En áreas planas sometidas al desborde durante las avenidas, y particularmente en las zonas de lazos de meandros, se observan acumulaciones hasta de 1 m de hojarasca, que permanece compactada y estratificada con el sedimento arenoso y estos materiales permanecen inalterados por largos períodos, después de su deposición.

Las causas determinantes de tal preservación del follaje, pueden atribuirse a diversas razones como por ejemplo, la composición y tamaño de las hojas, alta estabilidad ante reacciones hidroquímicas y la acción biológica, período de enterramiento, entre otras.

En relación a la actividad de organismos, se notó ausencia de insectos (bachacos y hormigas) en estos medios, en contraste con su abundancia en las zonas más elevadas y bien drenadas de la jungla. La actividad de microorganismos, especialmente de los hongos es significativa sobre la madera y otros restos vegetales expuestos a la atmósfera, pero se ignora la causa por la cual su acción no transforma eficazmente la hojarasca enterrada.

La presencia de la materia orgánica asociada a los sedimentos en la planicie fluvial tiene sin embargo, gran importancia en la rapidez con la cual se produce la colonización y desarrollo de la vegetación más especializada en los bordes del canal y riberas, las que son sometidas periódicamente, al efecto de altos caudales.

En la zona de lazos de meandros de la planicie inferior del Río Mavaca, el progreso de la colonización de la vegetación observada, a medida que ésta se expande hacia los bordes del cauce, es la siguiente:

1. Arbustos (Dilleniaceas), en forma dominante.
2. Guama (*Inga thibaudiana*) y Caruto acuático (*Genipa americana*).
3. Yagrumo (*Cecropia palmata*).

#### 4. Bosque denso tropical con alta diversidad.

Las dos primeras se presentan asociadas en la franja inundable donde se mantiene un mayor grado de saturación y representan por su mayor densidad, la causa más importante de la resistencia hidráulica y en consecuencia al bajar la velocidad del flujo, se traduce en un factor de atrape de los sedimentos, lo que favorece la retención y deposición de restos orgánicos-vegetales (hojarasca especialmente) que son transportados por los flujos al ser inundada la planicie; ello mantiene activo su desarrollo y grado de evolución, al suplirse y estabilizarse nutrientes orgánicos, que favorecen la futura recolonización.

En caños tributarios del Río Mavaca, se identifican grandes cantidades de restos vegetales, lo que produce una continua transformación de la materia orgánica, que al igual a la procedente del recubrimiento de los suelos distantes de la planicie fluvial, pueden llegar hasta el cauce principal en forma disuelta como ácidos y complejos orgánicos aún no identificados. Las aguas del Río Mavaca desde el pie de la Serranía de Unturán, no poseen el carácter oscuro de las conocidas aguas negras de muchos ríos de Guayana, donde el tiempo de detención relativamente grande y la infiltración en fracturas y suelos orgánicos, provoca condiciones como para darle un carácter de alta acidez y elevada turbidez a dichas aguas. Ello no implica que algunos cauces tributarios menores que recibe de las cuencas de montaña presenten aguas "negras", siendo la alta capacidad de dilución y la presencia del sedimento fino, factores que modifican dicho aspecto en dirección aguas abajo.

Es notable señalar que como resultado del derrumbe de los bancos y riberas, se produce un continuo y directo suministro de restos vegetales y hojas al canal, esto último es más acentuado al producirse la caída de los árboles, bajo la acción de ráfagas de vientos y al mantenerse éstos retenidos por lianas, sobre el nivel al cual operan los caudales elevados, de allí que sean muy diversas las condiciones y factores que controlan la deposición, transformación y movilización de la materia orgánica en estos ambientes, lo que permanece no bien estudiado hasta el presente.

### 3.3. **ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS Y MEANDROS EN EL RIO MAVACA**

De las estructuras morfológicas de la planicie fluvial del Río Mavaca, ninguna es tan significativa en vistas aéreas, aerofotografías o imágenes de radar, como lo son los lazos de meandros existentes en su planicie. Se trata de un complejo patrón de carácter tortuoso-irregular, controlado

básicamente por las estructuras tectónicas del basamento, la resistencia hidráulica creada por la vegetación en las riberas y la litología.

Estos meandros prominentemente desarrollados en el tramo medio e inferior del cauce, se han formado sobre espesores relativamente delgados de sedimentos y suelos de recubrimiento de las rocas cristalinas, fuertemente plegadas y distorsionadas del Escudo Guayanés, los cuales sustentan a su vez, una densa vegetación. Una configuración similar en el patrón de ameandreamiento se ha observado en el Río Matajaí, que drena un sector del basamento en el Escudo Brasileiro en el Estado de Roraima. Cálculos de la sinuosidad -P- del canal en estos sectores, se realizan de acuerdo a la expresión:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} L_i}{L} \dots\dots\dots(1)$$

e indican incrementos de P= 1,65 en el tramo que bordea a la Serranía de Watupetitiope, a un valor de P=2, en el sector inferior del cauce, lo cual le identifica con un patrón de tipo tortuoso, donde el ancho de la faja de meandros es de 1 Km, notándose la existencia de aislados cortes de lazos de meandros con forma irregular, distintos a los de tipo oxbow que caracterizan a los encontrados en ríos de llanuras, con gruesos espesores aluviales en sus planicies.

La existencia de estas estructuras erosionales, sugiere la influencia de los altos caudales existiendo una tendencia en el canal, dentro del tramo inmediato a la boca, de incrementar su capacidad de disección al confinarse el lecho dentro de prominentes fracturas del basamento, lo que introduce localmente, un mayor grado de linealidad al cauce.

La transición brusca de tramos lineales interrumpidos por deflexiones con ángulos agudos y obtusos, dan indicación de presencia del fracturamiento, lo cual se refleja en cambios de la pendiente y por consiguiente, en la velocidad del flujo en los distintos sectores del Río Mavaca.

Un incremento del caudal contribuye a definir mejor la simetría de los lazos de meandros, tal como se nota en el Río Orinoco en la confluencia con el Río Mavaca, donde se producen ángulos de deflexión de hasta 90°, lo que indica que la red de fracturamiento local es de tipo ortogonal. De allí la forma particular como se desarrolla el patrón de drenaje en la confluencia de ambos ríos. (Imagen de radar A).

Estos cambios de la sinuosidad de los canales se asocian además, al grado de denudación que ha experimentado el

basamento. En la cuenca del Río Mavaca la reducción del relieve ha progresado en el tiempo geológico, hasta definir más acentuadamente que en la cuenca del Río Siapa, una superficie erosional más denudada sobre la cual predominan los procesos de deposición, que contrasta con el relieve colinar-ondulado observado donde afloran extensas masas y plutones graníticos del basamento, cuya erosión lenta pero progresiva tiende hacia aquel estado final, a manera de estado transicional en el relieve.

En este sector, el patrón de meandros es irregular, como se observa en el borde occidental de la Serranía de Watupetitiope, mientras que en la parte inferior donde aumenta el espesor aluvional y existe un mayor desarrollo de la vegetación, el patrón se hace tortuoso, lo que muestra la influencia que ejercen adicionalmente estos factores sobre la estructura del aameandramiento.

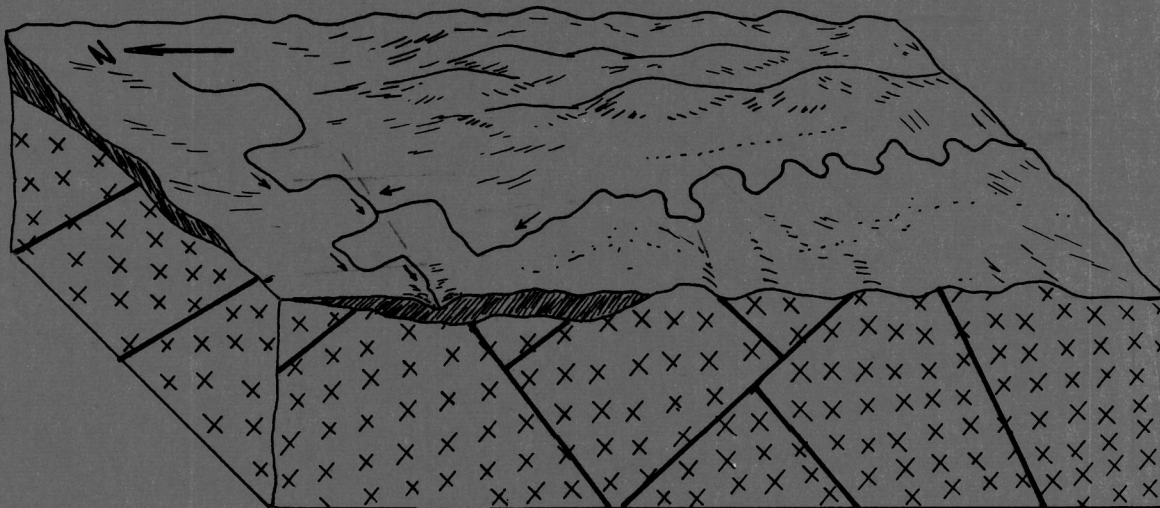
Algunos investigadores han tratado de determinar la influencia que ejerce el tipo de sedimento transportado y el caudal sobre la forma y la sinuosidad en canales aluviales y algunas ecuaciones empíricas previas se han sugerido (5), (12) confirmandose que el ancho, profundidad, pendiente, longitud de onda y la amplitud de los meandros, están relacionados con los primeros.

En este caso, los procesos diastróficos asociados al fallamiento, diaclasamiento y dislocación tectónica en el basamento, ejercen adicionalmente una notable influencia sobre la configuración del canal, lo que se asocia de una manera compleja con esas variables, siendo factible considerarlas en forma cualitativa y específica del ambiente Geológico local.

Vinculado a la erosión y peneplanación gradual de las rocas del Escudo en esta región, es posible identificar en las imágenes de radar, vestigios de cauces que representan remanentes de preexistentes redes de drenaje. Uno de estos canales se indica con una flecha en el margen superior derecha (Imagen A, pag. 21).

El más prominente paleo-cauce se orienta siguiendo un eje subparalelo al presente cauce del Río Mavaca, éste concentraba a los flujos del sector oriental de la cuenca en la vertiente septentrional de la Serranía de Unturán, hacia su tramo inferior. Dicho canal presenta un ancho dos veces mayor que el del Río Orinoco actual en ese sector, y era muy lineal. Asociado a él, existe una red superficial de drenaje, cuyos vestigios son actualmente, apenas perceptibles en la imagen de radar.

Su confluencia con el Río Mavaca, quien representó entonces a un cauce tributario, se mantiene activa en el presente, a



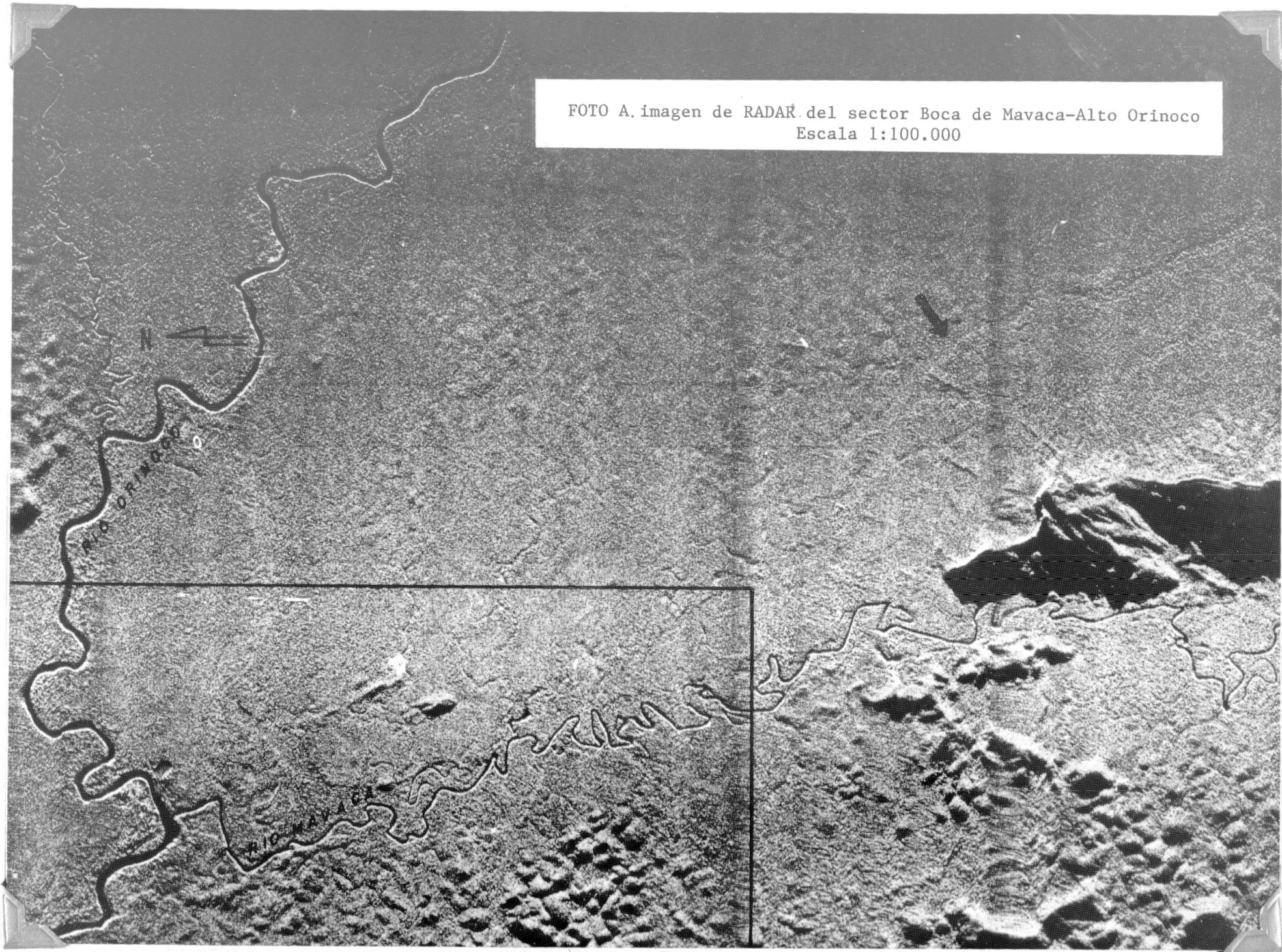
CROQUIS A  
UN BLOQUE DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL AREA



PATRON DE FRACTURAMIENTO EN EL BASAMENTO IGNEO-METAMORFICO  
CONFLUENCIA DE LOS RIOS ORINOCO-MAVACA  
SECTOR DE LA IMAGEN DE RADAR (1975)

Escala 1=100.000

FOTO A. imagen de RADAR del sector Boca de Mavaca-Alto Orinoco  
Escala 1:100.000



través de la laguna Mono, siendo este cuerpo de agua al igual que otros almacenamientos superficiales extendidos sobre el bajo relieve del basamento, remanentes de ese canal y no una estructura erosional de planicie fluvial del Río Mavaca tipo corte de canal, como fue la impresión original concebida, al realizar el reconocimiento de campo.

Bajo esta condición hidrológica puede justificarse el grado avanzado de desarrollo de esta planicie fluvial, al recibir el aporte suplementario de materiales por parte de un mayor sistema de drenaje, además de la influencia notable que pudo ejercer dicho canal al definir un eje fluvial más activo en el pasado geológico, a través del curso inferior del Río Mavaca.

#### 4. SECCIONES BATIMÉTRICAS: RIOS SIAPA Y MAVACA

Tanto en el cauce del Río Siapa como en en Mavaca y algunos de sus tributarios, se levantaron secciones batimétricas en diferentes tramos, procurándose elegir intervalos con notables cambios estructurales en el canal.

El lecho del Siapa en el trayecto recorrido ( $65^{\circ}25'$  -  $64^{\circ}30'$ ) es de naturaleza rocosa, con depósitos locales de arenas y gravas.

Modificaciones de la pendiente se producen en los sitios de saltos y rápidos, lo que origina una regulación del flujo con variación de las profundidades. Esto determina la existencia de una secuencia de almacenamientos escalonados y de allí, los cambios notables encontrados en las secciones batimétricas y las velocidades del flujo en diferentes sectores.

Los perfiles batimétricos transversales obtenidos en el trayecto considerado presentan notables variaciones de las profundidades, determinándose zonas depresivas con hasta 9 m en la parte contigua al último salto bajando hacia el sector Aracamuni (Gráfico N° 2). Aquí las secciones del Siapa son acañonadas y algunas simétricas con respecto al eje dinámico central del canal, además de producirse prominentes escalones y salientes rocosos en el lecho. En este tramo que es recto, el flujo no ofrece notable velocidad, pero 800 m aguas abajo, se acelera en un salto, cuya caída de 25 m, impide la navegación hacia el sector intermedio donde el río adquiere características de alta torrencialidad.

En el campamento Siapa-3 la sección presenta un ancho de 40 m evidenciando un declive pronunciado de los taludes, alcanzado una profundidad máxima de 5,5 m hacia la margen derecha, en esta sección el lecho presenta irregularidades

GRAFICO N° 2  
 Secciones transversales del Río Siapa en distintas  
 localidades con datos geométricos y del flujo

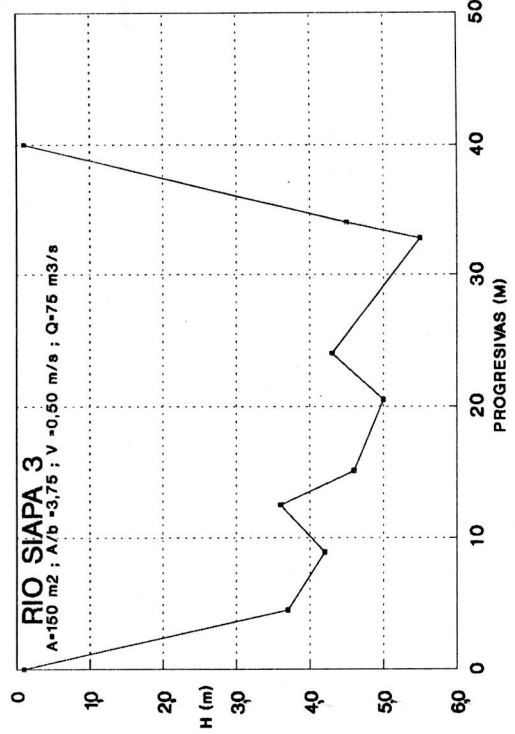
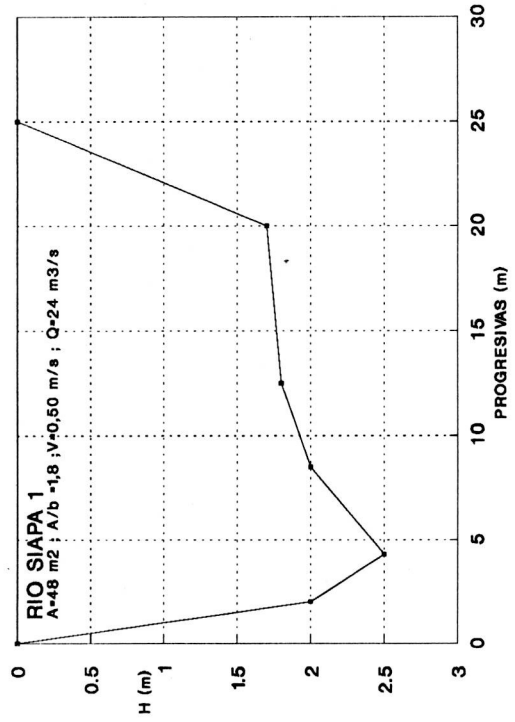
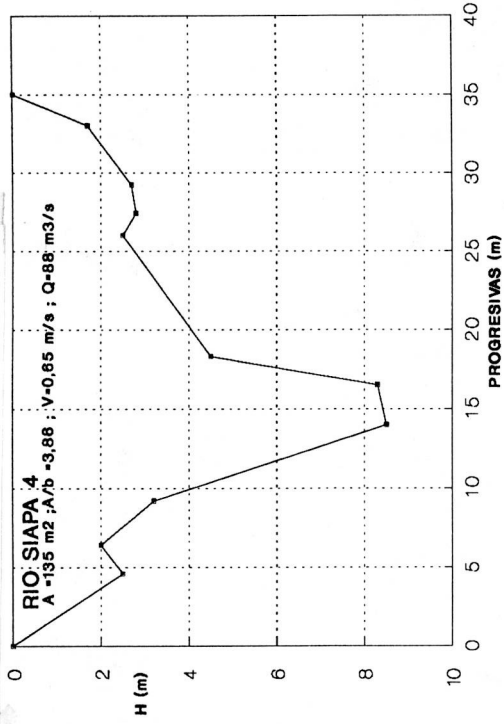
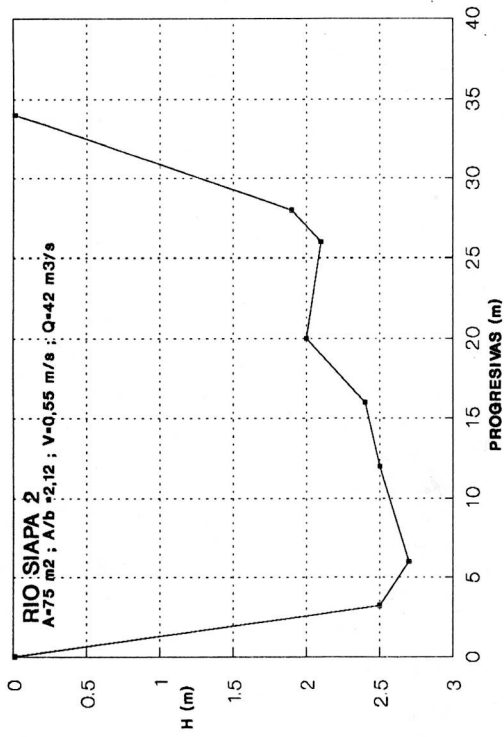
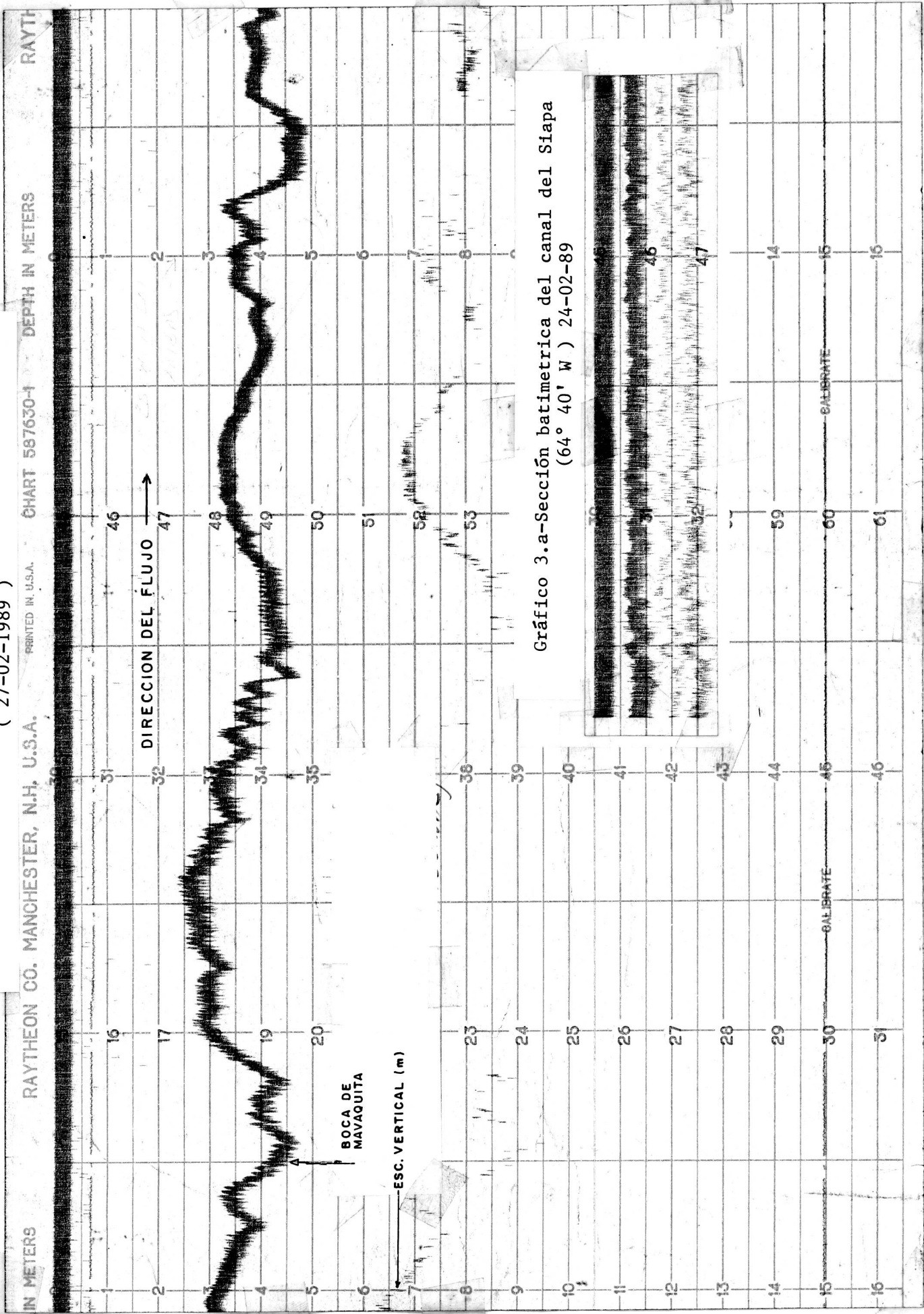


Gráfico 3.b-Sección batimétrica longitudinal río Mavaca en la confluencia con el río Mavaquita (Centro del canal) ( 27-02-1989 )



debido a los salientes rocosos, observándose un gradiente medio del perfil transversal hacia esa margen de 4,5 %. La existencia de estos bruscos cambios en la geometría del fondo, sugieren la existencia de fracturas en el lecho o una notable variación en la resistencia de las rocas ante el esfuerzo tractivo del flujo, lo que origina por erosión, abruptos cambios en la configuración del lecho.

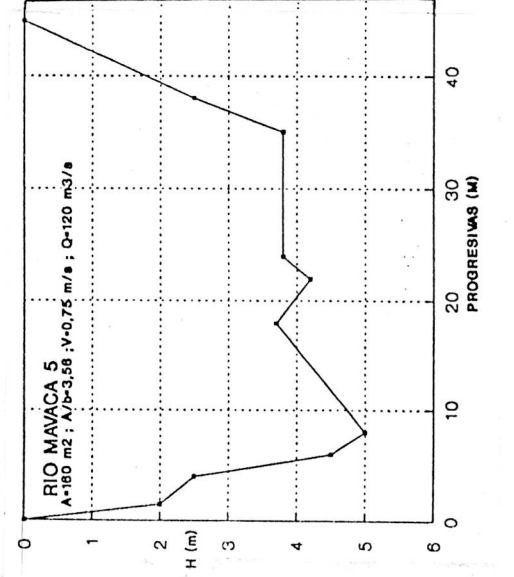
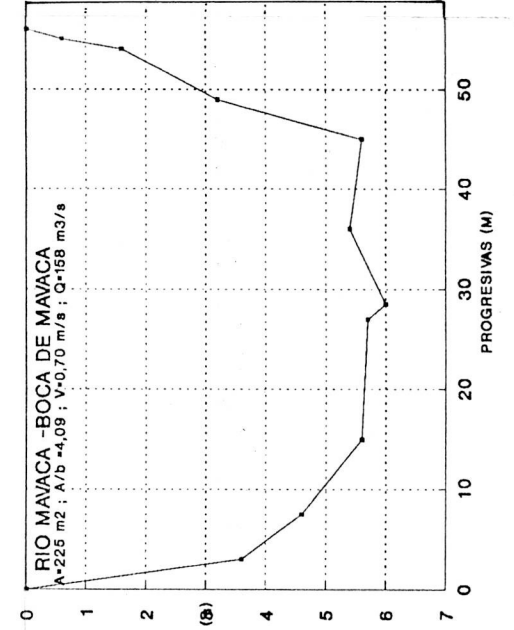
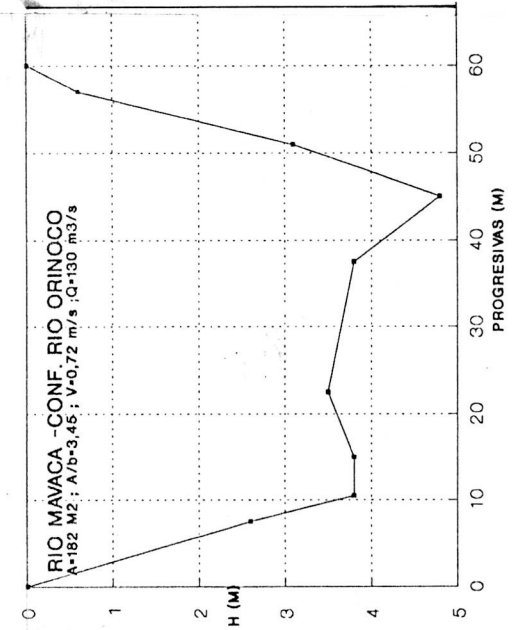
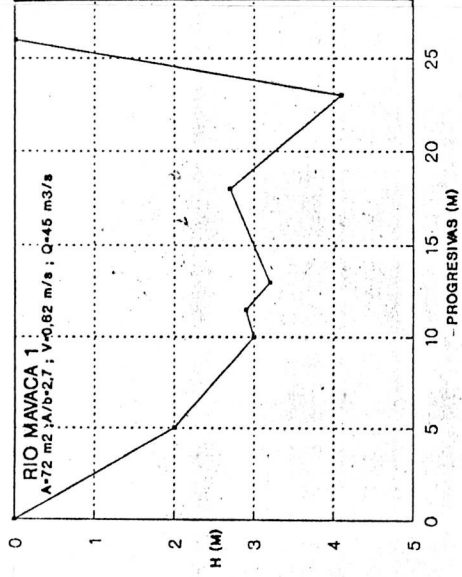
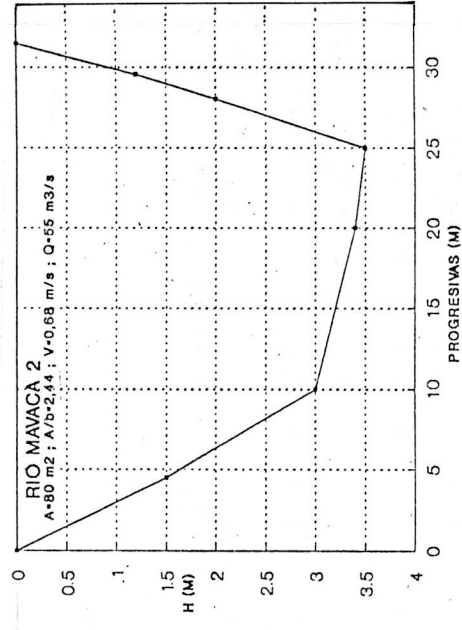
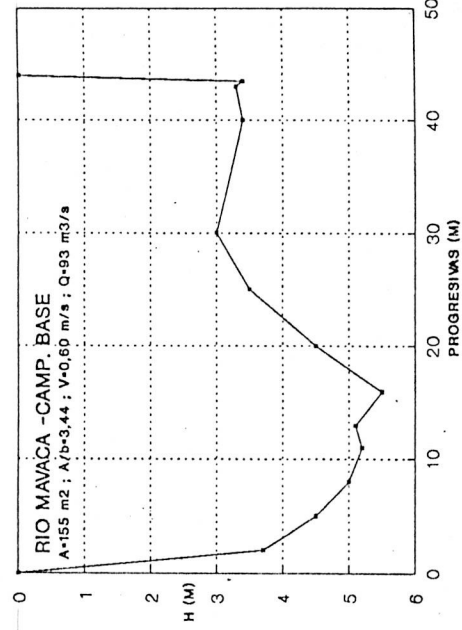
Hacia la parte alta del Río Siapa, las secciones son angostas manteniéndose las profundidades más uniformes en los tramos lineales, en cuyo caso se notan incrementos de la velocidad. El perfil longitudinal del lecho mostrado en el gráfico N° 3a obtenido en un tramo lineal de 250 m ( $64^{\circ}40'$ ), indica una profundidad uniforme de 1,5 m mientras que en sectores curvos o con presencia de raudales, las depresiones del lecho se acentúan.

Las secciones del Río Mavaca (Gráfico N° 4), reflejan una geometría muy regular no encontrándose depresiones locales prominentes, aún cuando en diversos sectores se encuentran afloramientos de rocas cristalinas y diversos tramos del cauce están controlados por las estructuras geológicas del basamento. Para ilustrarlo se levantó un perfil continuo con una extensión de 300 m iniciado desde 100 m de la confluencia con el caño Mavaquita, siguiendo aproximadamente la línea del centro del canal (Gráfico N° 3b), manteniéndose el fondo con profundidades variables entre 2,5 - 5,2 m. En este sector se identifican afloramientos de rocas graníticas y el ecosonograma muestra que todo el tramo está conformado por rocas cristalinas.

Al analizar las secciones batimétricas situadas aguas abajo, se notan incrementos de la profundidad hasta obtenerse en la sección de Boca de Mavaca, valores máximos de 5,7 m en la parte central de la sección. Durante la fase de levantamiento, no experimentó el río fluctuaciones notables de nivel, usándose como referencia la lectura de mira en la estación que fue de 1,56 m, esto permite comparar las diferentes secciones.

Al comparar las secciones de este tramo respecto a las realizadas en la confluencia con el Río Orinoco, se nota disminución de las profundidades en las últimas, lo que sugiere activa deposición de sedimentos en el lecho hacia la confluencia, pero también resalta la notable diferencia de las profundidades respecto a las secciones del Río Orinoco, las que no exceden a los 3 m en Boca de Mavaca, tal como se ilustra en los gráficos Nos. 5a y 5b, donde se indican dos perfiles adicionales, ambos localizados antes y después de la confluencia. Esto indica que el lecho del Río Orinoco, está más elevado que el del Río Mavaca, desarrollándose una isla arenosa central, que se expone a atmósfera en aguas

GRAFICO N° 4  
 Secciones transversales del Río Mavaca en diferentes  
 localidades con datos geométricos y del flujo



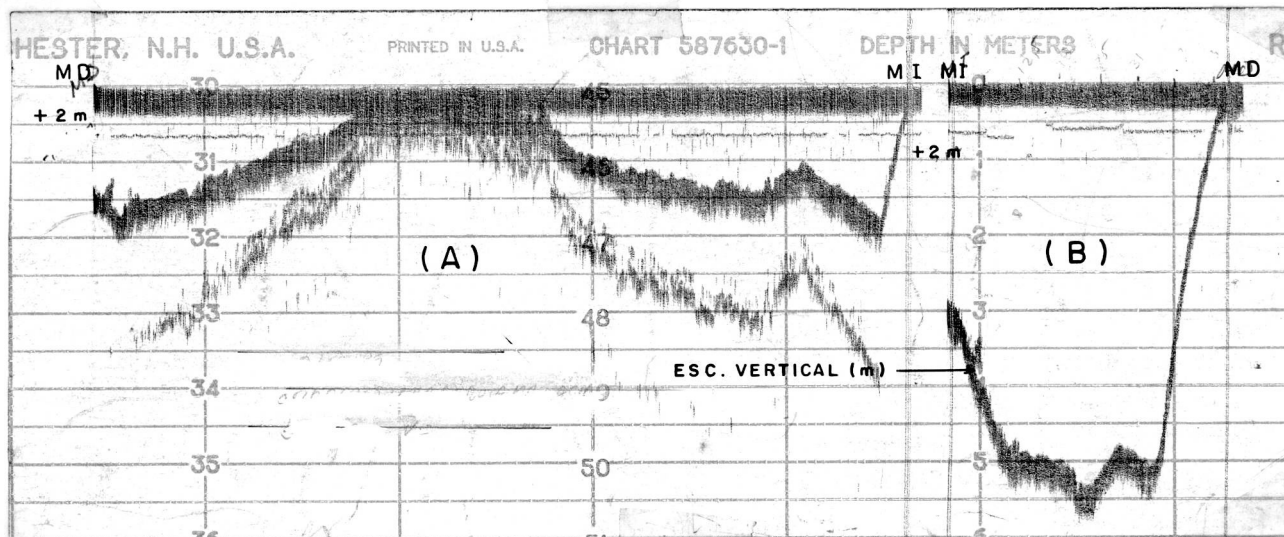


Gráfico 5.a-Sección del Río Orinoco (A) 50 m. arriba de la confluencia con el río Mavaca y la sección transversal de este último (B) en la Estación Hidrométrica Boca de Mavaca, Esc.Hor.1:1200;F.18/02/89.

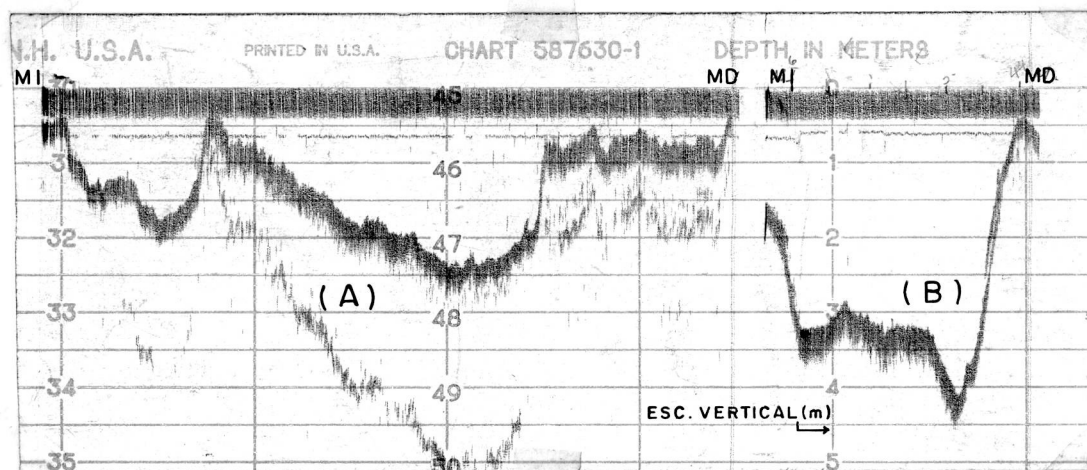


Gráfico 5.b- Secciones transversales del Río Orinoco (A) 100 m. abajo de la confluencia con el río Mavaca (B) y la Sección de este último cerca de la desembocadura en el Orinoco (100 m.arriba) Esc.Hor.1:1200 F. 18/02/89.

mínimas y cuyo tope presentaba para la fecha, un profundidad de 0,5 m.

## 5. **CLIMATOLOGIA E HIDROLOGIA. GENERALIDADES**

Introducirse en el estudio de la hidrología de las cuencas del Amazonas de Venezuela, exige considerar aspectos relacionados con el clima, la forma como responden los sistemas físico-ambientales y en el caso de los ríos que nos ocupan, la existencia de limitadas actividades humanas. Esto último hace posible analizar a estas cuencas, con un mínimo grado de perturbación artificial, lo que sólo es factible de encontrar en pocas y aisladas regiones del planeta. Desafortunadamente, en razón de las dificultades de acceso y distancia desde centros demográficos, no se dispone de información suficiente como para definir estos aspectos en forma precisa y mientras en el Río Siapa, solo dispone de pocos datos recolectados durante el reconocimiento, en el Río Mavaca existen una mayor información recopilada con anterioridad por las Oficinas de la Dirección de Hidrología y Meteorología, que permiten ampliar nuestras observaciones.

La ubicación próxima de estas cuencas respecto al Ecuador determina que corrientes húmedas originadas dentro de la región, sean las causantes del suministro de humedad y las precipitaciones, cuya distribución es muy variable espacial y temporalmente. Aún dentro del período seco comprendido entre Noviembre-Marzo, se producen tormentas locales y persiste una alta nubosidad a bajos niveles, especialmente entre las áreas de cordilleras y macizos montañosos, los que al orientarse longitudinalmente en dirección N-E como Tapirapécó y Unturán, así como de otras intra-cuencas con variables elevaciones, contribuyen a que se generen complejos patrones en las tormentas.

La influencia orográfica y de los mecanismos convectivos activadores de las lluvias, son más acentuados hacia el Sur, observándose en imágenes de satélites, una nubosidad persistente, lo que sugiere que en esa dirección se debe incrementar la precipitación anual, hasta lograr alcanzar valores probables de 3000 mm/año, mientras que en la Boca de Mavaca, situada al Norte del área, durante el período 1972-1977, se registró un promedio de 2780 mm/año, ocurriendo un 50 % de lluvia en el lapso Julio-Diciembre.

Debido a su localización en la franja Ecuatorial y la forma como corrientes húmedas con alto contenido de vapor de agua, condicionan conjuntamente con los factores geológicos, forestales, del relieve y la topografía, a la respuesta

hidrológica de estas cuencas, las hace apropiadas para investigar la forma como se interrelacionan complejos procesos ambientales e hidrometeorológicos en las nacientes de dos de los más caudalosos ríos del mundo, ambos situados dentro del trópico Sur-Americano.

Durante la fase de reconocimiento se operó temporalmente en forma sistemática, una estación meteorológica en el Campamento de Mrakapiwei (Campamento Base), midiéndose la precipitación, radiación solar, temperatura ambiental, nubosidad y condiciones de humedad del suelo. Durante este período se registraron lluvias diarias de hasta 25 mm, la temperatura ambiental fluctuó en el rango de 17,5 - 34,5 °C. En la cuenca del Siapa, observamos chubascos diurnos intensos de corta duración (15 min.), producidos por cúmulos aislados.

La humedad atmosférica diurna osciló entre 50-99 %, produciéndose los valores inferiores entre las 14:00 - 16:00 HLV y los máximos en las horas nocturnas. Como hecho notable se registró en el pluviógrafo una precipitación nocturna variable entre 0,2 - 2,0 mm, que ocurrió bajo la forma de rocío, esta humedad al condensarse sobre el espeso manto boscoso, precipita en forma de goteo continuo en horas nocturnas y matutinas y contribuye a mantener elevadas condiciones de humedad. No se genera escorrentía superficial, pero ello es significativo como condicionante del desarrollo de microclimas en el bosque a nivel del suelo, lo que está asociados a la especificidad del bosque tropical y a la actividad biológica, al mantenerse elevados índices de humedad, tanto en los suelos como en la cubierta arbórea.

Un aporte de humedad producido por lluvias con mayores intensidades determina que el proceso de escorrentía superficial sea activo especialmente durante la época lluviosa. Por otra parte, debe considerarse la importancia que tiene el proceso de evapotranspiración al existir una elevada disponibilidad de agua, una densa vegetación y una alta radiación.

La radiación solar diurna medida en un Rotsbichzt fluctuó en el rango de 550-150 cal/cm<sup>2</sup> (6,40 - 1,75 Kwh/m<sup>2</sup>), coincidiendo los mínimos con los días de alta nubosidad, la cual fue variable entre 1/8 y 8/8. También fueron observados densos mantos estrato-cumuliformes de gran extensión superficial ocupando valles y depresiones, éstos se disipan durante el día a medida que se produce el calentamiento de los suelos, rocas y niveles inferiores de la atmósfera.

El desarrollo y estabilidad de estas estructuras nubosas son por lo tanto, altamente dependientes del

suministro de humedad, las variaciones térmicas (aire-tierra) y la circulación en bajos niveles, que a su vez está controlada por la configuración del relieve, comportándose las Serranías y Cordilleras, como barreras continuas al desplazamiento de los frentes de nubes.

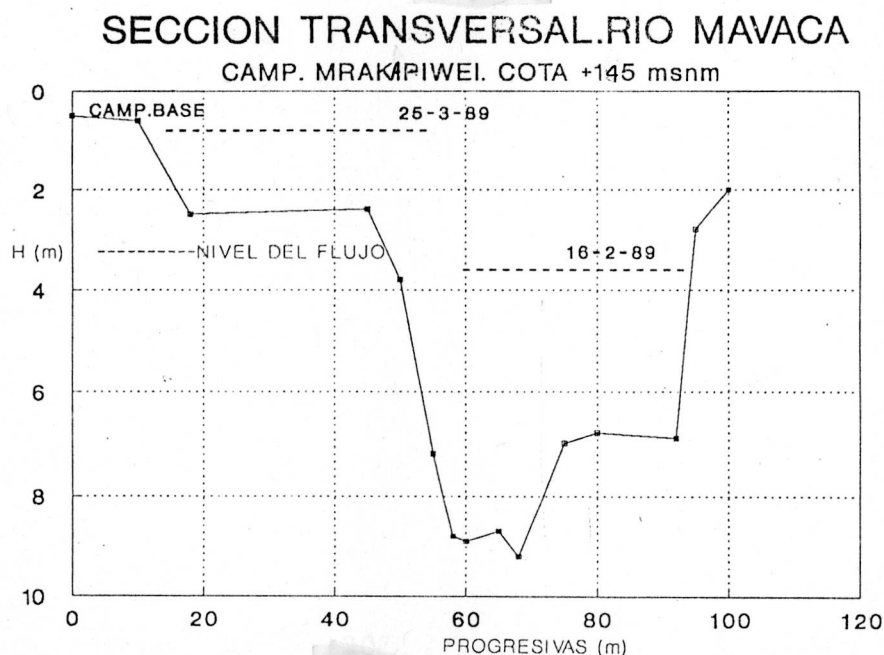
## 6. FLUVIOMETRIA

Un registro diario de los niveles del Río Mavaca en Mrakapiwei se obtuvo durante el lapso Enero-Febrero, dentro del período "seco", habiéndose registrado fluctuaciones hasta de 1,5 m, siendo graduales estas variaciones, como resultado de la acción de lluvias con corta duración y baja intensidad.

A partir del 20/03/89, con el avance de corrientes húmedas desde el Sur desplazándose hacia las serranías de Tapirapécó y Unturán, se produjeron altas precipitaciones que causaron un notable ascenso de niveles en el Campamento Mrakapiwei de 3 m en solo 8 horas, manteniéndose esta condición a sección llena por un período superior a 10 días, hecho indicativo de un sostenido y alto suministro de escurrimiento, desde amplias extensiones de la cuenca.

En el gráfico N° 6, se ilustra la sección transversal del río en el Campamento Base y la extensión del cauce hacia las márgenes, donde se identifican los niveles máximos y mínimos observados, este último correspondió a la primera creciente del año 1989.

GRAFICO N° 6



La sección fluvial presentó dos niveles definidos con escalonamiento hacia las márgenes, con una profundidad máxima en la sección mojada de 7 m referidos al segundo escalón. Esto indica que el nivel del flujo en el canal durante la condiciones de desborde, puede ser hasta de 4 m más alto, respecto al mínimo observado durante nuestra permanencia en el sitio.

Esta variación de los niveles del río no sólo se evidencia en este tramo, ello también se produce en los sectores inferiores del canal, donde al ser menor la pendiente, tal efecto se acentúa tal como ocurre en la estación Boca de Mavaca, situada a pocos kilómetros de la confluencia con el Río Orinoco.

#### 7. CURVA DE CAUDALES. RIO MAVACA-BOCA DE MAVACA

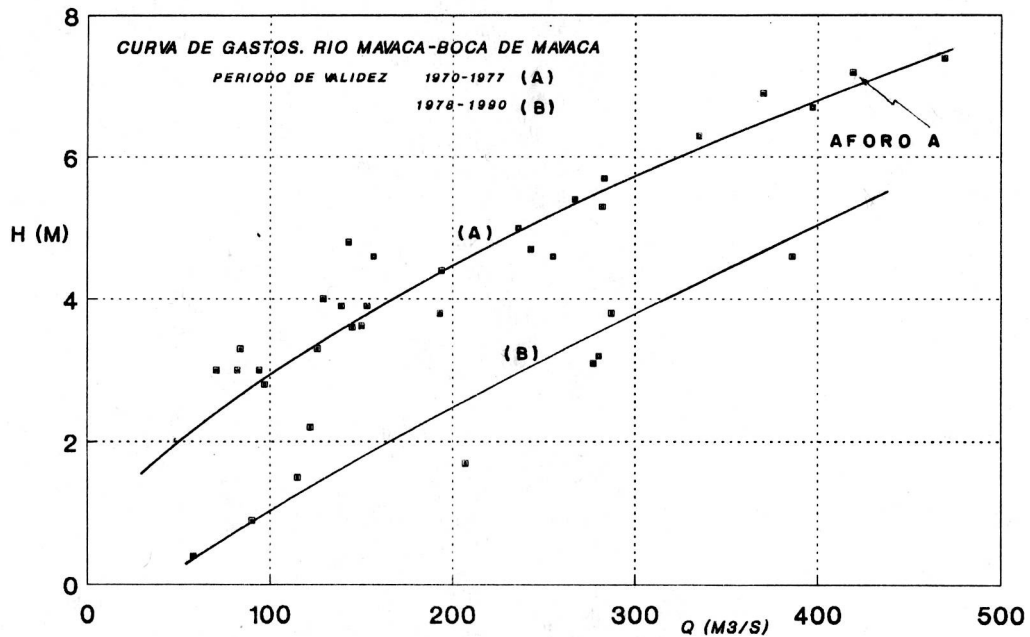
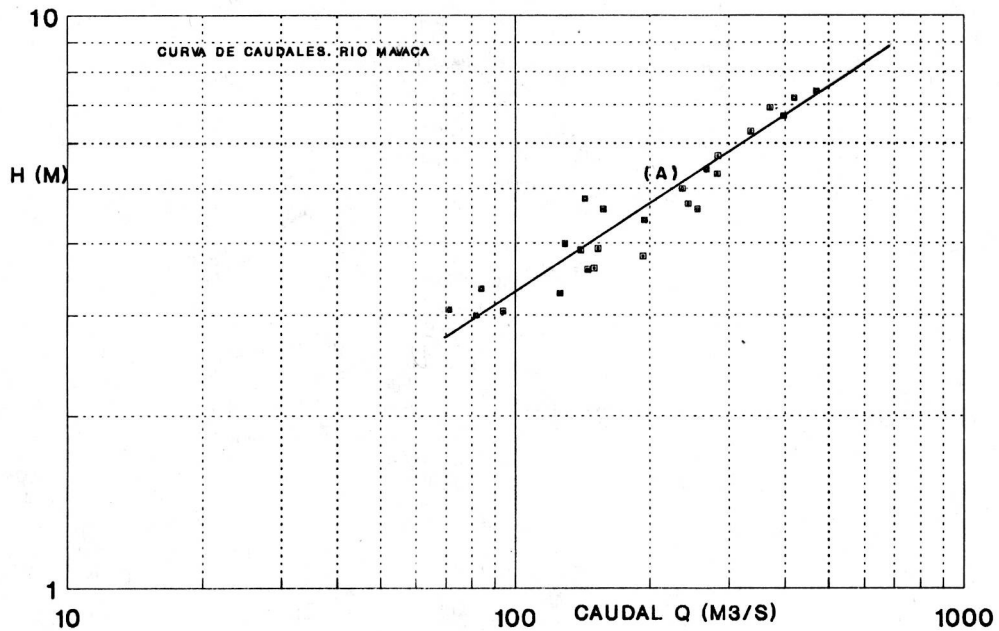
El gráfico N° 7.a. muestra la curva de caudales del Río Mavaca en Boca de Mavaca, basada en las mediciones hidrológicas del período (1970-1977) y se ha representado utilizando las escalas normal y logarítmica. En niveles medios y bajos, se nota una mayor dispersión, definiéndose mejor la correlación para gastos altos, cuyo máximo valor medido ha sido de 470 m<sup>3</sup>/s (6 de Julio 1971). Un aforo correspondiente a un caudal de 420 m<sup>3</sup>/s aparece señalado en la curva a escala normal y en el gráfico 7 se ilustra el campo de flujo así como la distribución de las velocidades (cm/s) y los caudales unitarios (m<sup>2</sup>/s) a través de la sección transversal.

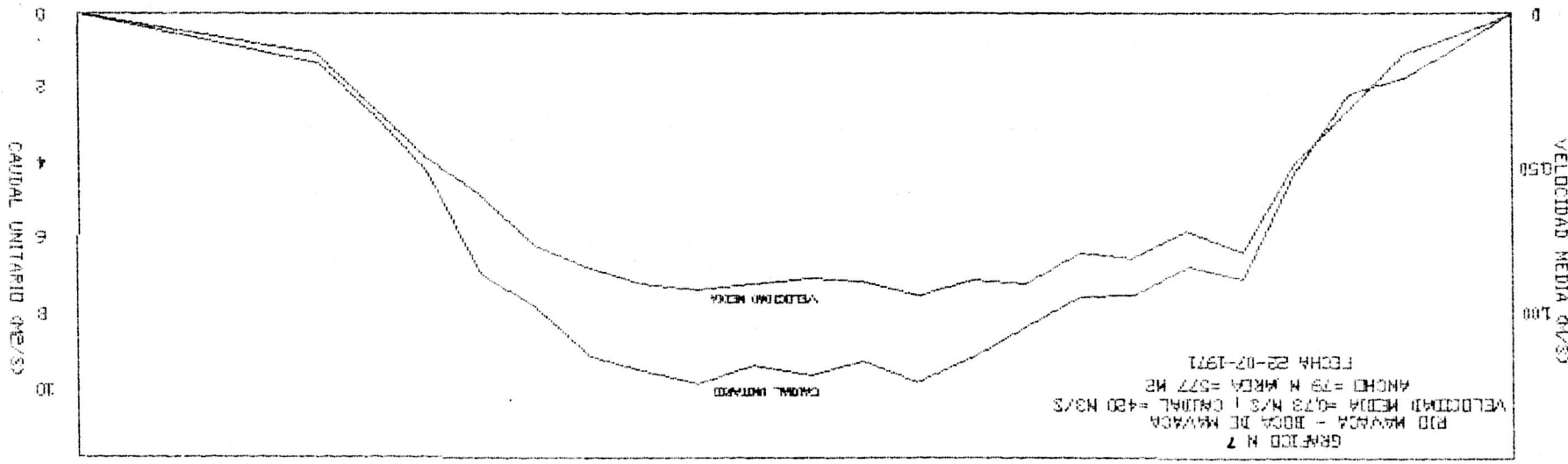
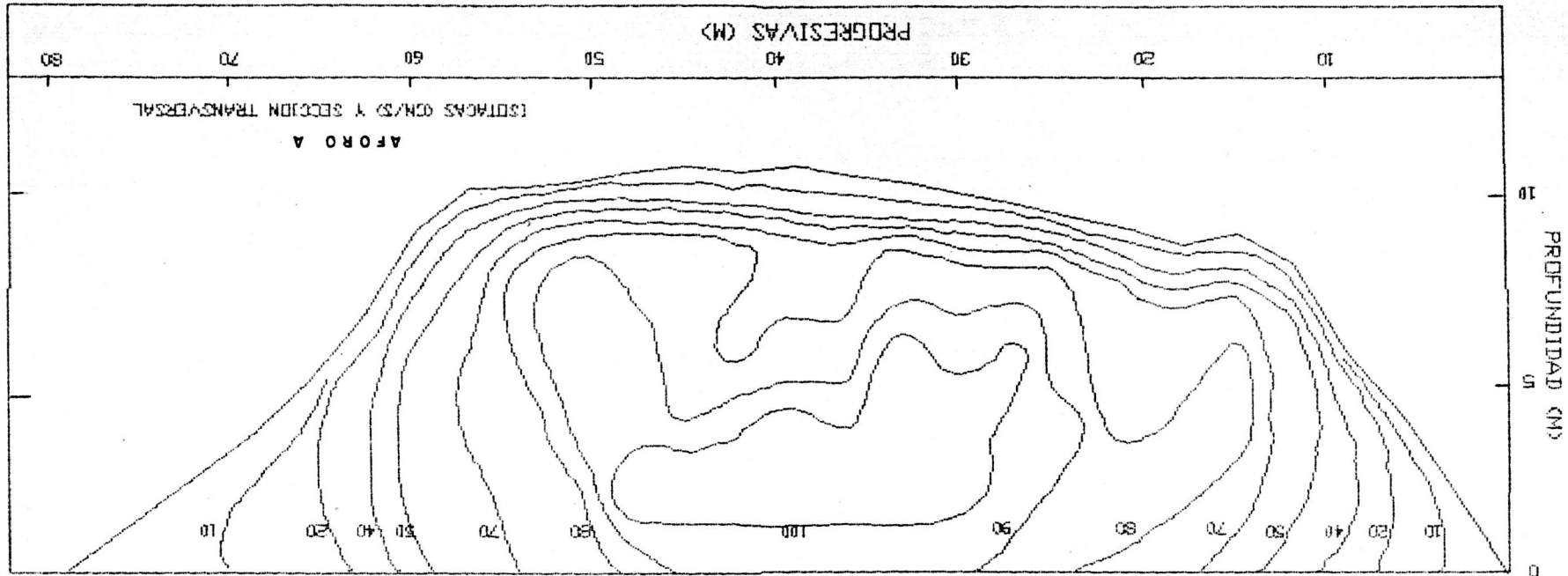
Dentro de estos valores extremos, la fluctuación de niveles fue del orden de 5 m. en la sección, estimándose que durante las crecientes extraordinarias, la planicie fluvial podría experimentar efectos de inundaciones con sobre-elevaciones respecto al tope de sus bancos de 4 m, cuando una extensa superficie en la confluencia con el Río Orinoco se afectaría, haciéndose indiferenciable la separación de las aguas de ambos ríos. En esta condición, el remanso producido sobre el Mavaca, contribuye al mantenimiento de los niveles elevados y por consiguiente, al anegamiento de la planicie fluvial, durante una larga extensión del período lluvioso.

#### 8. VARIABILIDAD DEL FLUJO Y EFECTOS ASOCIADOS

La información hidrológica disponible en el Río Mavaca, permite dar una idea incompleta de su comportamiento y sólo dos años del período (1971-1972), disponen de registros diarios de niveles, los cuales pueden ser transformados a caudales mediante la curva de gastos antes descrita.

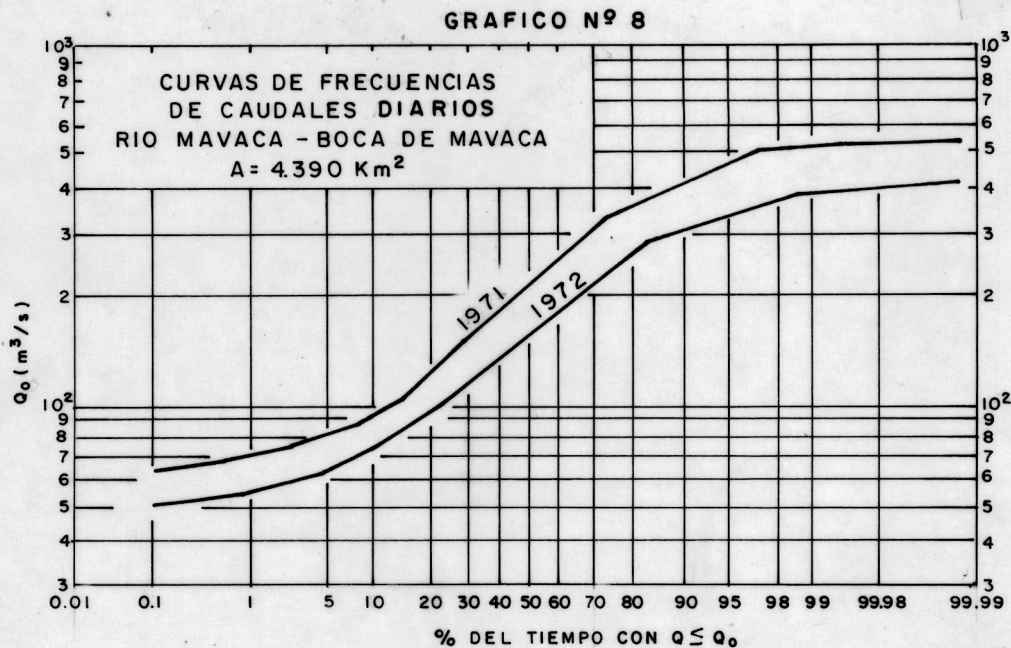
**GRAFICO N°7 a**  
**CURVA DE CAUDALES DEL RIO MAVACA**





La mayoría de los Ríos del Amazonas de Venezuela, en respuesta a la distribución espacio-temporal de las lluvias, las grandes áreas de drenaje, la configuración peneplanada del relieve del basamento, la acción que ejerce la presencia del bosque tropical y la biomasa, determinan regímenes perennes de los ríos con fluctuaciones de niveles graduales, lo que se acentúa si ellos presentan pendientes relativamente bajas en sus tramos inferiores, con una planicie fluvial desarrollada, como ocurre en el Río Mavaca.

Con la información previa, se han preparado curvas de frecuencia de caudales que especifican el % del tiempo durante el cual los gastos igualan ó exceden a una magnitud determinada y ello se obtuvo para los dos años consecutivos que presentan escurrimientos variables, el 1971 con 7410 millones de  $m^3$  y el 1972 con más baja contribución 5186 millones de  $m^3$ , estas relaciones se muestran en el Gráfico N° 8.



Además del contraste en los volúmenes anuales, existen analogías en las curvas correspondientes a cada año que pueden atribuirse a factores hidrológicos y al comportamiento físico de la cuenca, de los cuales algunos son significativos de analizar.

En niveles bajos del río, ambas relaciones muestran poseer un bajo grado de variabilidad de caudales tal como se desprende del valor uniforme de las pendientes de las curvas y ello coincide con un 10-15% del tiempo. En ausencia de notables aportes derivados de la precipitación, debe

admitirse que el hecho obedece al efecto y control de factores asociados al sistema físico; ésto es, a la cuenca y sus componentes geológicos.

El comportamiento del drenaje en la planicie refleja la forma como se libera el almacenamiento del agua desde el reservorio ó sistema que la suministra gradualmente, siendo el tiempo de detención mayor respecto al que se tendría durante el proceso de escorrentía superficial. El proceso de flujo de la planicie hacia el canal es análogo al que ocurriría desde un acuífero hidráulicamente conectado con el sistema de drenaje superficial. Esto último no es lo que se produce en la cuenca, ya que los materiales aluviales de recubrimiento del basamento, son predominantemente finos, con espesores relativamente delgados y aun cuando las rocas ígneo-metamórficas presentan un cierto grado de fracturamiento, lo que facilita el almacenamiento subterráneo, su magnitud es de menor importancia respecto a otras zonas de almacenamiento; principalmente por el hecho de encontrarse obstruidas por materiales producto de la meteorización tropical ó por sedimentos finos.

Esto difiere de lo que ocurre con las areniscas y cuarcitas diaclasadas de la formación Unturán, ampliamente extendidas hacia la periferia y bordes de la cuenca. Esta formación contribuye a mantener los flujos en cauces de bajos órdenes que se desprenden de esas serranías en forma de torrentes, a menudo desarrollando saltos de agua.

Es sin duda, el almacenaje del agua en la planicie cuando se represa el Río Mavaca, lo que origina una notable persistencia de los niveles en altos caudales y tal efecto se traslada a caños y tributarios produciéndose luego, conforme descienden gradualmente los niveles del Orinoco, una evacuación retardada de dicho almacenamiento.

El espeso manto de materia vegetal descompuesta, asociado al sistema radicular de la cobertura boscosa de los suelos sometidos a inundación, poseen por su estructura macroporosa, una alta capacidad de retención de agua, originándose un flujo intermedio a través del material permeable, con desarrollo una superficie saturada, siendo el drenaje retardado, entre otras causas, por la relativamente baja conductividad hidráulica del medio, la lenta variación de los niveles del flujo superficial y la topografía de colinas y sendas tortuosas en el micro-relieve de la planicie.

Estos procesos son de importancia para explicar, no solamente la poca variabilidad de los caudales en altos niveles o el retardo inducido sobre el escurrimiento superficial, sino que es útil para entender parcialmente el grado de complejidad de los procesos fluviales asociados a la

transformación de la biomasa, erosión-meteorización y transporte de materiales que controlan el desarrollo y evolución de la planicie fluvial.

Bajo condiciones de inundación, puede asumirse en forma conservadora, que siendo la planicie cubierta en una extensión longitudinal de 50 km cerca de la confluencia del Orinoco y con una lámina de 2,5 m de desborde extendida lateralmente a través del ancho promedio de la franja de meandros de 1 km, el volumen almacenado y desbordado del canal natural, sería del orden de 125 millones de m<sup>3</sup>, manteniéndose altos niveles durante un lapso de un 20 % o sea 2,5 meses del año. Esto es reflejado por el carácter uniforme y casi constante de la pendiente de las curvas de duración de gastos del Río Mavaca en altos caudales.

Como resultado de lo anterior, se producen los siguientes mecanismos hidrogeomorfológicos asociados:

1. Recirculación de materiales (agua + sedimentos + materia disuelta) transportados a través del canal hacia y desde los suelos marginales de la planicie, durante las fases de ascenso y descenso de niveles.
2. Activación del proceso de meteorización y de descomposición gradual de la materia orgánica en la franja expuesta a saturación. Ello se acompaña del transporte soluble vertical y lateral de elementos y soluciones mineralizadas en los suelos de la planicie, afectándose las rocas cristalinas mediante reacciones de hidrólisis, lo que determina la formación de suelos arcillosos y caolines, como los identificados en los bancos de algunos sectores del cauce, especialmente observados en el Río Mavaca.

Los taludes formados por suelos finos muestran notables concentraciones de elementos menos móviles de tipo aluminico-ferruginoso, pero no se observa formación de costras lateríticas o capas endurecidas. Sobre el talud expuesto al aire, el transporte vertical se mantiene en aguas bajas, controlado por el flujo capilar, cuya zona es diferenciable por el color pardo-amarillento en el área superior saturada del suelo.

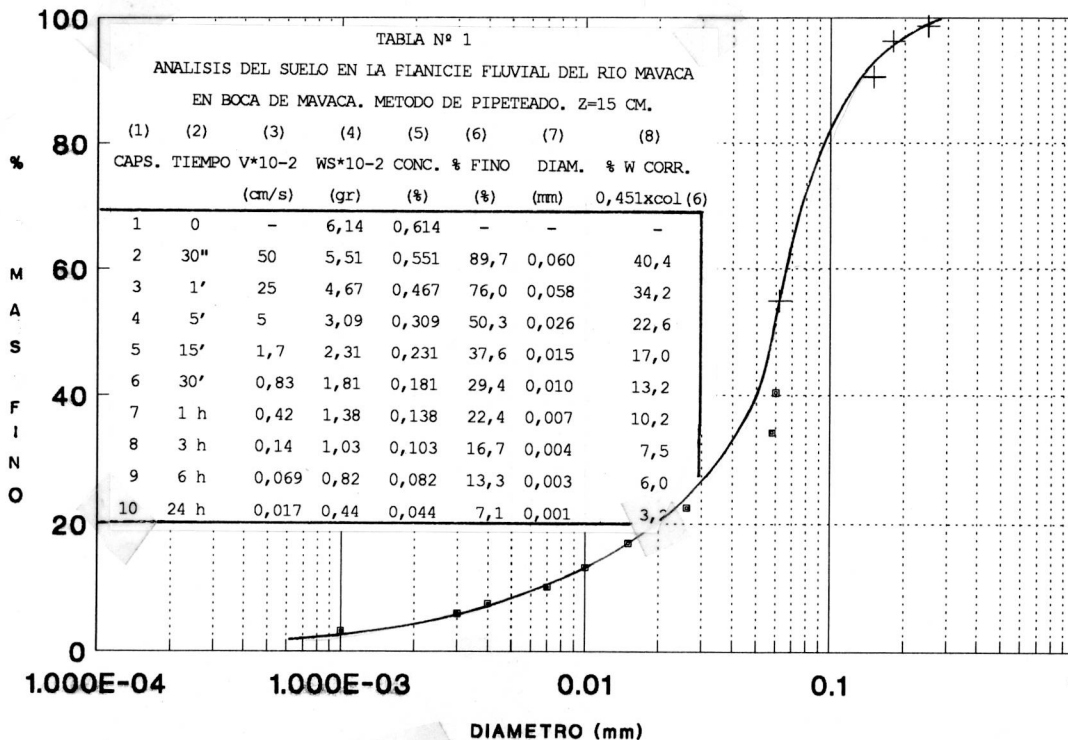
3. Una amplia saturación de los suelos y retención de la humedad en la zona radicular, por acción del manto vegetal descompuesto y la materia orgánica que recubre los suelos de la planicie, almacenaje que es luego suministrado ó transitado lentamente. Esto añadido al represamiento de los flujos, permite explicar la poca variabilidad de los caudales altos y bajos en el tramo inferior del Río Mavaca.

9. SUELOS DE LA PLANICIE FLUVIAL

Como se ha descrito previamente, existen suelos con distintas características formando las estructuras sedimentarias de la planicie del río Mavaca y esto es notable en las partes bajas y depresivas, sometidas a la frecuente acción de las avenidas.

Una muestra de los suelos superficiales del talud derecho de la sección Boca de Mavaca al nivel de mira 4 m, fue recolectada a fin de practicarle análisis granulométrico. La tabla N° 1, indica los resultados obtenidos y la curva de distribución de tamaños se muestra en el gráfico N° 9. La arena se separó mecánicamente mientras que la fracción fina se analizó utilizando el método de pipeteado, de allí que los porcentajes más finos (col.8) que el diámetro correspondiente indicado en la columna (7), se han corregido por la fracción pasante a través del tamiz 230 (0,062  $\mu$ m), la cual representa un 45,1 % en peso de la muestra. Esta fracción fina contribuye a darle un color pardo-amarillento al material edáfico, mientras la arena observada al microscopio (40x) es predominantemente silícea (95 %), las partículas presentan una superficie limpia, encontrándose además (5 %) fragmentos de roca (areniscas) redondeados, partículas de cuarzo con adherencias superficiales (óxidos de hierro, materia orgánica etc), asociados a minerales oscuros y láminas de mica biotita. Estos hechos sugieren que el material ha experimentado transporte fluvial previo y además la existencia de dos fuentes o ambientes distintos de proveniencia, al menos para el material silíceo.

GRAFICO NO. 9  
ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL EDAFICO  
PLANICIE FLUVIAL BOCA DE MAVACA



10. GEOMETRIA HIDRAULICA-RIO MAVACA

Una correlación de las variables geométricas en la sección fluvial con las hidráulicas, permiten establecer su grado de ajuste y definir los rangos dentro de los cuales se establece el flujo normal de agua y sedimentos, además de indicar el grado de estabilidad ante el proceso erosional y dicho análisis es útil, para definir el orden en que se ajustan algunas variables cuando cambia el caudal - Q -.

Tal análisis resulta de interés realizarlo en un río que drena una cubierta aluvional relativamente delgada, superpuesta a un basamento geológicamente estable con un denso patrón meándrico y en consecuencia, con una alta sinuosidad en el tramo inferior.

Las expresiones analíticas a evaluar, obedecen a las siguientes configuraciones generales:

$$b = K_1 Q^s \dots\dots\dots (2)$$

$$d = K_2 Q^\beta \dots\dots\dots (3)$$

$$v = K_3 Q^r \dots\dots\dots (4)$$

La condición de continuidad del flujo de agua exige que en la sección fluvial se cumpla la relación:

$$Q = v \cdot A = v \cdot d \cdot b \dots\dots\dots (5)$$

y por lo tanto, haciendo uso de (2), (3), (4) y (5) debe verificarse que:

$$K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 1.0 \dots\dots\dots (6)$$

$$s + \beta + r = 1.0 \dots\dots\dots (7)$$

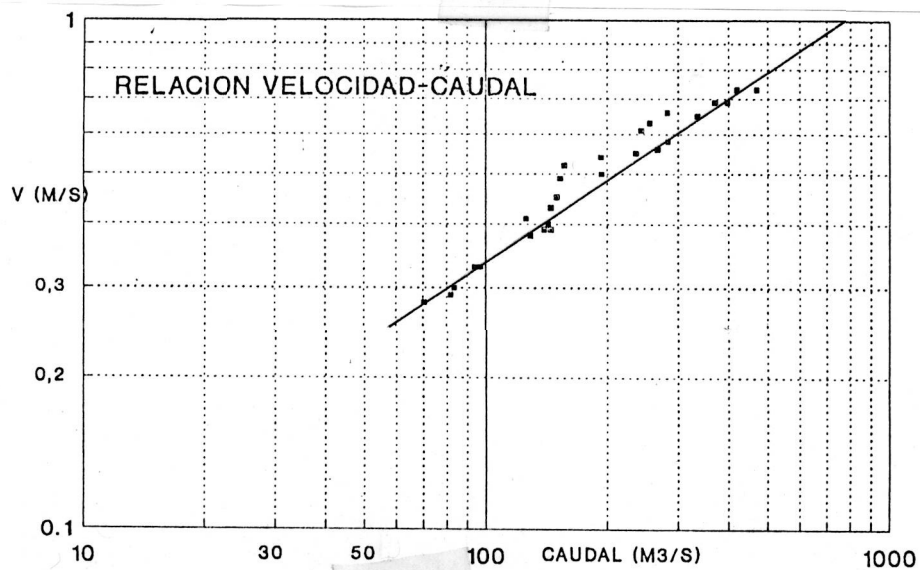
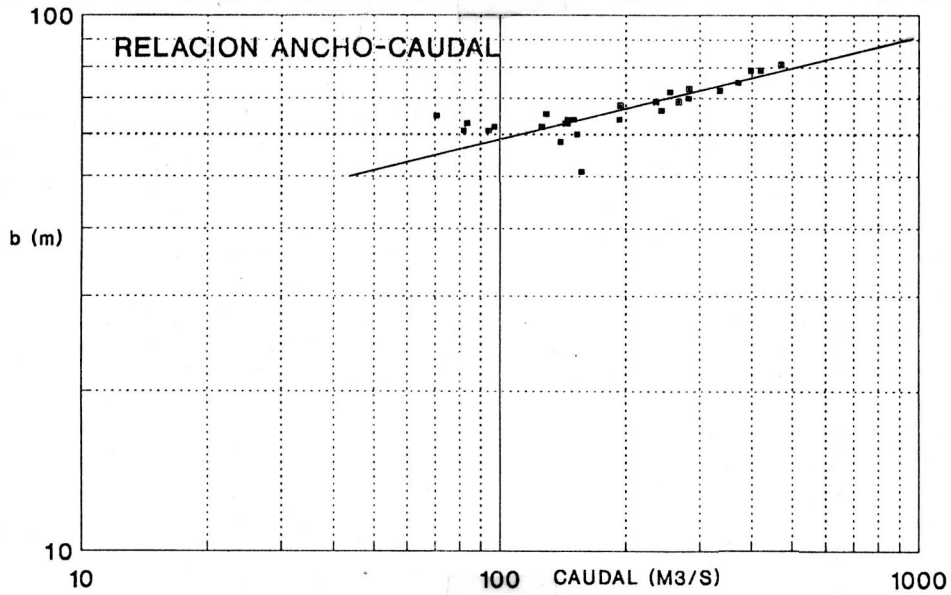
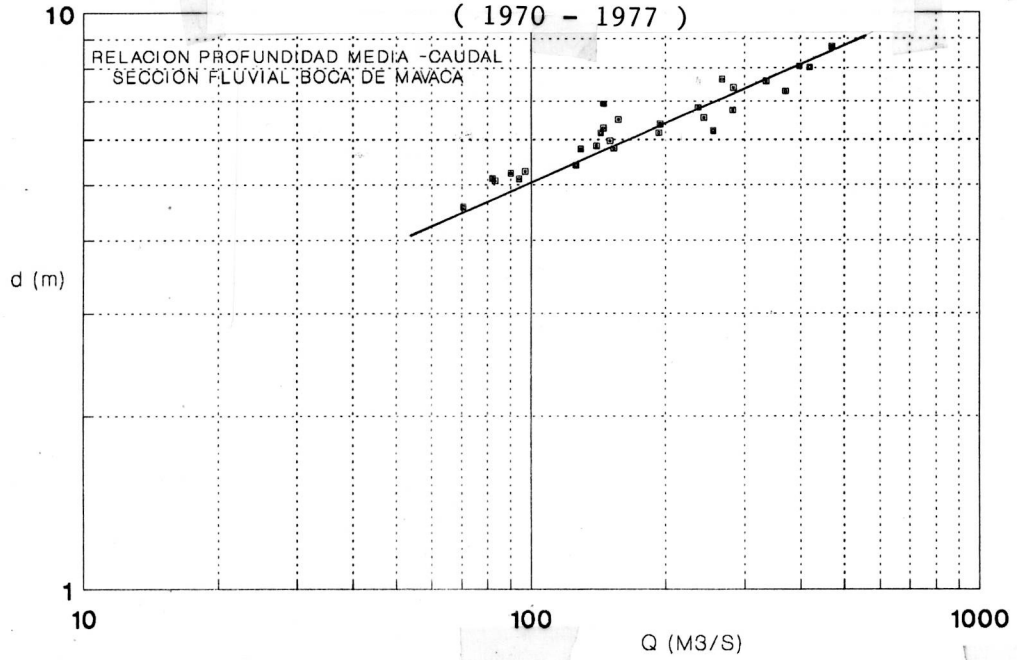
De igual modo se deduce de (2) y (3), que una relación del área mojada -A- en la sección con el caudal Q, es de la forma:

$$A = b \cdot d = K_1 \cdot K_2 Q^{s + \beta}$$

Estas expresiones han sido establecidas en la sección fluvial en Boca de Mavaca y se ilustran en el Gráfico N° 10.

GRAFICO N° 10

Relaciones Hidráulico-Geométricas  
Cuenca del río Mavaca - Boca de Mavaca  
( 1970 - 1977 )



La Tabla N<sup>o</sup> 2, muestra los valores calculados para los parámetros  $K^s$  y los exponentes de cada expresión, que representan analíticamente, las pendientes de las rectas a escala logarítmica.

TABLA N<sup>o</sup> 2

RELACIONES HIDRAULICO-GEOMETRICAS EN LA SECCION FLUVIAL

DEL RIO MAVACA-BOCA DE MAVACA

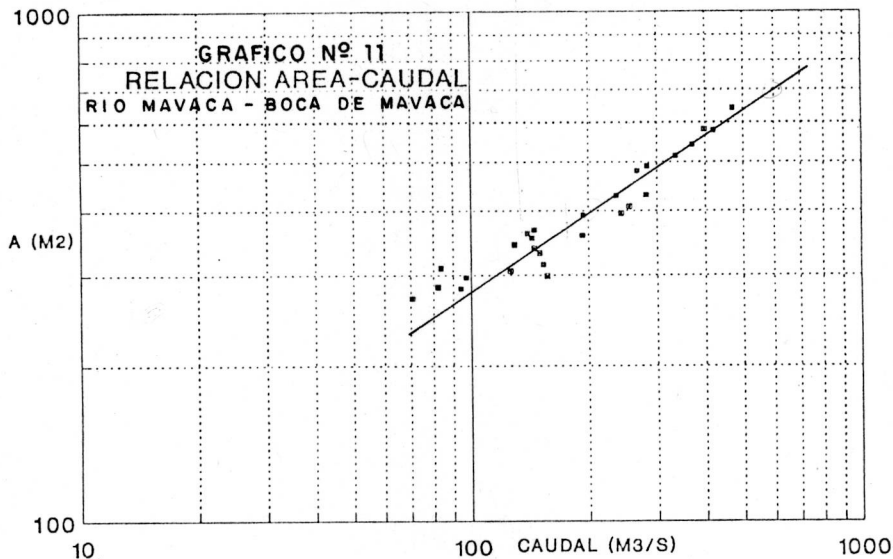
AREA DRENADA: 4390 Km<sup>2</sup>

(1) Expresión	(2) Parámetro K	(3) Pendiente
$b = K1Q^s$	$K1 = 25$	$s = 0,19$
$d = K2Q^\beta$	$K2 = 1,20$	$\beta = 0,32$
$v = K3Q^r$	$K3 = 0,032$	$r = 0,52$
$A = K4Q^u$	$K4 = 27$	$u = 0,51$

De las variables consideradas, es la velocidad media  $v$ , la que experimenta la mayor rapidéz de variación en función del caudal  $-Q-$ , y las relaciones correspondientes al ancho promedio  $-b-$ , y la profundidad media  $-d-$  en la sección respecto al caudal, tienen valores inferiores en sus pendientes de 0,19 y 0,32 respectivamente.

El Gráfico N<sup>o</sup> 10, muestra que para descargas inferiores a  $150 \text{ m}^3/\text{s}$ , el ancho promedio  $-b-$  permanece casi constante en un rango de  $65 > b > 60 \text{ m}$ , lo que se corresponde con el carácter disectado del canal en el tramo inferior y ello refleja también, el control que ejerce el nivel de base del Río Orinoco, en el proceso erosional producido lateralmente por los bajos caudales del Mavaca sobre el depósito aluvional, mientras que es limitado en profundidad, por causa de la alta resistencia litológica de las rocas del basamento.

El comportamiento de la relación anterior se refleja en la expresión que define la variación del área mojada en la sección  $-A-$  con el caudal  $-Q-$ , y se muestra en el Gráfico N<sup>o</sup> 11. Esta tiene la forma:



$$A = 26,82 Q^{0,51} \dots\dots\dots (8)$$

indicando que para valores de  $A > 300 \text{ m}^2$ , correspondientes a una altura de mira  $H = 3,2 \text{ m}$ , el gasto  $-Q-$ , varía en forma directamente proporcional al cuadrado del área en la sección; esto es, un incremento del doble en el área, se corresponde con un aumento de cuatro veces el caudal.

Cuando se dispone de mediciones fluviales en diferentes secciones de un tramo fluvial, entonces podrían considerarse otras variables que intervienen controlando el ajuste hidráulico-geométrico, tales como son la pendiente y el factor de fricción, los que se vinculan íntimamente con el transporte sólido.

El lecho representa un contorno rígido y estable, comparado con las riberas y bancos que forman un contorno erosionable provisto de una densa cobertura vegetal, y esto condiciona variaciones significativas de estas variables en dirección aguas-abajo, lográndose mantener el equilibrio dinámico en razón a la modificación de algunas de ellas. La reducción notable de la pendiente, manifiesta a través de una mayor tendencia hacia el patrón sinuoso en el tramo inferior del Río Mavaca puede ser una de ellas, tal vez la más resaltante. Desafortunadamente, no disponemos aún de datos para confirmarlo y establecer precisas interrelaciones de este tipo.

## 11. TRANSPORTE SOLIDO. RIO MAVACA-BOCA DE MAVACA

Se dispone de algunas mediciones de sedimentación en el Río Mavaca, correspondiendo el mayor número de muestreos al año 1972. Al realizarlas se han utilizado aparatos integradores de la serie US y últimamente se ha empleado la botella colapsible. La Tabla N° 3, presenta los resúmenes de estas mediciones en Boca de Mavaca, indicándose adicionalmente, dentro de un paréntesis, los valores correspondientes a la estación del Río Orinoco en Mavaca, a fin de establecer comparaciones de las magnitudes obtenidas en fechas coincidentes cuando se han practicado las mediciones.

**TABLA N° 3**

*RESUMEN DE MEDICIONES HIDROLOGICAS Y SEDIMENTOLOGICAS  
RIOS MAVACA Y ORINOCO - CUENCA DEL ALTO ORINOCO*

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Fecha (d/m/a)	Mira(s) (m)	Caudal(s) (m <sup>3</sup> /s)	Conc. (s) (ppm)	Temp (s) (°C)	Transporte Sólido (s) (T/día)
01-02-72	3,78	194	96	24,4	1600
13-03-72	3,60(4,66)	145(352)	37( 89)	27,4(26,2)	463(2707)
10-05-72	5,33(6,42)	282(712)	44( 40)	24,8(25,4)	1062(2460)
12-06-72	5,72(6,80)	283(815)	22( 58)	24,9(25,6)	538(4084)
19-07-72	4,42(5,60)	194	21( 36)	25,5(26,2)	352(1648)
31-10-72	2,80	97	18	27,2	151
04-08-84	-	280(612)	16( 24)	-	387(1270)
17-02-89	1,65	157	28	24,5	380
8-12-90	1,84(1,85)	207(398)	93(67)	25,4(26,6)	1663(2304)

Estos resultados indican que el Río Mavaca presenta un amplio rango de variación de la concentración del sedimento, siendo ligeramente inferiores a las del Río Orinoco. La distribución de los caudales en la confluencia, muestra que este río incrementa los flujos del Río Orinoco en un 40% aproximadamente, mientras que el transporte sólido refleja variaciones mayores (12-45%), condición que puede modificarse notablemente en altos caudales.

Otra característica que resalta de las más recientes mediciones realizadas, es la baja concentración de arena suspendida dentro estos rangos de caudales, con valores inferiores a 5 ppm.

Durante el mes de Febrero de 1989 con un caudal de 157 m<sup>3</sup>/s, se midieron concentraciones de 2 y 26 ppm para las fracciones de arena y finos (d < 0.062 mm) respectivamente,

mientras que en Agosto 1984 con un caudal de 279 m<sup>3</sup>/s, se registraron valores de 2 y 14 ppm para ambas fracciones.

Con los limitados datos de la tabla N° 3, se ha obtenido la curva de sedimentación que muestra la relación entre el gasto líquido, columna (3) y el gasto sólido, columna (6), con valores anormales durante los meses de Diciembre y Enero que indican excesivos transportes sólidos, con respecto a la tendencia general. Por contraste, es evidente que existe durante los meses más lluviosos que originan mayores caudales líquidos, una reducción de transporte respecto a la tendencia media mostrada por la curva de sedimentación. Ello puede reflejar un menor suministro sólido producido por la escorrentía superficial, procedente desde suelos protegidos contra la erosión por el bosque tropical, esta hipótesis debe ser sin embargo confirmada con más mediciones de los caudales sólido-líquidos.

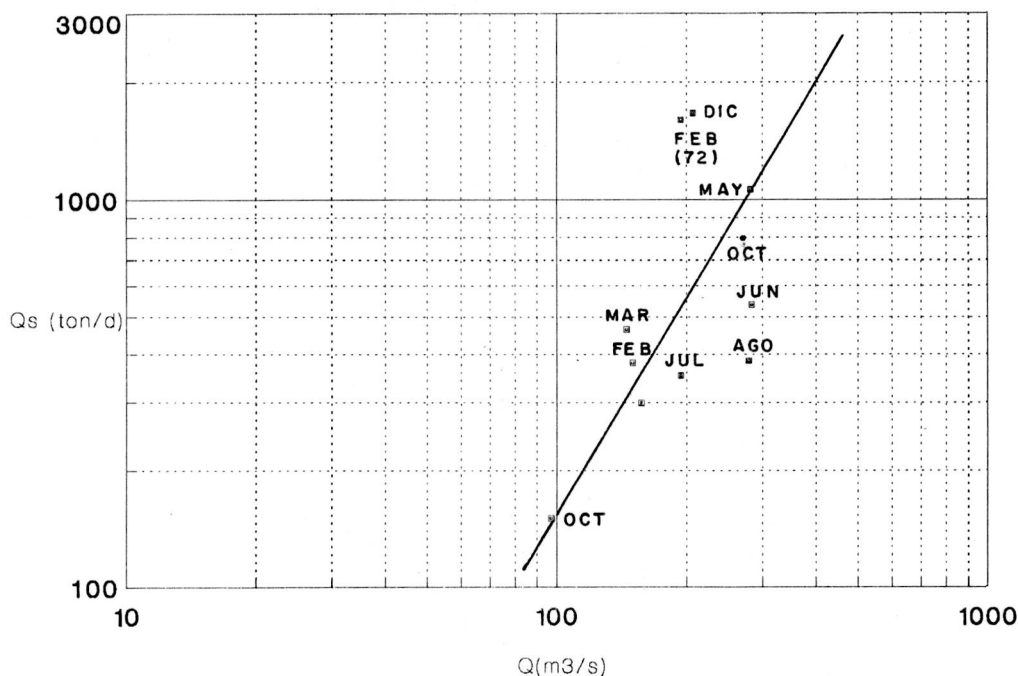
A partir de Febrero- Marzo se inician las crecientes y es factible que gran parte del sedimento acumulado en el canal durante el descenso de niveles del año anterior, sea resuspendido produciéndose un notable incremento del transporte sólido. Un efecto similar podría esperarse, del suministro de materiales por tributarios en la cuenca baja, al producirse crecientes causadas por lluvias locales. El muestreo de Febrero por ejemplo, para el que se obtuvo una mayor concentración, (96 ppm), indicó un valor notablemente alto comparado a los restantes, aún cuando el caudal fue relativamente bajo (194 m<sup>3</sup>/s).

La curva de sedimentación (Gráfico N° 12), obtenida de un reducido número de muestreos, permite sólo dar una idea preliminar del transporte sólido. Tales cálculos se han realizado para los años 1971-1972, usando las curvas de frecuencias de caudales con la de sedimentación, que obedece a una expresión de la forma:

$$Q_s = 3,45 \cdot 10^{-2} Q^{1.83} \dots \dots \dots (10)$$

Los resultados obtenidos para ambos son respectivamente de 325 y 185 mil ton/año, lo que indica altas variaciones del escurrimiento y transporte sólido tratándose de años consecutivos.

GRAFICO No. 12  
 CURVA DE SEDIMENTACION DEL RIO MAVACA  
 SECCION FLUVIAL BOCA DE MAVACA



La notable dispersión de la curva en rangos intermedios de caudales sólido-líquidos, refleja como cambia la concentración del sedimento fino aportado por los tributarios de la parte inferior de la cuenca. Nótese por ejemplo, como en el mes de febrero (1972, 1980) con caudales que difieren en un orden de 20 %, la concentración promedio medida en la sección mostró una variación superior a tres veces. Considerando estos resultados así como la producción de sólidos, se nota que las tasas de denudación son relativamente bajas, consonas con lo que debe esperarse en una región no perturbada artificialmente y conformada por rocas cristalinas resistentes a la erosión, lo cual es más relevante que la alta pluviosidad y subsecuentemente el rendimiento hídrico, como agentes exógenos determinantes de la evolución de las formas del relieve, aspecto que adquiere relevancia sólo cuando se consideran grandes escalas del tiempo geológico.

12. MEDICIONES FLUVIALES DURANTE LA EXPEDICION DE FEBRERO DE 1989. RIOS SIAPA Y MAVACA

Se utilizó un esquema Lagrangeano para practicar las mediciones hidrológicas, sedimentológicas, batimétricas, térmicas y de parámetros físico-químicos de las aguas en los Ríos Orinoco, Mavaca, Siapa y algunos de sus tributarios, a través de un recorrido estimado en 750 km de vías fluviales.

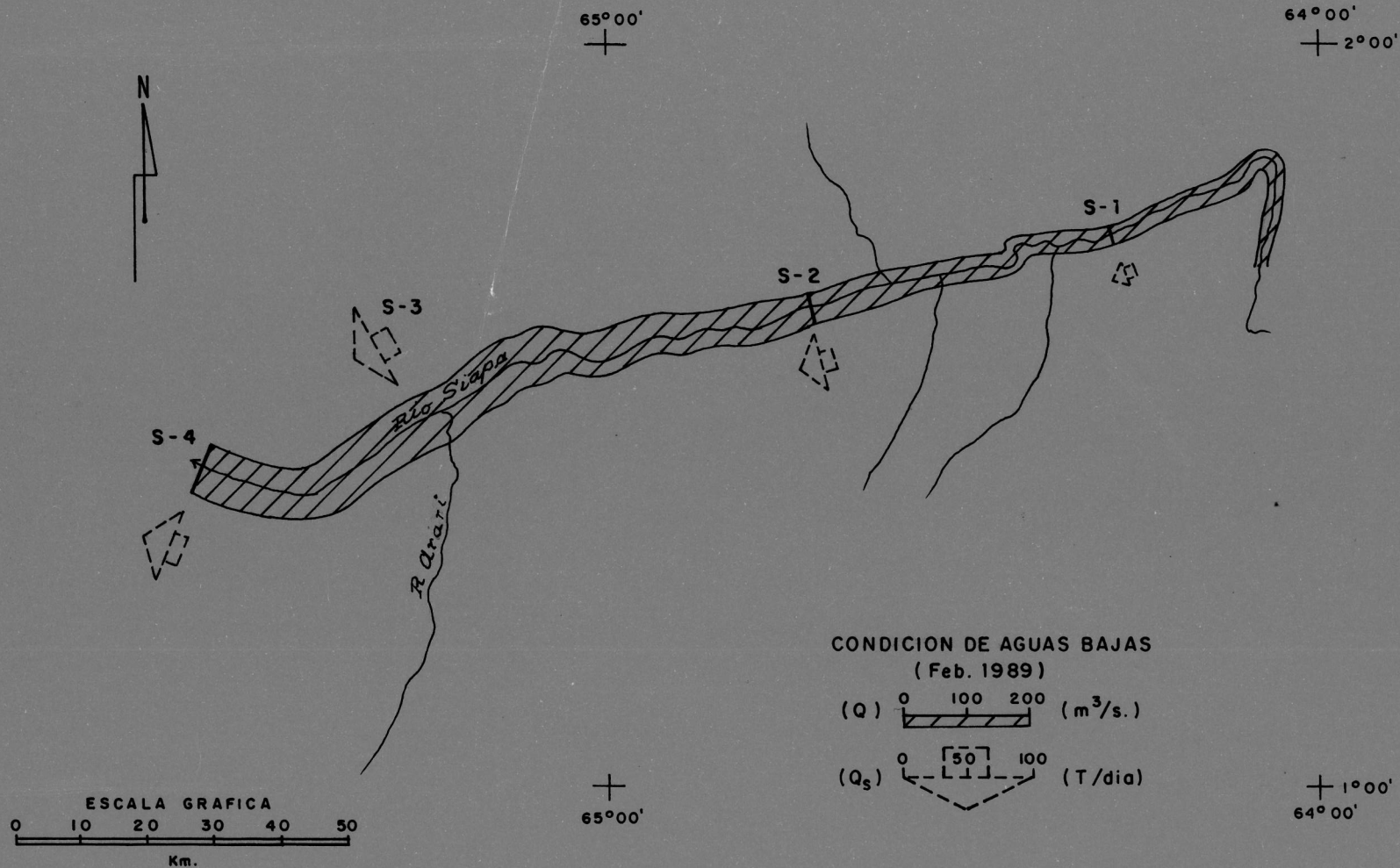
En contraste con las mediciones practicadas secuencial y regularmente en estaciones fijas, el procedimiento define espacialmente en dirección aguas abajo y en el tiempo, las variables asociadas al flujo de agua y transporte del sedimento en un río y ello se obtuvo en ambos casos, durante la condición de aguas bajas.

Para mostrar los resultados obtenidos durante las mediciones, se presentan los gráficos Nos. 13 y 14, que contienen variaciones espaciales de caudales sólido-líquidos, que se complementan con las secciones basadas en los sondeos batimétricos ya descritos; además de las distribuciones granulométricas de los materiales en los lechos, datos de concentraciones del sedimento suspendido, la termicidad, conductividad y pH de las aguas, estos últimos se indican en las Tablas N° 4 y 5.

En la primera se indican los datos de termicidad y gastos líquidos, los cálculos de las concentraciones y transporte sólidos en las distintas estaciones, mientras en la tabla N° 4 se especifican los datos de conductividad específica y acidéz de las aguas. Los valores de pH determinados le dan un carácter ácido a las aguas de estos ríos y un bajo grado de mineralización, como lo evidencia la baja conductividad, cuyos valores caen en rangos observados en las aguas de lluvia. Esta propiedad es común a muchos ríos en la región Amazónica de Venezuela.

Un valor de  $\text{pH}=3,2$  fue medido en un tributario menor del Río Siapa que contribuye a 7 km arriba del Campamento Siapa-3 por su margen derecha, descendiendo torrencialmente de la formación Unturán y presenta aguas de alta turbiedad, aunque muy bajo contenido de sólidos suspendidos. Estas características de las aguas se asocian a la forma como se produce la infiltración de aguas meteóricas en suelos orgánicos y turberas, desde donde se incorporan compuestos orgánicos complejos durante el lento proceso de flujo, condicionado por largos períodos de detención durante el proceso de infiltración y almacenamiento.

GRAFICO N° 13  
 DISTRIBUCION DE CAUDALES SOLIDOS ( $Q_s$ ) LIQUIDOS (Q) - RIO SIAPA - FEBRERO 1989



Recientemente (Agosto de 1992), se practicó una inspección al Alto Orinoco\* y se midieron valores de pH y conductividades durante la condición de aguas altas tanto en el Río Mavaca como en otros tributarios del Orinoco. Los valores obtenidos de acidez se mantienen con pocas variaciones respecto a los de aguas bajas. En el Mavaca con un caudal de 300 m<sup>3</sup>/s y una concentración del sedimento de 31 PPM se midió un pH de 4,26 un valor inferior al del río Orinoco en la misión de Mavaca que fue de 5,4 ó respecto a La Esmeralda donde se obtuvo un valor del pH de las aguas de 4,52 resultando notable dentro de esta región, el valor obtenido en el río Cunucunuma cerca del Cerro Piapoco, el cual drena la vertiente occidental del Tepuy Duida, que resultó ser de 3.6, magnitud comparable a la obtenida en misiones previas por técnicos del MARNR y del USGS en otro importante río de aguas negras del Alto Orinoco, como es el Río Atabapo.

Resulta curiosa aunque de esperarse, la amplia variación de la conductividad eléctrica de las aguas durante los lapsos de baja y alta escorrentía, observándose los mayores valores durante el período de menores caudales, cuando ésta difiere en los casos de los ríos Orinoco y Mavaca, en un orden de 100. En el río Cunucunuma en esta condición, los valores de la conductividad del agua son comparables a la del agua de lluvia o destilada (0,08  $\mu$ mhos/cm). Magnitudes tan bajas se atribuyen a una menor dilución de minerales durante el lapso de mayor escorrentía superficial, comparado con la mayor incorporación de mineralización a las aguas, producto de la meteorización de las rocas y suelos en el medio húmedo-tropical, además de la transformación de la biomasa durante el lento proceso de flujo a través del sistema sub-superficial, tal como se explicó antes.

---

\*Con el Prof. Andreas Hermann, Tech. Univ. Braunschweig. Alemania

TABLA N° 4

RESUMEN DE LA MEDICIONES FLUVIALES EN LOS SIAPA, MAVACA Y OTROS DE LA REGION. FEBRERO 1989

(1)	(2)	(3)	(4)		(5)		(6)	(7)
SITIO	TEMP. °C	V (cc)	Ws (grs) x 10 <sup>-4</sup>		CONC. (ppm)		Q (m <sup>3</sup> /s)	Qs (T/d)
	agua amb.		arena	finos	arena	finos		
Mavaca-1	- -	875	20	70	2	23	45	97.2
Mavaca-2	24 28	1030	33	98	3	32	55	166.3
Mavaca-3	25 32	850	37	74	4	24	93	225.0
Mavaca-4	25 32	1100	58	102	5	34	-	-
Mavaca-5	26 33	800	13	85	2	28	120	311.0
Mavaca-6	24 33	850	17	75	2	30	130	359.0
Mav. Boca	- -	950	20	78	2	26	157	380.0
Manaviche	27 27	300	13	81	4	27	-	-
Orinoco- Platanal	28 28	750	5	95	1	31	-	-
Siapa-1	22 23	1030	7	45	1	15	24	33.2
Siapa-2	23 25	930	42	53	5	18	42	83.5
Siapa-3	21 28	930	12	63	1	21	75	142.6
Siapa-4	28 31	660	39	43	6	14	67	115.0

TABLA N° 5

MEDICIONES DE CONDUCTIVIDADES (µmohs/cm) Y ACIDEZ DE LAS AGUAS

(1)	(2)	(3)
SITIO	CONDUCTIVIDAD	pH
Mavaca-1	14	4.2
Mavaca-2	12	4.2
Campamento Base	15	4.1
Mavaca-4	14	4.1
Laguna Mono	10	4.1
Caño Washeva	15	4.7
Caño Platanillal	12	5.2
Siapa-1	15	5.1
Siapa-2	15	4.3
Siapa-3	18	4.6
Trib. Arriba Siapa-3	12	3.2
El Castaño	14	4.4
Caño Yoroamapuey	17	4.7
Orinoco en Mavaca	29	4.8
Orinoco en Platanal	32	4.6

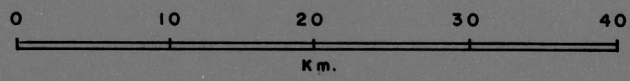
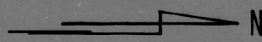
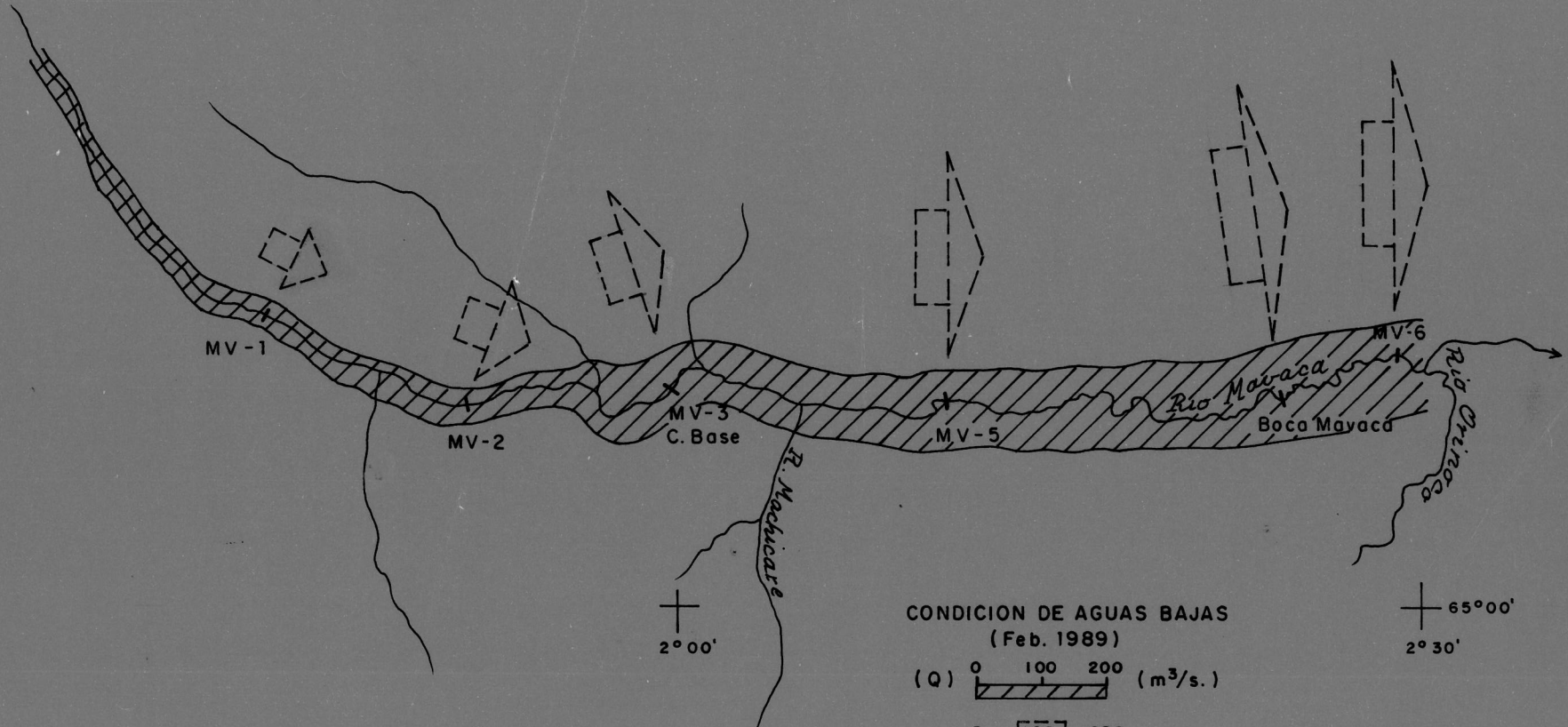
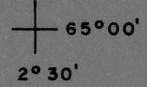
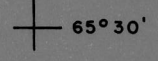
1°30'

2°00'

2°30'

GRAFICO N° 14

### DISTRIBUCION DE CAUDALES SOLIDOS ( $Q_s$ ) LIQUIDOS (Q) - RIO MAVACA - FEBRERO 1989



ESCALA GRAFICA

### 13. MATERIALES EN LOS LECHOS

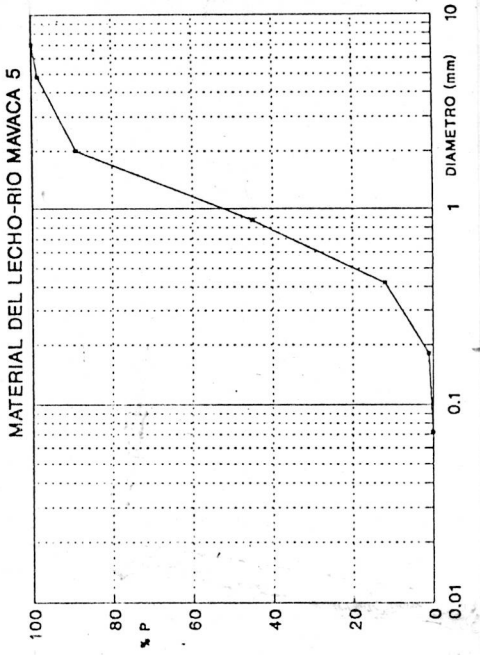
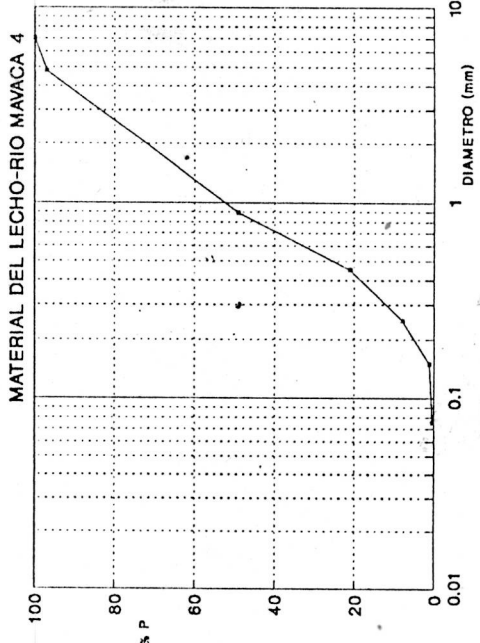
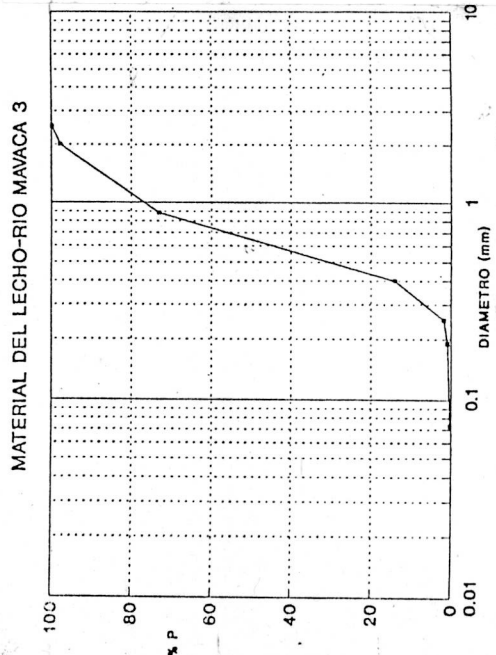
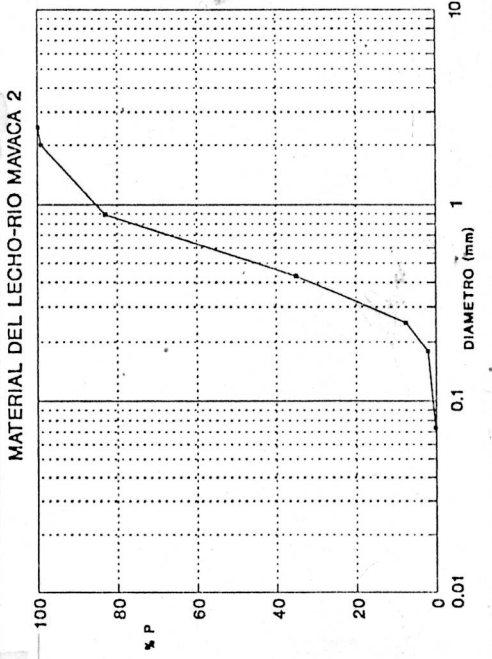
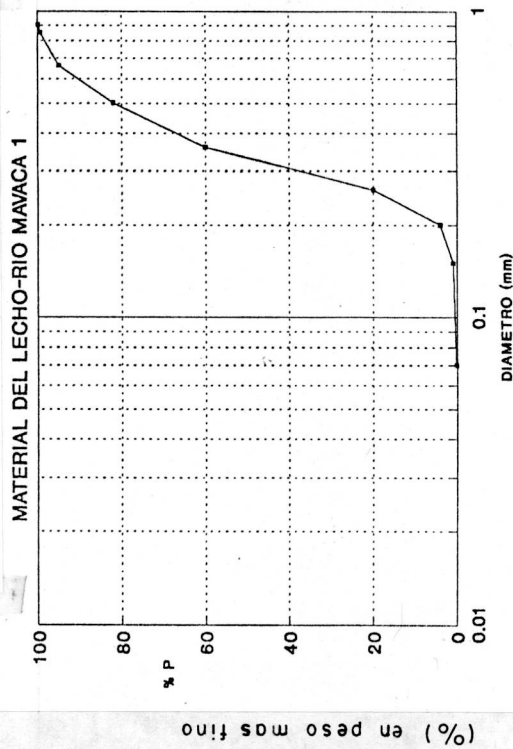
El lecho del Río Siapa en el trayecto explorado es de carácter rocoso, existiendo en los tramos de menor pendiente, acumulaciones locales de arenas en reducidos espesores, ello es común después de la localización de pozos disipadores de la energía con alta turbulencia, situados aguas abajo de rápidos.

En el río Siapa el  $d_{50}$  refleja una gradual reducción de tamaños (gráfico N° 15) en dirección aguas abajo, variando desde 0,90 mm en la parte superior (SIAPA-1) hasta 0,25 mm en las inmediaciones al raudal más bajo explorado (SIAPA-4). Así, dado que el control litológico es predominante al dictar la forma del lecho y el emplazamiento del río se puede considerar a éste, como de carácter no aluvial.

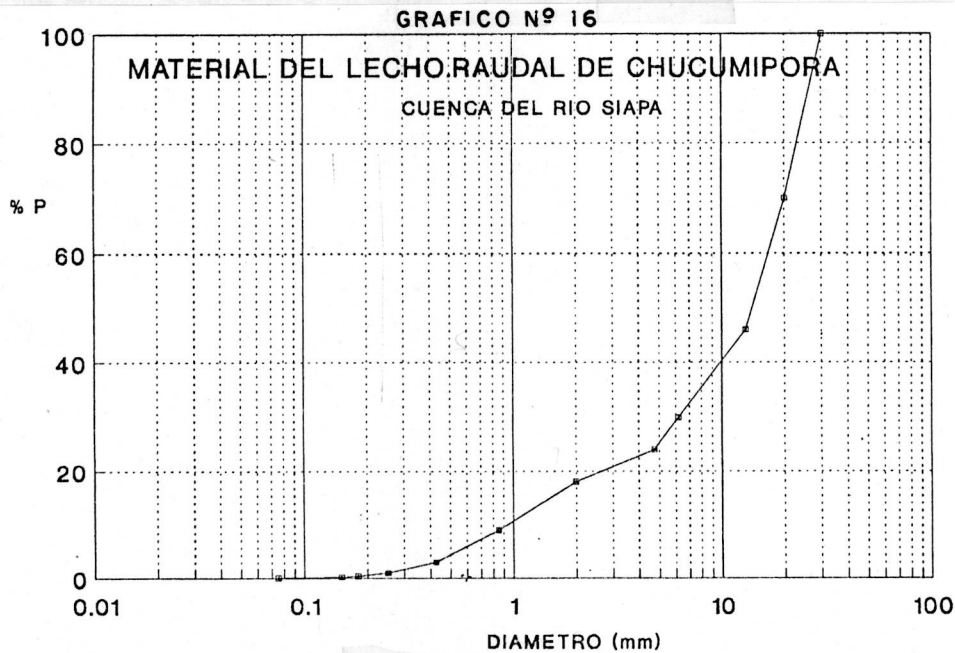
Localmente, en aquellos tramos con rápidos donde la turbulencia y la acción hidrodinámica son efectivos para inestabilizar y remover las fracciones más finas de arenas, limos y arcillas, se produce la concentración en el lecho de gravas cuarzosas y peñones. Estos se atrapan en cavidades y fracturas y muestran por su alto grado de redondez, haber experimentado intensos y continuos procesos de atricción y de transporte fluvial. En el más bajo salto explorado del río Siapa, se identificó en la roca cristalina -un augengneiss-, prominentes marmitas de forma cilíndrica excavadas en el lecho, con un diámetro máximo de 1,25 m y con profundidad de 1,75 m, conteniendo arenas y cantos redondeados de cuarzo. Allí se produce la abrasión de las partículas en las paredes de la cavidad, como resultado de la acción hidrodinámica de los flujos en espiral generados en la depresión, al subir los niveles del río. Estas estructuras llamaron vivamente la atención de Humboldt en muchos ríos de la región del Alto Orinoco y anotó (3) describiendo la desembocadura del Meta, "el peñasco de Gneiss tiene hoyos circulares, siendo los mayores de 4 pies de profundidad y 18" de ancho, estos embudos contienen guijarros de cuarzo y parecen estar formados por el frote de las masas arrastradas por las aguas y sometidas al impulso".

Cuando descienden los niveles, se producen reacciones de tipo hidrólisis sobre los feldespatos, disgregándose los fragmentos de rocas retenidos y este proceso ocurre alternadamente entre largos períodos de estabilidad, cuando no existe circulación y se incrementa la temperatura y evaporación del agua allí retenida, lo que activa las reacciones de intercambio en la cavidad. En aquellos lapsos de menor duración, bajo la condición sumergida, el flujo produce el desgaste y atricción de las partículas. Esto condiciona tanto la distribución granulométrica de los materiales del lecho, como el mecanismo erosivo del alveo, produciendo los cambios graduales en la geometría del canal rocoso.

**GRAFICO Nº 17**  
**GRANULOMETRIAS DE LOS MATERIALES DEL LECHO DEL RIO MAVACA**  
**EN VARIOS SITIOS (MV-1, MV-2, ... MV-6)**



Un ejemplo representativo de los primeros materiales se ilustra en el Gráfico N° 16, se trata de una muestra captada en el raudal de Chucumipora en el Alto Siapa. El material presenta un tamaño medio de 15 cms. y tiene alta variabilidad en los tamaños inferiores a este valor.



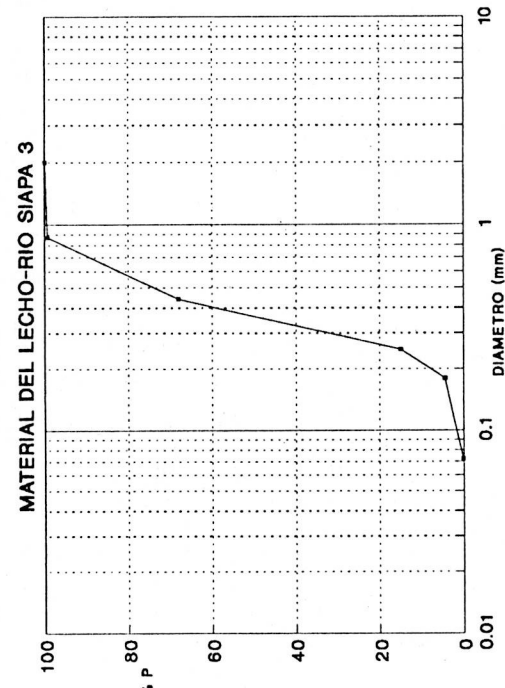
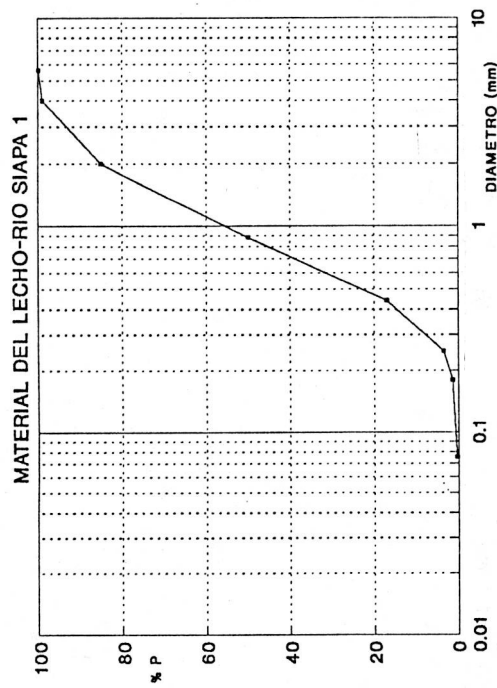
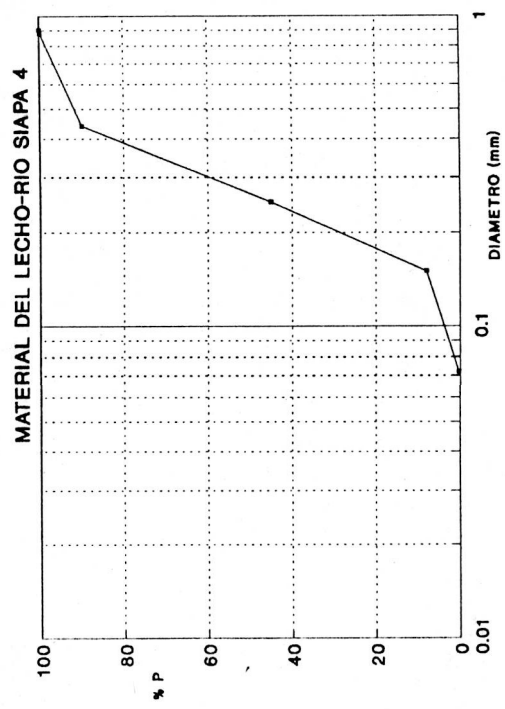
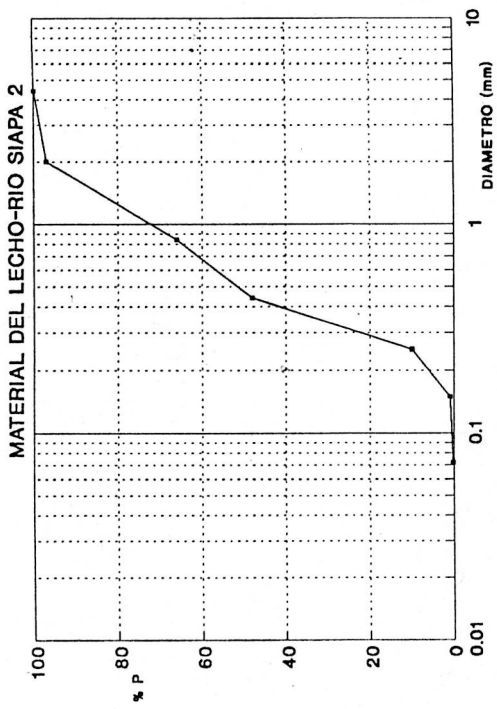
La presencia de gravas en zonas de rápidos y raudales, sugiere que estas podrían encontrarse en las zonas depresivas del lecho ó en fracturas que son recubiertas luego de arena, al reducirse la velocidad del flujo y estabilizarse la fracción de arena como material superpuesto al lecho grueso ó rocoso. Esto explica la causa por la cual materiales gruesos no fueron captados durante los muestreos.

En el río Mavaca (gráfico N° 17) es abundante la arena tanto en el recubrimiento del lecho rocoso, como en depósitos de la planicie, llegando a formar barras de punta en los lazos de meandros. El tamaño medio de las arenas varía en el rango de 0,35-0,90 mm, no se encontraron gravas, aunque se señala su presencia en el Caño Urafrareuei\*.

Las curvas granulométricas en secciones localizadas hacia la parte inferior del cauce (Mavaca 4-5 y barra fluvial), presentan al graficarles a escala log-probabilística, una distribución Gaussiana bien definida,

\*J. Finker, Comunicación personal.

GRAFICO Nº 15



(%) en peso mas fino

mientras que en los tramos superiores, las curvaturas de las mismas es hacia la izquierda, dado que el diámetro geométrico  $-d_g-$  es inferior al diámetro medio  $-d_{50}-$ .

En estudios previos (9), se ha identificado este tipo de distribuciones en lechos de ríos del Escudo, como se verificó en el río Parguaza, un tributario del río Orinoco en su tramo medio.

Tal comportamiento se produce en materiales con distintas gradaciones granulométricas, como puede observarse en las muestras captadas en la barra fluvial de un meandro en el Mavaca o la muestra del material del lecho de éste río en su confluencia con el Mavaquita (gráfico N° 18) en las cuales el diámetro medio y el grado de dispersión estadística, difieren notablemente. La primera corresponde al depósito de una creciente expuesto a la atmósfera, mientras que la segunda se captó en el lecho del río.

Las arenas provienen de dos fuentes litológicas diferentes: las rocas de cobertura (areniscas y cuarcitas) con un cuarzo relativamente equigranular y las rocas igneo-metamórficas del basamento, con un carácter más heterométrico de las partículas. Estas rocas tienen diferentes grados de resistencia a la erosión y la meteorización, existiendo además, condiciones diferentes dentro de sus áreas de emplazamiento, en aspectos relacionados con el clima, relieve, cubierta vegetal y especialmente en la escala de los procesos de transporte. En tales ambientes es natural, que minerales menos estables que el cuarzo, tales como los feldespatos, micas y otros, sean rápidamente alterados y por lo tanto no se encuentran en forma significativa, como componentes del sedimento fluvial.

Con fines comparativos, se señalan adicionalmente las granulometrías del material del lecho en dos estaciones situadas en el Río Orinoco en su cuenca alta, Platanal y Río Mavaca en varias secciones, calculándose para ambos, tanto diámetros medios como las desviaciones típicas.

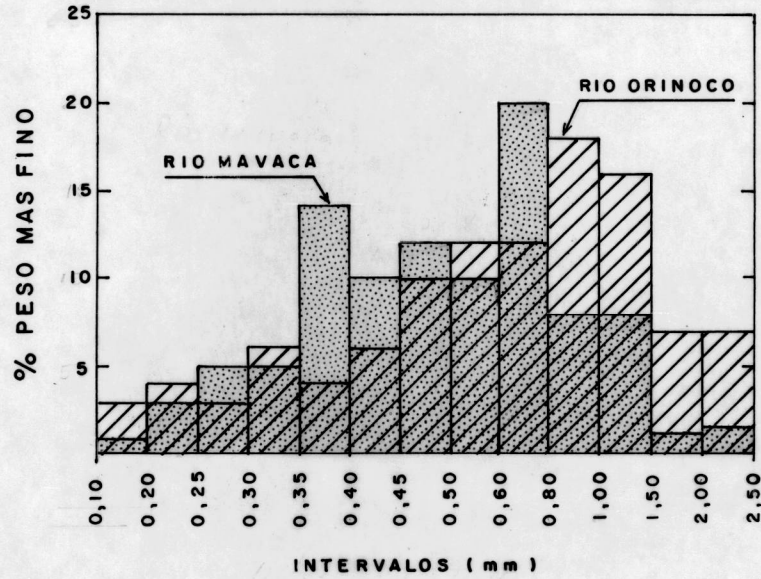
Esta última se han calculado de la relación:

$$\sigma = \sqrt{d_{84}/d_{16}} \dots\dots\dots(11)$$

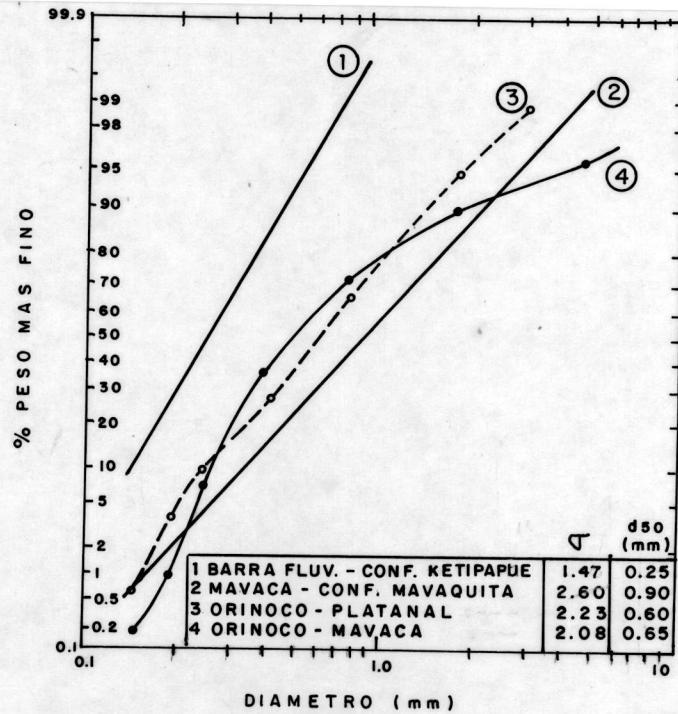
En la confluencia de ambos ríos, la frecuencia con la cual ocurren los rangos de tamaño comprendidos entre 0,10-0,60 mm son similares, con excepción del intervalo entre 0,35-0,45 mm con mayor abundancia en el río Mavaca, incrementándose notablemente el porcentaje de las fracciones que exceden a 0,80 mm en el material del lecho del Orinoco respecto al primero, tal como se ilustra en el gráfico N° 18.

GRAFICO Nº 18

HISTOGRAMAS DEL MATERIAL DEL LECHO  
RIOS ORINOCO Y MAVACA EN SUS CONFLUENCIAS



CURVAS GRANULOMETRICAS DEL MATERIAL DEL LECHO  
RIOS ORINOCO Y MAVACA



Los contrastes y analogías en las proporciones en que ocurren las diferentes fracciones granulométricas en el material del lecho, así como los tipos particulares de distribución estadística, son un reflejo del efecto de diferentes factores asociados a la composición litológica de las fuentes de aporte, el grado e intensidad del transporte, el escogimiento hidráulico y los procesos de meteorización, pero las relaciones causales y la interacción de dichos procesos, no se han investigado completamente al presente.

## 14. CONCLUSIONES

Las cuencas de los ríos Siapa y Mavaca localizadas sobre el antiguo Escudo Guayanés, en la franja Ecuatorial del Continente Sur-Americano, presentan excepcionales condiciones prístinas, estando ambas cuencas incluídas dentro de la región que en términos climático-forestales, han sido encerradas dentro de la Hylea Amazónica en su extensión hacia el territorio de Venezuela. Dentro de estas características, resaltan los aspectos Hidrometeorológicos e Hidrogeomorfológicos en tanto que estas cuencas producen el suministro de masas de aguas y sedimentos a dos de los más importantes ríos del mundo: El Amazonas y El Orinoco, ambos interconectados fluvialmente en el sector a través del Brazo Casiquiare, para formar el más extenso y caudaloso sistema de drenaje superficial del planeta.

En éstas regiones la acción de los procesos endógenos y climatológicos, actuando en forma continua a través del tiempo Geológico, han determinado la remoción lenta pero progresiva de potentes secuencias de rocas, preservándose Cordilleras, Altiplanicies y Serranías que reflejan un notable contraste, de las más amplias áreas denudadas del basamento, profundamente distorsionado y metamorfozido, sobre el cual se desarrollan diferentes tipos de relieve, en respuesta al efecto de la intensa meteorización y erosión en el medio tropical, el patrón tectónico-estructural y la litología.

Tales factores han ejercido influencia en la evolución y comportamiento de los sistemas fluviales, que drenan las cuencas del Siapa y Mavaca, los que presentan morfologías y respuestas hidrológicas específicas.

Así, mientras la primera se enclava y encierra a prominentes sistemas de montañas como Tapirapécó y Unturán, desarrollando un valle abierto, cuya configuración es la de un escalón tectónico (450-500 msnm), disectado por la erosión geológica, donde la orientación del cauce y de las redes de drenaje evidencian gran control por parte de las estructuras del basamento, en la del Mavaca que la bordea, la denudación ha progresado hasta remover gruesos espesores de rocas hasta transformar el basamento a una condición de peneplano con remanentes residuales aislados, sobre el que discurren con alta sinuosidad los cauces, presentando un prominente efecto de las estructuras de origen diastrófico y el nivel de base de los grandes ríos, especialmente el Orinoco. La cuenca del Siapa, adquiere similar aspecto hacia el Casiquiare.

El río Mavaca presenta una planicie fluvial sobre la que se impone un complejo patrón ameandrado, la cual refleja condiciones muy particulares en su proceso evolutivo en lo relativo a la influencia e interrelación de la biomasa, efecto de represamiento por el río Orinoco, presencia de rocas y tipo de sedimentos, las estructuras del basamento, el relieve y los mecanismos de erosión

y meteorización operando en el medio tropical. Una evidencia de la acción en el pasado de los procesos fluviales, es la identificación en imágenes de radar (1:250.000) de canales naturales pre-existentes cuyas características morfológicas, difieren notablemente de los que drenan actualmente éstas regiones del Escudo Guayanés. Este es un aspecto de notable interés histórico-geológico en el Escudo que permanece poco estudiado.

El alineamiento del río Siapa en la cuenca montañosa como el de muchos de sus tributarios en el sector meridional de la cuenca, está controlado por la litología y las estructuras del basamento y presenta tramos lineales con numerosos rápidos y raudales que regulan el régimen fluvial. Los depósitos aluviales están ausentes o poco desarrollados y las secciones del canal presentan formas disectadas en el lecho rocoso, con presencia de islas estables por su resistente litología, que son afectadas periódicamente por la acción de los flujos elevados.

El cauce inferior del río Mavaca exhibe un alto grado de sinuosidad y se desarrolla en un relativamente delgado espesor de sedimentos aluviales superpuestos al basamento, que conforma el contorno inferior del canal en extensos tramos del mismo. Esto sirve de control al proceso erosivo vertical y además influye en el patrón de los meandros, que ofrece configuraciones asociadas a las formas de las estructuras geológicas - del tipo geofracturas en el basamento-, originando un ejemplo típico de planicie fluvial, formada bajo condiciones especiales en la cuenca del Alto Orinoco.

Las mediciones hidrológicas y de sedimentos practicadas durante el reconocimiento indican que en este período, el rendimiento de escorrentía del río Mavaca, así como la producción de sedimentos, son notablemente superiores respecto a los del Siapa, lo cual no refleja la relación entre sus áreas drenadas que es de 1/2. Los contrastes se atribuyen a las características fisiográficas exhibidas por ambas cuencas, especialmente en la topografía, relieve y naturaleza geológica, causas que determinan una mayor capacidad de almacenamiento de agua en la cuenca del Mavaca y un mas eficiente drenaje superficial en la del Siapa. Los resultados obtenidos reflejan condiciones particulares de ambos ríos, habiéndose ampliado el análisis en el primero, donde se dispone de registros previos de niveles, caudales y de sedimentación. Estimaciones preliminares del rendimiento líquido para dos años secuenciales, muestran notable variación de las magnitudes del escurrimiento y el transporte de sedimentos.

Dentro del comportamiento hidrológico del Rio Mavaca destaca la persistencia de los altos niveles (o caudales), lo que determina importantes procesos en la evolución de la planicie y controla importantes mecanismos erosionales, de meteorización, así como de transformación de la biomasa.

Un análisis de las relaciones hidráulico-geométricas en la sección fluvial del río Mavaca en Boca de Mavaca, indica que existe una definida relación entre las diversas variables que controlan el flujo de agua y de sedimentos, siendo la velocidad la que presenta los cambios más notables al cambiar el caudal  $Q$ . Las relaciones para el transporte sólido están menos definidas y precisan intensificar las mediciones para realizar cálculos más exactos.

Los materiales del lecho predominantes en estos ríos son las arenas con tamaños medios comprendidos en el rango de 0,25-0,90 mm. La fracción de grava fina es inferior a 10% en peso, captándose muestras de éstas en el río Siapa, en depresiones cerca de los rápidos. Estas se encuentran rellenando fracturas y cavidades del lecho rocoso y no fueron observadas en el Mavaca, aunque existen referencias de su existencia local en algunos tributarios y caños. El espesor de los materiales aluviales y en especial de los sedimentos finos, es mayor en el río Mavaca que en el tramo recorrido del Siapa, donde no se ha desarrollado una planicie fluvial, lo que contrasta de su comportamiento hacia las llanuras bajas de Casiquiare.

Análisis de las distribuciones de tamaño de los materiales del lecho muestran que mientras en el Siapa se produce una reducción gradual de los tamaños medios en un sentido longitudinal aguas abajo, en el río Mavaca el rasgo resaltante, es la existencia de distribuciones normales de las granulometrías en el tramo inferior en algunos tributarios. Una comparación con los sedimentos del río Orinoco en su confluencia, evidencian un predominio en éste, de los tamaños comprendidos en el rango de 0,80 - 2,50 mm, en contraste con la de 0,35-0,80 mm que tiene mayor abundancia en los del Mavaca. Esto refleja especialmente, el carácter geológico de las áreas aportadoras, el grado de transporte y el escogimiento hidráulico realizado bajo la acción de flujos de distinta magnitud.

Resultados de las mediciones de algunas propiedades físico-químicas de las aguas de estos ríos y de varios tributarios, evidencian un carácter ácido y muy bajo contenido de minerales disueltos, tal como lo reflejan los valores del pH y conductividad eléctrica. En un tributario del Río Siapa se midieron magnitudes de pH muy bajas además de una alta turbiedad atribuida al contenido de compuestos orgánicos en solución, incrementándose el pH y modificándose la turbiedad, a medida que se produce la dilución y mezcla en los cauces principales.

Un resultado relativamente alto de la conductividad eléctrica fue el medido en las aguas en dos secciones del río Orinoco, las del Platanal y confluencia con el Mavaca, la cual fue elevada respecto a otros ríos de la región. Se conoce la

íntima relación de ésta propiedad, con el contenido de constituyentes solubles y suspendidos en las aguas, y éstos pudieron incrementarse como resultado de algún tipo de intervención de los suelos, rocas y cobertura vegetal de la cuenca, consecuencia directa de la actividad minera para entonces ya activa en el Alto Orinoco.

Mediciones recientes de algunas propiedades físico-químicas de las aguas durante la condición de altos escurrimientos evidencian notables contrastes respecto a la época de aguas bajas, especialmente en lo relativo a la conductividad eléctrica, la cual decrece en forma generalizada en muchos ríos de la región durante el período más lluvioso, atribuyéndose tal comportamiento a la forma compleja como son incorporados a las aguas, compuestos minerales y orgánicos durante los procesos de almacenamiento y tránsito de los flujos a través de los sistemas superficiales y sub-superficiales de drenaje. En la época más lluviosa con un excedente de escorrentía y menores tiempos de permanencia y contacto del agua con los suelos y rocas (reducción de los períodos para que operen en los canales y el medio saturado, reacciones de alteración e intercambio iónico), debe esperarse que el grado de mineralización de las aguas y en consecuencia su conductividad eléctrica, se reduzcan con respecto a lo que ocurre durante el período de bajas y moderadas precipitaciones, cuando el agua, en los canales proviene especialmente, del almacenaje subterráneo y del flujo intermedio, donde se produce un más íntimo contacto con la biomasa existente en la zona superficial y radicular del suelo, sometido a un alto grado de meteorización.

Estos aspectos ameritan disponerse de un mayor nivel de levantamiento de información, para comprender mejor el comportamiento de las complejas interrelaciones entre el ciclo hidrológico, el denso bosque tropical y los sistemas físicos representados en estas cuencas, ello bajo condiciones ideales, por el bajo grado de intervención y presencia de actividades humanas.

#### 14. BIBLIOGRAFIA

- (1) ASCANIO G, SHERER, W.(1989)."Reconocimiento Geológico, Area de Tapirapécó, Territorio Federal Amazonas". Memorias VII Cong. Geológico, Barquisimeto .Venezuela.
- (2) FRIEDKIN, J.F.(1945)."A Laboratory Study of the Meandering of Alluvial Rivers". pub. in River Morphology. Edit by Schumm.
- (3) HUMBOLDT A.V (1942)."Viaje a las Regiones Equinocciales del Nuevo Mundo". Trad. Alvarado-Rohl, ME. caracas.
- (4) LEOPOLD, WOLMAN, MILLER (1964)." Fluvial Processes in Geomorphology". Freeman book edit.
- (5) LEOPOLD, WOLMAN (1963)."River Channel Pattern, Braided, Meandering and Straight". USGS water supply paper 282-B.
- (6) MCKEE E.D.(1989)"The Sedimentary Structures and Textures of rio Orinoco Channel Sands, Venezuela and Colombia".USGS water supply paper 2326-B.
- (7) MEADE et al (1985)."Storage and Remobilization of Suspended Sediments in the Lower Amazon River of Brasil".Edit. in Science.
- (8) MACKIN H,S,(1948)."Concept of the Graded River". Bull.of the Geol.soc. of America. pub. in River Morphology. edit by Schumm.
- (9) NORDIN C.(JR), PEREZ HERNANDEZ, D.(1989)"Sand waves, Bars, and wind-blown sands of the Rio Orinoco, Venezuela and Colombia. USGS water supply paper 2326-A.
- (10) SELLIER DE CIVRIEUX, J.(1971),"El hombre silvestre ante la Naturaleza" Edic. Monte-Avila, col. científica.Caracas, Vla.
- (11) SCHUMM S.A.(1961) "The shape of alluvial channels in relation to sediment type". USGS water professional paper 352-B.
- (12) SCHUMM S.A. (1963). "Sinuosity of Alluvial Rivers on the Great Plains", U.S. Geol. Survey Prof. Paper, Denver Colo.
- (13) STALLARD R.F. (1968)."Weathering and Erosion in the Humid Tropics". Dept. of Geol. and Geoph. Sciences. Princenton Univ. New Jersey. USA.
- (14) DE BELLARD, E."Tapirapécó: La Gran Aventura del Sur", edit. por CORPOVEN en revista "Venezuela, Tierra Mágica".

(15) VARESCHI, V. (1968). "La Bifurcación del Orinoco, Observaciones Hidrográficas y Ecológicas de la Expedición Conmemorativa de Humboldt. Acta Científica Venezolana Vol.14 N 4.

## RESUMEN

### GERENCIA DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS EN LA AMAZONIA VENEZOLANA

Se presenta una breve consideración de los antecedentes históricos, sobre las exploraciones y actividades de medición realizadas en la Región Amazónica de Venezuela y se hace una descripción de la evolución de la Red Hidrometeorológica destacando los propósitos y logros alcanzados en la obtención de información básica. Para el conocimiento del Ambiente Físico Natural del ciclo hidrológico y de los Recursos Naturales Renovables vinculados al agua, como son los suelos y la vegetación tratándose de una extensa región que ofrece condiciones naturales muy especiales, en lo que respecta al Régimen Hidroclimático, características Físico-Ambientales y escasa actividad humana se identifican los programas recientes y proyectos asociados al diagnóstico y aprovechamiento de los Recursos Hídricos, donde resaltan la realización de campañas de medición hidrológicas, hidrogeoquímicas y sedimentológicas en los mayores ríos de la zona, a través de Convenios Técnicos de Cooperación del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables, con el USGS de Estados Unidos y la participación de Universidades Nacionales (UCV, USB), y del extranjero (Universidad de Colorado, MIT, Princeton), así como la creación reciente del Centro Amazónico de Investigaciones Ambientales Alejandro Humboldt donde el aspecto hidroclimático entre otros, tendrá un tratamiento especial, persiguiéndose evaluar en mayor detalle, la disponibilidad del recurso agua, sus alternativas y restricciones de uso así como su vinculación con otros recursos naturales. Ello con el fin de detectar conflictos relacionados con la conservación y preservación del ambiente, lo que permitirá en el futuro, una mejor planificación y ordenamiento para el aprovechamiento de los mismos dentro del área.

Autor(es): David Pérez H., Claudio Caponi T.

## SUSPENDED-SEDIMENT BUDGET FOR THE ORINOCO RIVER

Robert H. Meade  
U.S. Geological Survey, Mail Stop 413,  
Denver, Colorado 80225-0046, USA

Franz H. Weibezahn  
Instituto de Recursos Naturales, Universidad Simón Bolívar,  
Apartado Postal 89000, Caracas, Venezuela

William M. Lewis, Jr.  
Department of Environmental, Population and Organismic Biology,  
University of Colorado, Boulder, Colorado 80309-0334, USA

David Pérez Hernández  
División de Aguas Superficiales, Dirección de Hidrología,  
Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables,  
Caracas, Venezuela

### ABSTRACT

In a balanced budget for the Orinoco river, the mean discharge of suspended sediment to the delta is  $150 \times 10^6$  tonnes per year. Of this total, 85 to 90 percent is contributed by the three large tributaries that originate in the Andes: Meta ( $80 \times 10^6$  tonnes/yr), Guaviare ( $25\text{--}30 \times 10^6$  tonnes/yr), and Apure ( $20\text{--}25 \times 10^6$  tonnes/yr). The remaining 10 to 15 percent is contributed by tributaries that drain the Guayana Shield and the Llanos that lie between the Andes and the Shield. Because the data for water discharge and suspended sediment are sparse for such a large river basin, these estimates all entail considerable errors of about 30 to 50 percent.

Computations of mean annual suspended-sediment discharges are further complicated by a peculiar pattern of temporal variation that is characterized by two maxima and two minima of suspended-sediment concentration per year. One of the minima of suspended-sediment concentration coincides with the annual maximum of water discharge.

*Reprinted from:*

### EL RIO ORINOCO como ecosistema THE ORINOCO RIVER as an ecosystem

#### Editores/ Editors

Franz H. Weibezahn  
Instituto de Recursos Naturales Renovables  
Universidad Simón Bolívar  
Caracas, Venezuela

Haymara Alvarez  
Instituto de Recursos Naturales Renovables  
Universidad Simón Bolívar  
Caracas, Venezuela

William M. Lewis, Jr.  
Center for Limnology, EPO Biology  
University of Colorado,  
Boulder, Colorado, USA

Impresos Rubel CA.  
Caracas 1990

(USGS) and hydrochemical and ecological studies by a group from Universidad Simón Bolívar (USB). At the same time, a group from the University of Colorado (UC), sponsored mostly by the U.S. National Science Foundation, began hydrochemical and ecological studies in close collaboration with the USB group. All of these groups collected data on suspended sediment as an integral component of their studies, and the combined efforts of MOP, MARNR, USGS, USB and UC have led to the present paper.

Many people supported our programs by providing encouragement, funding, and help in the field operations. We thank especially Dr. Guillermo Colmenares Finol, who was Director of Proyecto Orinoco, and Abel Mejía B., who was Project Manager during most of the period covered by our studies. We also thank Carl F. Nordin and C. Clare Cranston (USGS); Omar Alvarado R., Luis H. Bravo, and Omar Hernández (MARNR); Lois Koehnken de Hernández and Juan Posada (USB). The manuscript was reviewed by Nordin (now at Colorado State University), D. E. Hillier (USGS), and R. F. Stallard (USGS). This work is a contribution to Project PECOR (Proyecto Ecosistema Orinoco), a collaborative Venezuelan-North American (USB, UC) study of the Orinoco river. Project PECOR has been sponsored by the Venezuelan Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables and by Petroleos de Venezuela, S.A. PECOR also thanks the Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP) for providing working and laboratory space at the Estación Experimental Amazonas. Financial support for the collection and analysis of samples was provided by the U.S. National Science Foundation through grants DEB8116725, BSR8315410, and BSR8604655.

## MEASURING AND ESTIMATING SUSPENDED-SEDIMENT DISCHARGES OF RIVERS: BACKGROUND

Any method for determining suspended sediment in rivers must resolve two types of variation, spatial and temporal. Spatial variation of suspended sediment in a cross section of a river is seen both in the vertical and lateral dimensions. Vertical variation usually takes the form of larger concentrations of suspended sediment (especially the sandy component of suspended sediment) nearer the bed of the river than the surface; effects of vertical variation can be minimized by depth-integrated sampling or by detailed point sampling at a number of discrete depths. Lateral variation is especially common downriver from confluences with large tributaries that transport suspended sediment in concentrations that differ from those in the mainstem river. Effects of lateral variation can be minimized by collecting numerous samples across the river and either analyzing them separately or combining them

in such a way as to account for differing water discharges in the different parts of the channel where the samples were collected.

Temporal variability of suspended sediment in rivers is often more extreme than spatial variability. In an ideal study, a river should be sampled for a period of decades to assess the long-term average sediment discharge. Samples should be collected frequently (more than once a day, ideally) when water discharge is changing rapidly, and less frequently (once or twice a week) when water discharge is low. In reality, however, this kind of sampling program is always expensive and often impractical. The more usual course is to collect sediment data over as full a range of water discharges as possible in the time available for a study, and use these data to construct a relation (called a "sediment-rating curve" or "sediment-discharge curve") between sediment discharge (or concentration) and water discharge (GLYSSON, 1987). The sediment-rating curve is then combined with the available record of water discharge to synthesize a record of sediment discharge.

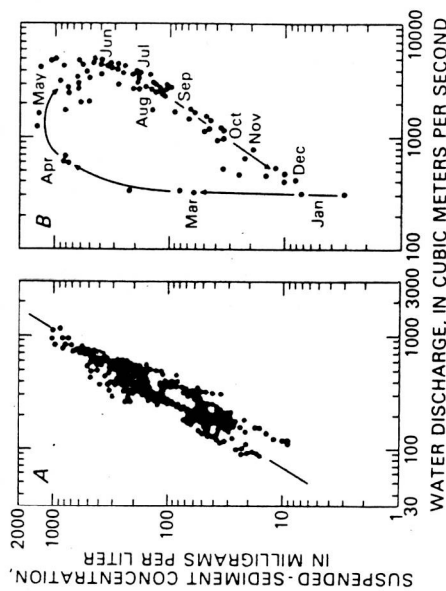


Fig.2 Relations between suspended-sediment concentrations and water discharge into fairly large rivers (drainage areas 114,000 and 131,000 km<sup>2</sup>) of Canada. A, North Saskatchewan river at Prince Albert, Saskatchewan, 1966 - 1968 (Abrahams and Kellerhals, 1973, p.109). B, Fraser river at Marguerite, British Columbia, 1982 (Water Survey of Canada, 1984, p.87)

An example of an almost ideal relation, a near-perfect power relation between suspended-sediment concentration and water discharge is shown in Figure 2A. But in most rivers, large and small, the relation

two recently published papers (1985, 1988) as well as in a chapter in the present volume.

## METHODS OF SAMPLING AND ANALYSIS

Because we were several different groups, working on different schedules in different parts of the river with different equipment and pursuing different goals, our methods of sampling and analysis were not always completely similar. The dominant threads of similarity were that all groups collected samples by some form of depth integration and that all groups determined suspended-sediment concentrations by filtering the samples (or homogenized aliquots) and weighing the material that collected on the filters. However, there were some procedural differences between groups, and consequently there is some disagreement between us concerning the "absolute" values of suspended-sediment concentrations.

### Fields and Laboratory methods

The suspended-sediment sampling method used by MOP during 1969-76 was a combination of point-integrating and depth-integrating methods (GUY & NORMAN, 1970). Depth-integrating methods were used to sample the water column at numerous locations across the river but only through the uppermost 6 m of water depth. Six meters was the maximum depth at which depth-integrated samples could be collected with the equipment available at that time without incurring an unacceptable distortion of the hydraulics of water flow into the sampler. River waters deeper than 6 m were sampled by a series of point samples collected at several depths at one or two selected locations in the river cross section. Samples were filtered in the laboratory and their suspended-sediment concentrations were determined gravimetrically according to the procedures described by Guy (1969). After all samples were analyzed and their suspended-sediment concentrations were recorded, a coefficient was determined from the relation between the depth-integrated concentrations in the uppermost 6 m at the selected locations and the mean surface-to-bottom concentration determined from the point samples collected at the same locations. This coefficient was then applied to the depth-integrated suspended-sediment concentrations measured at all the other locations across the river, and the coefficient-adjusted concentrations were used, along with the water-discharge measurements that had been made at the same time that the samples were collected, to compute the discharge of suspended sediment. The USGS-MARNR group made six major sampling campaigns in the Orinoco river basin during 1982-85. Their sampling strategy was a Lagrangian scheme that usually began at some upriver point and sampled an 800-to-

1000 km reach of the Orinoco river, as well as the major tributaries, in downriver sequence. The six campaigns were timed so that each one sampled a different stage of the river hydrograph: low flow, middle rising stage, late rising stage, peak flow, early falling stage, late falling stage. Procedures used by the USGS-MARNR group to collect samples during 1982-85 are described by Nordin et al. (1983). The essential sampling equipment consisted of: (1) a large-volume (usually 8-L) collapsible-bag sampler that allowed for depth integration through the full depth of the river, and (2) a hydraulic winch that allowed for sampling at a large number (usually 6 to 12) of equally-spaced locations across the river channel at a uniform rate of vertical integration. Water velocities, river depths, and river widths were measured at the same time that the samples were being collected so that water discharges could be computed. Procedures used by the USGS-MARNR group for processing and analyzing suspended-sediment samples are described by Meade (1985). Samples were poured through a 63  $\mu$ m sieve to separate the suspended sand fraction. The suspensions that passed the sieve were composited into chum splitters from which representative aliquots could be removed. The aliquots were filtered in the field through preweighed pairs of membrane filters (Millipore HA<sup>1</sup>, nominal pore diameter 0.45  $\mu$ m) and returned to the USGS laboratory in Denver to be dried overnight at 105°C and weighed. The sand fractions were dried overnight at 80°C and weighed separately.

The USB group conducted an intensive program of repeated sampling at 11 stations in the upper and middle Orinoco river basin during February 1984-February 1985. Six of these stations were on the Orinoco river, and five were located on major tributaries (Ventuari, Atabapo, Guaviare, Vichada, and Meta rivers). Mainstem stations were sampled every two weeks, and tributary stations were sampled once a month. Sampling and analytical procedures of the USB group are described by Weibezahn (1985). Depth-integrated samples were collected from a 5-m boat, using a small battery-powered electric winch and a 3-L collapsible-bag sampler, usually at three locations spaced more or less equally across the river. Water velocities were measured at the 3 locations, and a fathometer profile of river depth was collected at each cross section, so that a first-order estimate of water discharge could be computed. Samples were poured through a 63- $\mu$ m sieve to separate the suspended sand; suspensions that passed the sieve were composited into a chum splitter from which representative aliquots were removed.

<sup>1</sup> Trade names are used for identification purposes only and do not imply any endorsement by the U.S. Geological Survey, Universidad Simón Bolívar, University of Colorado, or the Venezuelan Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables

Comparisons between concentrations of suspended sediment determined by USB and those determined by USGS-MARNR are shown in the first six rows of numbers in Table 1. These comparisons are restricted to the size fractions finer than 63  $\mu\text{m}$ . In general, the differences between the two data sets seems to be random: sometimes the USB value exceeds the USGS-MARNR value, and sometimes the USGS-MARNR value is greater. We are reassured by the identical concentrations that were measured in the single instance where both groups sampled the same locality on the same day (Orinoco above Vichada).

Differences at the other three mainstem stations are on the order of 10 percent or less. Larger differences show in the comparison of samples collected in the tributaries, but, considering that the scale of temporal variation of suspended-sediment concentration is likely to be greater in the Andean tributaries than in the Orinoco mainstem, and that the times between the relevant pairs of USB measurements in the Guaviare and Meta rivers were respectively 24 and 28 days, the 20-percent difference between the USGS-MARNR concentrations and what one might interpolate from the USB data is not overtly disturbing.

Comparisons between concentrations determined by UC and those determined by USGS-MARNR are rather more unsettling (lower 13 rows of figures in Table 1). Not only are the differences between the data of the two groups fairly large but the differences generally are consistent. In all but the three samples from the Caura river, the USGS-MARNR values are substantially greater than the UC values. Part of the difference in measured concentrations probably is related to sampling procedures. The USGS-MARNR procedure sampled the full water depth, whereas the UC procedure did not sample the 1 to 2 m of water nearest the river bed that is likely to contain the highest concentration of suspended particles.

Another part of the difference in measured concentrations may be due to the difference between the filters that were used to separate the suspended sediment from the water. In a comparative study in which separate aliquots of water from the Orinoco river were passed through Millipore filters (as used by USGS-MARNR) and glass-fiber filters (as used by UC), the Millipore filters trapped an average of about 10 percent more suspended sediment than the glass-fiber filters (Jorge PAOLINI, oral communication, 1986). Furthermore, the difference could be as large as 25 percent when concentrations were small and very fine material represented a large proportion of the total sediment. As of now, we are inclined to accept the differences in measured concentrations listed in Table 1 as an object lesson in the differences inherent in data that are collected to satisfy different goals. Both analytical methods are considered "standard", but in different fields, the USGS-MARNR

methods reflect the standards in the fields of hydraulics and water quality, whereas the UC methods are standard in the fields of limnology and oceanography.

## TEMPORAL VARIATIONS OF SUSPENDED SEDIMENT

Despite the differences between them, the different data sets can be used conjunctively to estimate a suspended-sediment budget for the Orinoco river. The USGS-MARNR data were collected with particular attention to sampling details and in close conformity with procedures used elsewhere to measure and calculate sediment loads, but they were collected at such sporadic intervals (2 to 19 months apart) that no time series can be constructed from them. The UC and USB data, in contrast, were collected at sufficiently frequent time intervals to provide a clear and internally consistent indication of the patterns of temporal variation.

Patterns of temporal variation of suspended sediment during three different periods in three different locations in the Orinoco river basin are shown in the three time-series graphs on the left side of Figure 3. All three graphs show the peculiar pattern of two maxima and two minima of suspended-sediment concentration per year that was indicated earlier by the data of the IVIC group (PAOLINI *et al.*, 1983). In each instance, the August-September minimum of suspended-sediment concentration coincides with the time of maximum river stage, which is also the time of maximum water discharge. Log-log plots of suspended-sediment concentration versus water discharge are shown in the right side of Figure 3. These three graphed relations are clearly unlike the examples shown in Fig. 2. Yet, on the basis of the evidence we have so far, this pattern is the prevalent one in the Orinoco river basin, and our calculations of the sediment budget must be based on it rather than on assumptions derived from patterns that prevail in other large rivers.

This coincidence of minimum suspended-sediment concentration and maximum water discharge may not be unique to the Orinoco river. Martins (1988) presents a graph of suspended-sediment concentration versus water discharge for the Niger river at Lokoja, Nigeria, that is remarkably similar to those on the right side of Figure 3. Martins attributes this relation to the storage of sediment on flood plains of the Niger during rising discharge and its remobilization during falling discharge. In the Orinoco, the relation probably is due to the occurrence of backwater in the mouths of some of the major sediment-contributing tributaries during peak flow and the temporary storage of tributary sediment loads during the backwater periods.

Caracas gage (10 km upriver of the mouth of the Meta) is not as long or as complete as the record at Puerto Ayacucho. The data available to construct a stage-discharge rating curve for Las Caracas are scattered, especially at the upper end of the curve. The suspended-sediment data for the Meta river do not show a consistently clear relation between concentration and water discharge. However, from the 15 measurements made by USB and the 6 measurements made by USGS-MARNR, we know that suspended-sediment concentrations are large in the Meta river, mostly between 200 and 700 mg/L. By using a month-by-month accounting that is roughly similar to the procedure shown in Table 2, we estimate the mean suspended-sediment discharge of the Meta at its mouth to be about  $80 \times 10^6$  t/yr. This estimate contains a considerable error of at least  $20 \times 10^6$  t/yr, but, regardless of the error in the estimate, we can state unequivocally that the Meta river contributes substantially more suspended sediment to the Orinoco river than any other tributary.

Between the Meta and Apure rivers, the Orinoco river receives inflows from small rivers that drain the Guayana Shield (Parguaza and Suapure rivers) and the Venezuelan Llanos (Cinaruco, Capanaparo, and Arauca rivers). None of these rivers appears to contribute much sediment to the Orinoco river. None of them originates in the Andes, which apparently are the major sources of suspended sediment in the Orinoco river basin. Furthermore, the sediment that is brought down from the upper Llanos by rivers like the Capanaparo and Arauca may well be deposited on their lower flood plains before ever reaching the Orinoco river. This lower flood-plain area was described by Humboldt and Bonpland (1884) as an inland delta, and it must be accumulating sediment during the annual high-water periods when several thousand square kilometers of this area are flooded. We suspect that no more than  $3-5 \times 10^6$  t of suspended sediment are contributed to the Orinoco mainstem by these rivers each year.

The Apure river drains most of the eastern slope of the high Andes of Venezuela, and it is the last tributary downstream to contribute large quantities of suspended sediment to the Orinoco river. Data for computing an estimate of the mean annual sediment discharge of the Apure river are fairly complete. A long and continuous record of river stage is available at San Fernando de Apure, and the stage-discharge rating is well established. Suspended-sediment data are available from San Fernando de Apure (MOP, 26 measurements, 1969-73) and from near the mouth of the Apure river (UC, 22 measurements, 1984-85; USGS-MARNR, 7 measurements, 1982-86). A month-by-month accounting of the type presented in Table 2 yields an estimate of the mean suspended-sediment discharge of the Apure river of  $20$  to  $25 \times 10^6$  t/yr.

Table 2. Computation of estimate of mean annual suspended-sediment discharge of the Orinoco river below Puerto Ayacucho (above the Meta river)

Month	Mean river stage <sup>1</sup> (m)	Mean water discharge <sup>2</sup> ( $10^3$ m <sup>3</sup> /s)	Mean suspended-sediment concentration <sup>3</sup> (mg/L)	Suspended sediment discharge ( $10^6$ t/mo)
January	42.2	6.2	25	0.42
February	41.0	4.1	20	0.20
March	40.8	3.8	20	0.20
April	41.9	5.5	20	0.29
May	45.2	13.0	85	2.96
June	48.4	22.4	100	5.80
July	50.6	29.5	70	5.53
August	50.9	30.3	55	4.46
September	49.9	27.3	60	4.25
October	47.8	20.5	70	3.84
November	45.9	14.9	70	2.70
December	44.2	10.4	50	1.39
Total for year	-	-	-	32.04

<sup>1</sup> Mean stage at Puerto Ayacucho gage, based on stages recorded daily by MOP and MARNR during 1963 - 1985.

<sup>2</sup> Discharge that corresponds to mean stage on stage-discharge rating curve (MARNR - USGS) for Orinoco River at Puerto Ayacucho (Bachaquito).

<sup>3</sup> Estimated from USB data (station ORIBAB), using sediment-rating curve shown in Figure 3B (right side).

and by the USB group downriver from Puerto Ayacucho. The assumptions made in fitting this curve were: (1) that the principal maximum of suspended sediment occurs in mid-May and the secondary maximum occurs at the end of October; and (2) that the suspended-sediment concentration at the principal maximum is approximately twice the concentration at the secondary maximum. Once the curve was drawn, the monthly mean concentrations could be estimated from it and applied to the computations shown in the second and third columns of numbers in Table 3.

The second computation is based on the 67 measurements of suspended-sediment concentration made at Ciudad Bolívar by the UC group. Details are shown in the last two columns of Table 3. The mean monthly concentrations listed in the fourth column of figures in Table 3 are simply the arithmetic averages of all measurements made during the listed month for 1982-85. These mean concentrations were then multiplied by the mean monthly water discharges at Musinacio (which are reasonable approximations of the discharges at Ciudad Bolívar because no large tributaries enter the Orinoco river between the two places) to compute mean monthly discharges of suspended sediment. The total of all these monthly sediment discharges (designated "unadjusted total" in Table 3) was then adjusted to account for the differences in the sediment concentration measured by the two groups (UC and USGS-MARNR) as presented in Table 1. For purposes of estimating suspended-sediment discharge, we assumed that the USGS-MARNR data were more compatible with data used elsewhere in the world to compute river-sediment discharges, and we have applied an adjustment factor which is the mean ratio of the 10 comparisons (excluding those from the Caura river) between USGS-MARNR concentrations and interpolated UC concentrations listed in the lower half of Table 1. The totals computed by the two methods are  $149 \times 10^6$  and  $145 \times 10^6$  t/yr. We round these totals to  $150 \times 10^6$  t/yr, and this number is our best estimate of the total discharge of suspended sediment by the Orinoco river to its delta. Considering all the uncertainties involved in its computation, the error in this estimate may be as great as  $50 \times 10^6$  t/yr.

### SUMMARY

The upper map in Fig. 5 serves as a graphical summary of this paper by showing the distribution of suspended-sediment loads in the Orinoco river basin. Of the  $150 \times 10^6$  t/yr of suspended sediment that is discharged to the Orinoco river delta, about half is contributed by the Meta river, and about 20 percent each are contributed by the Guaviare

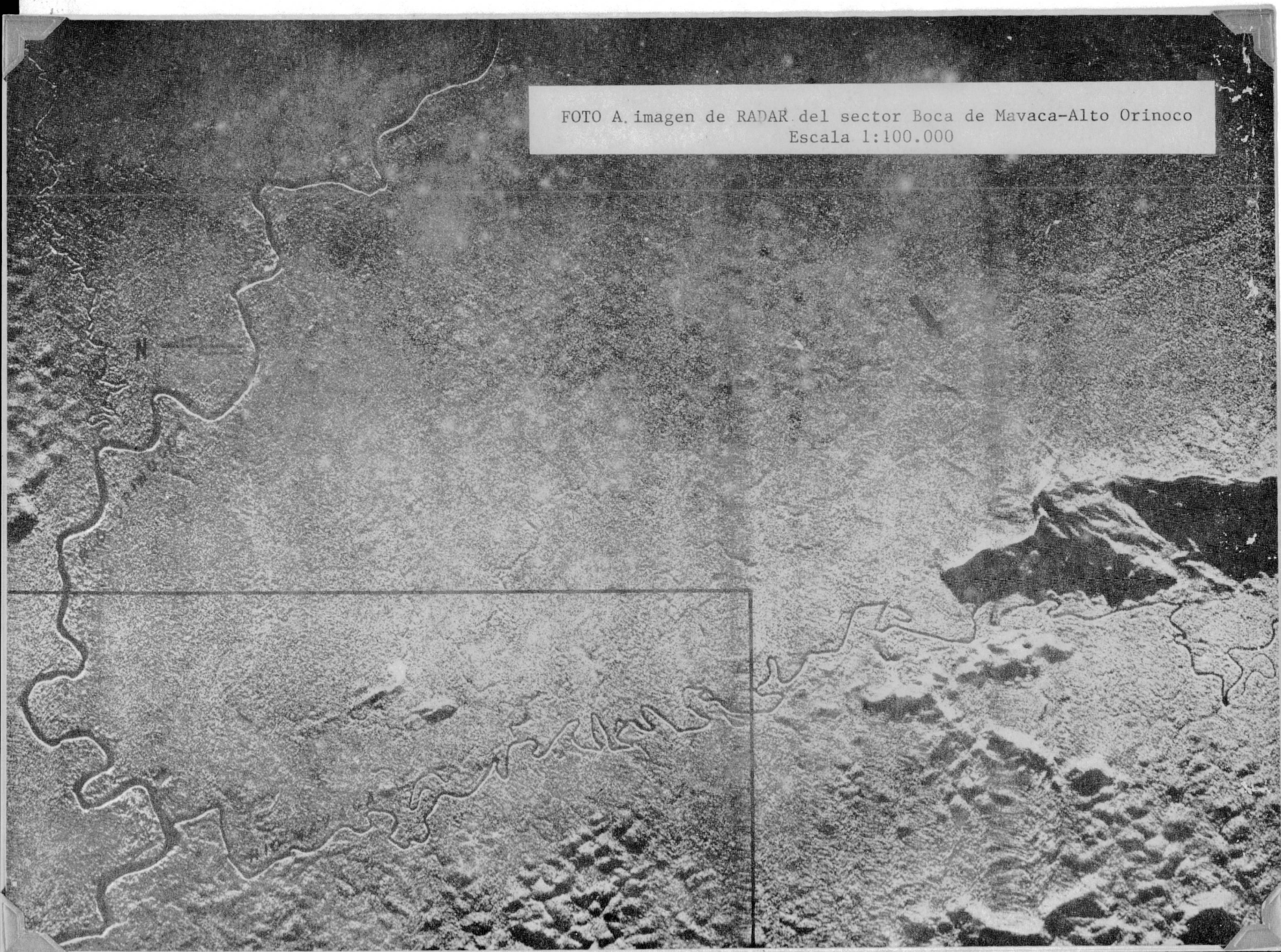
Table 3. Computation of estimates of mean annual suspended-sediment discharge of lower Orinoco river.

Month	Musinacio (USGS - MARNR)		Ciudad Bolívar (UC)		
	Mean water discharge <sup>1</sup> ( $10^3\text{-m}^3/\text{s}$ )	Mean suspended-sediment concentration <sup>2</sup> (mg/L)	Suspended-sediment discharge ( $10^6\text{/mo}$ )	Mean suspended-sediment concentration <sup>3</sup> (mg/L)	Suspended-sediment discharge ( $10^6\text{/mo}$ )
January	13,4	85	3,1	53	1,9
February	8,0	65	1,3	29	0,6
March	6,3	65	1,1	30	0,5
April	9,4	95	2,3	103	2,5
May	21,6	300	17,4	200	11,6
June	35,6	220	20,3	186	17,2
July	50,8	120	16,3	100	13,6
August	60,8	100	16,3	72	11,7
September	60,3	135	21,1	60	9,4
October	49,3	190	25,1	87	11,5
November	34,5	190	17,0	113	10,1
December	21,7	130	7,6	87	5,1
			Unadjusted total		95,7
			Adjustment factor <sup>4</sup>		x 1,52
Total for year	-	-	148,9	-	145,4

<sup>1</sup> Mean monthly discharges at Musinacio for 1970 - 1976 (Meade *et al.*, 1983, p. 1137).  
<sup>2</sup> Estimated from Figure 4.  
<sup>3</sup> Averages of measurements made at Ciudad Bolívar by UC group during 1982 - 1985  
<sup>4</sup> Mean ratio of 10 USGS - MARN concentration to Interpolated UC concentrations, as listed in Table 1.

- KEY SANCHEZ, F., 1950.** Algunas consideraciones con respecto a la determinación del acarreo sólido y su magnitud en algunos ríos de Venezuela. *Rev. Colegio Ing. Venez.*, 177: 28-29.
- LEWIS, W. M., JR., S. K. HAMILTON, S. L. JONES & D. D. RUNNELLS, 1987.** Major element chemistry, weathering and element yields for the Caura river drainage, Venezuela. *Biogeochemistry*, 4: 159-181.
- LEWIS, W. M., JR. & J. F. SAUNDERS, III, 1984.** Cross-sectional variation in the chemistry and suspended sediment load of the Orinoco river at Ciudad Bolívar. *Acta Científica Venezolana*, 35: 382-385.
- MARTINS, O., 1988.** Flux of particulate inorganic matter through the Niger river into the Atlantic Ocean. *Netherlands Journal of Sea Research*, 22: 91-97.
- MEADE, R. H., 1985.** Suspended sediment in the Amazon river and its tributaries in Brazil during 1982-84. U.S. Geological Survey Open-File Report 85-492, 39 pp.
- MEADE, R.H., C.F. NORDIN, JR., D. PEREZ-HERNANDEZ, A.MEJIA B. & J. M. PEREZ-GODOY, 1983.** Sediment and water discharge in río Orinoco, Venezuela and Colombia. Pp. 1134-1144. In: Proceedings of the Second International Symposium on river Sedimentation. Beijing, Water Resources and Electric Power Press.
- NEMETH, A., J. PAOLINI & R. HERRERA, 1982.** Carbon transport in the Orinoco river: preliminary results. In: Transport of Carbon and Minerals in Major World rivers, Part 1. (E. T. Degens, ed.). Universitat Hamburg Geolog.-Palaont. Inst. Mitt., 52: 357-364.
- NORDIN, C. F., JR., 1988.** Sediment studies of the Rio Orinoco. Pp. 169-186. In: Mechanics of Alluvial Channels. (K. Mahmood, M. I. Haque & A. M. Choudri, eds.). Littleton, Colorado, Water Resources Publications.
- NORDIN, C. F., JR., C. C. CRANSTON & A. MEJIA B., 1983.** New technology for measuring water and suspended-sediment discharge of large rivers. Pp. 1145-1158. In: Proceedings of the Second International Symposium on river Sedimentation. Beijing, Water Resources and Electric Power Press.
- PAOLINI, J., 1986.** Transporte de carbono y minerales en el río Caroní. *Interciencia*, 11 (6): 295-297.
- PAOLINI, J., R. HERRERA & A. NEMETH, 1983.** Hydrochemistry of the Orinoco and Caroni rivers. In: Transport of Carbon and Minerals in Major World rivers. (E. T. Degens, S. Kempe & H. Soliman, eds.). Part 2. Universitat Hamburg Geolog.-Palaont. Inst. Mitt., 55: 223-236.
- ROBBINS, L. G., 1977.** Suspended sediment and bed material studies on the lower Mississippi river. U.S. Army Engineer District, Vicksburg, Potamology Investigations Report 300-1, 29 pp. plus 17 tables, 6 plates, 69 figs., 12 photos.
- SHELDON, R. W., 1972.** Size separation of marine seston by membrane and glass-fiber filters. *Limnol. Oceanogr.*, 17: 494-498.
- STALLARD, R. F., 1985.** river chemistry, geology geomorphology, and soils in the Amazon and Orinoco basins. Pp. 293-316. In: The Chemistry of Weathering. (J. I. Drever, ed.). Dordrecht, Holland, Reidel Publishing Co.
- STALLARD, R. F., 1987.** Cross-channel mixing and its effect on sedimentation in the Orinoco river. *Water Resources Research*, 23 (10): 1977-1986.
- STALLARD, R. F., 1988.** Weathering and erosion in the humid tropics. Pp. 225-246. In: Physical and Chemical Weathering in Geochemical Cycles. (A. Lerman & M. Mcybeck, eds.). Dordrecht, Holland, Kluwer Academic Publishers.
- WATER SURVEY OF CANADA, 1984.** Sediment data, Canadian rivers, 1982. Water Survey of Canada, 268 pp.
- WEIBEZAHN, F. H., 1985.** Concentraciones de especies químicas disueltas y transporte de sólidos suspendidos en el alto y medio Orinoco y sus variaciones estacionales (Febrero 1984- Febrero 1985). Convenio MARNR-PDVSA, Universidad Simón Bolívar, Proyecto Estudio Preliminar del río Orinoco como Sistema Ecológico (PECOR), 223 pp.
- WEIBEZAHN, F. H., M. A. LASI & A. HEYVAERT, 1988.** Lateral mixing of the waters of the Orinoco, Atabapo and Guaviare rivers, after their confluence in southern Venezuela. *Acta Científica Venezolana.* (submitted).

FOTO A. imagen de RADAR del sector Boca de Mavaca-Alto Orinoco  
Escala 1:100.000



*de*

adquiere un aspecto colinar, el sistema de drenaje puede ser identificado, ello difiere de las áreas más denudadas y cubiertas de vegetación, donde no es fácil definir las redes de escorrentía superficial.

A mayor escala, el conjunto de cauces tributarios del Río Mavaca que drenan los sectores más bajos de la cuenca, no son tan expresivos superficialmente y gran parte de ellos permanecen ocultos por causa del espeso manto boscoso. Esto es particularmente notorio hacia el sector oriental, donde la divisoria del drenaje de sub-cuencas está poco definido y en consecuencia, las áreas contribuyentes podrían ser superiores a las arriba asignadas a la cuenca, lo que precisa una mejor calidad de la cartografía existente para definirlo.

Los misioneros Salesianos, en sus recorridos fluviales, han identificado hasta 37 caños tributarios, de los cuales los más importantes son el Machicure, Mono, Chimatá, Auyapuey, Urafrarewei y el Mavaquita. Algunos de éstos fueron explorados durante nuestra travesía fluvial y se constató el efecto de represamiento de sus aguas por acción del Mavaca, lo que se acentúa durante el período lluvioso, cuando sus niveles de base locales controlados por el Río Mavaca, son más elevados. Ello impone una gran diferencia en el comportamiento hidrológico del Río Mavaca respecto al Siapa y determina condiciones especiales (hidrogeológicas, hidráulicas, sedimentológicas y geoquímicas) dentro de su planicie fluvial ampliamente desarrollada, la cual al localizarse en este sector particular del Escudo de Guayana, en lo relativo a posición altitudinal, le distingue de otros ríos de la Región Amazónica de Venezuela haciéndola apropiada de investigar en su proceso evolutivo y al comparar con hechos observados en ambientes de otras planicies. Algunos de estos aspectos se consideran a continuación.

### 3.1. LA PLANICIE FLUVIAL DEL RIO MAVACA

La investigación de los procesos hidrológicos y sedimentológicos que han conducido a la evolución y desarrollo de las planicies fluviales en los ríos Amazónicos de Venezuela, es de importancia para comprender una serie de mecanismos que operan en la zona de transición que separa el ambiente terrestre no sometido a la acción de los flujos de avenidas y el sistema de drenaje representado en los canales naturales, particularmente en ríos que drenan ambientes geológicamente estables, en término de la resistencia

12

*Maval*

adquiere un aspecto colinar, el sistema de drenaje puede ser identificado, ello difiere de las áreas más denudadas y cubiertas de vegetación, donde no es fácil definir las redes de escorrentía superficial.

A mayor escala, el conjunto de cauces tributarios del Río Mavaca que drenan los sectores más bajos de la cuenca, no son tan expresivos superficialmente y gran parte de ellos permanecen ocultos por causa del espeso manto boscoso. Esto es particularmente notorio hacia el sector oriental, donde la divisoria del drenaje de sub-cuencas está poco definido y en consecuencia, las áreas contribuyentes podrían ser superiores a las arriba asignadas a la cuenca, lo que precisa una mejor calidad de la cartografía existente para definirlo.

Los misioneros Salesianos, en sus recorridos fluviales, han identificado hasta 37 caños tributarios, de los cuales los más importantes son el Machicure, Mono, Chimatá, Auyapuey, Urafrarewei y el Mavaquita. Algunos de éstos fueron explorados durante nuestra travesía fluvial y se constató el efecto de represamiento de sus aguas por acción del Mavaca, lo que se acentúa durante el período lluvioso, cuando sus niveles de base locales controlados por el Río Mavaca, son más elevados. Ello impone una gran diferencia en el comportamiento hidrológico del Río Mavaca respecto al Siapa y determina condiciones especiales (hidrogeológicas, hidráulicas, sedimentológicas y geoquímicas) dentro de su planicie fluvial ampliamente desarrollada, la cual al localizarse en este sector particular del Escudo de Guayana, en lo relativo a posición altitudinal, le distingue de otros ríos de la Región Amazónica de Venezuela haciéndola apropiada de investigar en su proceso evolutivo y al comparar con hechos observados en ambientes de otras planicies. Algunos de estos aspectos se consideran a continuación.

### 3.1. LA PLANICIE FLUVIAL DEL RIO MAVACA

La investigación de los procesos hidrológicos y sedimentológicos que han conducido a la evolución y desarrollo de las planicies fluviales en los ríos Amazónicos de Venezuela, es de importancia para comprender una serie de mecanismos que operan en la zona de transición que separa el ambiente terrestre no sometido a la acción de los flujos de avenidas y el sistema de drenaje representado en los canales naturales, particularmente en ríos que drenan ambientes geológicamente estables, en término de la resistencia