

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

INVESTIGACIONES HIDROLOGICAS, SEDIMENTOLOGICAS E  
HIDROGEOQUIMICAS RECIENTES EN LA CUENCA  
DEL RIO ORINOCO

David Pérez Hernández  
Caracas, Julio de 1985

# I N D I C E

	Pág.
1. INTRODUCCION .....	1
2. LOGROS EN EL CONOCIMIENTO DEL RIO Y LA CUENCA .....	2
3. TEMAS Y TOPICOS DE INVESTIGACION .....	6
4. LA SUB-CUENCA DEL ALTO ORINOCO-RENDIMIENTO LIQUIDO .....	9
5. CONCLUSIONES .....	19
6. AGRADECIMIENTO .....	20
7. BIBLIOGRAFIA .....	20

# INVESTIGACIONES HIDROLOGICAS, SEDIMENTOLOGICAS E HIDROGEOQUIMICAS RECIENTES EN LA CUENCA DEL RIO ORINOCO

## 1. INTRODUCCION

En los últimos años, diferentes Organizaciones tanto Gubernamentales e Instituciones y Centros de Enseñanza e Investigación Nacionales como del Extranjero, han demostrado poseer un inusitado interés y se ha desarrollado un enorme esfuerzo por contribuir a mejorar el conocimiento de diversos aspectos relacionados con el medio físico-natural de la Amazonia Venezolana. Ello ha tenido su contraparte y se ha complementado con las actividades desarrolladas en otros países como Brasil, Perú y Colombia quienes poseen, particularmente el primero, un elevado porcentaje de sus territorios dentro del denominado Trópico Húmedo Americano.

Tales actividades se ven incentivadas por dos motivaciones fundamentales y las cuales se identifican seguidamente: primero, la necesidad de evaluar los recursos naturales de una extensa superficie continental que contiene gran parte de las reservas mundiales de biomasa, recursos hidráulicos, minerales e hidroenergéticos y segundo; investigar, tanto con fines prácticos como científicos, el medio físico-geográfico y socio-cultural de las comunidades humanas, como vía de evaluar tanto los efectos e interacciones de los procesos naturales en un medio sujeto a mínimas condiciones de perturbación, así como determinar las más recientes y previsibles consecuencias hacia el futuro de la intervención humana, lo cual lleve a definir las acciones resultantes del desarrollo y al establecimiento de los efectos positivos o negativos derivados de ello, tanto a corto como a largo plazo.

En el caso específico del río Orinoco, tales acciones se refuerzan por una justificación fundada en la necesaria reorientación del asentamiento poblacional y la ocupación territorial, el cual ha estado circunscrito al denominado eje norte-costero-andino, que concentra el 80% de la población nacional y donde por contraste con las tierras situadas al sur del río Orinoco, con recursos naturales abundantes se carece de auténticos polos de desarrollo, los cuales de iniciar su despegue en el presente, requerirían para alcanzar un cierto grado de consolidación entre 50-100 años, tiempo similar al transcurrido para cimentarse el desarrollo observado en el borde norte del país, con la diferencia de que la penetración humana y utilización de los recursos del sur del territorio, hacen imprescindible y necesario, un mejor conocimiento del medio ambiente y las limitaciones para realizar una rápida y eficiente colonización.

Un punto de coincidencia sostenido por muchos planificadores y técnicos de diferentes especialidades es sin embargo, el de iniciar activamente ese conocimiento con el estudio de los recursos hidráulicos y el hacer uso inme-

diato de ellos con propósitos específicos, lleve subsiguientemente a profundizar en la evaluación de sus restricciones de uso y racional utilización con otros fines. Así por ejemplo, aunque se han realizado recientemente evaluaciones preliminares del potencial hidroenergético del río y se vizlumbran \* proyectos de obras hidráulicas, sus factibilidades técnicas (por no citar las económicas actuales), se ven restringidas por una deficiencia de información que responda acertadamente a muchas interrogantes respecto al desajuste, que en el régimen hidrológico y de transporte de sedimentos, ellas puedan causar. En tanto, la navegación y utilización del río como vía expedita de comunicación entre regiones y pueblos ribereños establecidos a través del llamado eje fluvial Orinoco-Apure, es de un atractivo único e incuestionable y una razón para iniciar un crecimiento ventral que dé un sentido práctico y estratégico al desarrollo nacional.

En base a las premisas anteriores se ha planteado en el presente trabajo, identificar y resumir los logros que en el aspecto del conocimiento de los recursos hidráulicos, se han alcanzado como resultado de investigaciones recientes dentro de los campos de la hidrología, hidráulica, sedimentología e hidrogeoquímica, resaltar tópicos especiales que precisan de un sostenido trabajo por parte de la comunidad Técnico-Científica, procurándo ahondar más en aquellos que en nuestro concepto, han despertado la mayor curiosidad y expectativa por su interés científico-ingenieril.

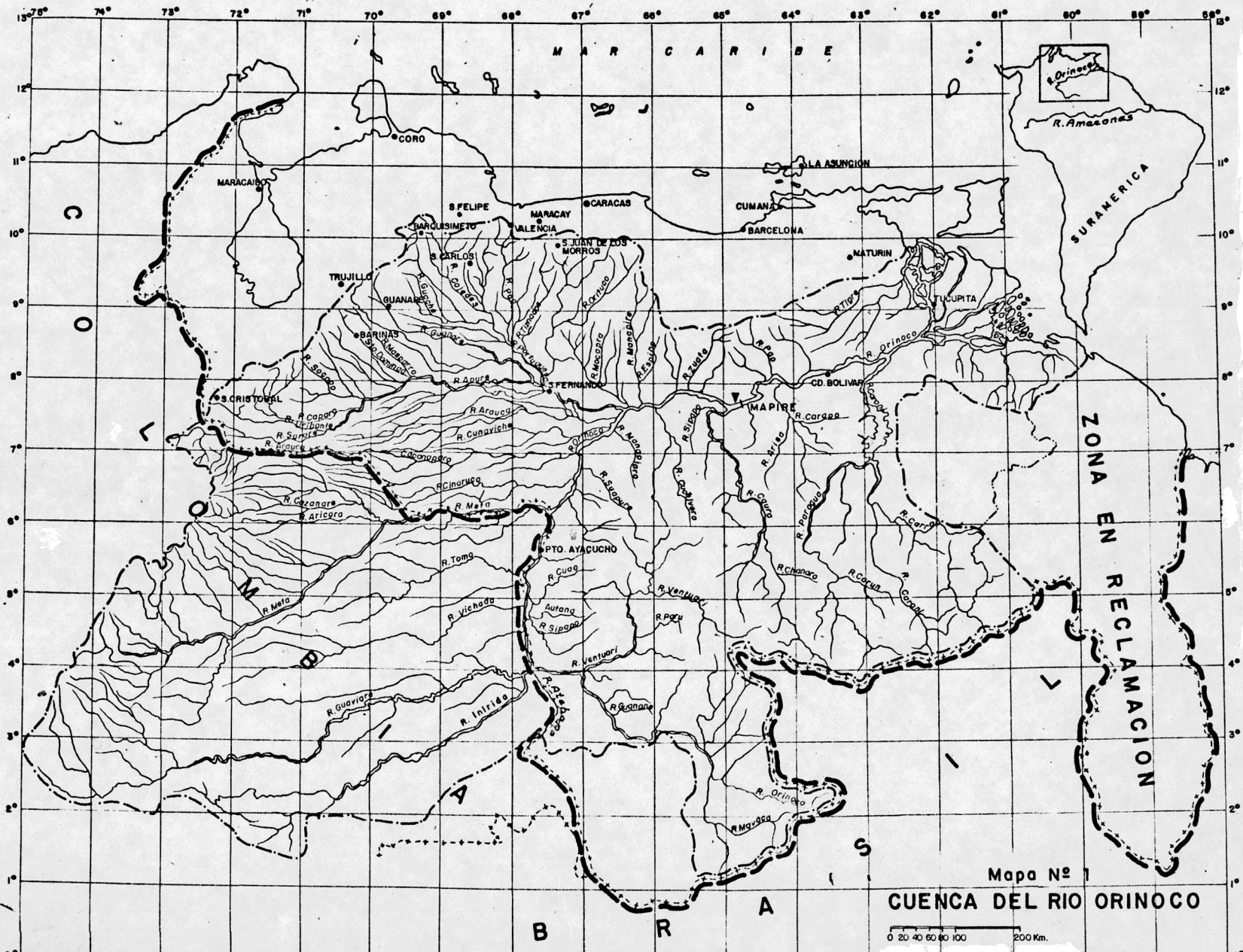
La idea de formular en esta etapa algunas preguntas e interrogantes relacionadas con el comportamiento del río Orinoco, procura despertar la motivación para analizar estos importantes problemas, bajo la afortunada circunstancia de que se trata de un medio virgen, donde lo que se encuentre para la ciencia tiene rasgos de originalidad y especificidad y cuanto se decida hacer como obras en beneficio de la sociedad, serán vistos por las futuras generaciones bajo meditaciones y reflexiones similares ó tal vez más profundas, con que actualmente interpretamos las observaciones de los primeros naturalistas que representados magistralmente en Humboldt exploraron la región en otros tiempos y bajo otras circunstancias, motivado por el afán del conocimiento y la curiosidad científica.

## 2. LOGROS EN EL CONOCIMIENTO DEL RIO Y LA CUENCA

A pesar de que el río Orinoco ha sido objeto en el pasado del interés de varios naturalistas e investigadores, es ciertamente en los últimos 20 años cuando se intensifican los programas de recolección de información en relación al recurso hídrico, siendo a partir de 1982 cuando el MARNR mediante un Convenio de Cooperación Técnica con el USGS y la incorporación posterior de investigadores tanto del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) como de la Universidad de Princeton, dá inicio a programas sistemáticos de recolección de datos, que han contemplado mediciones hidrológicas, sedimentológicas,

---

\* Dirección General de Planificación y Ordenamiento Ambiental.



Mapa N° 1  
**CUENCA DEL RIO ORINOCO**

0 20 40 60 80 100 200 Km.

lógicas y de química de las aguas, tanto en el río Orinoco como en los más importantes tributarios. Como resultado de estas campañas de medición y de los reconocimientos de campo que permitieron practicar observaciones bajo diferentes condiciones hidrológicas en el río, además del análisis de los datos previamente recolectados por la Dirección de Hidrología del MARNR,\* especialmente en la sección de Musinacio, se ha verificado que el río Orinoco le corresponde el tercer orden en el mundo según el caudal ( $36.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) superado solo por el Amazonas ( $200.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) y el río Zaire en Africa ( $44.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), si ello se compara con los aportes de otros ríos Sur americanos, se encuentra que entre los dos grandes ríos, está representado un 90% del escurrimiento subcontinental y visto en una perspectiva global, ellos suministran cerca de un 15% de las masas de aguas continentales al océano.

El río Orinoco, sin embargo, les supera a todos ellos en lo concerniente al módulo de rendimiento unitario ( $\text{m}^3 \text{ seg}^{-1} \text{ km}^{-2}$ ), el cual es casi cuatro veces mayor respecto al río Zaire y cerca de 10 veces más alto respecto al Amazonas. Esto último se atribuye a un elevado régimen pluviométrico anual en la cuenca alta y al carácter impermeable y consolidado de las rocas que conforman el Escudo de Guayana y el cual comprende un amplio sector de su cuenca, cuya superficie abarca cerca de 900 mil  $\text{km}^2$ . El río tiene una longitud de 2980 km, teniendo tributarios que cruzan los llanos de Colombia como el Guaviare, Inírida y Tomo, además de los que se desprenden de los Andes Venezolanos y atraviezan los llanos bajos del país, los que añadidos a los que drenan las tierras del Escudo de Guayana, determina características geológicas, topográficas de cobertura vegetal y climatológicas muy diferentes de una a otra región, ello se refleja marcadamente en la hidrología, procesos de erosión y meteorización, transporte y tipos de sedimentos producidos, así como en las características físico-químicas de las aguas y la ecología ambiental.

Como resultado del régimen y la distribución espacio-temporal de la precipitación y la forma como se transitan las avenidas de un conjunto de grandes tributarios, el hidrograma anual del río Orinoco es cíclico (ebbform) en su tramo medio e inferior, iniciando normalmente su etapa de ascenso en los meses de abril-mayo y alcanzando su pico a mediados de agosto. Los gastos extremos aforados en la estación de Musinacio ( $790.000 \text{ km}^2$ ) están comprendidos en el rango de 2980 -  $86000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , medidos el primero, durante el pasado mes de marzo (1985) y el último en agosto de 1976, estimándose que en años de escurrimiento anormal, puede llegar a alcanzar hasta  $100.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Esta alta magnitud en la variabilidad de los gastos, confiere al río Orinoco un carácter único entre todos los grandes ríos del mundo y ello fué notado por (Meade et al, 1983) al afirmarse que entre los gastos medios máximos y mínimos del Orinoco la relación era de 25, en contraste con el relativamente bajo valor observado en el río Amazonas, donde se obtiene un valor de 3.

En el orden del transporte de sedimentos, el río Orinoco ocupa el sexto

---

\* Anterior División Hidrología MOP-DGRH.

lugar y tiene un arrastre total anual calculado de 210 mill ton año<sup>-1</sup> en Musinacio, donde se han realizado las mediciones más completas. Esta magnitud es comparable al de los ríos Mississippi (USA), Magdalena (Colombia) y es ampliamente superado por ríos como el Ganges-Brahmaputra (1670 mill. ton año<sup>-1</sup>) y el río Amarillo (1080 mill. de ton año<sup>-1</sup>) dentro de una clasificación, no deseable de competir y donde se incorpora el Orinoco, más como consecuencia de su alto rendimiento líquido, que por las magnitudes relativamente bajas de las concentraciones del sedimento observadas.

Respecto al transporte soluble el río presenta aguas con bajas diluciones estimándose una movilización de 50 millones de ton año<sup>-1</sup> (Meybeck, 1977) al Atlántico. Este transporte soluble difiere marcadamente, entre las aguas procedentes del alto Orinoco, con muy baja concentración de constituyentes solubles y la de tributarios que provienen de cordilleras más jóvenes y activas, como los Andes o las procedentes de los Llanos.

En pocos ríos como el Orinoco, han sido evaluados con más intensidad en cortos períodos de tiempo y bajo diferentes regímenes fluviales, las propiedades estadísticas de las distribuciones de tamaño de los materiales del lecho, así como las concentraciones del sedimento suspendido procedente de tributarios como del cauce principal, con miras a definir uniformidad de tamaños, capacidad de mezcla de sedimentos de lecho y suspendidos, aporte de tributarios, grado de transporte y fuentes de suministro, variación longitudinal de concentraciones, etc.

Al presente, se han estudiado además formas de estructuras sedimentarias en el lecho (dunas, rizos) sumergidas o expuestas a la atmósfera, al bajar los niveles del río y entre otras cosas de interés, se ha verificado una relativamente alta uniformidad en los tamaños de los sedimentos del lecho ( $0,60 \leq d \leq 0,25 \text{ mm}$ ;  $\sigma \leq 3,5 \text{ mm}$ ) con ausencia de grava (excepto partículas aisladas cuarzosas predominantes, fragmentos líticos y carbonosos, localmente minerales pesados), también se ha constatado al reciclaje del sedimento por procesos mixtos de transporte de naturaleza fluvial, por acción hidrodinámica del flujo de agua en el río y de tipo eólico en dirección aguas arriba, al exponerse el lecho, en el tramo medio-inferior del canal del río Orinoco, a la acción de los vientos alisios, en aproximadamente un 50% de su superficie.

Estos soplando en dirección Este-Oeste generan velocidades hasta de  $15 \text{ m s}^{-1}$  a nivel del suelo y remobilizan las partículas del lecho, deforman las estructuras sedimentarias de origen fluvial, crean un cierto grado de acoirazamiento en las crestas de dichas estructuras y transportan hacia los llanos, arena que representa el material que en el transcurso de los últimos tiempos geológicos, ha contribuido a la formación de las dunas eólicas de los llanos del Meta, Cinaruco y Capanaparo, en un proceso continuo y dinámico que prosigue en el presente. Los análisis de materiales del lecho de estos ríos, cerca de las confluencias con el río Orinoco, indican claras evidencias de los mecanismos de escogimiento por retransporte eólico-fluvial.

Dentro de las características de las formas de lecho resaltan las grandes dunas con longitudes de onda de 80-120 m y hasta de 3 m de altura en sus crestas, estas ocupan amplios sectores del ancho del canal y aparecen bien desarrolladas en las barras e islas. Expuestas a la atmósfera, aquellas son deformadas por el viento con desarrollo y superposición de rizos de 12-15 cm de longitud de onda y hasta de 2 cm de altura en sus crestas. A menudo donde la acción del viento es muy activa, un campo de dunas fluviales preservadas de la erosión, son recubiertas por dunas generadas por el transporte eólico migrando aguas arriba, tal situación es específica del Orinoco y no se tiene referencias, de que ello ocurra en otros ríos con lechos arenosos.

En relación a la proveniencia de los materiales, se atribuye a las rocas del Escudo de Guayana la génesis de las arenas gruesas, mientras las finas se cree se han originado principalmente de los Andes. Algunos sedimentos que tienen como material parental rocas graníticas del Escudo (Parguaza, por ejemplo) evidencian un limitado transporte fluvial, mientras que partículas de relativamente baja estabilidad como es la mica muscovita, observadas en los sedimentos del río Meta procedentes de los Andes, sugieren una rápida y eficiente movilización desde fuentes distantes. Finalmente, dos interesantes mecanismos relacionados con el transporte de los sedimentos y los cuales requieren de un mayor grado de investigación, han sido descritos. El primero se refiere a la eficiencia de mezcla y dispersión de los sedimentos en confluencias con tributarios, especialmente en aquellos que ofrecen significativos aportes sólidos (Meta ó Apure) ó con los que ofrecen notables diferencias en la composición de las aguas, tales como los del alto Orinoco (Atabapo, Guaviare, Inírida), que representan auténticos laboratorios naturales, únicos en el mundo para medir y estudiar estos procesos de mezcla. En segundo lugar, se trata de evaluar el tránsito y almacenamiento de los sedimentos a través del canal y en ciertos sectores de la planicie fluvial, como vía de explicar diferencias del transporte y deposición, entre tramos específicos del canal.

Algunos de los aspectos anteriores relacionados con la hidrología y mecánica del transporte de los sedimentos, han sido objeto de la atención de técnicos del USGS y del MARNR encontrándose algunos informes en progreso (5). Los asociados con la hidrogeoquímica y meteorización de suelos y rocas, se hayan en proceso de análisis por investigadores del MIT y Princenton, habiéndose editado algunos informes de avance (9) y (10).

### 3. TEMAS Y TOPICOS DE INVESTIGACION

El conocimiento adquirido de las sucesivas campañas de medición en el río Orinoco, el análisis de los datos recabados y las actividades de campo han permitido identificar diferentes problemas que precisan de respuestas en el futuro, como vía de contribuir a sus soluciones.

Dentro de ellos cabe mencionar:

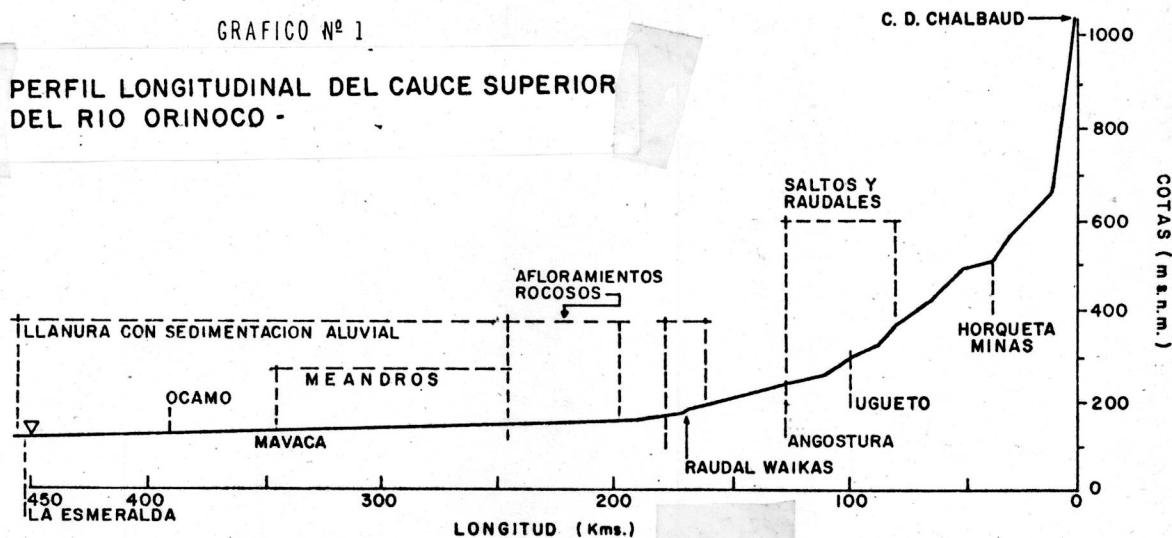
1. Ratas actuales de erosión del Escudo Guayanés
2. Procesos geológicos y evolución histórica de la deposición-denudación en la Formación Roraima en la Amazonia Venezolana.
3. Estudio de la sedimentación deltaica en el río Orinoco
4. Procesos geomorfológicos y desarrollo de estructuras fluviales en la planicie del río Orinoco.
5. Neotectónica en el borde septentrional del Escudo de Guayana y su influencia sobre el desarrollo del canal del río Orinoco.
6. Evolución hidráulico-geomorfológica de la captura fluvial a través del Casiquiare.
7. Rendimientos sólidos-líquidos de diferentes subcuencas de tributarios al río Orinoco.
8. Iluviación y transporte de materiales solubles en suelos y zonas de alteración en el Escudo de Guayana.
9. Movilidad de los constituyentes en las aguas de los ríos de Guayana y de los llanos.
10. Efecto del río Orinoco sobre el régimen hidrológico y de transporte de sus tributarios.
11. Desarrollo y características de deltas en confluencias de grandes ríos (Meta-Orinoco, por ejemplo).
12. Rugosidad y resistencia al flujo en tramos críticos del río Orinoco.
13. Control litológico y desarrollo del canal del río Orinoco en sedimentos aluviales.
14. Formas de erosión y factores reguladores de la estabilidad de los sedimentos en la planicie fluvial del río Orinoco.
15. Estabilidad de los sedimentos en tramos críticos de navegación del río Orinoco.
16. Estudio de la mezcla y distribución de los sedimentos en confluencias de grandes ríos.

17. Propiedades estadísticas de las estructuras sedimentarias en el canal del río Orinoco (dunas, rizos, barras e islas).
18. Antiguas estructuras sedimentarias y procesos de deposición en formaciones adyacentes al canal del río Orinoco (Fm. mesa).
19. Mineralogía de las arcillas en el río Orinoco.
20. Propiedades estadísticas de los sedimentos de lecho y relación con el grado de transporte y fuentes de suministro.
21. Atrape y almacenamiento de sedimentos en el canal y planicie fluvial del río Orinoco.
22. Estabilidad de bancos y riberas en el río Orinoco-Erosión por acción del oleaje.
23. Escogimiento, redondez, esfericidad y minerales de recubrimiento de las arenas del río Orinoco.
24. Escogimiento de las arenas en las dunas de los llanos de Venezuela.
25. Reciclaje de los sedimentos por procesos de transporte eólico-fluviales en el río Orinoco.
26. Deposición de arenas en los llanos de Venezuela. Patrones de drenaje, desertificación y estabilidad de los canales.
27. Mineralogía, transporte de las arenas negras y sus distribuciones de tamaño.
28. Relaciones hidráulico-geométricas en secciones del río Orinoco.
29. Mineralogía de los sedimentos y su relación con las rocas y fuentes de suministro.
30. Procesos de acorazamiento en el lecho.
31. Interrelación entre las características de los sedimentos y la calidad de las aguas en el río Orinoco y sus tributarios.
32. Modelos hidrológicos para pronóstico de inundaciones en el río Orinoco.
33. Balances hídricos en las subcuencas contribuyentes.

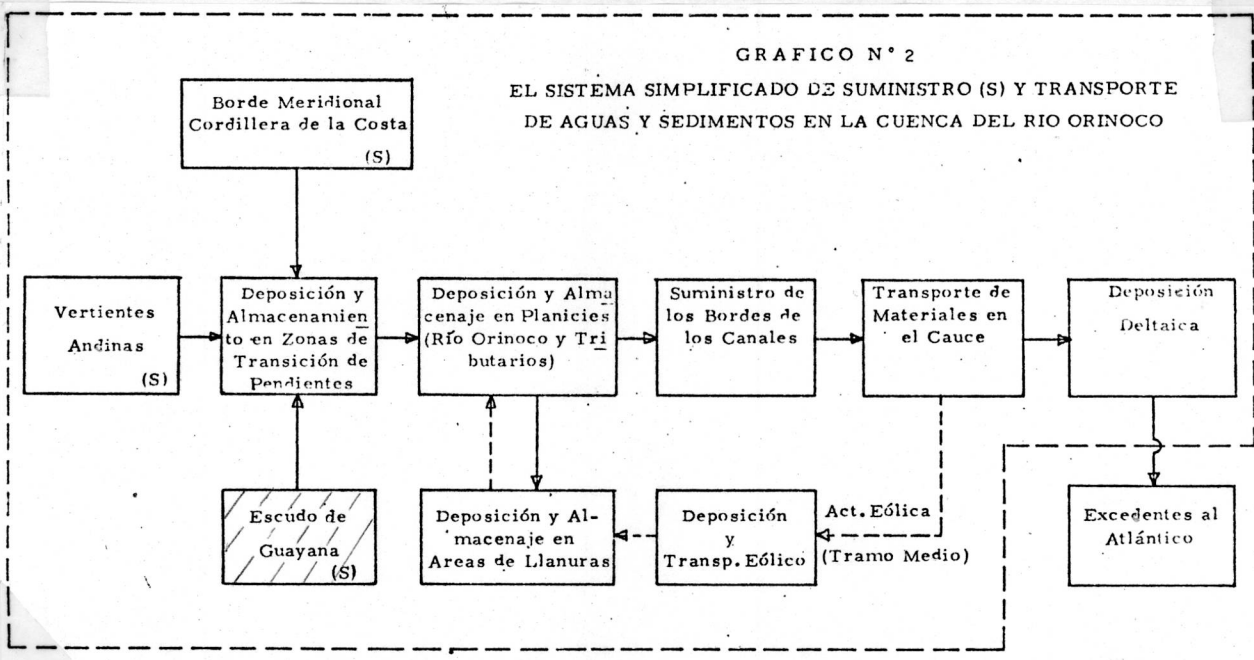
34. Potencial hidroenergético de tributarios especialmente los que drenan la Guayana Venezolana.
35. Suministro de sedimentos desde los Andes en comparación a otras regiones de la cuenca.
36. Mejoramiento de las técnicas hidrológicas de medición en ríos grandes.

#### 4. LA SUBCUENCA DEL ALTO ORINOCO. RENDIMIENTO LIQUIDO

Los resultados obtenidos en estudios hidrológicos previos, poseen importancia para definir el aprovechamiento y evaluación de los recursos hidráulicos, además para determinar en el río Orinoco, no solo los aportes de masas de agua y sedimentos al océano, lo cual ha sido uno de los logros significativos recientes, sino también para juzgar sobre la contribución de los más importantes tributarios al cauce principal y esto conduce a definir el comportamiento hidrológico y erosional de subcuencas, que es un reflejo de las específicas modalidades del clima, la geología, el relieve, vegetación, procesos de meteorización de los suelos y rocas. (Gráfico N° 2)



En este orden cobra relevancia el área del alto Orinoco (su perfil longitudinal se indica en el Gráfico N° 1), tanto por la naturaleza del medio en muchos aspectos poco conocido respecto a otras zonas, como por la previsible alta magnitud de su contribución líquida y relativamente bajo suministro de sedimentos. Ello ha sido ilustrado cualitativamente en un modelo gráfico que muestra la influencia del Escudo Guayanés del cuál forma parte dicha región y donde se establecen los procesos hidrológicos y de transporte en el canal, así como las zonas de suministro, disposición y almacenamiento de aguas y sedimentos.



Las mediciones más recientes en el sitio Bachaquito practicadas conjuntamente por el USGS y personal de la Zona Administrativa N° 10, ha permitido trazar la curva de caudales (Gráfico N° 3) en el sitio, la cual se utilizará para estimar en forma preliminar el aporte líquido de la cuenca alta, que incluye a tres de los más importantes tributarios que drenan los llanos de Colombia: Guaviare, Inírida y Tomo.

Algunos aforos practicados por la Zona N° 10 al principio de las mediciones (1982) caen fuera de la tendencia de la mayoría de los puntos de la curva y ello se atribuye a la poca experiencia de los observadores en las etapas iniciales para posicionarse en la sección mediante el uso del sextante, mientras otras mediciones ejecutadas posteriormente, algunas simultáneamente con el grupo de técnicos del USGS, no reflejan diferencias apreciables del caudal medido.

El Cuadro N° 1 contiene los datos básicos para definir la curva de frecuencia de caudales mostrada en el Gráfico N° 4, señalándose los intervalos de caudales y su persistencia.

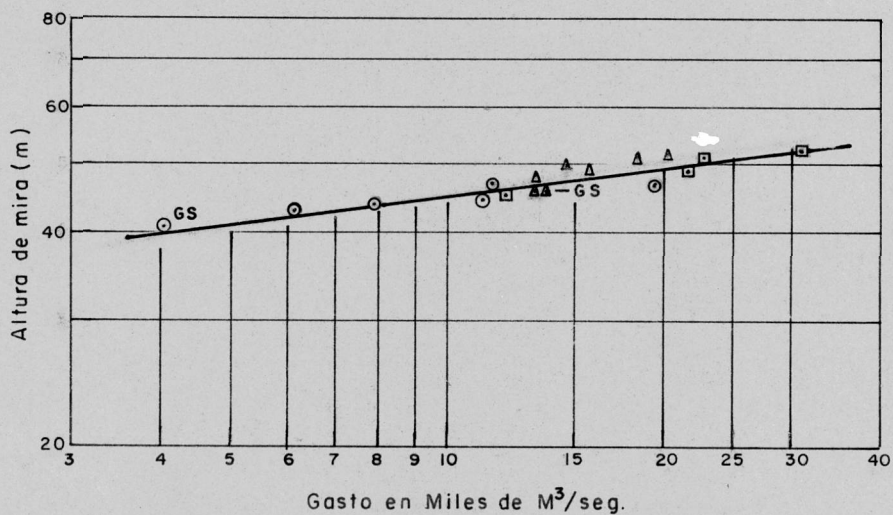
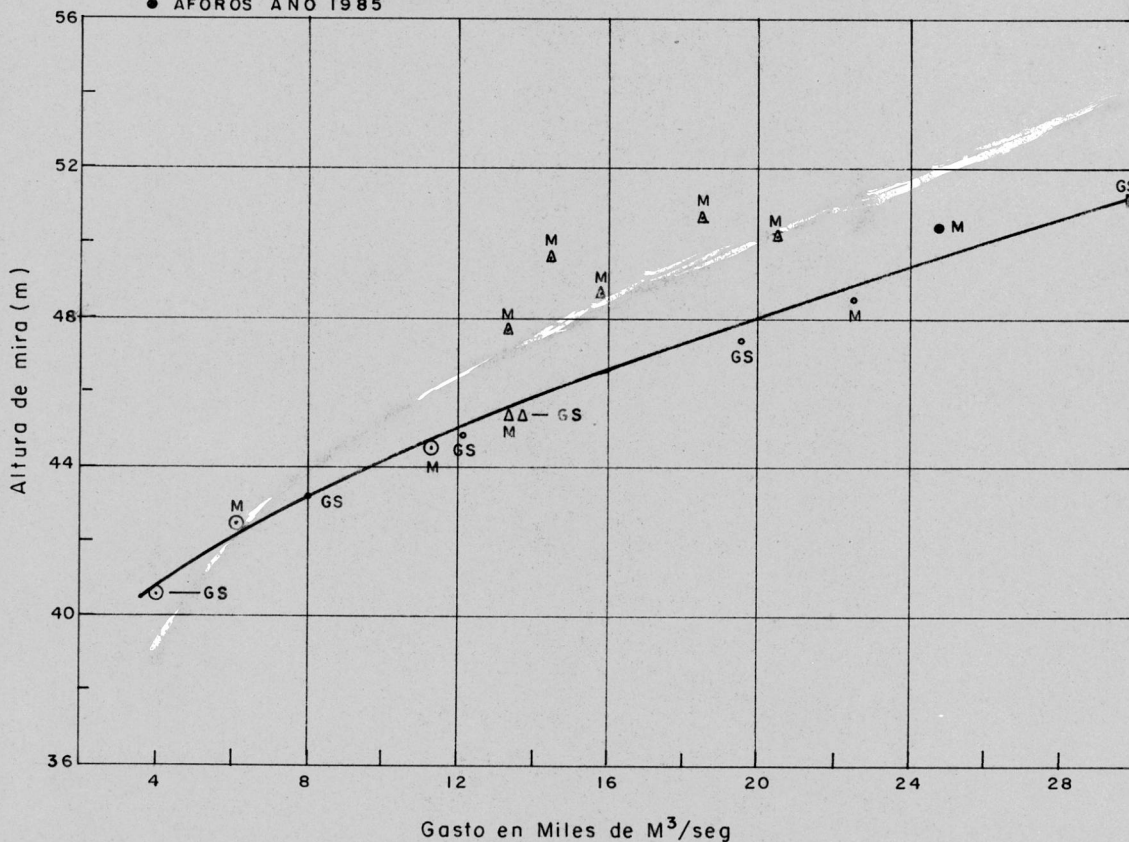
CUADRO N° 1

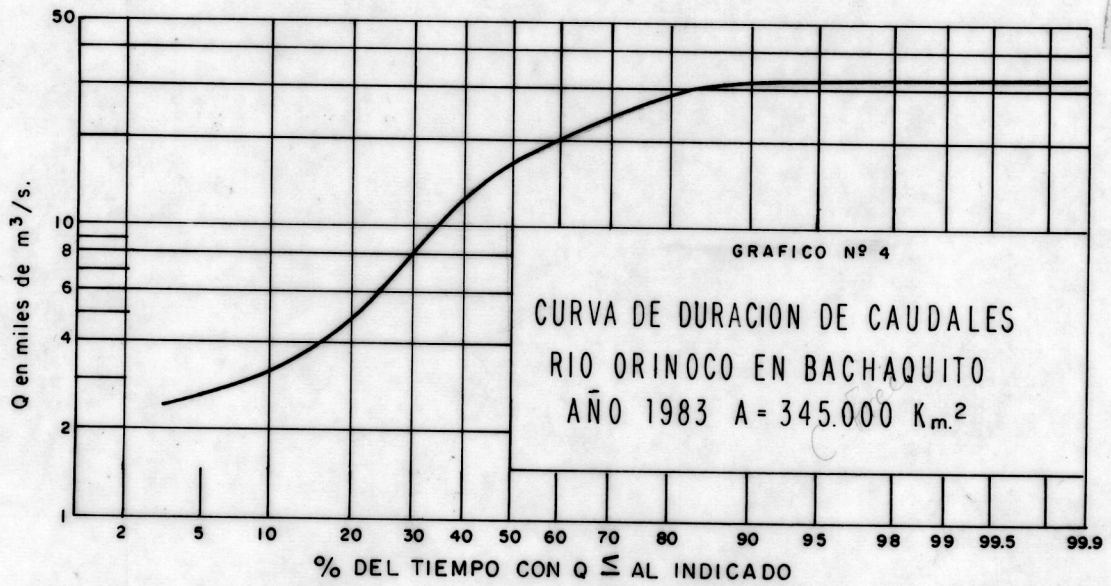
ESTIMACION DEL CAUDAL MEDIO EN EL RIO ORINOCO EN BACHAQUITO  
 AREA 345.000 Km<sup>2</sup>  
 AÑO 1983

(1) Límites %	(2) Intervalo %	(3) Ord. Media %	(4) Gasto m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	(5) (2) x (4) 100 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
0,00 - 0,02	0,02	0,01	32.000	6,40
0,02- 0,1	0,08	0,06	31.800	25,4
0,1 - 0,5	0,4	0,3	31.600	126
0,5 - 1,5	1,0	1,0	31.500	315
1,5 - 5,0	3,5	3,25	31.400	1.099
5,0 -15,0	10,0	10,0	31.000	3.100
15,0 -25,0	10,0	20,0	28.000	2.800
25,0 -35,0	10,0	30,0	24.000	2.400
35,0 -45,0	10,0	40,0	20.000	2.000
45,0 -55,0	10,0	50,0	17.000	1.700
55,0 -65,0	10,0	60,0	13.000	1.300
65,0 -75,0	10,0	70,0	8.000	800
75,0 -85,0	10,0	80,0	4.900	490
85,0 -95,0	10,0	90,0	3.200	320
95,0 -98,5	3,5	96,75	2.500	875
			Q medio	16.569

Gráfica Nº 3  
 CURVAS DE CAUDALES, - RIO ORINOCO - BACHAQUITO

△ AFOROS AÑO 1982      M: MARNR  
 ○ AFOROS AÑO 1983      GS: USGS  
 □ AFOROS AÑO 1984  
 ● AFOROS AÑO 1985





Con el propósito de seleccionar años típicos para el cálculo del escurrimiento, se han representado hidrogramas anuales de años con comportamiento normal en promedio, tanto de la Estación Musinacio como de Bachaquito, el cálculo del caudal medio conduce para el año 1983 a  $16.570 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  esto es un 53% del escurrimiento promedio hasta Musinacio. (Gráfico N° 5).

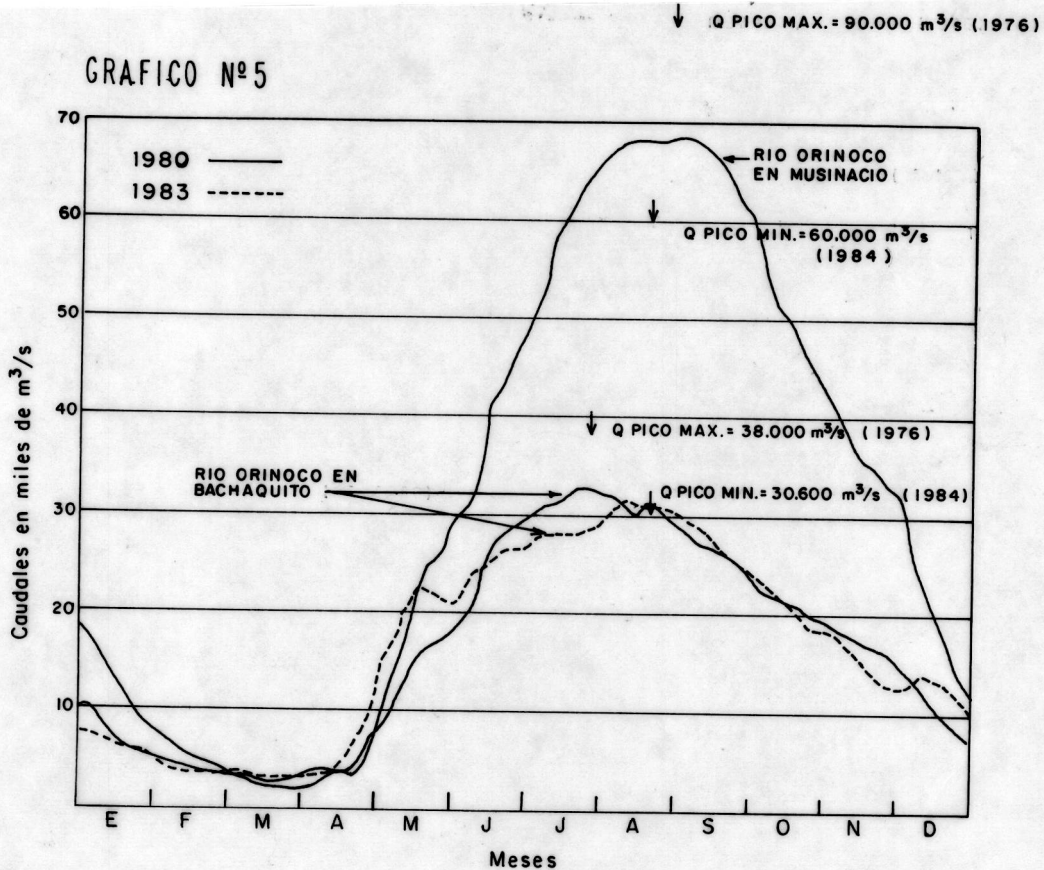


TABLA N° 1

PARAMETROS ESTADÍSTICOS DE LAS DISTRIBUCIONES GAUSSIENAS DE LOS SEDIMENTOS DEL LECHO CUENCA DEL RIO: ORINOCO  
(DIAMETROS EN MM)

ESTACION	FECHA	D10	D14	D25	D30	D50	D60	D75	D84	DN45	STW	CEFC	CU	CC
RIO ORINOCO-ORINDO(I)	090784	0.375	0.500	0.560	0.600	0.860	1.040	1.300	1.600	4.800	1.789	1.524	2.77	0.92
RIO ORINOCO-ORINDO(II)	090784	0.500	0.575	0.690	0.745	1.040	1.150	1.450	1.750	4.800	1.745	1.460	2.30	0.97
RIO ORINOCO-ORINDO(III)	090784	0.155	0.190	0.219	0.231	0.250	0.257	0.279	0.305	0.330	1.302	1.139	1.64	1.34
ORINOCO-TITI(I)	090784	0.375	0.500	0.560	0.600	0.860	1.040	1.300	1.600	4.800	1.789	1.524	2.77	0.92
ORINOCO-NONGUAPO(I)	100784	0.304	0.363	0.420	0.515	0.610	0.700	0.910	1.140	3.500	1.775	1.363	2.29	1.24
ORINOCO-BABA(I)	110784	0.219	0.244	0.254	0.260	0.296	0.320	0.370	0.408	3.050	1.753	1.207	1.46	0.96
ORINOCO-MUSINACIO	130332	0.260	0.290	0.320	0.350	0.420	0.510	0.700	1.300	5.000	2.117	1.479	1.96	0.92
ORINOCO-GUACHAPANA (I)	250784	0.359	0.420	0.500	0.648	0.840	1.000	1.260	1.570	4.700	1.933	1.474	2.79	1.17
ATABAPO-BOCA (I)	240784	0.134	0.205	0.233	0.245	0.278	0.316	0.475	0.667	4.700	1.804	1.428	1.72	1.03
VICHADA-BOCA	240784	0.255	0.262	0.279	0.290	0.367	0.445	0.594	0.740	4.700	1.601	1.462	1.75	0.74
META-BOCA	270784	0.204	0.224	0.245	0.250	0.270	0.297	0.320	0.370	1.000	1.285	1.161	1.41	1.07
ORINOCO-ARAQUITA	111084	0.300	0.360	0.440	0.450	0.460	0.465	0.495	0.510	2.200	1.190	1.061	1.55	1.45
ORINOCO-LA CEIBA	101084	0.210	0.270	0.320	0.350	0.390	0.400	0.415	0.425	0.550	1.255	1.139	1.90	1.16
ORINOCO-CONF META	101084	0.185	0.165	0.175	0.185	0.190	0.200	0.225	0.225	0.300	1.168	1.108	1.08	0.93
ORINOCO-GUAYABAL	041084	0.270	0.320	0.360	0.390	0.410	0.420	0.435	0.460	0.800	1.199	1.099	1.56	1.34
CAURA-BOCA	081084	0.270	0.300	0.350	0.370	0.500	0.650	0.940	1.300	4.000	2.082	1.639	7.41	0.79
ORINOCO-EL LOBO	071084	0.370	0.420	0.550	0.600	1.050	1.200	1.450	2.200	4.500	4.282	1.732	3.24	0.81
ORINOCO-LA URBANA	091084	0.250	0.280	0.350	0.370	0.410	0.440	0.610	0.830	0.850	1.722	1.320	1.76	1.24
META-BOCA ORINOCO (I)	270784	0.234	0.250	0.257	0.261	0.286	0.304	0.341	0.371	0.800	1.218	1.152	1.29	0.95
GUAVIARE-BOCA ORINO (I)	270784	0.343	0.385	0.450	0.507	0.630	0.760	1.180	1.400	7.400	1.907	1.619	2.22	0.99
VENTUARI-KANARIPÓ (I)	250784	0.850	0.961	1.000	1.080	1.120	1.230	1.520	1.820	4.700	1.376	1.233	1.45	1.12

MUESTRAS DE CAMPAÑAS MARNR-USGS, ANALISIS LAB. HIDROLOGIA-MARNR  
(I) ANALISIS SUPLIDOS POR L. HERNANDEZ. PROY. PECOR

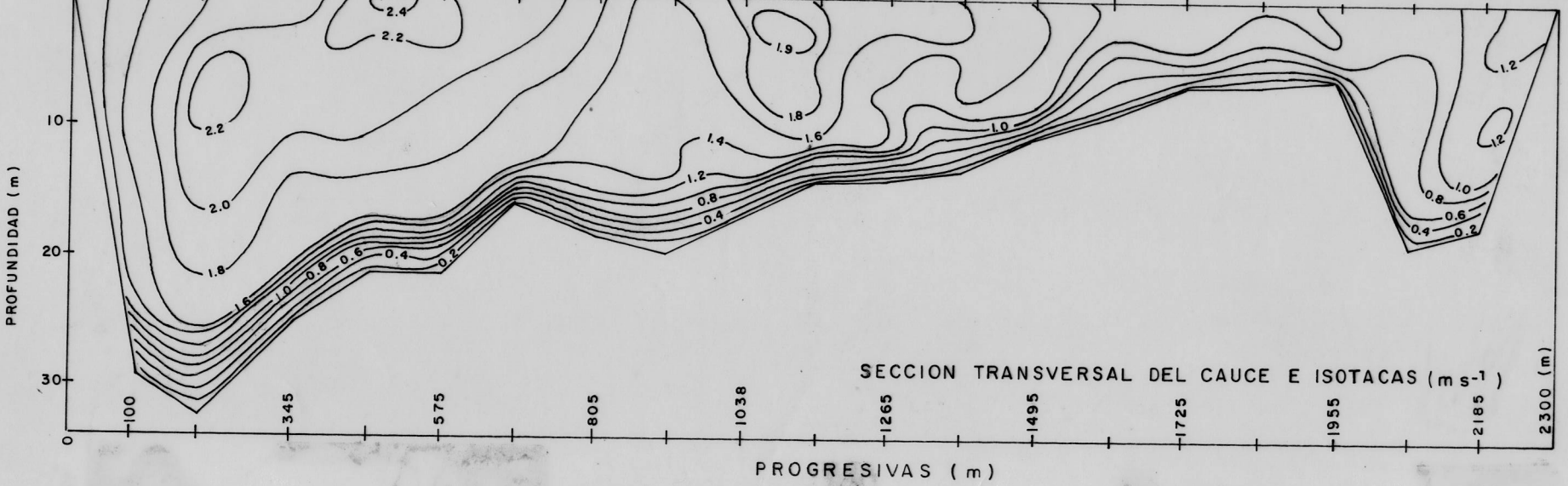
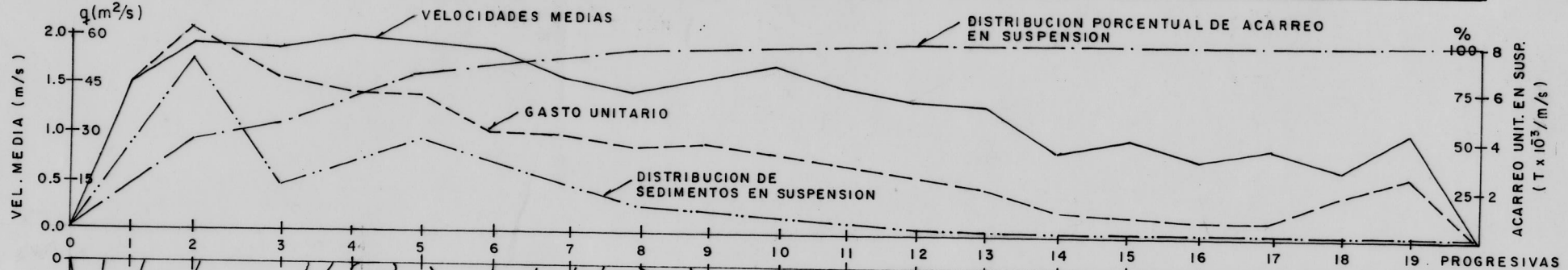
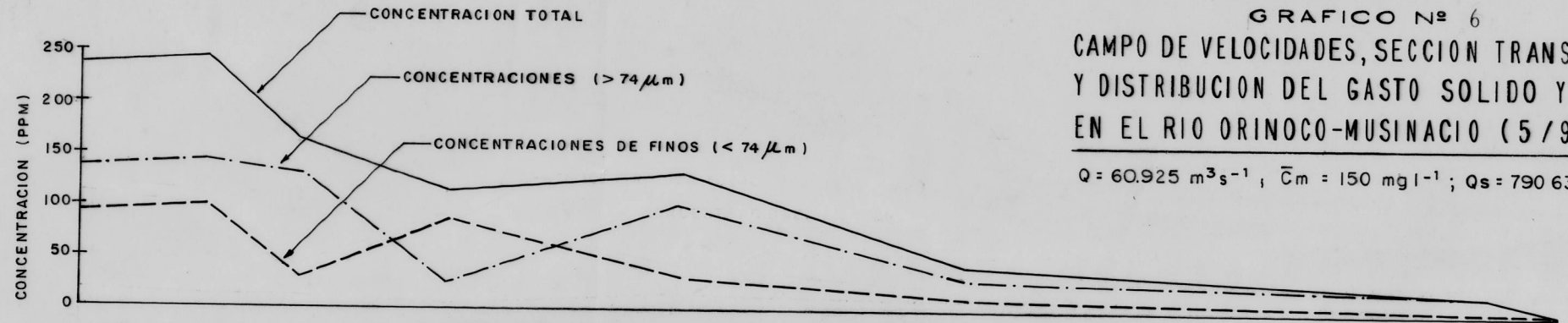
TABLA N° 2

RESULTADOS DE MEDICIONES DE SEDIMENTOS EN RIOS Y TRIBUTARIOS DEL ALTO ORINOCO  
PROCESADOS POR O. ALVARADO - CAMPAÑA DE MEDICION- Agosto 1984

RIO, ESTACION	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) (8)		(9)	(10)	(11)
	Q (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	FILTRO N°	W-FILTRO (mg)	W-FIL.+SED. (mg)	W-SED. (mg)	V-AGUA (ml)	CONC.<63µm (mg l <sup>-1</sup> )		W-ARENA (mg)	V-AGUA EN LA SECCION (ml)	CONC. Arena (mg l <sup>-1</sup> )
Orinoco Bachaquito.	-	1667	94.9	107.4	14.1	754	55.9	56	151.9	12.670	12
Ventuari-Kanaripó.	4448	1668	91.0	98.7	7.7	842	9.1	9	11.2	6.005	2
Orinoco en Tama-Tama.	2500	1669	93.0	116.0	23	850	27	27	32.5	5.170	6
Mavaca en Mavaca.	279	1670	92.8	99.1	6.3	434	14.5	14	7.6	3.335	2
Orinoco en Sta. María.	1377	1671	93.4	110.2	16.8	714	23.5	24	30.0	5.255	6
Orinoco en Mavaca.	612	1672	94.6	111.9	17.3	762	22.7	23	5.8	4.175	1
Ocamo en Las Palmas.	492	1673	94.2	106.6	12.4	674	18.4	18	9.6	5.000	2
Cumucunumá	598						7.8	8	4.8	4.125	1
Padamo							12.0	12	11.5	4.950	2

CAMPO DE VELOCIDADES, SECCION TRANSVERSAL Y DISTRIBUCION DEL GASTO SOLIDO Y LIQUIDO EN EL RIO ORINOCO-MUSINACIO (5/9/1984)

$Q = 60.925 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ,  $\bar{C}_m = 150 \text{ mg l}^{-1}$ ;  $Q_s = 790 630 \text{ T d}^{-1}$



Esto confiere una gran importancia a la cuenca alta del río Orinoco como generadora de escurrimiento. Al evaluar los caudales se ha considerado que entre las secciones de Puerto Ayacucho donde se leen las miras y Bachaquito, la pendiente del río se mantiene uniforme tanto en el ascenso como el descenso del hidrograma, esta suposición es aceptable de asumir, si se considera que en este tramo, el valor del gradiente hidráulico es superior al observado en los tramos más bajos y por consiguiente, los errores de estimación serían mucho menores.

Recientemente en Mayo-Junio del año 1985, se procedió conjuntamente con investigadores del USGS a realizar una intensa Campaña de Mediciones Hidrológicas, haciéndose énfasis en los tributarios más importantes del alto Orinoco y los ríos contribuyentes desde los llanos Colombianos.

En esta expedición se recolectaron muestras de sedimentos en las confluencias, a fin de estudiar en más detalle la mineralogía de las arenas, lo grándose además preparar análisis granulométricos de las muestras, cuyos resultados señalados en las Tablas Nos. 3 y 4, al igual que los de la Tabla N° 1, se han procesado (8) con el Programa ESTDH, con él se han lo grado definir parámetros estadísticos como son los coeficientes de uniformidad, curvatura y desviación standard, después de graficarse los valores en curvas log-probabilísticas.

Respecto a las mediciones del sedimento suspendido en el alto Orinoco y sus tributarios, se han practicado mediciones que reflejan un bajo contenido de transporte suspendido. La Tabla N° 2 contiene resultados de una de las últimas campañas realizadas por personal de la Zona Administrativa N° 10, resultando valores de la concentración del material fino ( $d \leq 63 \mu m$ ) en Bachaquito menores a  $70 \text{ mg l}^{-1}$  y para la arena valores menores a  $12 \text{ mg l}^{-1}$ . Adicionalmente se han procesado muestras de los sedimentos del lecho de muchos de los tributarios del río Orinoco en su cuenca alta y los resultados de las granulometrias, así como la determinación de los parámetros estadísticos de las distribuciones, se ilustran en la Tabla N° 1.

La presentación de los resultados de mediciones de caudales líquidos y sólidos en la Estación Musinacio, donde el MARNR ha venido desarrollando frecuentes mediciones y eventualmente, el Departamento de Hidrología y Meteorología de la U.C.V., ejercita a los estudiantes en sus prácticas de mediciones, se ilustra en el Gráfico N° 6. En la sección transversal se muestra para una condición de flujo el campo de velocidades, la distribución del caudal sólido y líquido, distribución de las concentraciones y una discriminación del transporte de las fracciones gruesa y fina del sedimento medido.

Ultimamente se ha incrementado la frecuencia de los muestreos del sedimento a intervalos de 2 mediciones mensuales, ello conducirá a establecer mejores relaciones sobre el transporte de los sólidos, su variabilidad estacional y más precisas interrelaciones con los caudales líquidos.

PARAMETROS ESTADISTICOS DE LAS DISTRIBUCIONES GRANULOMETRICAS DE LOS SEDIMENTOS DEL LECHO CUENCA DEL RIO: ORINOCO  
(DIAMETROS EN MM)

ESTACION	FECHA	D10	D15	D25	D30	D50	D60	D75	D84	D90	ST5	CURQ	CU	CC
ORI-STA. 605 PR-13	250585	0.400	0.475	0.560	0.640	0.800	0.910	1.180	1.500	3.400	1.78	1.45	2.28	1.02
ORI-STA. 605 MD PR-17	250585	0.259	0.375	0.310	0.330	0.399	0.450	0.535	0.650	1.250	1.54	1.31	1.74	0.93
ORI-PIR. STA 603 P-7.3	250585	0.310	0.390	0.475	0.595	0.640	0.690	0.790	0.990	1.480	1.51	1.29	2.09	1.12
ORI-PIR. STA 603 P-8.2	250585	0.315	0.385	0.490	0.518	0.760	0.890	1.190	1.590	3.580	1.97	1.54	2.93	0.96
ORI-PIR. STA 603 PR-8	250585	0.262	0.332	0.462	0.522	0.750	1.180	1.590	2.200	3.700	2.55	1.91	4.50	0.98
ORI-PIR. STA 603 PR-7.2	250585	0.288	0.311	0.345	0.364	0.440	0.485	0.530	0.675	1.325	1.47	1.25	1.68	0.95
ORI-PIR. STA 603 PR-9.6	250585	0.262	0.292	0.339	0.360	0.462	0.511	0.700	0.930	2.810	1.78	1.44	1.95	0.97
ORI-SUPIRO MD	260585	0.325	0.391	0.465	0.520	0.750	0.955	1.220	1.390	3.050	1.91	1.62	2.94	0.87
ORI-SUPIRO CENTRO	260585	0.265	0.315	0.380	0.461	0.740	0.920	1.310	1.350	4.100	2.07	1.66	3.47	0.87
ORI-SUPIRO MISTA 610	260585	0.325	0.350	0.422	0.462	0.612	0.750	1.020	1.290	2.200	1.89	1.55	2.31	0.88
GUAV. BOCA MI STA 610	270585	0.193	0.200	0.235	0.245	0.370	0.430	0.540	0.640	1.040	1.79	1.52	2.32	0.98
GUAV. BOCA STA 610	270585	0.195	0.192	0.225	0.240	0.340	0.390	0.500	0.590	0.980	1.73	1.49	2.11	0.90
GUAV. BOCA MISTA 610	270585	0.250	0.270	0.290	0.300	0.355	0.385	0.450	0.520	0.900	1.39	1.25	1.54	0.94
INIR-BOCA MI STA 609	250685	0.165	0.195	0.235	0.250	0.315	0.355	0.440	0.520	0.990	1.62	1.37	2.15	1.07
INIR-BOCA C STA 609	250685	0.285	0.295	0.340	0.370	0.480	0.550	0.710	0.880	1.750	1.73	1.45	2.16	0.98
INIR-BOCA MI STA 609	250685	0.210	0.230	0.265	0.285	0.380	0.460	0.660	1.000	0.602	2.09	1.58	2.19	0.84
APU-SNFDO MI STA 623	130685	0.193	0.215	0.260	0.290	0.385	0.440	0.520	0.590	0.990	1.66	1.41	2.26	0.98
APU-SN FDO C STA 623	130685	0.078	0.110	0.141	0.160	0.210	0.230	0.270	0.319	0.558	1.70	1.38	2.05	1.43
APU-SN FDO MISTA 623	130685	0.180	0.200	0.225	0.249	0.335	0.375	0.465	0.524	0.725	1.62	1.44	2.08	0.92
APURE-SAMAN ESTA 624	130685	0.235	0.280	0.330	0.340	0.460	0.500	0.580	0.640	0.800	1.51	1.33	2.13	1.10
APURE-BRUZHAL	140685	0.190	0.205	0.230	0.250	0.315	0.350	0.445	0.520	1.060	1.69	1.39	1.84	0.94
RIO MASCARRO STA 626	140685	0.225	0.250	0.310	0.340	0.450	0.500	0.600	0.675	0.940	1.62	1.39	2.22	1.03
FORTUQUESA-CANAGUAN	120685	0.220	0.250	0.252	0.260	0.390	0.320	0.363	0.420	0.700	1.30	1.21	1.45	0.96
RIO COJEDS STA 630	140685	0.183	0.210	0.230	0.249	0.300	0.325	0.380	0.410	0.595	1.40	1.29	1.78	1.04
GUANARE PTE. GUANARE	120685	0.240	0.274	0.310	0.330	0.390	0.420	0.485	0.540	0.983	1.40	1.23	1.73	1.08
ORI-MUS. STA 620 V10	070665	0.192	0.224	0.282	0.325	0.620	0.820	1.420	2.780	3.950	3.26	2.21	4.32	0.88
ORI-MUS. STA 620 V13	070685	0.308	0.331	0.389	0.420	0.540	0.602	0.760	1.090	5.100	1.91	1.40	1.95	0.95
ORI-MUS. STA 620 V16	070685	0.368	0.419	0.475	0.525	0.721	0.850	1.175	1.630	3.550	1.91	1.57	2.31	0.88
ORI-MUS. STA 620 V19	070685	0.315	0.375	0.465	0.505	0.770	1.102	1.740	2.350	5.100	2.50	1.93	3.50	0.73

SIMBOLO GIA:

ORI: Orinoco; MUS: Musinacio; APU: Apure; PIR: Pirarina; MI: Márgen Izquierda; C: Centro; MD; Márgen Derecha, STA: Estación, CURQ: Curiquima; BACHAQ: Bachaquito; P: Profundidad (m); INI: Inirida; PTE: Puente; GUAV: Guaviare; SN.FDO: San Fernando; V1, V3: Vertical N 1, 3, etc.

TABLA N° 4

PARAMETROS ESTADISTICOS DE LAS DISTRIBUCIONES GRANULOMETRICAS DE LOS SEDIMENTOS DEL LECHO QUEMCA DEL RIO: ORINOCO  
(DIAMETROS EN MM)

ESTACION	FECHA	D10	D16	D25	D30	D50	D60	D75	D84	D90	STD	CESD	CU	CC
ORI-MUR STA420 U22	070485	0.215	0.245	0.333	0.375	0.515	0.600	0.735	0.875	1.172	1.34	1.47	2.72	1.09
CAURA-BC MI STA421A	090485	0.200	0.240	0.419	0.500	0.700	0.800	1.100	1.400	3.510	2.03	1.57	2.84	1.12
CAURA-BC MC STA421A	090485	0.342	0.423	0.510	0.540	0.600	0.700	0.810	1.200	3.300	1.43	1.34	2.23	1.15
CAURA-BC MD STA421A	090485	0.205	0.275	0.460	0.500	0.740	0.860	1.250	1.700	4.400	2.13	1.45	4.20	1.42
CUCHIV. 10K BC P=4 M	040485	0.290	0.300	0.390	0.410	0.540	0.660	0.960	1.100	2.700	1.85	1.40	2.39	0.88
CUCHIV. 1K BC	040485	0.360	0.460	0.600	0.690	1.010	1.300	1.750	2.200	4.490	2.19	1.71	3.61	1.02
APURE-BC C STA419	040485	0.155	0.192	0.230	0.230	0.252	0.271	0.253	0.302	0.452	1.27	1.06	1.75	1.35
APURE-BC MD STA419	040485	0.191	0.208	0.370	0.430	0.500	0.620	0.718	0.760	1.650	1.62	1.39	3.25	1.54
META-CARA MI STA412	310585	0.269	0.311	0.360	0.381	0.435	0.490	0.550	0.600	0.780	1.39	1.24	1.93	1.11
META-CARA MC STA412	310585	0.240	0.254	0.250	0.260	0.275	0.280	0.285	0.290	0.420	1.00	1.05	1.12	1.02
META-CARA MD STA412	310585	0.212	0.228	0.253	0.260	0.258	0.300	0.322	0.358	0.500	1.25	1.13	1.42	1.06
ORI-BACHAQ MI STA411	310585	0.260	0.275	0.310	0.325	0.410	0.460	0.590	0.690	1.490	1.58	1.38	1.77	0.88
ORI-BACHAQ MC STA411	310585	0.275	0.310	0.370	0.390	0.305	0.590	0.720	1.010	3.700	1.81	1.46	2.15	0.94
ORI-BACHAQ MD STA411	310585	0.240	0.280	0.355	0.400	0.640	0.790	1.200	1.560	3.400	2.34	1.84	3.32	0.93
TOMO MI STA413 P=4	010485	0.210	0.230	0.250	0.245	0.315	0.340	0.360	0.390	0.450	1.30	1.20	1.62	0.92
TOMO MC STA413 P=4	010485	0.185	0.190	0.215	0.225	0.240	0.254	0.260	0.250	0.700	1.23	1.19	1.37	1.00
TOMO MD STA413 P=5	010485	0.175	0.190	0.213	0.230	0.310	0.360	0.497	0.610	1.140	1.72	1.53	2.06	0.84
ORI-CURQ STA417 U4	050485	0.170	0.190	0.185	0.190	0.220	0.230	0.280	0.370	1.400	1.43	1.23	1.35	0.92
ORI-CURQ STA417 U9	050485	0.190	0.200	0.220	0.230	0.220	0.325	0.400	0.500	1.200	1.53	1.35	1.71	0.84
ORI-CURQ STA417 U7	050485	0.120	0.240	0.270	0.300	0.370	0.440	0.540	0.620	2.150	1.66	1.41	3.67	1.70
ORI-CURQ STA417 U4	050485	0.110	0.132	0.132	0.144	0.251	0.320	0.470	0.590	1.150	2.12	1.84	2.21	0.59
ORI-CURQ STA417 U9	050485	0.145	0.180	0.187	0.195	0.225	0.242	0.310	0.390	1.300	1.47	1.28	1.51	0.84
ORI-CURQ STA417 U12	050485	0.140	0.151	0.163	0.170	0.187	0.198	0.220	0.242	0.451	1.28	1.16	1.41	1.04

Un más detallado estudio de la hidrología y los procesos denudacionales en la cuenca del río Orinoco, va a contribuir al diagnóstico de los problemas más inminentes relacionados con el aprovechamiento y uso de los recursos naturales, además como una contribución al mejor conocimiento del medio natural, el cual permanece en muchos aspectos desconocido y ello se hace indispensable de acometerse, como vía de iniciar el desarrollo del eje fluvial Orinoco-Apure. Así, aspectos importantes como el de análisis de la navegación en el canal medio del río Orinoco y evaluación del potencial hidroenergético de sus tributarios, hacen indispensable acometer esfuerzos que hagan factible alcanzar dichos objetivos, reduciéndose los elevados costos futuros que tales actividades ameriten y aportándose diagnósticos más rápidos y fundamentados en una mejor información, la cual al no existir ó ser de limitado alcance, representaría una seria restricción para el desarrollo de la región. Tal es la justificación que pueden ofrecer las Instituciones interesadas en los estudios realizados-modos hasta el presente-, en el río Orinoco.

## 5. CONCLUSIONES

En los últimos años se ha avanzado notablemente en el conocimiento del río Orinoco y muchos de sus tributarios, especialmente en los campos de la hidrología, sedimentología fluvial e hidrogeoquímica, ello ha sido el resultado del trabajo conjunto de diferentes organismos nacionales como del extranjero, cuyas actividades han llevado a obtener una cantidad de información, aún no evaluada e interpretada completamente. Como resultado de las prácticas de campo y reconocimientos de los ríos bajo diferentes condiciones hidrológicas, ha sido posible identificar diversos problemas de interés como temas de investigación, algunos de los cuales se proponen aquí para despertar interés y animar a la comunidad de profesionales y técnicos, a seguir trabajando en los grandes ríos, particularmente en el río Orinoco.

En tal sentido, se ha reconocido lo ventajoso de vincular con estos proyectos a técnicos de organizaciones especializadas con lo cual se obtienen mutuos beneficios, como los logrados con la experiencia del MARNR en la realización de estudios conjuntos con el USGS, relacionados con los recursos hidráulicos en el río Orinoco y la incorporación posterior de otras Instituciones.

En este informe se adelantan por primera vez, algunos datos preliminares de la hidrología de la cuenca alta del Orinoco, un área de enorme interés en diferentes aspectos de las ciencias naturales y donde deben proseguirse activamente las labores de medición para mejorar dichos resultados, buscando

do en primer término, evaluar los recursos naturales, entre ellos los de naturaleza hidráulica especialmente y como consecuencia de ese conocimiento, incorporarle efectivamente al desarrollo nacional.

## 6. AGRADECIMIENTO

Muchas de las ideas plasmadas en este trabajo han resultado de estimulantes diálogos con los Drs. R. Meade y C. Nordin Jr. del USGS a lo largo de la permanencia en diferentes campañas de medición realizadas en el río Orinoco, las cuales han sido financiadas por la Oficina de la FAPO con la activa participación del personal de Hidrología de la Zona Administrativa N°10. También se aprecia la invitación cursada por la comisión del Proyecto Amazonas, dependiente del Rectorado de la U.C.V. para exponer tanto los logros alcanzados, como futuros objetivos a contemplarse especialmente los relacionados con los recursos hidráulicos en la Guayana Venezolana.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- 1 DE SOLA, OSWALDO, 1982. Caracterización Geológica del Río Orinoco, Tramo Cabruta-Ciudad Bolívar (abs), in Seminario, Estudios para el Aprovechamiento del Eje Fluvial Orinoco-Apure: (Venezuela) Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Dirección General Sectorial de Planificación y Ordenación, p. 23-28.
- 2 MEADE, R.H., C.F. NORDIN, Jr., D. PEREZ HERNANDEZ, A. MEJIA B., and J.M. PEREZ GODOY 1983 - " Sediment and water discharge in Rio Orinoco, Venezuela and Colombia". Proceedings of the Second International Symposium on River Sedimentation, 11-16 October, 1983, Nanjing, China Water Resources and Electric Power Press, Beijing, China, pp., 1134-1144.
- 3 MEYBECK, M. 1977 - " Dissolved and suspended matter carried by rivers; Composition, time and space variation, and world water balance, in . "Interaction Between Sediments and Fresh Waters". H. L. Golterman, ed., Junk and Pudoc, Amsterdam pp., 25-32.
- 4 MILLIMAN, J.D., and R.H. MEADE 1983- " World-wide delivery of river sediment to the oceans". Jour. Geology 91, pp., 1-21.
- 5 NORDIN C. JR., PEREZ H. DAVID - "Sediment and water discharge in Rio Orinoco, Venezuela and Colombia, Sand dunes and wind blow Sands". USGS-Public. en progreso.
- 6 PASQUALI, Z., J., C. LOPEZ E., and H. MEINHARD 1972, " Meteorización de rocas del Escudo de Guayana en Ambiente Tropical". Congreso Geo

lógico Venezolano, Memoria IV, Tomo IV, Boletín de Geología, Publicación Especial n.5, pp.2245-2302.

- 7 PEREZ H.D. (1983) " Técnicas Hidrológicas Modernas de Medición en el Río Orinoco IV Jornadas Ingeniería Hidráulica, Caracas, Venezuela.
- 8 \_\_\_\_\_ (1985)- Distribución de Caudales Sólidos-Líquidos en Secciones de ríos Grandes y determinación de parámetros estadísticos de los sedimentos de lecho. V Jornadas Nacionales de Ingeniería Hidráulica, Caracas, Venezuela.
- 9 STALLARD R. (1985), River Chemistry, Geology, Geomorphology and Soil in the Amazona and Orinoco Basins. Dpto. of Geoph. Scienc. Princenton University, New Jersey U.S.A.
- 10 STALLARD, R.F., and J.M. EDMOND (1983)- " Geochemistry of the Amazon 2. The influence of the geology and weathering environment on the dissolved load". Jour. Geophys. Res. 88, pp., 9671-9688.