

ALGUNOS ASPECTOS RELEVANTES DE LA HIDROLOGIA DEL RÍO ORINOCO

David Pérez Hernández¹ y José Luis López²

¹Dpto. de Ingeniería Hidrometeorológica, Escuela de Civil, UCV.

² Instituto de Mecánica de Fluídos, Facultad de Ingeniería, UCV.

RESUMEN

A pesar de ser la cuenca del Orinoco sumamente rica en recursos naturales, con grandes reservas de crudos pesados, bauxita, hierro, oro, diamante y otros minerales, el Río Orinoco es un río relativamente poco intervenido y explorado. La planificación de proyectos para el desarrollo del río con fines de navegación, aprovechamientos hidroeléctricos, y en general para el aprovechamiento de sus recursos naturales, requiere de la disponibilidad de bases de datos de niveles del agua, caudales y sedimentos. Sin embargo, desde el punto de vista hidrológico, la información disponible de caudales del Río Orinoco y de sus principales afluentes es relativamente escasa, y es en los últimos años cuando se ha hecho un esfuerzo en intensificar los programas de mediciones, con la participación activa de dependencias nacionales (MARNR, EDELCA e INC) e internacionales (USGS, HIMAT). En este trabajo se discuten algunos aspectos relevantes de la información hidrológica existente en el Río Orinoco y en sus principales afluentes. Inicialmente se presentan los rendimientos líquidos y se comparan con los de otros grandes ríos del mundo. A la luz de la información disponible se presentan los hidrogramas de caudales y niveles del Orinoco y de sus tributarios más importantes, y se discuten algunos aspectos relacionados con su comportamiento hidráulico e hidrológico, resaltando aquellos que lo caracterizan como único dentro de los grandes ríos del planeta.

INTRODUCCION

El Río Orinoco es uno de los ríos más grandes del mundo, drenando partes de Venezuela y Colombia con una cuenca de aproximadamente un millón de km² y una longitud cercana a 2200 km. El volumen medio escurrido es aproximadamente de 1200 km³/año. En términos de los caudales de agua y sedimentos que aporta al océano está considerado el tercero y el octavo más grande del mundo, respectivamente (Milliman y Meade, 1983).

La Figura 1 ilustra la extensión y forma de la cuenca del Río Orinoco, abarcando un área de drenaje que se extiende por el suroeste hasta las cercanías de la ciudad de Bogotá. El área drenada en Venezuela es de 640.000 km², aproximadamente el 70 % del área total, de los cuales aproximadamente un 40% corresponde a la región del Macizo Guayanés. Más de 200 afluentes drenan las aguas provenientes del Escudo Guayanés y las más turbias de los llanos de Venezuela y Colombia. Los principales tributarios del Orinoco lo constituyen en orden de su caudal, el Río Guaviare proveniente de los llanos Colombianos, con un caudal medio anual de 6800 m³/s, el Meta con 4200 m³/s, el Caroní con 4100 m³/s, el Caura con 3100 m³/s y el Apure con 2300 m³/s.

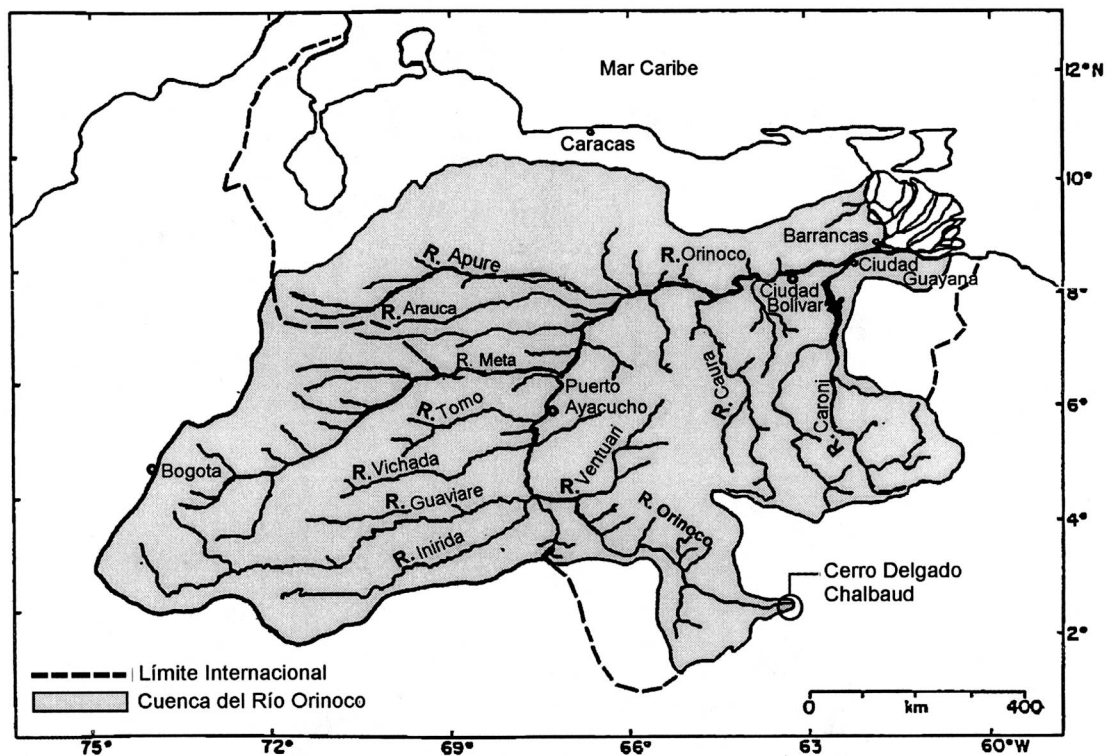


Figura 1. Ubicación del Área de Drenaje del Río Orinoco en Venezuela y Colombia.

CLASIFICACION DE GRANDES RIOS DEL MUNDO EN FUNCION DEL CAUDAL

La Tabla 1 indica la posición que ocupa el Río Orinoco según el orden de caudales medios dentro de los grandes ríos del mundo, mostrándose además las áreas de drenaje de sus cuencas. El cálculo del rendimiento líquido unitario, muestra que el Orinoco presenta los valores más altos ($0,0374 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$), superando incluso al Río Amazonas ($0,0325 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) a pesar de tener éste un caudal medio casi 5 veces mayor. Lo anterior es un reflejo de los mayores valores de precipitación en la franja ecuatorial drenada por el Orinoco, lo cual combinado con el carácter litológico del basamento formado por rocas cristalinas, inducen a una alta generación de escurrimiento superficial. Es de notar, que el Orinoco también recibe aportes derivados de los deshielos de glaciales de montañas andinas, pero que en el presente tienen poca importancia como productores de escorrenría.

Haciendo un balance de la disponibilidad de aguas superficiales del continente suramericano, se encuentra que el Amazonas representa el 76 % del escurrimiento, seguido del Orinoco con 14,5 %, mientras que otros ríos del continente aportan el resto del escurrimiento (9,5 %). Esto hace privilegiado a nuestro país en cuanto a disponibilidad del recurso hídrico.

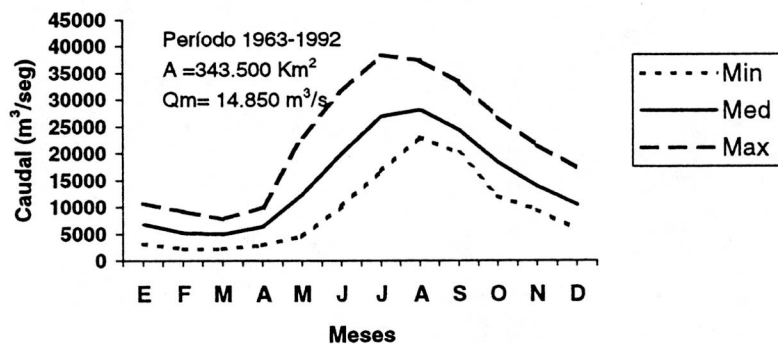


Figura 2. Hidrograma de caudales del Río Orinoco en Pto. Ayacucho

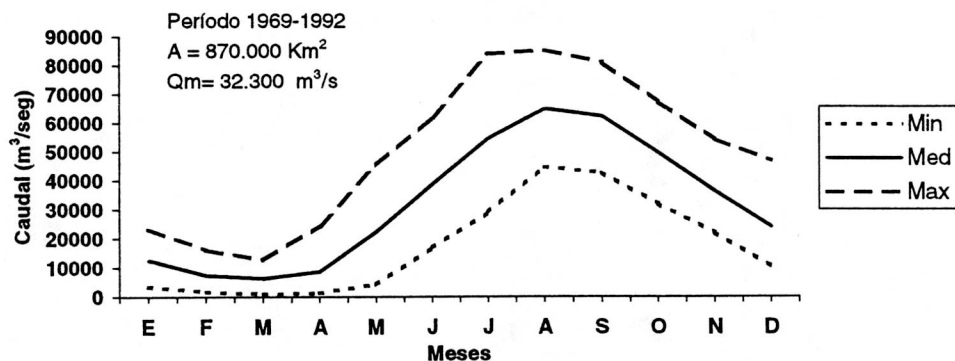


Figura 3. Hidrograma de caudales del Río Orinoco en Musinacio

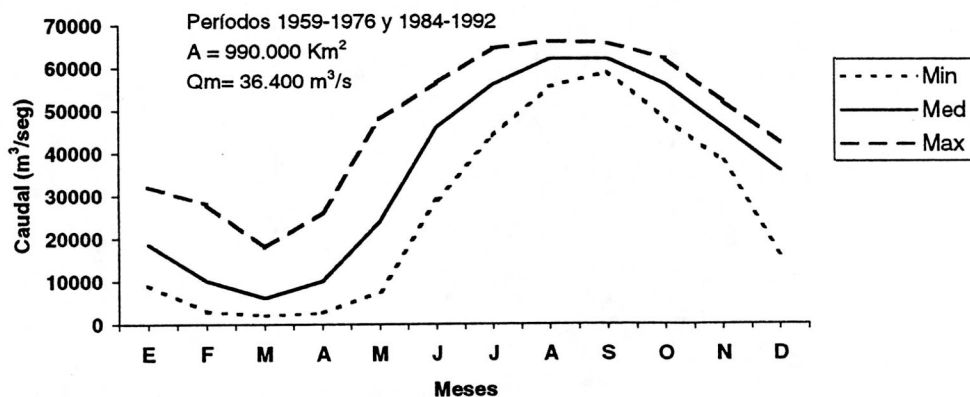


Figura 4. Hidrograma de caudales del Río Orinoco en Pta. Cabrián

Río	Continente	Caudal Medio (m ³ /s)	Area de Drenaje (km ² x10 ⁶)	Rendimiento Unitario (m ³ /s/km ² /100)
Amazonas	Suramerica	200000	6,15	3,25
Zaire/Congo	Africa	41000	3,82	1,07
Orinoco	Suramerica	37000	0,99	3,74
Ganges/Brahmaputra	Asia	32000	1,48	2,16
Yangtze	Asia	30000	1,94	1,55
Mississippi	Norteamerica	20000	3,27	0,61
Yenisei	Europa/Asia	18500	2,58	0,72
Lena	Europa/Asia	17000	2,51	0,68
Plata	Suramerica	15500	2,83	0,55
Mekong	Asia	15000	0,79	1,90
Irrawadi	Asia	14000	0,43	3,26

Tabla 1. Clasificación de grandes ríos del mundo según la magnitud del caudal líquido.

HIDROGRAMAS DEL ORINOCO Y TRIBUTARIOS MAS IMPORTANTES

Las Figuras 2, 3 y 4, muestran los hidrogramas observados de caudales medios, máximos y mínimos, en tres estaciones fluviométricas del Orinoco, ubicadas en la parte alta, media y baja de la cuenca. Debido al régimen de precipitación determinado por la influencia de la convergencia intertropical (ITZ), los hidrogramas resultantes presentan una distribución unimodal produciéndose los picos entre Julio y Septiembre. En la estación de Puerto Ayacucho, resalta la variación entre los caudales máximos y mínimos dentro del período considerado. La relación de los valores extremos de caudal máximo a caudal mínimo (Q_{max}/Q_{min}) es de 17. En Musinacio esta relación se incrementa notablemente hasta un valor de $Q_{max}/Q_{min}= 80$, mientras que en Punta Cabrián se reduce a 35. Sin embargo, la relación promedio de estos valores en un ciclo hidrológico en Musinacio es de 26. En Punta Cabrián, el hidrograma se observa más aplanado y la diferencia entre los caudales máximos y mínimos, en el pico del hidrograma, se reduce considerablemente como consecuencia del efecto de la zona deltaica, donde las profundidades tienen menores variaciones con respecto al caudal, en comparación con otras variables geométricas. El análisis de los datos históricos de niveles y caudales registrados en Punta Cabrián, a la entrada del Delta del Orinoco, indica que el caudal medio descargado por el Orinoco al Océano Atlántico es de 36.500 m³/s.

Hidrogramas de caudales de los ríos Guaviare, Meta, Arauca y Apure, provenientes de los llanos se presentan en la Figuras 5, 6, 7 y 8. El Guaviare exhibe poca variabilidad entre los máximos y mínimos caudales mensuales, en contraste con los otros ríos considerados. La variación del caudal en los hidrogramas del Arauca, se observa con grandes diferencias respecto a los otros ríos. Los máximos caudales se estabilizan a partir del mes de Mayo hasta el mes de Noviembre, a consecuencia del efecto del remanso ejercido por el Orinoco a partir de su confluencia, y además por las bajas pendientes del Arauca en el sitio de la estación. El hidrograma del Apure parece reflejar en los máximos la influencia de las crecientes del Río Portuguesa, que confluye en la inmediaciones de San Fernando, las cuales anteceden a la época en que se produce el

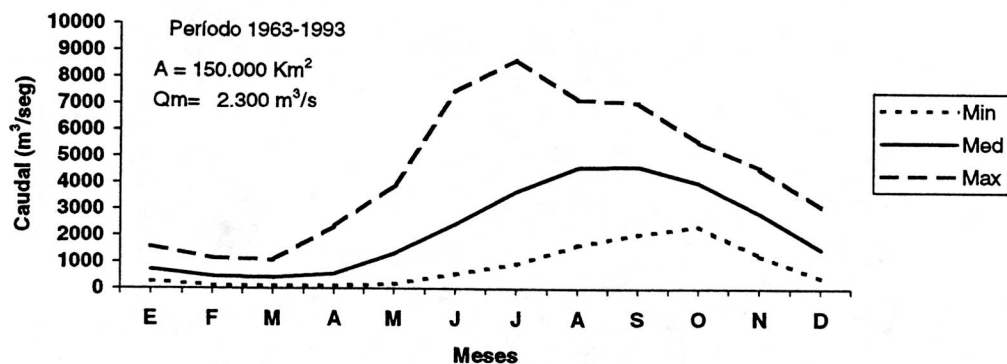


Figura 8. Hidrograma de caudales del Río Apure en San Fernando

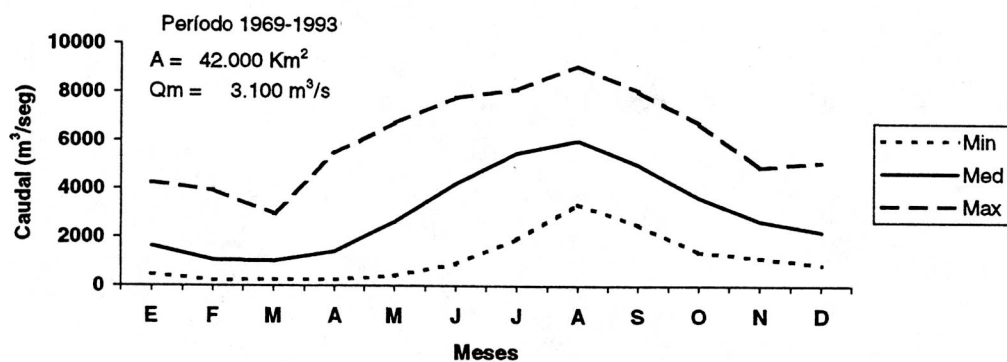


Figura 9. Hidrograma de caudales del Río Caura en San Luis

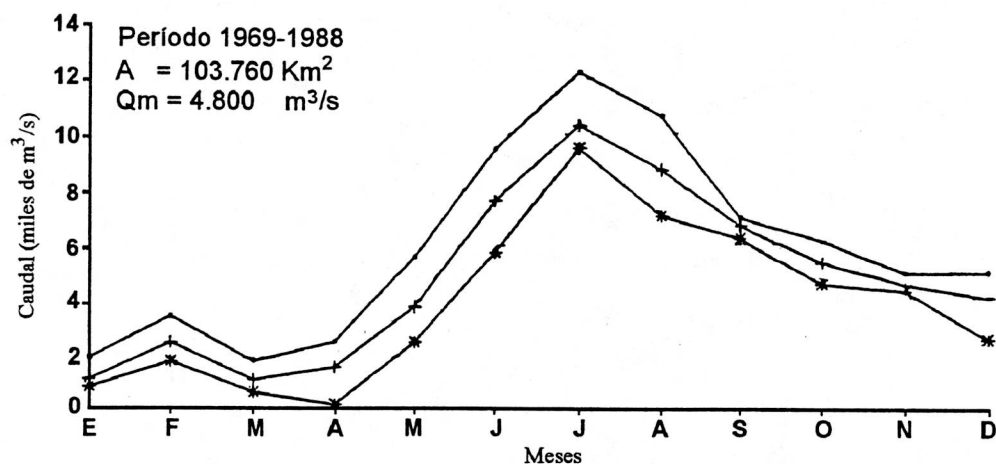


Figura 10. Hidrograma de caudales del Río Negro en San Carlos.

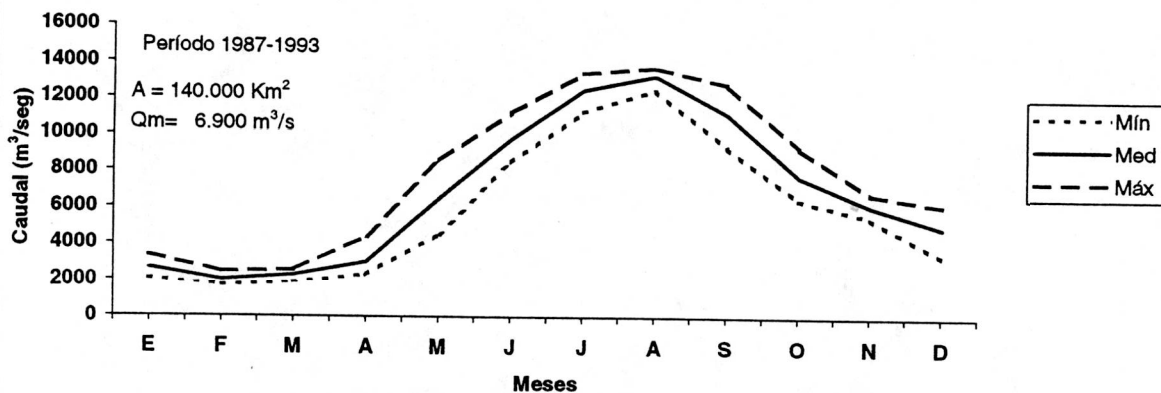


Figura 5. Hidrograma de caudales del Río Guaviare en Guayare

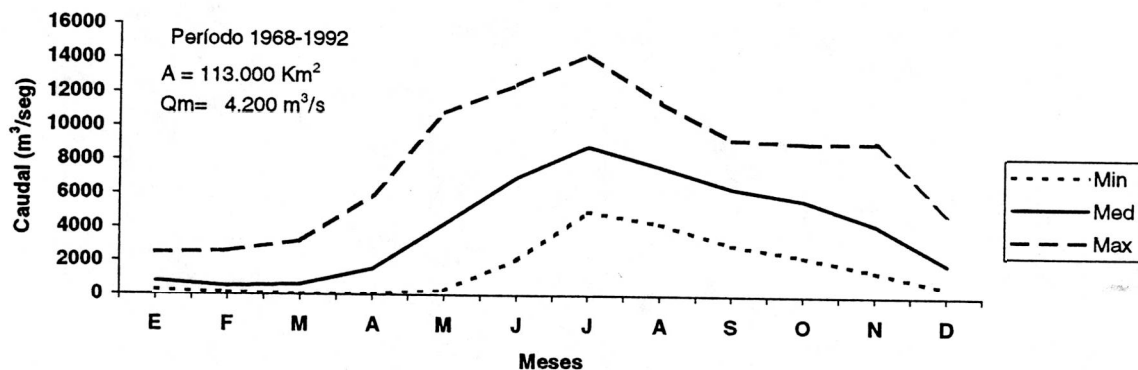


Figura 6. Hidrograma de caudales del Río Meta en Cararabo

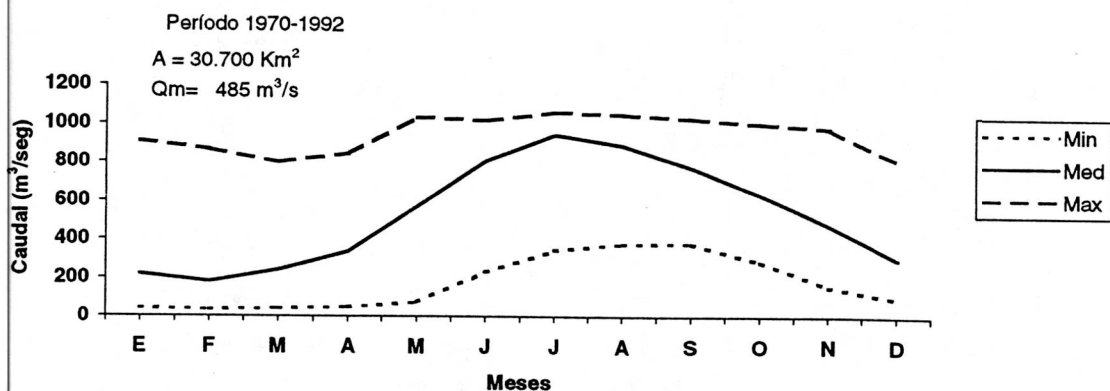


Figura 7. Hidrograma de caudales del Río Arauca en Elorza

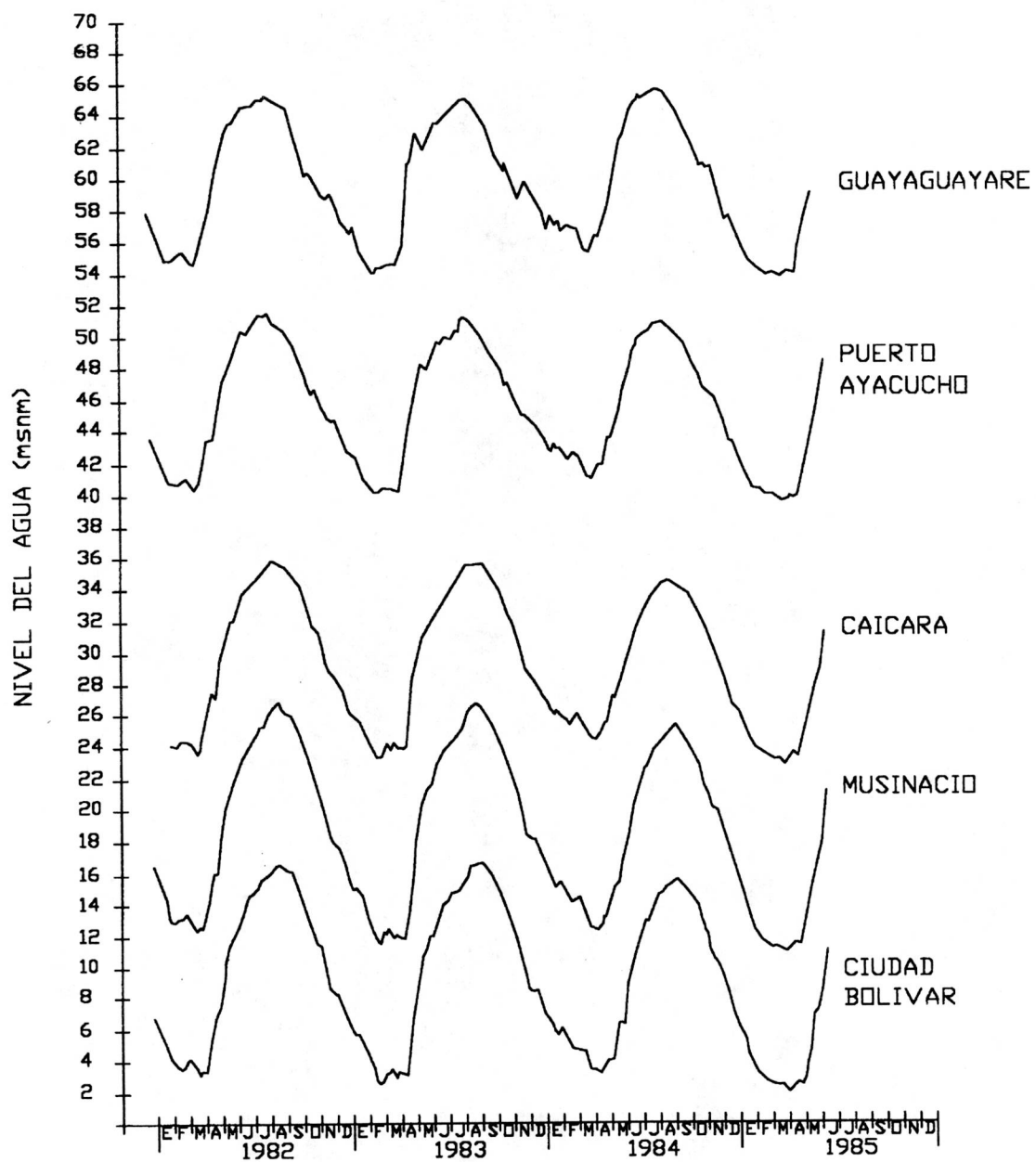


Figura 11. Hidrogramas de niveles en estaciones del Río Orinoco

pico de la creciente del Apure. La Figura 9 presenta el hidrograma de caudales del Río Caura en San Luis, observándose mayor regularidad en las variaciones de los medios, máximos y mínimos, respecto a los ríos anteriores, lo cual se asocia quizás, a la morfología de la cuenca y a la uniformidad en la distribución espacial de las precipitaciones. Finalmente en la Figura 10 se indica el hidrograma del Río Negro en San Carlos, el cual no forma parte de la cuenca del Orinoco, pero cuyo cauce recibe la contribución del Casiquiare el cual contribuye con un aporte que representa el 47 % del rendimiento de este tributario del Río Amazonas.

FLUCTUACIONES DE NIVELES

La Figura 11 muestra una secuencia de hidrogramas de niveles en distintas estaciones localizadas a lo largo del Río Orinoco durante el período 1982-1985, en donde puede observarse que no se produce un desfase notable de los picos de la onda de creciente, pero si un incremento en las amplitudes de la misma, debido a los aportes de los tributarios que se hacen más importantes y numerosos aguas abajo del Guaviare.

Como resultado de las amplias fluctuaciones de caudales en el Orinoco, especialmente en los tramos medio e inferior del canal, el río experimenta significativas variaciones en los niveles del agua, pudiendo alcanzar en algunas secciones hasta 20 m en crecientes extraordinarias. Fluctuaciones de niveles en el orden de 17 m se han registrado recientemente en la estación de Musinacio, y valores similares se han producido también en Ciudad Bolívar. Esta característica condiciona diversos aspectos del comportamiento hidrológico del río, y se asocia a su aprovechamiento, particularmente en el uso del canal con propósitos de navegación. En contraste, los niveles del agua en la estación de Punta Cabrián (Figura 12), situada en el vértice del delta, presentan rangos de variación de niveles del orden de 8 m, y muestra un comportamiento que refleja la variabilidad del escurrimiento anual y el efecto de las mareas, cuya amplitud medida en este sector es en promedio de 0,60 m en la época de aguas bajas.

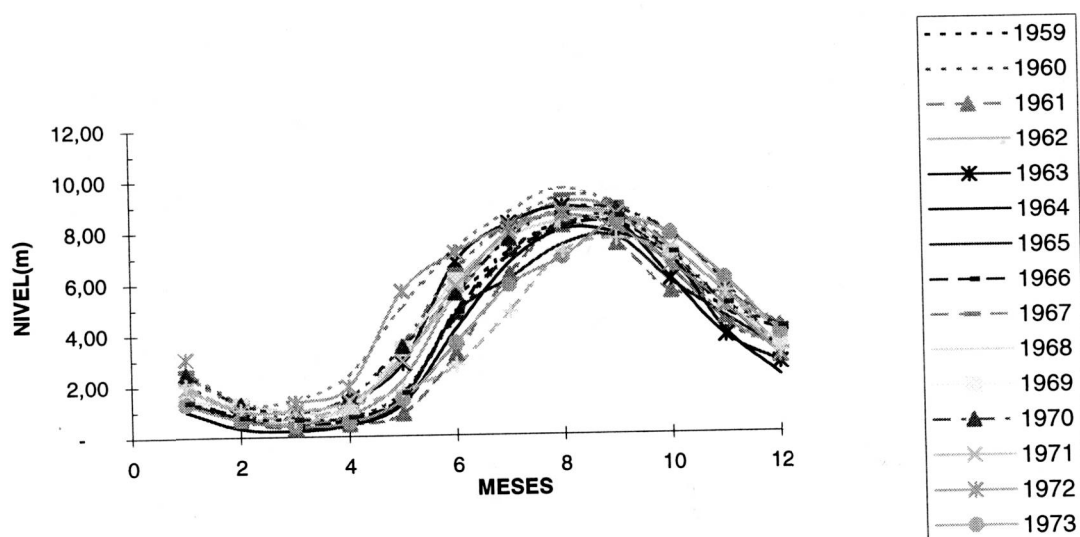


Figura 12. Hidrogramas históricos de niveles observados en Punta Cabrián

DERIVACION DE FLUJO POR EL BRAZO CASIQUIARE

El Brazo Casiquiare constituye una singularidad geomorfológica dentro del sistema fluvial del Orinoco, al desviar una fracción importante de su caudal hacia el Río Negro el cual vierte sus aguas hacia la cuenca del Río Amazonas. Mediciones hidrológicas realizadas por el anterior MOP y posteriormente el MARNR, indican que un 25 al 30 % del caudal del Orinoco se desvía por este brazo. El caudal medio medido en Tama Tama (Área de drenaje = 10.240 km²), durante el período 1969-1976, fue de 350 m³/s, representando un volumen anual de escorrentía de 11.000 millones de metros cúbicos. Este volumen se incrementa hasta 6,4 veces en su sitio de descarga al Río Negro (Estación Solano), donde el caudal medio observado tiene un valor de 2250 m³/s, lo cual se atribuye a los aportes significativos de los ríos Manipiari, Siapa y Pasimoni, los caños Pamoni y Pasiba y a la contribución de las lluvias que ocurren sobre las llanuras del Casiquiare. La magnitud de este caudal vertido por el Brazo Casiquiare hacia el Amazonas, es similar al caudal medio del Río Apure.

DISTRIBUCION DEL CAUDAL EN EL NUDO ORINOCO-GUAVIARE-ATABAPO

El esquema en planta de la Figura 13 muestra la ubicación de algunas estaciones fluviométricas en el sector del Alto Orinoco, en donde se han realizado mediciones hidrológicas conjuntas por parte de la Dirección de Hidrología del Ministerio del Ambiente, Edelca, y otras instituciones gubernamentales de la República de Colombia.



Figura 13. Ubicación de estaciones de medición en el nudo Orinoco-Guaviare-Atabapo.

Fecha	Orinoco Alto en Masagua	Atabapo en Laja de Granito	Guaviare en Guayare	Orinoco en Guayaguayare	% Orinoco Alto	% Atabapo	% Guaviare
17/08/1991	9206*	2620*	13828	26633	35	10	52
28/11/1991	2097	467	4903	8199	26	6	60
29/03/1992	1507	1106	3779	7041	21	16	54
24/10/1992	2399	538	6593	9246	26	6	71
15/06/1993	7729	2200	11609	24085	32	9	48

* valores estimados

Tabla 2. Distribución de caudales observados del Orinoco en el nudo Atabapo-Guaviare.

En la Tabla 2 se indican resultados de las mediciones de caudales realizadas en las estaciones Orinoco en Masagua, Atabapo en Laja de Granito, Guaviare en Guayare y Orinoco en Guayaguayare, mostrándose también las relaciones porcentuales de los aportes de cada uno de estos ríos con respecto al del Orinoco, aguas abajo de la confluencia. En todos los casos los valores del caudal medido en el Río Guaviare exceden los valores medidos en el Orinoco Alto. Incluso, el porcentaje del gasto del Guaviare excede significativamente los de los otros dos afluentes en el nudo. Estos resultados indican la importancia del Río Guaviare como contribuyente del Orinoco, no siendo factible con la disponibilidad actual de información, concluir al presente que el rendimiento líquido promedio anual del Guaviare supere al del Alto Orinoco.

CONCLUSIONES

El Río Orinoco es uno de los más grandes ríos del mundo, aportando al océano un caudal medio de $36500 \text{ m}^3/\text{s}$, siendo superado solamente por el Amazonas y el Congo/Zaire.

Considerando los mayores ríos del mundo, se destaca que la cuenca del Orinoco es la que presenta el valor más elevado de rendimiento líquido unitario ($37,4 \text{ lt/s/km}^2$), superando en un 13% a la cuenca del Río Amazonas. Tal particularidad se atribuye a los altos módulos de precipitación sobre la cuenca, especialmente en el área amazónica, y a la naturaleza cristalina de un alto porcentaje de las tierras del Escudo de Guayana lo cual contribuye a generar una alta escorrentía.

El Río Orinoco es el que presenta dentro de los grandes ríos del mundo, el más alto rango de variación de niveles entre las condiciones extremas de caudales. Ello define un comportamiento hidrológico que lo diferencia de otros grandes ríos y determina la forma de las estructuras que se encuentran en los diferentes sectores de la planicie aluvial.

La cuenca del río Orinoco es única al presentar una captura fluvial activa, como es la del Casiquiare, a través de la cual se deriva una proporción importante del flujo del Orinoco hacia el Río Amazonas, conectando fluvialmente a dos de los más grandes ríos del planeta.

Las mediciones más recientes realizadas en el nudo fluvial Atabapo-Orinoco-Guaviare, indican que los caudales del Guaviare exceden notablemente a los del Alto Orinoco, no siendo factible sin embargo, debido a lo limitado de la información disponible, concluir cual de los dos presenta mayor rendimiento líquido.

REFERENCIAS

Milliman, J. Y Mead, R., 1983. "World-Wide Delivery of River Sediment to the Oceans", Journal of Geology, vol. 91, p.1-21.

Ministerio del Ambiente, MARNR, 1997. "Informe de las Campañas de Mediciones Hidrológicas en el Alto Orinoco", Informe Inédito.

Pérez Hernández, D., 1997. "Campañas Hidrológicas Binacionales Colombo-Venezolanas", MARNR, Dirección de Hidrología y Meteorología.

MARNR, 1998. "Base de Datos Hidrométricos", SINAIHME, Dir. de Hidrología.