

# LOS FLUJOS DE MATERIAS DISUELTAS Y "PARTICULARES" DE LOS RIOS DE LA AMAZONIA BOLIVIANA

*Jean Loup GUYOT<sup>(1)</sup>, José CORTES<sup>(2)</sup>, Jorge QUINTANILLA<sup>(3)</sup>*

*(1)ORSTOM, C.P. 09747, 70001-970 Brasilia DF, Brasil*

*(2)SENAMHI, C.P. 10993, La Paz, Bolivia*

*(3)IIQ-UMSA, C.P. 303, La Paz, Bolivia*

## INTRODUCCION

El Río Amazonas, con una superficie drenada de 6112000 km<sup>2</sup> y un módulo de 205000 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, es por mucho el más importante de los ríos mundiales (Molinier, 1992). También está en primera posición en cuanto a los aportes en materias disueltas (290.10<sup>6</sup> t.año<sup>-1</sup>) en el océano (Gibbs, 1967). Los aportes en materias particulares, estimados en 1200.10<sup>6</sup> t.año<sup>-1</sup> (Meade et al., 1979, 1985; Richey et al., 1986) lo ubican en el segundo o tercer rango mundial (Probst, 1990; Degens et al., 1991).

El Río Madeira, principal afluente meridional con una cuenca de 1420000 km<sup>2</sup> (23% de la cuenca amazónica) es el único de los formadores del Amazonas (Figura 1) que drena la cadena andina (35% del dominio andino del Amazonas), el escudo brasilero, y el llano amazónico. La Amazonia boliviana está enteramente comprendida en la alta cuenca del Río Madera. En la confluencia de los ríos Beni y Mamoré (Villabella), el Río Madeira drena una cuenca de 903500 km<sup>2</sup>, que es caracterizada por la existencia de dos zonas muy diferentes: la zona andina, con relieves muy accidentados y altas pendientes (27% de la superficie de la cuenca), y la otra, de los llanos, con pendientes prácticamente nulas (Fig. 2).

Desde 1982, se realizaron, estudios climatológicos e hidrológicos en el marco del programa PHICAB (Convenio ORSTOM-SENAMHI-UMSA) en la Amazonia boliviana (Roche y Canedo, 1984). Estos estudios necesitaron la instalación de una red de 11 estaciones hidrométricas en los Llanos (Abasto et al., 1985; Bourges, 1986), desde el pie de monte de los Andes, hasta la frontera boliviano-brasilera (Fig. 1 y Cuadro I). La extensión de la cuenca y la fuerte pluviometría registrada (Roche y Rocha, 1985) hacen que los cursos de agua de esta región figuren entre los grandes ríos del mundo (Roche y Fernández, 1988). Con un régimen de precipitaciones idéntico sobre el conjunto de la cuenca (Espinoza, 1985; García, 1985; Abasto, 1987; Cruz, 1987; Roche et al., 1990), el régimen hidrológico de estos ríos muestra una variabilidad estacional marcada (Bourges et al., 1987, 1990).

Para estimar de manera satisfactoria los flujos de materias disueltas y "particulares" transportadas por tales ríos, fue especialmente desarrollada una metodología de muestreo, sobre la base de muestras diarias en cada estación (Guyot et al., 1989a; Guyot y Calle, 1990). Los resultados presentados, que conciernen al período 1983-1989, completan las observaciones anteriores sobre materias disueltas (Roche et al., 1986, 1991; Roche y Fernández, 1988). En cuanto a las materias "particulares", se trata de los primeros datos obtenidos a este paso de tiempo, en un período amplio, para los ríos de la cuenca amazónica.

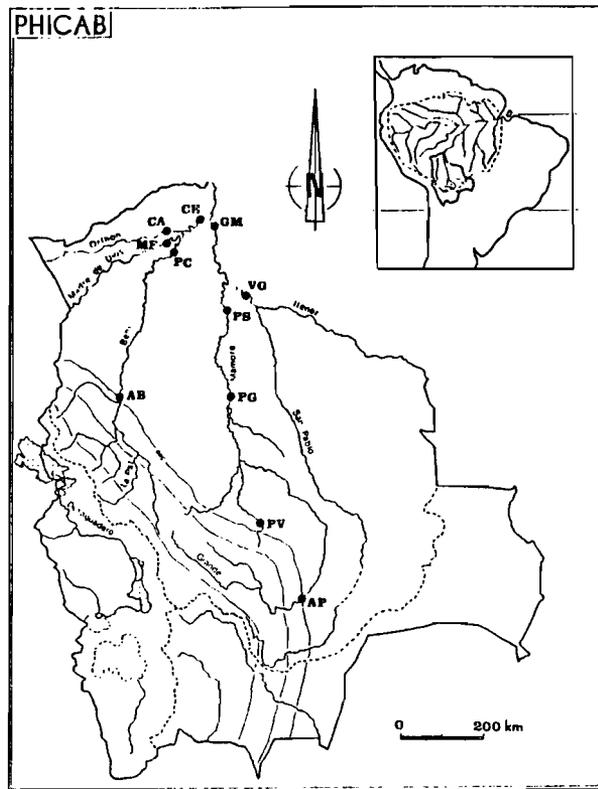


Figura 1 : Cuenca del Río Madeira en Villabella (ver código de las estaciones en la Tabla I)

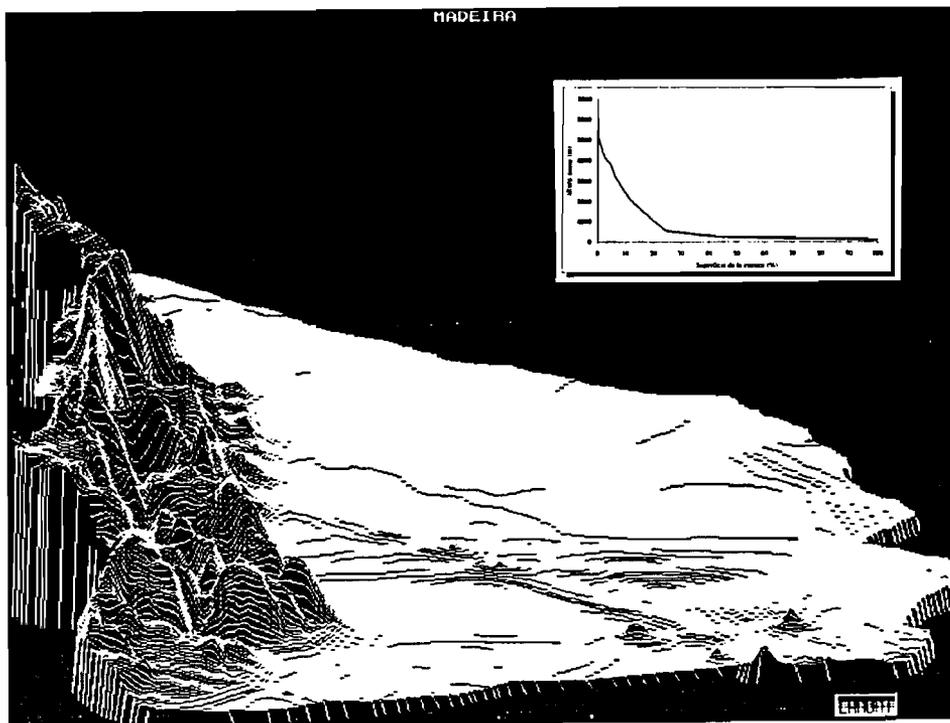


Figura 2 : Cuenca del Río Madeira en Villabella, vista 3D y curva hipsométrica.

**Cuadro I:** Características de las estaciones de la red PHICAB

Código	Estación	Río	Altura sndm (m)	Superficie cuenca (km <sup>2</sup> )	Superficie Andes (km <sup>2</sup> )	Distancia Villabella (km)	Caudal medio (m <sup>3</sup> .s-1)
AB	Angosto del Bala	Beni	280	67500	67500	810	2050
PC	Portachuelo	Beni	130	119000	71200	200	2870
MF	Miraflores	Madre de Dios	130	124200	44000	220	5090
CA	Caracoles	Orthon	125	32300	0	170	460
CE	Cachuela Esperanza	Beni	120	282500	115200	30	8920
AP	Abapo	Grande	450	59800	59800	1730	300
PV	Puerto Villaruel	Ichilo	170	7600	5400	1490	
PG	Puerto Ganadero	Mamoré	140	159100	89300	920	3150
PS	Puerto Siles	Mamoré	130	216200	92900	440	5350
VG	Vuelta Grande	Itenez	130	354300	9100	370	2260
GM	Guayamerín	Mamoré	120	599400	102000	50	8340
VI	Villabella	Madeira	115	903500	217200	0	17600

## METODO

Para determinar un paso de tiempo de muestreo apropiado, fueron utilizados datos hidrológicos y sedimentológicos anteriores al PHICAB, concerniente a las cuencas andinas de Bolivia (ENDE, 1980; Asociación Icla, 1982; Vollmers y Palenque, 1983; GTZ, 1985; Molina, 1986; Palenque, 1987; Barragán, 1990). Los resultados obtenidos, tanto a nivel del ciclo hidrológico, como de la crecida, mostraron una muy fuerte variabilidad temporal de los tenores. La influencia de la frecuencia de muestreo sobre los flujos anuales de materias disueltas (MD) y particulares (MP) pudo ser establecida con precisión por el Río Pilcomayo en Villamontes (datos SENAMHI) y el Río Piraí en Angostura (datos SEARPI). Para un paso (dt) de 15 días, las diferencias observadas son de 150% para los flujos de MP del Río Piraí (1420 km<sup>2</sup>), y respectivamente de 50% y 25% para los flujos de MP y MD del Río Pilcomayo (81300 km<sup>2</sup>). Una buena estimación de los flujos de MP pasa necesariamente por un muestreo diario en las estaciones de pie de monte andino (Guyot, 1992).

Por otra parte, un seguimiento del Río Beni en Rurrenabaque (67500 km<sup>2</sup>) proporcionó informaciones sobre las variaciones rápidas de los tenores en crecida (Guyot et al., 1990a). Las variaciones de las concentraciones en MD y MP son sumamente grandes y sin relación evidente con el caudal (Figura 3). La variabilidad (amplitud/media) observada durante este episodio es de 180% para los MP, y de 70% para los MD, lo que corresponde a coeficientes de variación (CV=desviación standard/media) de 0.50 y 0.16.

La distribución de los tenores en MP y MD en la sección de aforo, también fue estudiada con la ayuda de un muestreador integrador, durante crecidas (Figura 4). La distribución de los MD es particularmente homogénea sobre todo el ancho de la sección de aforo, donde la variabilidad de la conductividad no pasa del 12% (CV<0.05), mientras que la dispersión lateral de los tenores en MP puede ser más importante (de 12 a 47%, CV<0.15). Esta buena distribución de los tenores en la sección explica las fuertes correlaciones obtenidas sobre el conjunto de las estaciones entre valor medio y muestra de superficie (Guyot et al., 1989a, 1991a). En las estaciones estudiadas, la variabilidad temporal de los tenores en MD y MP es claramente más importante (de un factor 9 para los MD y 6 para los MP) que la variabilidad espacial en la sección en un momento dado.

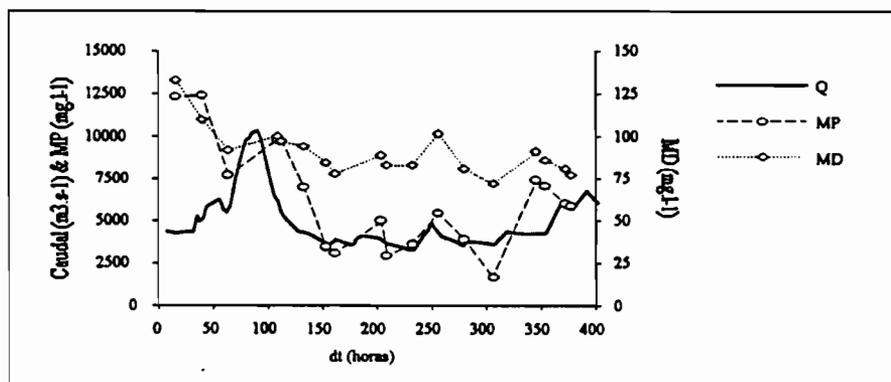


Figura 3 : Evolución del caudal (Q), de las materias disueltas (MD) y de los sedimentos (MP), Río Beni en Rurrenabaque, del 15 al 30 de Marzo 1988.

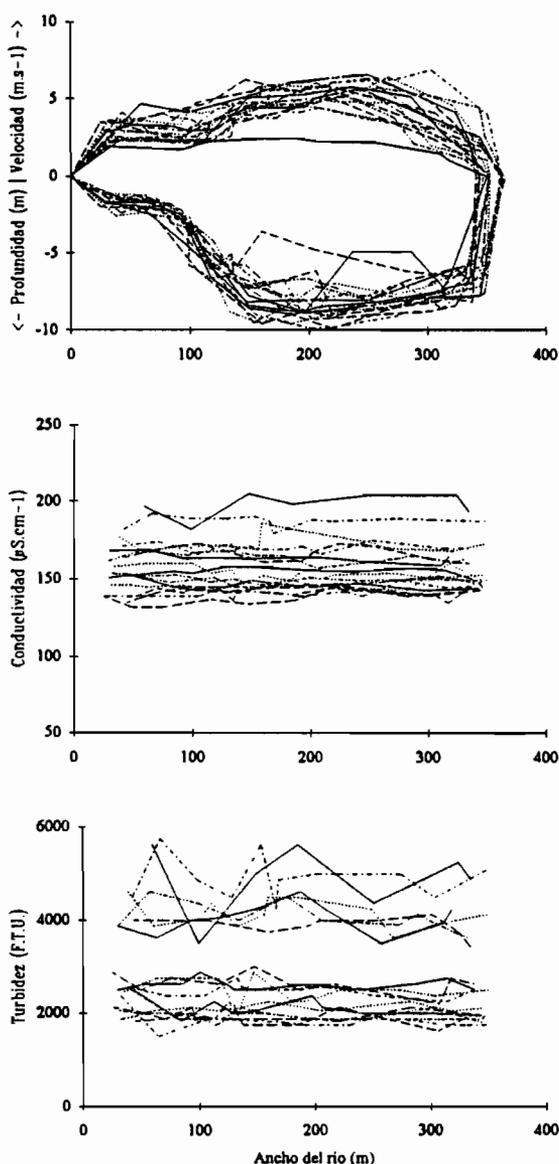


Figura 4 : Perfil transversal, perfil de velocidad, de conductividad, y de Turbidez, Río Beni en Rurrenabaque, del 15 al 30 de Marzo 1988.

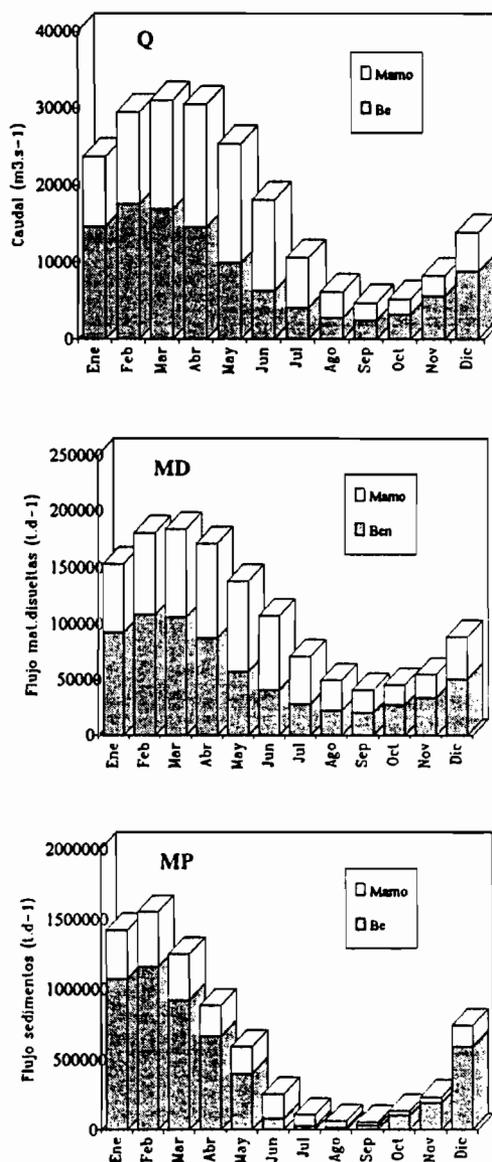


Figura 6 : Regimen hidrológico (Q), Flujos de materias disueltas (MD), y de sedimentos (MP), Río Madeira en Villabella.

La evolución estacional de los tenores en MP en función del caudal no es unívoco, por lo que las fórmulas de cálculo de los MP a partir del caudal resultan inadecuadas (Nouvelot, 1972; Olivry, 1977; Roche, 1980; Meade, 1982; 1988; Béquio et al., 1983; Gac y Kane, 1986; Drago y Amsler, 1988; Walling y Webb, 1988; Olivry et al., 1989; Mossa 1989; Meade et al., 1990). La medida continua de la turbiedad, parámetro fácilmente mensurable y de mínimo costo, permite resolver ventajosamente este problema, una vez que la curva de contraste  $MP = f[\text{turbiedad}]$  ha sido realizada para cada estación de medida (Walling, 1977; Brabben, 1981; Grobler y Weaver, 1981; Olive y Rieger, 1988; Guyot et al., 1989a; Guyot y Calle, 1990). Asimismo, es posible seguir en forma continua la evolución de las MD después de haber establecido en cada estación de medida, la curva de contraste:  $MD = f[\text{Conductividad}]$  (Bakalowicz, 1974; Meybeck, 1984).

El muestreo puesto a punto sobre la red PHICAB está basado sobre una muestra diaria de superficie (120 ml), efectuada por el observador de la estación. Esta muestra, destinada a las determinaciones de la turbiedad y de la conductividad (laboratorio del SENAMHI), es complementada por una muestra cada diez días (1000 ml) por dosificaciones de los MD (laboratorio del IIQ-UMSA) y determinación de los MP (laboratorio del SENAMHI).

## RESULTADOS

Los resultados presentados sobre el régimen y el balance de los flujos de MD y MP corresponden a las observaciones efectuadas en la red PHICAB desde 1983 hasta 1990 (Cuadro II). Algunos valores pueden presentar diferencias en relación a las publicaciones anteriores que tratan sobre períodos más cortos.

Cuadro II: Materias disueltas y particulares, 1983-1989, red PHICAB

Código	N. muestra MD	N. Muestra Cond.	MD (mg.l <sup>-1</sup> )	QD (10 <sup>6</sup> t.años <sup>-1</sup> )	N. Muestra MP	N. muestra Turbiedad	MP (mg.l <sup>-1</sup> )	QS (10 <sup>6</sup> t.año <sup>-1</sup> )
AB	79	1026	80	5.2	107	541	1420	165
PC	66	913	92	7.8	91	745	740	100
MF	91	1848	78	11	226	1085	250	51
CA	46	1061	65	0.9	112	483	110	1.5
CE	92	1831	76	21	174	1040	400	161
AP	72	1448	390	3.2	221	876	7670	100
PV	102	1208	56	1.0	118	857	230	6.1
PG	105	1055	102	9.1	120	643	470	57
PS	130	1139	106	15	148	383	230	42
VG	135	2047	46	2.8	244	1181	30	1.6
GM	105	1925	80	19	219	1236	230	62
VI				40				224

### Los regímenes

En los Andes y en su pie de monte, los hidrogramas con múltiples crecidas se adicionan río abajo para dar nacimiento a la gran crecida anual de tipo tropical, precedida o seguida de pequeñas crecidas bien diferenciadas. La crecida anual aparece cada vez menos dentada a medida que avanza río abajo en los grandes cursos de agua. Es más regulada y aplanada en el Río Matoré (Figura 5) debido a trayectos más largos y sobre todo a la extensión de vastas zonas de inundación (150000 km<sup>2</sup>) en esta cuenta (Roche y Fernández, 1988). El coeficiente de variación (CV) calculado en los caudales

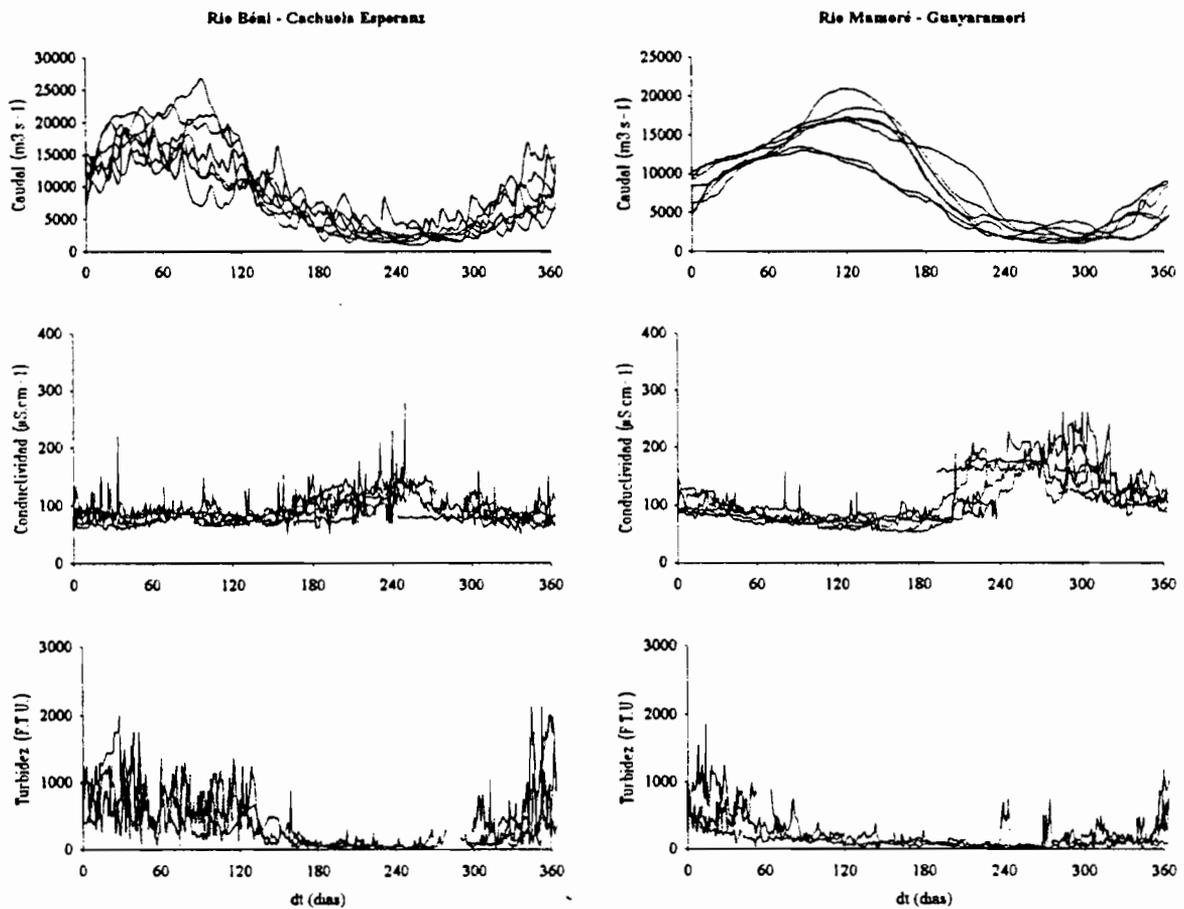


Figura 5 : Caudal, conductividad y Turbidez diarias (1983-1989), Río Béni à Cachueta Esperanza, Río Mamoré à Guayaramerín.

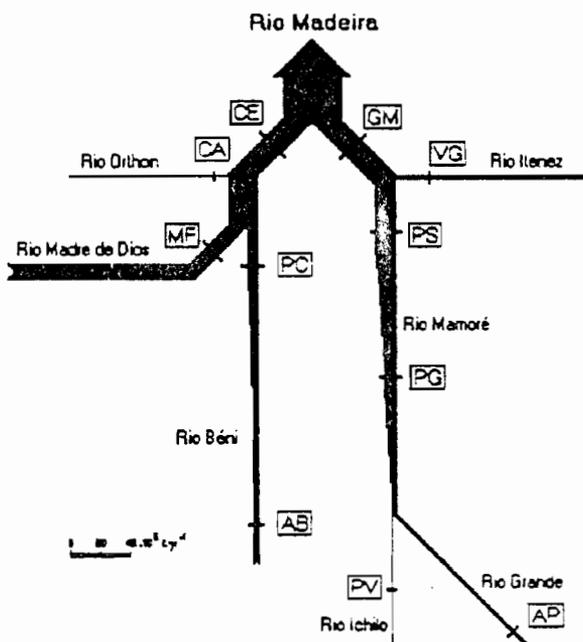


Figura 7 : Flujo de Materias Disueltas, en la cuenca amazónica de Bolivia (1983-1989).

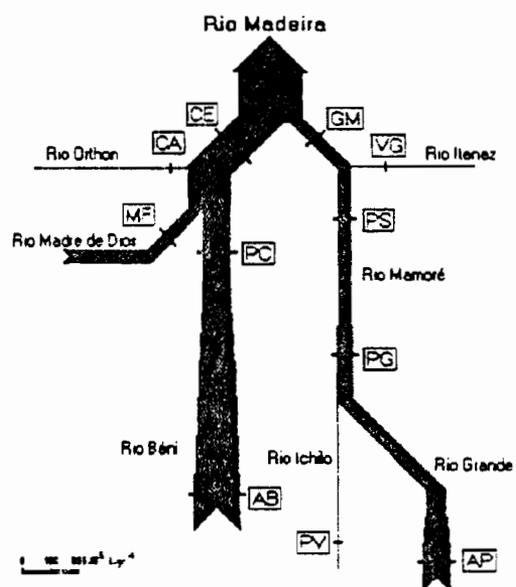


Figura 8 : Flujo de Sedimentos, en la cuenca amazónica de Bolivia (1983-1989).

diarios en todo el período de observación, es de 0.69 en el Río Beni, y de 0.65 en el Río Mamoré. En Villabella, el Río Madeira presenta un hidrograma medio (Figura 6) que es una combinación de los aportes hídricos de los Ríos Beni y Mamoré.

La evolución estacional de las conductividades, por lo tanto de las MD, en las estaciones de la red PHICAB (Figura 5) muestra una marcada variabilidad temporal de los tenores diarios, pero de menor amplitud:  $CV=0.23$  en el Río Beni en Cachuela Esperanza, y  $CV=0.37$  en el Río Mamoré en Guayaramerín. Los valores máximos son observados durante períodos de aguas bajas. En aguas altas, los tenores en MD disminuyen debido a la dilución por las aguas de lluvia, aunque aparecen picos de concentración que corresponden a las crecidas de cuenca de mayor salinidad (Guyot et al., 1991b). En Villabella, el Río Madeira presenta un régimen de las MD comparable al de los caudales (Figura 6), debido a una amplitud de variación reducida de las concentraciones durante el ciclo hidrológico. Los ríos Beni y Mamoré presentan respectivamente 53% y 47% de los aportes en MD en el Río Madeira.

La evolución de las turbiedades durante el ciclo hidrológico (Figura 5) presenta variaciones de gran amplitud:  $CV=1.08$  en Cachuela Esperanza, y  $CV=1.14$  en Guayaramerín. Los tenores máximos son observados en aguas altas, y particularmente durante la curva ascendente de la crecida. Estando las mayores concentraciones asociadas a los caudales más fuertes, el régimen de los flujos de MP presenta una fuerte estacionalidad (Figura 6). En Villabella, los tres meses de aguas andinas más altas (de enero a marzo) son responsables del 58% de la exportación anual de sedimentos. Dicho porcentaje puede alcanzar 80% en las estaciones del pie de monte andino. Los ríos Beni y Mamoré representan respectivamente 72 y 28% de los aportes en MP al Río Madeira.

### **El balance**

Un balance de materias exportadas, tanto disueltas como particulares, pudo ser establecido con bastante precisión para el conjunto de las estaciones de la red PHICAB (Cuadro II). El gran número de muestras reunidas permite un mejor análisis de la fuerte variabilidad estacional.

Los tenores en MD presentan diferencias regionales ligadas a la naturaleza geológica y al clima de las cuencas. Los índices de transporte en solución ( $T_d$ ), que corresponden a índices medios de erosión química, varían de 10 a 300  $t.km^{-2}.año^{-1}$  en las estaciones de las cuencas andinas. En los Llanos y sobre el escudo brasileiro, estos índices varían de 4 a 30  $t.km^{-2}.año^{-1}$  (Guyot et al., 1991c; Guyot, 1992). En Villabella, el Río Madeira recibe de estos diferentes tributarios (Figura 7) un flujo de MD estimado en 40  $10^6 t.año^{-1}$ , de los cuales el 48% provienen de la cadena andina.

Las cuencas andinas presentan una fuerte heterogeneidad de los índices de transporte en MP ( $T_s$ ) donde los valores observados varían, según los valles, de 15 a 20000  $t.km^{-2}.año^{-1}$  (Guyot et al., 1988, 1989b, 1990b, 1990c, 1991c; Bourges et al., 1990). El gran número de datos referentes a estas cuencas andinas ha permitido establecer, a nivel de Bolivia, un balance completo de los flujos de MP. Así, los tributarios andinos de los ríos Beni y Mamoré (excluyendo los afluentes peruanos del río Madre de Dios) exportan de la cadena montañosa un flujo de 500  $10^6 t.año^{-1}$  de MP, lo que corresponde a un índice de transporte medio de 3200  $t.km^{-2}.año^{-1}$ , es decir 1.3  $mm.año^{-1}$  (Guyot, 1992). Este resultado es comparable al calculado en el Himalaya a partir de los flujos de MP de los ríos indios (Goswami, 1985). En el escudo brasileiro que exporta 4.3  $10^6 t.año^{-1}$  de MP, los resultados obtenidos están en concordancia con las observaciones brasileiras (Bordas et al., 1988; Mortatti et al., 1989, 1992; Bordas, 1991), y el índice de transporte medio debe ser del orden de 10 a 20  $t.km^{-2}.año^{-1}$ .

En los Llanos, la disminución progresiva de los flujos de MP de río arriba hacia abajo, a pesar de los aportes laterales, traduce la existencia de importantes fenómenos

de sedimentación. Durante la travesía de los Llanos de Angosto del Bala a Portachuelo (610 km), el Río Beni pierde 43% de su flujo inicial de MP. Asimismo, desde del pie de monte andino hasta Puerto Ganadero (805 km para el Río Grande, y 570 km para el Río Ichilo), el flujo de MP del Río Mamoré disminuye 73%. En Puerto Siles, situado 480 km río abajo de Puerto Ganadero, este déficit alcanza 81%. En Guayaramerín, el déficit global de la cuenca del Río Mamoré es de 75%, lo que representa un volumen sedimentado de  $200 \cdot 10^6$  t.año<sup>-1</sup>. Un resultado comparable fue obtenido en el Brahmaputra, río que drena la cadena del Himalaya, donde el 70% de las MP se depositan durante la travesía sobre 600 km de los llanos del Assam (Goswami, 1985). Utilizando la superficie total de las zonas inundables, los índices de sedimentación calculados (de 0.1 a 0.8 cm.año<sup>-1</sup>) son comparables a los obtenidos en Amazonia central del Brasil por datación al <sup>14</sup>C y <sup>210</sup>Pb de sedimentos extraídos (Mousinho de Meis, 1971; Devol et al., 1984; Irion, 1984). En Villabella, el Río Madeira recibe un flujo de MP en suspensión de  $224 \cdot 10^6$  t.año<sup>-1</sup>. Teniendo en cuenta el transporte de fondo estimado en 1.5% por la fórmula de Yalin (Córdova, 1988; Guyot, 1992), la exportación total de sedimentos es del orden de  $230 \cdot 10^6$  t.año<sup>-1</sup>.

## CONCLUSION

Este trabajo constituye la primera etapa de un estudio más general sobre los flujos hidrogeoquímicos de la cuenca amazónica. El Río Madeira es el único tributario andino de la cuenca amazónica, cuyos flujos de MD y MP son hoy en día conocidos con precisión, gracias a la instalación de una red de muestreo continuo durante cerca de 7 años, en once de las estaciones de la red PHICAB.

Los resultados obtenidos en Bolivia permitieron conocer por primera vez a este nivel, los índices de transporte en sedimentos (Ts) de una parte de la cadena andina, y las cantidades de sedimentos que se depositan durante la travesía de los Llanos desde el pie de monte andino. En Villabella (903500 km<sup>2</sup>), el Río Madeira presenta un flujo global de  $270 \cdot 10^6$  t.año<sup>-1</sup>, de los cuales 15% en solución y 85% en forma particular. El flujo MP exportado por el Río Madeira (sin contar al Río Madre de Dios, cuyos aportes andinos no son conocidos) proviene en el 99% de las cuencas andinas, que también proporcionan el 48% de las materias disueltas y 32% de los aportes hídricos, mientras que éstos ocupan sólo el 22% de la superficie total de la cuenca. A nivel de la cuenca amazónica, el Río Madeira es pues un río andino.

## BIBLIOGRAFIA

- Abasto N. 1987. Balance hídrico superficial de la cuenca del Río Madre de Dios, Amazonia, Bolivia, Peru. Tesis UMSA, La Paz, Publ. PHICAB, 260 p.
- Abasto N., Hoorelbecke R., Roche M.A., & al. 1985. Características y calibración de la red hidrométrica PHICAB en la cuenca amazónica de Bolivia. Publ. PHICAB, La Paz, 120 p.
- Asociación Icla. 1982. Proyecto Icla : Hidrología y sedimentología, Informe final. Sucre, 149 p.
- Bakalowicz M. 1974. Géochimie des eaux d'aquifères karstiques. 1. Relation entre minéralisation et conductivité. *Annales de Spéléologie*, 29 : 167-173.
- Barragán M.C. 1990. Estudio sedimentológico de la cuenca andina del Río Beni. Tesis UMSA, La Paz, 267 p.
- Béquio E.A.L., Lou W.C., Siciliano M.A., Silveira O.V. 1983. Interpretations of the sedimentological behaviour of the Tocantins-Araguaia basin, 141-151. In *Hydrology of Humid Tropical Regions*, Keller R. (ed.), IAHS Publ. 140.
- Bordas M.P. 1991. An outline of hydrosedimentological zones in the Brazilian Amazon basin, 191-203. In *Water Management of the Amazon Basin*, Braga B.P.F. & Fernandez-Jauregui C. (eds.), Publ. Unesco-Rostlac, Montevideo.
- Bordas M.P., Lanna A.E., Semmelmann F.R. 1988. Evaluation des risques d'érosion et de sédimentation au Brésil à partir de bilans sédimentologiques rudimentaires, 359-368. In *Sediment Budgets*, Bordas M.P. & Walling D.E. (eds.), IAHS Publ. 174.
- Bourges J. 1986. La red hidrométrica del Phicab y los primeros resultados obtenidos, 37-43. In *I<sup>er</sup> Symposium de la Investigación francesa en Bolivia*, C. Dejoux (ed.), ORSTOM, La Paz.
- Bourges J., Cortes J., Hoorelbecke R. 1987. Etude des

- débits du Rio Mamoré à Guayaramerin. Publ. PHICAB, La Paz, 26 p.
- Bourges J., Guyot J.L., Carrasco M., Cortes J. 1990. Evolution spatio-temporelle des débits et des matières particulaires sur un bassin des Andes boliviennes : le Rio Béni, 352-356. *In* Hydrology in Mountainous Regions, H. Lang & A. Musy (eds.), IAHS Publ. 193.
- Brabben T.E. 1981. Use of turbidity monitors to assess sediment yield in East Java, Indonesia, 105-113. *In* Erosion and Sediment Transport Measurement, Florence, June 1981. IAHS Publ. 133.
- Cordova E.M. 1988. Etude hydrographique, hydrologique et sur modèle réduit du fleuve Ichilo-Mamoré. Mémoire d'Ingénieur en Hydrologie, Univ. Cath. de Louvain, 245 p.
- Cruz C. 1987. Balance hídrico superficial de la cuenca del Rio Itenez, Amazonia, Bolivia, Brasil. Tesis UMSA, La Paz, Publ. PHICAB, 216 p.
- Degens E.T., Kempe S., Richey J.E. 1991. Biogeochemistry of Major World Rivers, 323-347. *In* Biogeochemistry of Major World Rivers, Scope 42, Degens E.T., Kempe S. & Richey J.E. (eds.), J. Wiley, Chichester.
- Devol A.H., Zaret T.M., Forsberg B.R. 1984. Sedimentary organic matter diagenesis and its relation to the carbon budget of tropical Amazon floodplain lakes. Verh. Internat. Verein. Limnol. 22 : 1299-1304.
- Drago E.C., Amsler M.L. 1988. Suspended sediment at a cross section of the Middle Paraná River: concentration, granulometry and influence of the main tributaries, 381-396. *In* Sediment Budgets, Bordas P. & Walling D.E. (eds.), IAHS Publ. 174.
- ENDE, Empresa Nacional de Electricidad S.A. 1980. Proyecto hidroeléctrico Sakhahuaya, Hidrologia y sedimentología. Publ. ENDE, Cochabamba, 121 p.
- Espinoza O. 1985. Balance hídrico superficial de la cuenca del Rio Beni, Amazonia, Bolivia. Tesis UMSA, La Paz, Publ. PHICAB, 181 p.
- Gac J.Y., Kane A. 1986. Le fleuve Sénégal: I. Bilan hydrologique et flux continentaux de matières particulaires à l'embouchure. Bulletin des Sciences Géologiques 39(1) : 99-130.
- Garcia W. 1985. Balance hídrico superficial de la cuenca del Rio Mamoré, Amazonia, Bolivia. Tesis UMSA, La Paz, Publ. PHICAB, 110 p.
- Gibbs R.J. 1967. The Geochemistry of the Amazon River System. Part I. The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. Geological Society of America Bulletin, 78 : 1203-1232.
- Goswami D.C. 1985. Brahmaputra River, Assam, India: Physiography, Basin Denudation, and Channel Aggradation. Water Resources Research 21(7) : 959-978.
- Grobler D.C., Weaver A.V.B. 1981. Continuous measurement of suspended sediment in rivers by means of a double beam turbidity meter, 97-103. *In* Erosion and Sediment Transport Measurement, Florence, June 1981. IAHS Publ. 133.
- GTZ. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. 1985. La erosión y su control en la cuenca alta del Rio Pirai. Publ. GTZ, Santa Cruz, 73 p.
- Guyot J.L. 1992. Hydrogéochimie des fleuves de l'Amazonie bolivienne. Thèse de Doctorat de l'Université de Bordeaux I. 362 p.
- Guyot J.L., Calle H. 1990. Utilisation de mesures journalières de la turbidité pour l'estimation des flux de matières en suspension. L'exemple des fleuves andins de Bolivie, 271-274. *In* Hydrology in Mountainous Regions, H. Lang & A. Musy (eds.), IAHS Publ. 193.
- Guyot J.L., Bourges J., Hoorelbecke R., Roche M.A., Calle H., Cortes J., Barragan M.C. 1988. Exportation de matières en suspension des Andes vers l'Amazonie par le Rio Béni, Bolivie, 443-451. *In* Sediment Budgets, M.P. Bordas & D.E. Walling (eds.), IAHS Publ. 174.
- Guyot J.L., Roche M.A., Bourges J. 1989a. Etude de la physico-chimie des eaux et des suspensions des cours d'eau de l'Amazonie bolivienne : l'exemple du Rio Béni, 13-41. *In* 4èmes Journées Hydrologiques de l'Orstom, Montpellier, Septembre 1988.
- Guyot J.L., Bourges J., Calle H., Cortes J., Hoorelbecke R., Roche M.A. 1989b. Transport of suspended sediments to the Amazon by an andean river : the River Mamore, Bolivia, 106-113. *In* River Sedimentation, IRTCES, Beijing, November 1989.
- Guyot J.L., Bourges J., Jouanneau J.M., Quintanilla J., Calle H., Gallardo H., Barragan M.C., Wasson J.G. 1990a. Evolution of dissolved and sediment loads, during the flood of an andean tributary of the Amazon (March 1988) : the Beni river at Rurrenabaque, Bolivia. *In* Hydrology and Water management of the Amazon basin, Manaus.
- Guyot J.L., Roche M.A., Noriega L., Calle H., Quintanilla J. 1990b. Salinities and Sediment Transport in the Bolivian Highlands. Journal of Hydrology 113 : 147-162.
- Guyot J.L., Calle H., Cortes J., Pereira M. 1990c. Transport de matières dissoutes et particulaires des Andes vers le Rio de La Plata par les tributaires boliviens (rios Pilcomayo et Bermejo) du Rio Paraguay. Hydrological Sciences Journal 35(6) : 653-665.
- Guyot J.L., Bourges J., Cortes J., Jouanneau J.M., Quintanilla J., Roche M.A. 1991a. Regimes hidroquímicos e dos sedimentos dos rios da bacia amazônica da Bolívia, 149-158. *In* IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, Novembro 1991, Publ. ABRH, Anais 2.
- Guyot J.L., Corbin D., Quintanilla J., Calle H. 1991b. Hydrochimie des lacs dans la région de Trinidad (Amazonie bolivienne). Influence d'un fleuve andin : le Rio Mamoré. Revue d'Hydrobiologie Tropicale 24(1) : 3-12.

- Guyot J.L., Wasson J.G., Quintanilla J., Calle H. (1991c). Los flujos de materias disueltas y en suspensión en algunos tributarios bolivianos y en el río Desaguadero, 127-132. In Lago Titicaca, Dejoux C. & Iltis A. (eds.).
- Irion G. 1984. Sedimentation and sediments of Amazonian rivers and evolution of the Amazonian landscape since Pliocene Times, 201-214. In The Amazon, Sioli H. (ed.), W. Junk, Dordrecht.
- Meade R.H. 1982. Sources, Sinks, and Storage of River Sediment in the Atlantic Drainage of the United States. Journal of Geology 90(3) : 235-252.
- Meade R.H., Nordin C.F., Curtis W.F., Costa Rodrigues F.M., Do Vale C.M., Edmond J.M. 1979. Sediment loads in the Amazon River. Nature, 278 : 161-163.
- Meade R.H., Dunne T., Richey J.E., Santos U.M., Salati E. 1985. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. Science, 228 : 488-490.
- Meade R.H., Weibezahn F.H., Lewis W.M., Pérez Hernández D. 1990. Suspended-sediment budget for the Orinoco River, 55-79. In The Orinoco River as an Ecosystem, Weibezahn F.H., Alvarezé H. & Lewis W.M. (Eds.), Caracas.
- Meybeck M. 1984. Les fleuves et le cycle géochimique des éléments. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences, Univ. Paris VI, 558 p.
- Molina J. 1986. Estudio de erosión, cuenca del Rio Pirai. Tesis UMSA, La Paz, 147 p.
- Molinier M. 1992. Régionalisation des débits du bassin amazonien. Premiers résultats. In VIII<sup>èmes</sup> Journées Hydrologiques, ORSTOM, Montpellier, Septembre 1992.
- Mortatti J., Ferreira J.R., Martinelli L.A., Victoria R.L., Tancredi A.C.F. 1989. Biogeochemistry of the Madeira River Basin. GeoJournal, 19(4) : 391-397.
- Mortatti J., Probst J.L., Ferreira J.R. 1992. Hydrological and geochemical characteristics of the Jamari and Jiparana River Basins (Rondonia, Brazil). GeoJournal, 26(3) : 287-296.
- Mossa J. 1989. Hysteresis and nonlinearity of discharge-sediment relationships in the Atchafalaya and lower Mississippi rivers, 105-112. In Sediment and the environment, Hadley R.F. & Ongley E.D. (eds.), IAHS Publ. 184.
- Mousinho de Meis M.R. 1971. Upper Quaternary process changes of the middle Amazon area. Geological Society of America Bulletin 82 : 1073-1087.
- Nouvelot J.F. 1972. Le régime des transports solides en suspension dans divers cours d'eau du Cameroun de 1969 à 1971. Cahiers Orstom Série Hydrologie 9(1) : 47-74.
- Olive L.J., Rieger W.A. 1988. An examination of the role of sampling strategies in the study of suspended sediment transport, 259-267. In Sediment Budgets, Bordas M.P. & Walling D.E. (Eds.). IAHS Publ. 174.
- Olivry J.C. 1977. Transports solides en suspension au Cameroun, 134-141. In Erosion and Solid Matter Transport in Inland Waters, Paris, July 1977. IAHS Publ. 122.
- Olivry J.C., Bricquet J.P., Thiebaut J.P. 1989. Bilan annuel et variations saisonnières des flux particuliers du Congo à Brazzaville et de l'Oubangui à Bangui. La Houille Blanche 3/4 : 311-315.
- Palenque G. 1987. Medición del caudal sólido en suspensión en el Río Pirai. Publ. UMSA, La Paz, 41 p.
- Probst J.L. 1990. Géochimie et hydrologie de l'érosion continentale. Mécanismes, bilan global actuel et fluctuations au cours des 500 derniers millions d'années. Thèse de Docteur es Sciences Naturelles, Institut de Géologie, Strasbourg, 185 p.
- Richey J.E., Meade R.H., Salati E., Devol A.H., Nordin C.F., Dos Santos U. 1986. Water Discharge and Suspended Sediment Concentrations in the Amazon River. Water Resources Research, 22(5) : 756-764.
- Roche M.A. 1980. Traçage naturel salin et isotopique des eaux du système hydrologique du Lac Tchad. Travaux et documents de l'Orstom, 117, 383 p.
- Roche M.A., Canedo M. 1984. Programa Hidrológico de la Cuenca Amazónica de Bolivia. Publ. PHICAB, La Paz, 4 p.
- Roche M.A., Rocha N. 1985. Mapa pluviométrico de Bolivia y regiones vecinas, 1/4000000<sup>ème</sup>. Publ. PHICAB, La Paz.
- Roche M.A., Fernandez C. 1988. Water Resources, Salinity and Salt Yields of the Rivers of the Bolivian Amazon. Journal of Hydrology 101 : 305-331.
- Roche M.A., Fernandez C., Apoteker A., Abasto N., Calle H., Tolède M., Cordier J.P., Pointillart C. 1986. Reconnaissance hydrochimique et première évaluation des exportations hydriques et salines des fleuves de l'Amazonie bolivienne. Publ. Phicab, La Paz, 257 p.
- Roche M.A., Aliaga A., Campos J., Peña J., Cortes J., Rocha N. 1990. Hétérogénéité des précipitations sur la cordillère des Andes boliviennes, 381-388. In Hydrology in Mountainous Regions, H. Lang & A. Musy (eds.), IAHS Publ. 193.
- Roche M.A., Fernandez-Jauregui C., Aliaga A., Bourges J., Cortes C., Guyot J.L., Peña J., Rocha N. 1991. Water and salt balances of the Bolivian Amazon, 83-94. In Water Management of the Amazon Basin, Braga B.P.F. & Fernandez-Jauregui C. (eds.), Publ. Unesco-Rostlac, Montevideo.
- Vollmers H.J., Palenque G. 1983. Sediment measurements in the Pilcomayo River in Bolivia, 1050-1070. In River Sedimentation, Nanjing, October 1983.
- Walling D.E. 1977. Limitations of the rating curve technique for estimating suspended sediment loads, with particular reference to British rivers, 34-48. In Erosion and Solid Matter Transport in Inland Waters, Paris, July 1977. IAHS Publ. 122.
- Walling D.E., Webb B.W. 1988. The reliability of rating curve estimates of suspended sediment yields : somme further comments, 337-350. In Sediment Budgets, Bordas M.P. & Walling D.E. (Eds.). IAHS Publ. 174.