

LOS REGIMENES HIDROLOGICOS DE LA CUENCA AMAZONICA DE BOLIVIA

*Jacques BOURGES⁽¹⁾, Robert HOORELBEKE⁽¹⁾, José CORTEZ⁽²⁾,
Luis M. CARRASCO N.⁽³⁾*

(1) Misión ORSTOM, C.P. 9214, La Paz, Bolivia

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

(3) SHNB, C.P. 5962, La Paz, Bolivia

INTRODUCCION

De los 1100 000 km² de superficie de Bolivia, la cuenca amazónica ocupa cerca del 63%. Tanto por sus recursos humanos como naturales, esta región es de gran interés para el país. Su potencial, aún inexplorado, sobre todo en los llanos que constituye los tres cuartos de la cuenca, será en el futuro una oportunidad importante pero su valoración pasa por el conocimiento del medio, y en forma previa por el conocimiento de uno de los factores condicionales del desarrollo, los recursos en agua.

Gracias a los aportes de sus cuatro grandes tributarios, principalmente procedentes de Bolivia, el Madera participa con cerca del 8% a los aportes del Amazonas al Océano. Esto traduce la importancia de los recursos "exportados" por Bolivia. Pero contrariamente a otras riquezas, los recursos en agua varían en el tiempo, no solamente en el curso de un mismo año, sino también de un año al otro. Es la razón por la cual su estudio no puede efectuarse en algunos meses sino que exige años de observaciones laboriosas que lamentablemente uno está tentado de suspender a veces por falta de un objetivo aparente de corto plazo.

LA CUENCA AMAZONICA

Morfología

Imponiendo un carácter particular a esta región, por su masa y su dimensión, la Cordillera de los Andes, cuyas cimas culminan a más de 6500 metros, forma una barrera Norte-Sur casi infranqueable. En la latitud de Bolivia esta cadena se desdobra en dos cordilleras, una al Oeste y la otra al Este, encerrando una altiplanicie al medio de la cual se encuentra el lago Titicaca (Fig. 1). Caracterizan esta región dos grandes unidades fisiográficas:

- La Cordillera oriental, que posee dos niveles en su pendiente amazónica :

. La precordillera nacida del contacto de la llanura y del macizo andino, presenta un relieve poco acentuado entre los 500 y aproximadamente 2000 m de altura. Está recubierta por la selva tropical húmeda.

. La cordillera propiamente dicha, cuya línea de crestas raramente desciende por debajo de 5000 m, está constituida por una sucesión de cadenas marcadas, en cuya parte Norte se hallan varios glaciares "tropicales". La vegetación, ligada a la existencia de suelos y al clima, es casi inexistente arriba de 4600 m. Su densidad aumenta cuando la altitud decrece para alcanzar un cobertizo arbustivo homogéneo hacia los 3000 a 3500 m.

- La llanura amazónica que representa la zona más extendida está, generalmente, situada entre 100 y 200 m de altura, excepto en su borde occidental y al Sur, donde la acumulación de los sedimentos depositados por ríos a la salida de los Andes ha levantado el nivel de las tierras hasta alcanzar cerca de 500 m de altura.

Una parte de esta llanura, regularmente invadida por las inundaciones, está recubierta de vastas sabanas salpicadas de islotes forestales o de selva de galería. Cuando la altura sobrepasa 200 m, la selva avanza sobre la sabana.

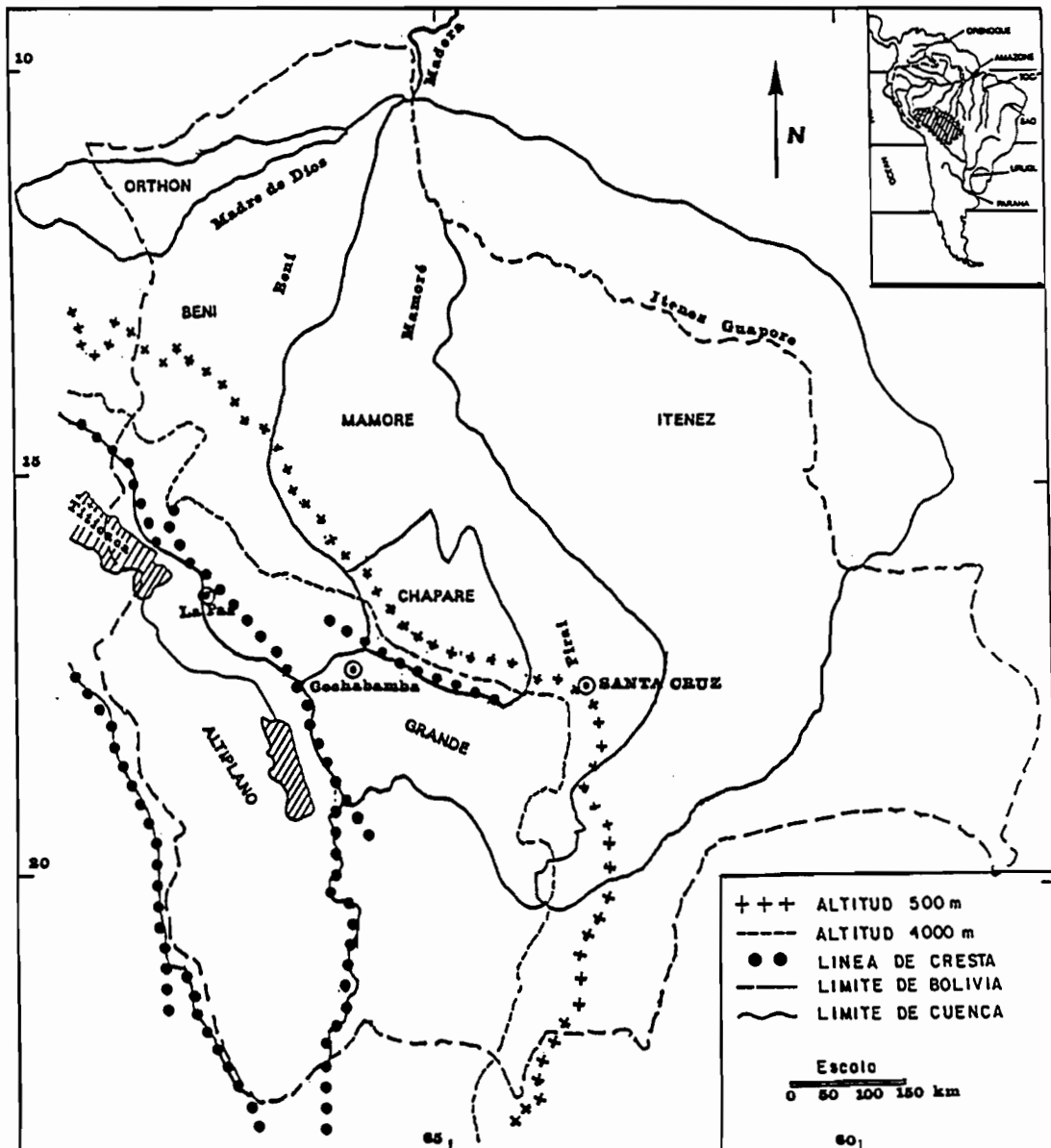


Fig. 1: Mapa de situación de las cuencas del sistema ando-amazónico.

Clima y Precipitaciones

La variación estacional del clima está determinada por los movimientos de la zona Intertropical de Convergencia y de anticiclones del Atlántico y del Pacífico. A esta influencia atmosférica viene a sobreponerse, en los Andes, la influencia de la altura que va a producir climas fríos, y de la orografía que va a crear micro climas (Roche, 1986; Ronchail, 1986).

La distribución espacial de las lluvias aparece muy distinta según las regiones. Puede variar de 500 mm por año en la alta cuenca del río Grande, a cerca de 6000 mm en ciertas zonas de las cuencas del Chapare. En la llanura, la pluviometría decrece de Norte a Sur con promedios de 1800 mm sobre las cuencas del Mamoré y del Beni, y más de 2000 mm sobre el del Madre de Dios (Bourges, 1989; Roche, 1985, 1990).

La distribución temporal de las lluvias mensuales en el curso del año, presenta la misma forma sobre el conjunto de la cuenca amazónica. Las precipitaciones más fuertes caen durante el verano austral, de diciembre a marzo. Según las regiones, puede haber el resto del año una estación seca bien marcada o lluvias muy frecuentes.

Hidrografía

La cuenca amazónica, que se extiende sobre 708 000 km² en territorio boliviano, controla, en el nacimiento del Madera en Villa Bella, una superficie total de 913 000 km² repartida en tres países, que en más de un 26% se encuentra en la zona andina. Cuatro grandes ríos drenan esta inmensa cuenca. Tres descienden de los Andes, el Beni, el Madre de Dios, el Mamoré y el cuarto, el Itenez - Guaporé, toma su fuente en el escudo brasileño. Estos cuatro ríos confluyen en el límite de la frontera con el Brasil para formar el Madera.

EL REGIMEN HIDROLOGICO

Cómo definir un régimen hidrológico?

El régimen hidrológico de un río es el modo de variación de su caudal en el tiempo. En pequeña escala, toma la forma de simples crecidas de algunas horas, o de algunos días. En escala media, es la variación estacional con los períodos de aguas altas y los estiajes. A gran escala, se trata de las variaciones interanuales, de los años secos o lluviosos. Es evidente que este modo de variación, y por lo tanto el régimen, dependen de las lluvias, lo que da un carácter aleatorio, pero también de la cuenca hidrográfica del río que tiene características bien definidas, que varían poco en el tiempo.

El régimen hidrológico puede caracterizarse principalmente por tres tipos de parámetros:

- parámetros de caudal: caudales extremos, promedio de un período dado...
- parámetros de tiempo: tiempo de subida, de concentración...
- parámetros adimensionales: razón de caudales extremos, coeficiente de variación de una serie...

Una vez caracterizado el régimen, es interesante determinar similitudes entre cuencas para constituir zonas hidrológicamente homogéneas, pero también relacionar estos parámetros característicos con los diferentes factores que influyen sobre el régimen, ya sea que se trate de factores climáticos o físicos.

Método y datos utilizados

El estudio se basa sobre más de noventa cuencas cuyos datos siempre fueron tratados y que pudieron ser tomados en cuenta solamente para ciertos análisis. Trece de las cuencas fueron observadas en el marco del programa PHICAB, desde 1983 hasta 1990; adicionalmente se utilizaron diez estaciones situadas a lo largo de la frontera a cargo de los servicios brasileños (DNAEE). La mayor parte, es decir 67 cuencas, que forman parte de la red de Bolivia, fueron observadas con una calidad desigual, sobre todo después de 1982 por diversas instituciones (ENDE, SENAMHI, SHNB...).

Llegando a ser determinante el criterio de duración de observación para la mayoría de los análisis efectuados, obligó a reducir la prueba a cincuenta cuencas y a veces menos de veinte. La homogeneización por el Vector Regional (MVR) fue aplicada sistemáticamente a fin de llenar las lagunas o de extrapolar los períodos, pero solamente a nivel mensual, y cuando lo permitía el número de cuencas.

La repartición, tanto a nivel espacial como temporal de estas observaciones, es muy heterogénea, ya que cerca del 80% de las estaciones se encuentran situadas en los Andes que, en superficie, sólo representan un cuarto de la cuenca, y que los períodos de observación, desigualmente repartidos entre 1960 y 1982 en la parte andina, no corresponden a los de las estaciones situadas en la llanura que empiezan en 1983.

Los regímenes hidrológicos de la cuenca amazónica

Los regímenes hidrológicos de tipo tropical de transición, se caracterizan por un período de aguas altas, en general, de febrero a marzo en las cabeceras de cuenca, período que corresponde a la estación de las lluvias del verano austral. Las aguas bajas, de julio a septiembre, pueden recibir, según las regiones, el soporte de las lluvias episódicas. Los caudales de punta de crecida, "estimulados" por el relieve andino, desaparecen rápidamente en la llanura. El aspecto dentado del hidrograma anual, provocado por la respuesta rápida de las cabeceras de cuencas a las precipitaciones, tiende a alisarse en el curso inferior del Mamoré y del Itenez, después de la travesía de importantes llanuras de inundación que laminan y retardan las crecidas para dejar aparecer río abajo tan solo una crecida anual, perfectamente regular (Bourges, 1987; Roche, 1986).

DETERMINACION DE ZONAS HOMOGENEAS

Es probable que las grandes unidades morfológicas descritas anteriormente inducen "comportamientos hidrológicos" diferentes. Si en la llanura se puede esperar observar una cierta homogeneidad en los parámetros hidrológicos que caracterizan el escurrimiento, es evidente que la Cordillera genera regímenes que están muy influenciados por el relieve.

A fin de discriminar estos "comportamientos hidrológicos", en un primer enfoque, se puede utilizar el parámetro más simple, el caudal medio anual o módulo, que dada la repartición estacional, será calculado en el año hidrológico, generalmente desde octubre hasta septiembre. Por una correlación logarítmica entre el módulo y la superficie, que es el principal parámetro físico, cuidando de eliminar las series muy cortas, inferiores a cinco años, se evidencian dos familias de puntos sobre las que se ajustan dos rectas (Fig. 2). La representación logarítmica se impone en este caso dada la variación de escala que nos hace pasar de cuencas de algunas decenas de km² a un millón de km², o cerca de un m³ s⁻¹ a 20 000 m³ s⁻¹.

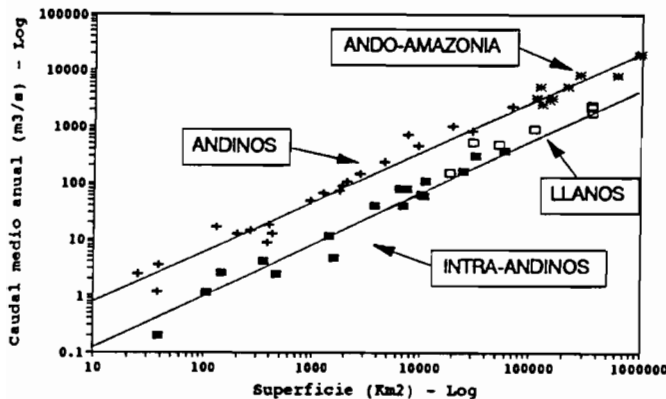


Fig. 2: Módulos del año hidrológico en función de la superficie de las cuencas.

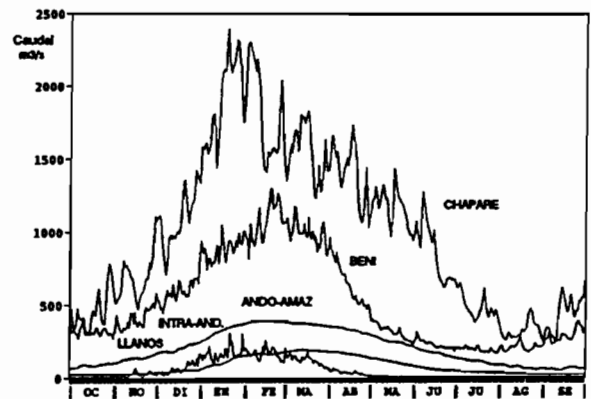


Fig. 3: Hidrograma promedio de una cuenca de 10 000 km²

A pesar de un ajuste menos bueno de los puntos representativos para las cuencas de superficie inferior a 200 km² el coeficiente de correlación continúa satisfactorio con valores superiores a 0,98 para dos grupos de puntos correspondientes a dos familias de cuencas.

En el análisis aparece que el módulo no es un parámetro bastante discriminante pues estas dos familias no son homogéneas:

- la recta superior agrupa las cuencas del Beni, del Chapare y sus prolongaciones en la llanura, sufriendo todos una influencia andina,

- la recta inferior agrupa las cuencas del Río Grande y la llanura, es decir, las cuencas protegidas por relieves o sin ninguna relación con los Andes.

Aunque la aparente similitud de los módulos en cada uno de estos dos grupos pueda interpretarse por el efecto de la influencia andina, es necesario, para continuar el análisis, determinar grupos morfológicamente más homogéneos. Se distinguirán entonces:

- las cuencas andinas situadas en el costado amazónico de la Cordillera Oriental, al Este de la línea de cresta, que serán designados como "**cuencas andinas**". Dado el trazado de la Cordillera, convendrá distinguir dos subgrupos: las cuencas del **Beni**, y las del **Chapare**, más meridionales y más irrigadas.

- las cuencas andinas situadas al Oeste de la línea de cresta o de los primeros relieves importantes que pueden jugar un rol de línea de cresta, como es el caso, al Sur del paralelo 17, con las cordilleras situadas al Este de Cochabamba. Encontrándose al interior del macizo andino, protegidas en parte de la influencia amazónica, estas cuencas serán llamadas "**cuencas intra-andinas**".

- las cuencas cuya parte superior se sitúa en la Cordillera pero que reciben también en su parte inferior la contribución de aguas de llanura. Experimentando esta doble influencia, serán designadas como "**ando-amazónicas**".

- las cuencas de **llanura** que no experimentan ninguna influencia andina.

En regla general, hemos utilizado para la continuación del análisis, la clasificación en cinco regiones que representan los dos subgrupos y los tres grupos de cuenca buscando las similitudes entre subgrupos o grupos.

A fin de concretar la diversidad de regímenes de estos diversos grupos, fue trazado un hidrograma promedio en un período de tres años para una cuenca de 10 000 km² (fig. 3). Se observa que, tanto por la forma del hidrograma como por la importancia de los aportes, el régimen de escurrimiento puede ser muy diferente.

VARIACIONES ESTACIONALES

Período de altas aguas

Sobre el conjunto de las cuencas andinas o intra-andinas, el período de aguas altas dura aproximadamente tres meses, generalmente, de enero a marzo. Este período es idéntico en la llanura sobre los ríos ando-amazónicos hasta aproximadamente una distancia de 500 a 800 km del pie de monte. Más allá de este límite y hasta la formación del Madera, las aguas altas se desfazan progresivamente y pasan más bien de febrero a abril, lo que corresponde a las aguas altas observadas en las cuencas de llanura donde las velocidades de propagación son mucho más lentas.

No obstante, en el curso inferior del Mamoré y del Itenez, aguas abajo de las llanuras de inundación que retrasan la crecida anual, se observa que el período de aguas altas se sitúa frecuentemente entre los meses de marzo y mayo (Guyot, 1992).

Variabilidad estacional

El volumen de los aportes de los tres meses de aguas más altas, restituído al volumen de los aportes anuales, proporciona un coeficiente, K_{3m} , que mide la amplitud de la variación del hidrograma anual.

El estudio de la variación de este coeficiente en función de las superficies de las cuencas permite establecer que:

- en dos de las cinco regiones, parece no existir ninguna relación entre K_{3m} y la superficie (Llanura, Intra-andinos),

- en las otras regiones, los coeficientes K_{3m} disminuyen en función inversa de la superficie (Fig. 4),

- en estas mismas regiones, los puntos se ajustan bien a una correlación no lineal; pero cuatro cuencas del Beni no parecen seguir la misma ley, siendo K_{3m} más bajo que el valor esperado.

Se comprueba que estas cuatro cuencas, que culminan entre los 5800 y 6400 m, reciben el aporte de glaciares importantes que modifican sensiblemente la repartición de los escurrimientos en el año. Convendrá entonces, en este caso, tratar estas cuatro cuencas como un subgrupo particular (Fig. 4).

La correlación de tipo exponencial, aplicada a estos grupos, proporciona un conjunto de curvas que convergen, en las grandes superficies, hacia un valor del coeficiente K_{3m} de 40 a 45% (Fig. 4). Se observa también que los valores más bajos de K_{3m} , y por lo tanto, la mejor repartición de los aportes en el año, se da en el Chapare donde las precipitaciones son frecuentes fuera de la estación de lluvias (clima tropical de transición) y en las cuencas sobre las cuales los glaciares restituyen en estación seca una parte de los aportes de la estación de lluvias.

Aunque simple de establecer, el coeficiente K_{3m} no siempre permite delimitar el máximo sobre un intervalo de tres meses calendario, por lo que se lo puede substituir por el máximo anual del promedio móvil de los caudales diarios, sobre un período de 90 días, restituído a un caudal medio anual, K_{90} .

La comparación efectuada sobre la base de este coeficiente, comparación limitada a veinte estaciones, proporciona valores de K_{90} casi idénticos a K_{3m} para las grandes cuencas, y ligeramente superiores, de 1 a 2% para las pequeñas cuencas. Esto justifica entonces la elección de K_{3m} y confirma la validez de las observaciones efectuadas.

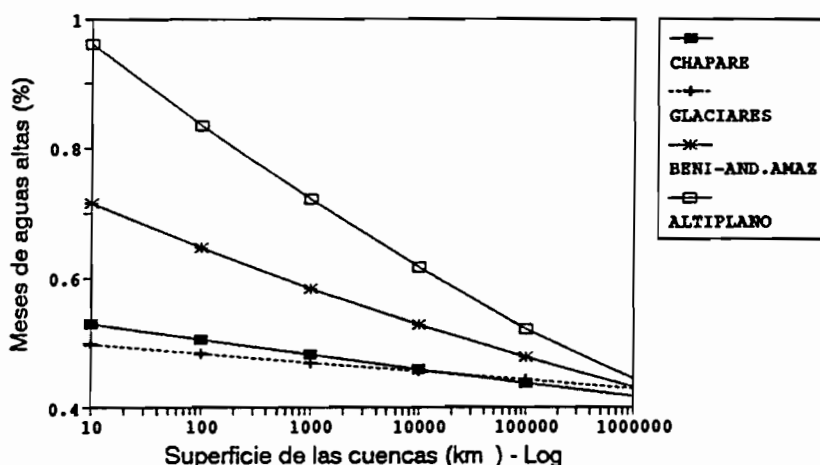


Fig. 4: Proporción de los 3 meses de aguas altas en relación al escurrimiento anual.

VARIABILIDAD DE LOS CAUDALES DIARIOS

Para proceder a este análisis, podemos utilizar diferentes métodos: ya sean métodos estadísticos como el análisis de las frecuencias de caudal, o simplemente, el cálculo del coeficiente de variación, lo que lleva a considerar el caudal como una variable aleatoria, o métodos de autocorrelación que permiten analizar la variación del caudal en el tiempo y evaluar en qué medida los caudales de varios días consecutivos están ligados. A fin de determinar un máximo de criterios que caracterizan la región, utilizaremos los tres métodos.

No obstante, debido a las numerosas lagunas en los registros de caudales diarios, no es posible analizar todas las cuencas. En la muestra de 20 estaciones estudiadas, se constata (Fig. 5 y 6):

- que en todas las cuencas **intra-andinas**, el coeficiente de variación es siempre superior a 1, generalmente cercano a 2, y que el autocorrelograma traduce un mal coeficiente de correlación entre el caudal de un día y el del día anterior, de 0,8 a 0,9 en promedio. En un intervalo de 20 días, este coeficiente cae a 0,4 - 0,5. El histograma de las frecuencias de caudal, establecido a partir de un corte de treinta y cinco grupos de caudal iguales, deja aparecer un primer grupo de caudales próximos del estiaje con 25% de frecuencia mientras que los caudales más elevados sólo tienen una frecuencia más baja, inferior a 1%.

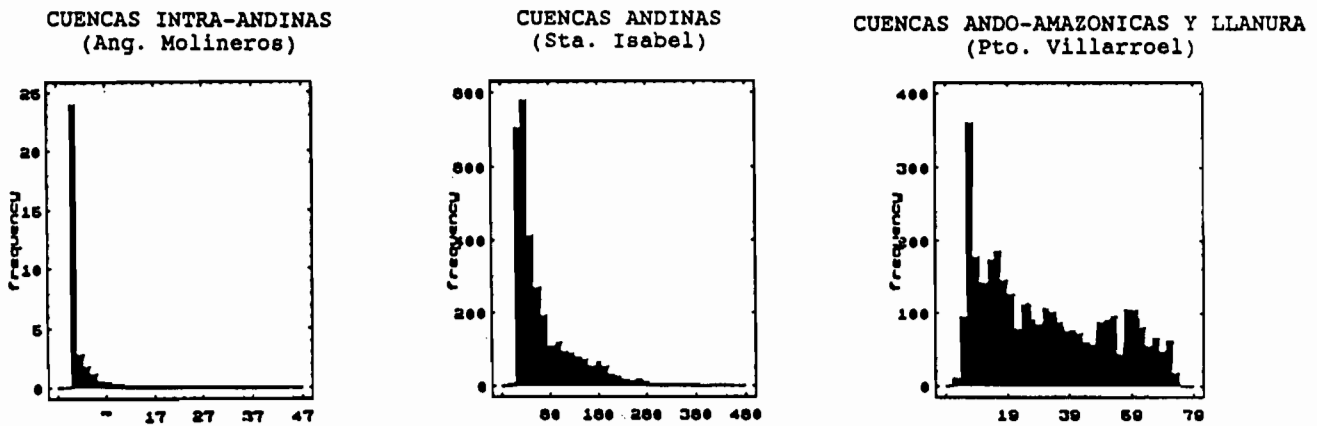


Fig. 5: Histogramas de las frecuencias de caudales diarios.

- que en las cuencas **andinas** del **Beni** y del **Chapare**, el coeficiente de variación oscila entre 0,6 y 0,9, y que el autocorrelograma traduce una mejor correlación de día a día, de 0,90 a 0,95 en promedio. No obstante, no teniendo estas cuencas gran superficie, el coeficiente de autocorrelación decrece rápidamente y alcanza 0,6 - 0,7 sobre un intervalo de 20 días. El histograma de las frecuencias de caudales es más macizo. Las frecuencias más fuertes, observadas en el caudal más bajo, varían de 9 a 11%.

- que en las cuencas **ando-amazónicas** y las cuencas de **llanura**, el coeficiente de variación permanece en el intervalo 0,6 - 0,9, y que la autocorrelación proporciona un coeficiente entre dos días consecutivos de 0,99 que se mantiene por encima de 0,8 después de un intervalo de 20 días. La frecuencia máxima de caudal se sitúa entre 2 y 5%, pero todas las clases de caudal tienen prácticamente la misma frecuencia.

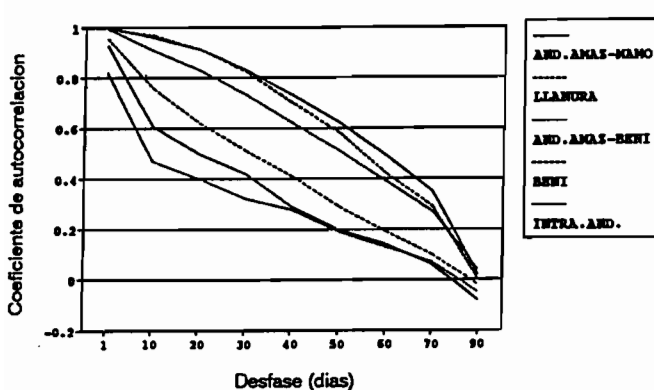


Fig. 6: Variación del coeficiente de autocorrelación según el intervalo de tiempo.

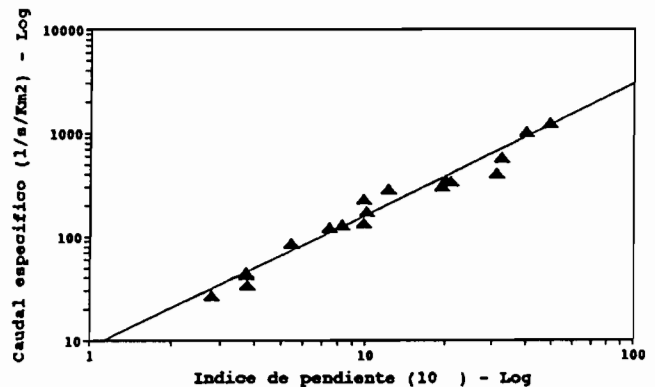


Fig. 7: Caudal específico diario máximo decenal en función del índice de pendiente.

El autocorrelograma pone en evidencia el comportamiento particular de ciertas estaciones de llanura para las cuales el coeficiente de autocorrelación decrece muy lentamente y permanece superior a 0,85 en un intervalo de 30 días. Estas estaciones, situadas aguas arriba

de importantes llanuras de inundación, reciben caudales muy influenciados por el vaciado de estas llanuras, fenómenos muy lentos y bien autocorrelacionados.

En fin, se constata (Fig. 6) que, en todas las cuencas andinas, cualquiera que sea su clasificación, el intervalo por el que el coeficiente de autocorrelación se anula antes de invertirse es de 80 a 85 días, mientras que para el conjunto de cuencas de las llanuras es de 90 a 100 días. Este lapso de tiempo, de 90 días aproximadamente, parece corresponder a la duración de las estaciones y justifica la elección del período adoptado anteriormente en el cálculo del promedio móvil.

CAUDALES MAXIMOS

Las observaciones sobre esta región, son relativamente recientes, por lo que no se dispone, salvo excepción, de largas series de datos. El análisis estadístico es pues más delicado y menos representativo. Después de un primer criterio de duración fijado en diez años de observación que dejaba muy pocas estaciones y mal repartidas, se han debido utilizar las series de observación iguales o superiores a ocho años.

Los tests de ajuste a las diversas leyes estadísticas no evidencian una ley que se aplica perfectamente a todas las cuencas. No obstante, la ley que se ajusta mejor a las diferentes categorías de cuencas, cualquiera sea su situación geográfica, es la ley de Gumbel.

Por ajuste a esta ley, fueron calculados los caudales diarios máximos de diecisiete cuencas que presentan series de medidas suficientemente largas y completas. Los caudales máximos instantáneos, de mayor interés para los acondicionamientos, no siempre son conocidos por falta de registro continuo. Si se compara el caudal específico diario máximo decenal con el índice de pendiente de la cuenca, la influencia "lógica" del relieve está confirmada por una muy buena correlación que parece ignorar la división en regiones ya que todos los puntos representativos confundidos se ajustan, en coordenadas logarítmicas, en una sola y misma recta (Fig. 7).

LAMINA ESCURRIDA

La heterogeneidad física de la zona estudiada y la amplitud del relieve hacen que el régimen de las precipitaciones y la pluviometría anual sean muy variables de una región a otra, y muchas veces de una cuenca a otra. La precipitación media sobre las cuencas, bastante precisa cuando se dispone de una buena red de aparatos, puede ser aproximativa, incluso errónea, cuando hay una densidad demasiado débil de pluviómetros, o, como ocurre a menudo en la zona andina, cuando los aparatos son instalados en el fondo de valles estrechos.

A fin de estudiar la relación precipitación-escurrimiento y de discernir eventualmente un carácter regional, se relaciona la precipitación media sobre una cuenca con el parámetro que mide el escurrimiento, y de la misma dimensión que la precipitación, la lámina escurrida. El gráfico (Fig. 8) evidencia un grupo de cuencas que reciben una altura de lluvia superior a 1200 mm por año y en el cual se puede considerar que existe poca relación entre precipitación y altura de escurrimiento superficial.

Este grupo representa la llanura y las regiones ando-amazónicas y andinas, con excepción del Beni, para el cual las alturas de lluvias son incoherentes con las alturas de escurrimiento superficial (Carrasco, 1990).

Por debajo de 1200 mm, es decir, en las regiones "semi áridas", la dispersión es tal que es difícil vislumbrar una relación válida. En todo caso, la imprecisión sobre la determinación de la precipitación media no permite evidenciar caracteres regionales ni establecer una relación correcta entre lluvia y escurrimiento.

La búsqueda de otros factores, en particular fisiográficos, en relación con la lámina escurrida, no proporciona sino resultados mediocres:

- la altura no es un factor principal debido al rol preponderante del relieve.

- la latitud juega un rol en llanura donde existen gradientes pluviométricos pero no interviene sobre la vertiente andina.

- la orientación de los valles, según sean sus ejes paralelos o perpendiculares en el sentido de desplazamiento de las masas de aire húmedo amazónico, no parece ser un factor importante.

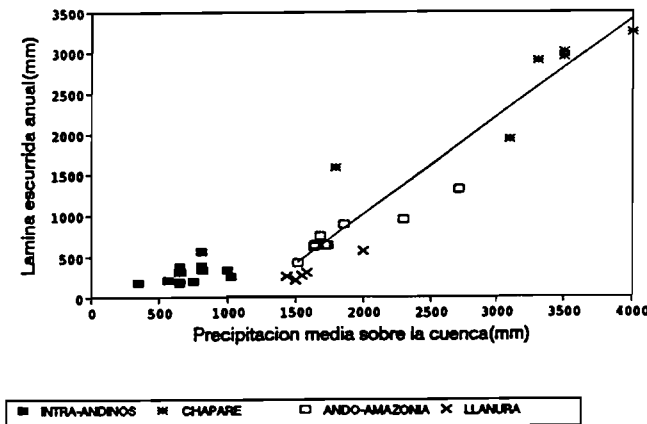


Fig. 8: Relación lámina escurrida - precipitación media sobre la cuenca.

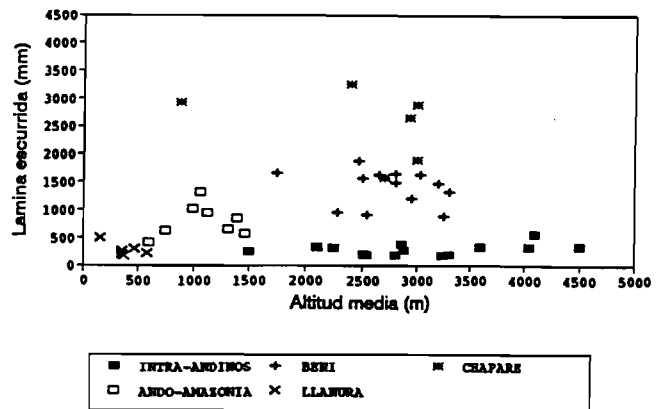


Fig. 9 Relación lámina escurrida - altitud media de la cuenca.

CONCLUSIONES

Del análisis de estos diferentes parámetros, resulta que las grandes unidades morfológicas no corresponden siempre a unidades "hidrológicas". Así, en la Cordillera, el factor esencial que diferencia dos zonas de regímenes hidrológicos muy diferentes, las cuencas andinas e intra-andinas, es la orografía. Pero al interior de las cinco "regiones" elegidas se puede constatar una buena homogeneidad de los parámetros representativos aunque, en el caso del grupo ando-amazónico, la particularidad de ciertas cuencas de estar "encajonadas" relativiza los resultados del análisis.

Al interior de algunos grupos, el análisis permite revelar el rol de otros factores, difícilmente cuantificables, como la presencia de glaciares, o la influencia de las llanuras de inundación. El análisis permite finalmente reducir el rol, que a priori, habría parecido primordial, de la altitud en este sistema ando-amazónico dominado por la imponente cadena de los Andes.

REFERENCIAS

- ABASTO N, (1987). Balance hídrico superficial de la cuenca del Río Madre de Dios, Bolivia, Perú. PHICAB: CONAPHI, IHH-UMSA, ORSTOM, SENAMHI. Tesis UMSA, La Paz, 295 p.
- BOURGES J, CORTES J, HOORELBECKE R (1987). Estudio de los caudales del Mamoré en Guayaramerín. PHICAB: ORSTOM, SENAMHI, 20 p.
- BOURGES J, GUYOT JL, CARRASCO M, BARRAGAN MC, CORTES J (1990). Evolución espaciotemporal de los caudales y materias particulares en una cuenca de los Andes bolivianos: el Río Beni. Hydrology in Mountainous Regions, Lausanne, August 1990. IAHS Publ. 193: 351-356.
- BOURGES J, GUYOT JL, HOORELBECKE R, ROCHE MA (1990). Analysis of water flow and transportation of sediments in an Andes-Amazon basin: the River Beni at Riberalta. Hydrology and Water Management of the Amazon Basin, Manaus, August 1990.
- BOURGES J, GUYOT JL, ROCHE MA (1989). La investigación francesa en cooperación en la Amazonia boliviana: el programa PHICAB. A Amazonia na França, Belem, Octubre 1989, 17 p.

CARRASCO M (1990). Estudio del régimen del escurrimiento superficial en la cuenca andina del Río Beni. Tesis UMSA, Publ. PHICAB, La Paz.

CRUZ C (1987). Balance hídrico superficial de la Cuenca del Río Itenez, Bolivia, Brasil. PHICAB: CONAPHI, IHH-UMSA, ORSTOM, SENAMHI. Tesis UMSA, La Paz, 218 p.

GUYOT JL, BOURGES J, CALLE H, CORTES J, HOORELBECKE R, ROCHE MA (1989). Transports of suspended sediments to the Amazon by an andean river: the Mamore river - Bolivia. IRTCES, 106-113, River Sedimentation, Beijing, November 1989.

GUYOT JL, BOURGES J, HOORELBECKE R, ROCHE MA, CALLE H, CORTES J, BARRAGAN M (1988). Exportation de matières en suspension des Andes vers l'Amazonie par le Río Beni, Bolivie. Sediments Budgets, Porto Alegre, December 1988. IAHS Publ. 174: 443-451.

GUYOT JL (1992). Hydrogéochimie des fleuves de l'Amazonie Bolivienne. Thèse de doctorat, géologie-géochimie, Université de Bordeaux I, 362 p.

MONTES de OCA J. Geografía y recursos naturales de Bolivia.

ROCHE MA, ALIAGA A, CAMPOS J, PEÑA J, CORTES J, ROCHA N (1990). Hétérogénéité des précipitations sur la Cordillère des Andes boliviennes. Hydrology in Mountainous Regions, Lausanne, August 1990, IAHS Publ. 193: 381-388.

ROCHE MA, FERNANDEZ JAUREGUI C, APOTEKER A, ABASTO N, CALLE H, TOLEDE M, CORDIER JP, POINTILLART C (1986). Reconnaissance hydrochimique et première évaluation des exportations hydriques et salines des fleuves de l'Amazonie bolivienne. PHICAB: IHH-UMSA, LHM, ORSTOM, SENAMHI, 257 p.

ROCHE MA, ROCHA N (1985). Mapa pluviométrico de Bolivia y regiones vecinas, 4.000.000. PHICAB: ORSTOM, SENAMHI, 1 hoja offset.

RONCHAIL J (1986). Situations atmosphériques et précipitations comparées sur l'Altiplano et l'Amazonie - Bolivie. PHICAB: AASANA, IFEA, ORSTOM, SENAMHI, 36 p.

RONCHAIL J (1988). Variabilidad del tiempo en Bolivia, la anomalía climática del invierno 1988. Conferencia en la Academia de Ciencias. Publ. PHICAB, La Paz, 15 p.