

SENAMHI

**PHICAB**

ORSTOM

# ESTUDIO DE LOS CAUDALES DEL MAMORE EN GUAYARAMERIN



J. BOURGES, J. CORTES, R. HOOREL BECKE

SENAMHI

PHICAB

ORSTOM

**ESTUDIO DE LOS CAUDALES  
DEL MAMORE EN  
GUAYARAMERIN**

**J.BOURGES, J.CORTES, R.HOORELBECKE**

**Septiembre 1987**

## RESUMEN

A partir de los dieciseis años de observación del Río Mamoré en la estación de Guayaramerín situada a la salida de una cuenca de 590.000 km<sup>2</sup> sobre uno de los principales formadores del Río Madeira, hemos estudiado, por medio de leyes estadísticas los módulos y su frecuencia de retorno, la variabilidad de los aportes, anual e interanual, los caudales promedios de algunos meses y los caudales característicos comenzando por los máximos y mínimos diarios.

Este estudio pone en evidencia cierta irregularidad de los módulos que, excepto para el año calendario 1982 de un período de retorno estimado en cien años, no exceden la frecuencia decenal. Los módulos basados en el año hidrológico, de una frecuencia de 50 años están calculados en 6.500 y 11.500 m<sup>3</sup>/s.

Las variaciones estacionales se traducen por hidrogramas anuales casi isomorfos cuya particularidad de presentar una decrecida más rápida que la crecida puede explicarse por la influencia de zonas de inundaciones aguas arriba. Los máximos, casi siempre observados a fines de Abril-comienzos de Mayo pueden exceder 23.000 m<sup>3</sup>/s (frecuencia de 50 años). Los mínimos, más irregulares en tiempo, generalmente tomados entre mediados de Septiembre y fines de Octubre, pueden descender hasta 900 m<sup>3</sup>/s para el mismo período de retorno.

Finalmente se aborda el estudio de la desecación, de los caudales clasificados y de las relaciones entre parámetros del caudal, que permiten, entre otros, de prever con un mes de anticipación los caudales máximos y mínimos anuales.

**PALABRAS CLAVES :** Hidrología - Caudal - Módulo - Caudales Mensuales - Estiaje - Caudal Máximo - Período de retorno - Previsión caudales - Mamoré - Amazonas - Cuayaramerín - Bolivia.

## RESUMO

A partir dos dezesseis anos de observação do Rio Mamoré na estação de Guayará-Mirim situada no exutório de uma bacia de 590.000 km<sup>2</sup> sobre um dos dois principais formadores do rio Madeira, nós estudamos através de leis estatísticas os módulos e suas frequências de retorno, a variabilidade dos fluxos anual e interanual, as descargas características a começar pelas máximas e mínimas diárias.

O estudo põe em evidência uma certa regularidade dos módulos que exceto no ano civil de 1982 de período de retorno estimado a cem anos, não ultrapassam a frequência decenal. Os módulos, baseados sobre o ano hidrográfico, de frequência 50 anos são estimados a 6.500 e 11.500 m<sup>3</sup> por segundo.

As variações periódicas se traduzem por hidrogramas anuais quase isomorfos cuja particularidade de apresentar uma vazante mais rápida que a enchente pode ser explicada pela influência de zonas de inundação montante. As máximas quase sempre observadas em final de abril, começo de maio podem ultrapassar 23.000 m<sup>3</sup>/s (frequência 50 anos). As mínimas, mais regulares no tempo, geralmente elavadas entre meados de setembro e fim de outubro, podem atingir no mesmo período de retorno 900 m<sup>3</sup>/s.

Enfim é abordado o estudo da recessão das descargas classificadas e das relações entre parâmetros de descarga que permitem, entre outras, de prever um mês antes as descargas máximas e mínimas anuais.

**PALAVRAS CHAVE :** Hidrologia - Descarga - Módulo - Descargas mensais - Estiagem - Descarga máxima - Período de retorno - Previsão das descargas - Mamoré - Amazonas - Guayará-Mirim - Bolívia.

## INDICE

### RESUMEN

1.	MODULOS ANUALES	1
1.1	Módulos calculados del año civil	2
1.2	Módulos basados del año hidrológico	4
2.	VARIACION ESTACIONAL DE LOS CAUDALES	6
3.	CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES DE LAS AGUAS ALTAS Y BAJAS	8
4.	CRECIDAS MAXIMAS Y ESTIAJES	10
4.1	Crecidas máximas	10
4.2	Estiaje	13
5.	DESECACION	14
6.	CAUDALES CARACTERISTICOS	16
7.	RELACIONES ENTRE LOS CAUDALES EXTREMOS Y OTROS PARAMETROS DEL CAUDAL	18
	Anexos : Cuadros y Figuras	23
	Bibliografía	27

# ESTUDIO DE LOS CAUDALES DEL RIO MAMORE EN GUAYARAMERIN

J. BOURGES

Agosto 1987

La cuenca del Mamoré en Guayaramerín cubre una superficie de 590.000 km<sup>2</sup> de la cual 16 % está situada en la vertiente andina entre 5 500 y 500 metros de altitud; lo demás de la cuenca está constituido por una zona de planicies recubiertas de sabanas y de bosques, y una parte de la meseta brasileña drenada por el principal afluente del Mamoré, el Itenez. Al incluir la cuenca del Parapeti, la superficie drenada por el Itenez en su desembocadura es de 340.000 km<sup>2</sup> o sea 58 % del total de la cuenca. A pesar de esta superficie, bien superior a la del Mamoré antes de la confluencia, la contribución del Itenez a los aportes del río en Guayaramerín representa menos de 30 % de los volúmenes evacuados.

Las observaciones efectuadas por el PHICAB en la estación de Guayaramerín habiendo solamente comenzado a fines del año 1983, nosotros tomaremos en consideración los caudales calculados en la estación brasileña situada del otro lado del Mamoré, para el período de Noviembre de 1970 a Octubre de 1983. Así disponemos hasta Enero de 1987 de más de 16 años completos de observación, lo que representa una muestra suficiente para obtener algunos primeros resultados característicos del caudal en Guayaramerín.

Este estudio se limita intencionalmente al aspecto caudal del Mamoré en Guayaramerín, como un parámetro independiente, haciendo abstracción de la cuenca vertiente y en particular de las relaciones hidro-pluviométricas. Este aspecto global se abordará posteriormente.

## 1. MODULOS ANUALES

Al examen de la serie de los módulos que figuran en el cuadro 8 (Anexo) y representada por el histograma de la figura 1, se constata una cierta estabilidad de los módulos, tanto para el año civil como para el año hidrológico hasta 1981. Más allá, excepto el año 1982 que tiene una hidraulicidad excepcional, parece ser un ciclo ligeramente más húmedo. Aunque, a priori, esta estabilidad parezca asombrosa, en ausencia de otros elementos de control como la pluviometría con la cual estos caudales son coherentes, nos basaremos sobre estos datos.

### 1.1 Módulos calculados del año civil

En el curso de estos dieciseis años, el módulo varía de 7 390 a 11 400 m<sup>3</sup>/s, con un promedio que se establece en 8 530 m<sup>3</sup>/s lo que representa un aporte promedio anual de 270.10<sup>9</sup>m<sup>3</sup>. El estudio estadístico de esta muestra suministra las características empíricas siguientes :

Media : 8 350 m<sup>3</sup>/s

Desviación standard : 1 130 m<sup>3</sup>/s

Coefficiente de variación : 0,133

Cuartil inferior : 7 560 m<sup>3</sup>/s

Cuartil superior : 9 200 m<sup>3</sup>/s

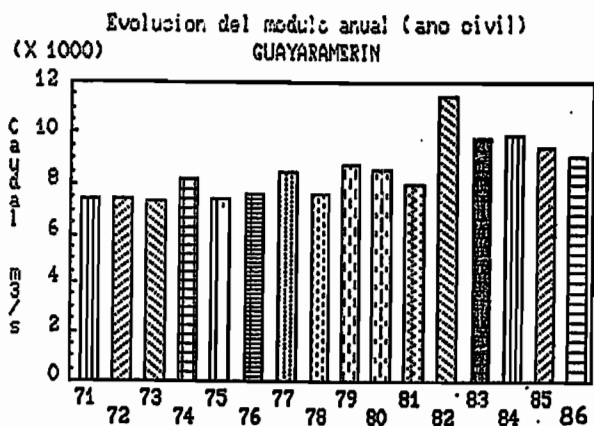


Fig. 1

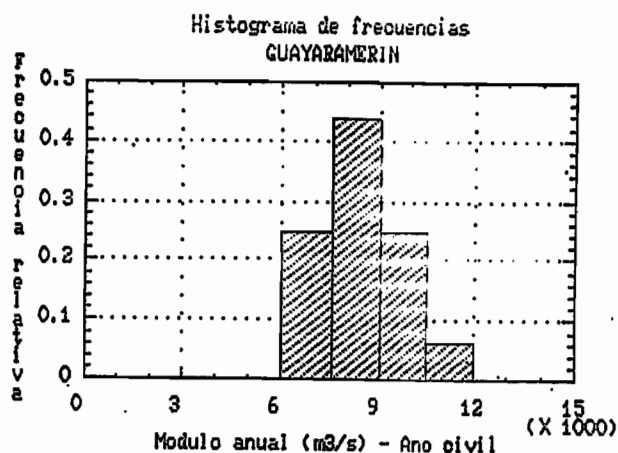


Fig. 2

El histograma de las frecuencias (Fig. 2) hace aparecer una simetría relativa que presagia de una adecuación correcta a la ley normal.

Así como se podía esperar para el estudio de módulos, y como lo dejaba adivinar a priori la abundancia de los aportes, el ajuste de la ley de Gauss (Fig. 3) es el más adecuado, pero aunque no se pueda probar su adecuación, a causa del tamaño reducido de la muestra, se verifica que los caudales de las aguas bajas siguen mal el ajuste, principalmente a causa de la estabilidad del caudal en los primeros años ya enunciada anteriormente.

Se puede deducir los valores del módulo decenal seco y húmedo en Guayaramerín :

$$\bar{Q}_{0,9} = 7\ 080\ \text{m}^3/\text{s}$$

$$\bar{Q}_{0,1} = 9\ 980\ \text{m}^3/\text{s}$$

Lo que permite calcular el coeficiente de irregularidad, K3, definido por la relación de los módulos decenales de frecuencia 0,1 y 0,9 :

$$K3 = 1,41$$

Aunque, análogo al coeficiente de variación citado anteriormente, a menudo se prefiere esta representación más concreta de la irregularidad interanual.

De estos primeros resultados, se puede obtener los valores del caudal específico correspondiente a los módulos :

- Módulo específico promedio :  $14,5\ \text{l/s/km}^2$
- Módulos específicos de frecuencia decenal :  $12\ \text{l/s/km}^2$  en año seco y  $17\ \text{l/s/km}^2$  en año húmedo.

Es evidente que el módulo específico promedio es un promedio de los módulos del Itenez y del Mamoré río arriba cuyos regímenes son sensiblemente diferentes. Para el período de 1968 a 1982 se evalúa estos módulos a  $7\ \text{l/s/km}^2$  para el Itenez y a  $19\ \text{l/s/km}^2$  para el Mamoré (Carlos Cruz- 1987).

Si, a pesar del tamaño de la muestra se considera que el promedio y la varianza son variables aleatorias, se puede estimar, con un intervalo de confianza de 95 %, el promedio y la desviación-standard en :

$$7\ 970\ \text{m}^3/\text{s} \leq \bar{Q} \leq 9\ 090\ \text{m}^3/\text{s}$$

$$740\ \text{m}^3/\text{s} \leq \sigma \leq 1\ 530\ \text{m}^3/\text{s}$$

Igualmente para los valores característicos decenales, y con el mismo intervalo de confianza, se tendrá

$$6\ 330\ \text{m}^3/\text{s} \leq \bar{Q}_{0,9} \leq 7\ 830\ \text{m}^3/\text{s}$$

para los años secos. Y para los años lluviosos :

$$9\ 230\ \text{m}^3/\text{s} \leq \bar{Q}_{0,1} \leq 10\ 700\ \text{m}^3/\text{s}$$



El módulo más bajo observado, 7 390 m<sup>3</sup>/s en 1973, correspondería a un periodo de retorno promedio de 1 año sobre 6 y el del módulo más fuerte, 11 400 m<sup>3</sup>/s en 1982, a un periodo de retorno promedio de 100 años.

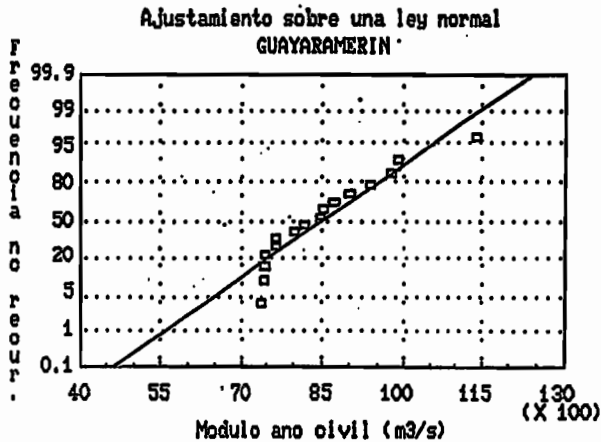


Fig. 3

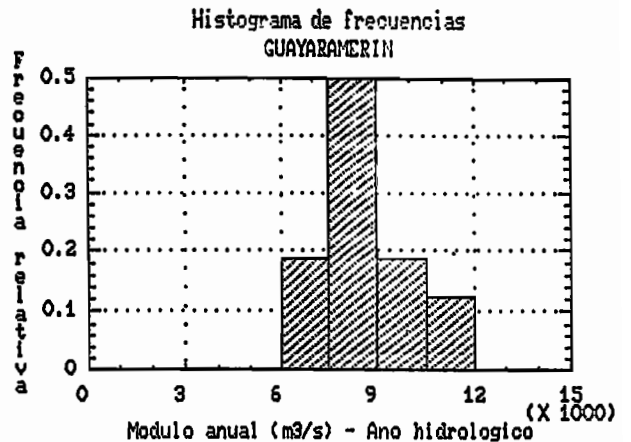


Fig. 4

### 1.2 Módulos basados en el año hidrológico

Con el fin de comprender mejor el ciclo hidrológico anual en su conjunto, y representar mejor el parámetro físico que es el módulo, hemos calculado los caudales promedios del año hidrológico, es decir de Octubre a Septiembre (Ver Cuadro 8 en anexo).

El histograma de las frecuencias (Fig. 4) presenta una figura ligeramente asimétrica, menos próxima de una distribución gáusica, pero el histograma (Fig. 5) de los módulos de 1970/71 a 1985/86 parece "más natural" que el de los módulos del año civil.

El periodo de estudio siendo muy poco diferente (de Octubre de 1970 a Octubre de 1986), el promedio permanece casi sin cambio: 8 520 m<sup>3</sup>/s. Los parámetros estadísticos son poco diferentes de aquellos obtenidos anteriormente pero denotan una dispersión ligeramente más fuerte de los valores :

Media : 8 100 m<sup>3</sup>/s

Desviación-standard : 1 190 m<sup>3</sup>/s

Coefficiente de variación : 0,14

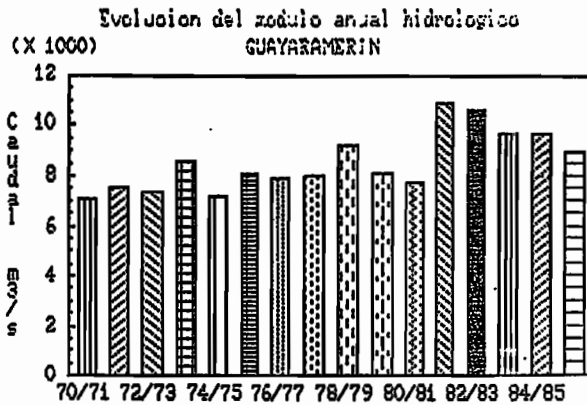


Fig. 5

Los módulos mínimos y máximos de la serie son de 7 030 y 10 900 m<sup>3</sup>/s. Aunque, como resultado del tamaño reducido de la muestra, no se pueda calcular la prueba de ensayo del chi<sup>2</sup>, el ajuste de la ley normal parece, viendo la gráfica 6, satisfactorio ; a pesar de la abundancia y de la regularidad de los caudales, que militan más para una distribución gáusica, verificándose que el ajuste de una ley de Galton parece mejor en el presente caso (Fig. 7).

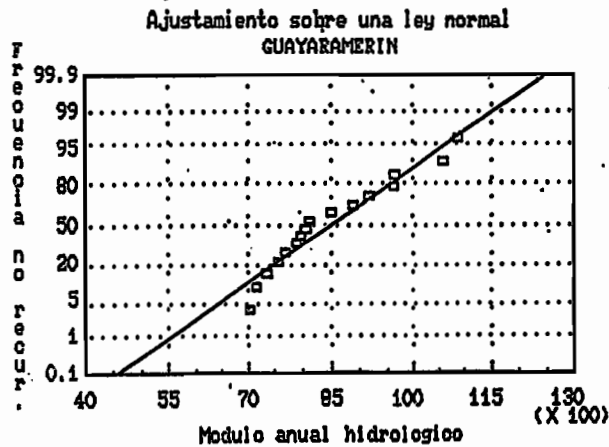


Fig. 6

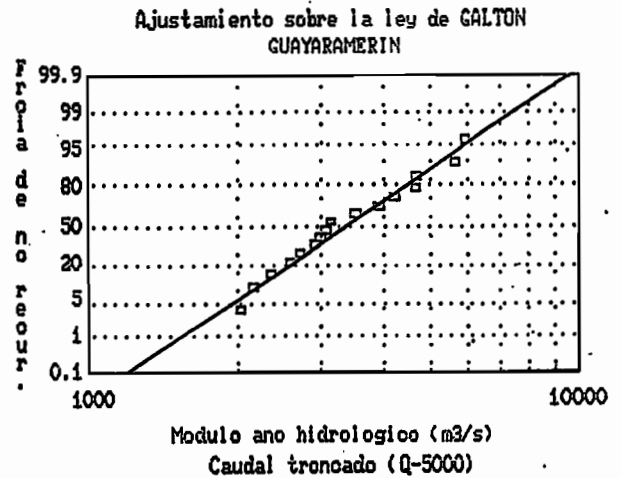


Fig. 7

Los valores de los módulos decenales y cincuentenales deducidos de estos dos ajustes (Cuadro 1) son próximos y del mismo orden de tamaño que los obtenidos a partir del módulo del año civil.

Cuadro 1 : Módulo de frecuencia escasa ( $m^3/s$ )

Frecuencia	Decenal		Cincuentenal	
	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo
Ley de Gauss	7 000	10 000	6 100	11 000
Ley de Galton	7 200	10 200	6 700	11 800

De estos valores, se deduce el coeficiente de irregularidad K3 :

$$K3 = 1,43$$

El aporte anual correspondiente a estos caudales extremos puede variar así de 200 a  $360 \cdot 10^9 m^3$ .

Los módulos específicos correspondientes a estos años tienen como valor :

- cada 10 años : año seco : 12  $l/s/km^2$   
                   año húmedo : 17  $l/s/km^2$
- cada 50 años : año seco : 10    11  $l/s/km^2$   
                   año húmedo : 19    20  $l/s/km^2$

Al examen de estos ajustes se observa que la elección del módulo "hidrológico", además del hecho que representa un dato más "natural" que no está arbitrariamente dividido al 1º de Enero como para al año civil, satisface más a las leyes utilizadas que el módulo civil.

Antes de profundizar este estudio, convendría de controlar mejor algunos caudales, en particular durante el período de 1971 a 1973, a partir de los datos y medidas originales hechos por Brasil, y maximisar esta serie sobre la base de pluviometrías anteriores a 1971.

## 2. VARIACION ESTACIONAL DE LOS CAUDALES

La modulación de los caudales en el curso del año cambia poco de un año a otro. Los hidrogramas anuales presentan sensiblemente el mismo perfil, los mínimos situándose en septiembre y octubre y los máximos entre el 15 de marzo y el 31 de mayo.

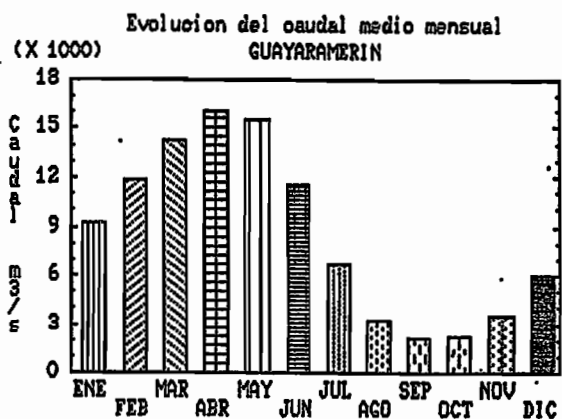


Fig. 8

Hidrograma medio anual

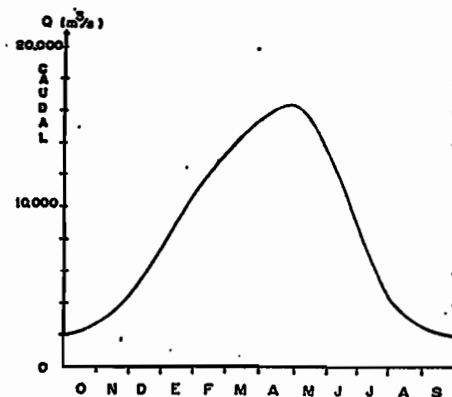


Fig. 9

El hidrograma anual promedio reporta una forma muy redondeada y regular, como se podía esperar teniendo en cuenta el tamaño de la cuenca. Pone en evidencia una estación de aguas altas de alrededor de 4 a 5 meses, culminando en Abril, estación que aparece aún más claramente en el histograma del promedio de los caudales mensuales (Fig. 8). Las aguas más altas intervienen tres meses después del máximo pluviométrico mensual observado en el conjunto de la cuenca en Enero.

Al examen, este hidrograma (Fig. 9) revela una disimetría contraria a la observada habitualmente y que se traduce por una subida de las aguas escalonada en seis meses mientras que el período de decrecida propiamente dicho sólo dura cuatro meses y acusa una pendiente más fuerte que la de la crecida.

Cuadro 2 : Caudales promedios mensuales (1970-1986)

Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Caudal promedio	9160	11900	14200	16100	15500	11600	6710	3230	2110	2260	3400	5980

La relación 7,6 entre los caudales promedios mensuales de los meses extremos denota una variación importante de estos caudales en el curso del año promedio.

### 3. CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES DE LAS AGUAS ALTAS Y BAJAS

Si se considera los caudales promedios mensuales de los meses de aguas altas y de estiaje, se constata que en el caso de las aguas altas, es decir abril y mayo, las características (ver Cuadro 3) dejan prever un buen ajuste de la ley de Gauss, mientras que en el caso de los meses de estiaje, septiembre y octubre, éllas tenderían más hacia una ley disimétrica.

Cuadro 3 : Características de los caudales mensuales notorios ( $m^3/s$ ) (1970-1986)

Meses	Abril	Mayo	Septiembre	Octubre
Promedio	16 050	15 500	2 110	2 260
Media	15 650	15 850	1 930	2 260
Desviación-standard	2 360	3 300	750	890
Coefficiente de variación	0,15	0,21	0,36	0,39
Mínimo	12 900	10 200	1 250	1 120
Máximo	21 200	21 700	3 650	4 450

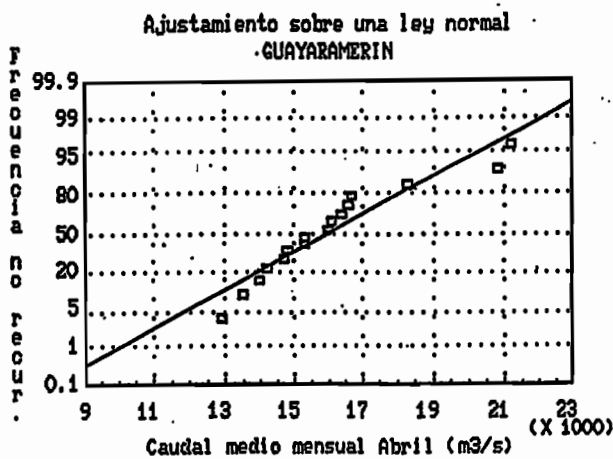


Fig. 10

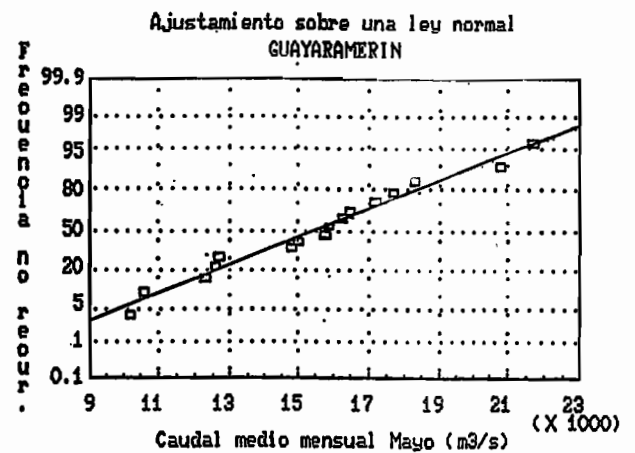


Fig 11

Como lo dejaba suponer el estudio estadístico, y como lo confirman los gráficos 10 y 11, el ajuste de la ley normal está bastante adaptado a los caudales de los meses de aguas altas, en particular el mes de mayo.

Por el contrario, esta ley se ajusta mal a los caudales de los meses de estiaje (fuerte concavidad en particular a los caudales más bajos) para los cuales la ley de Galton se revela más adaptada (ver Fig. 12 y 13) cuando se escoge un caudal troncado :  $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$  en septiembre y  $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$  en octubre.

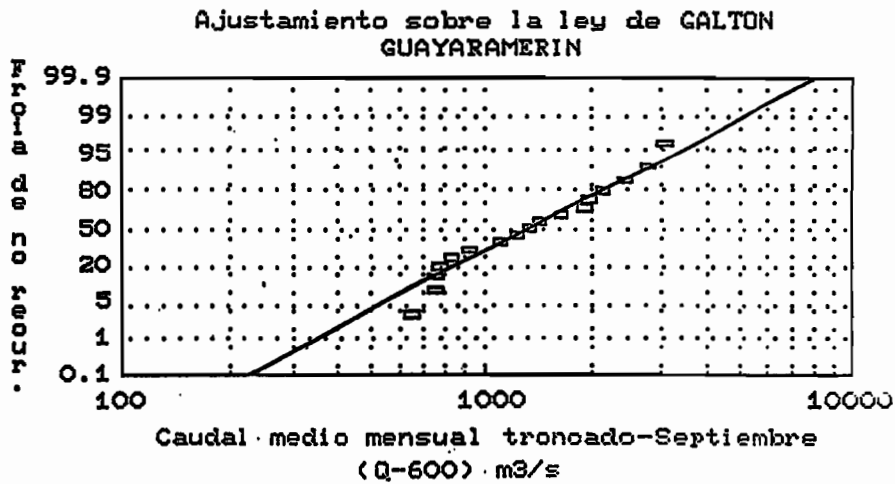


Fig. 12

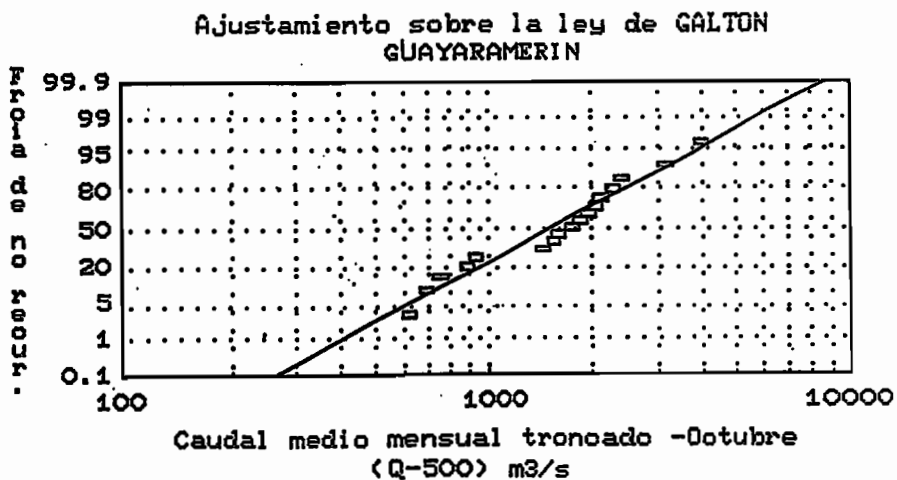


Fig 13

Se puede deducir las características siguientes ; para los años lluviosos :

	Abril	Mayo
Caudal prom.mensual decenal húmedo	19 100 m <sup>3</sup> /s	19 700 m <sup>3</sup> /s

y para los años secos :

	Septiembre	Octubre
Caudal prom.mensual decenal seco	1 230 m <sup>3</sup> /s	1 240 m <sup>3</sup> /s

#### 4. CRECIDAS MAXIMAS Y ESTIAJES

##### 4.1 Crecidas máximas

Con objeto de determinar la importancia y la frecuencia de las crecidas en esta región donde las inundaciones causan graves daños, nos interesaran los caudales máximos diarios anuales. Dada la lentitud de la variación de los caudales en el tiempo, este valor es asimilable al caudal máximo instantáneo. Los valores observados están reunidos en el cuadro 9 en anexo.

El cuadro 4 representa para la muestra analizada, los períodos de paso del máximo de la crecida anual; de lo que se deduce que, en el curso de estos dieciseis años, 7 sobre 10 veces el máximo de la crecida alcanzó Guayaramerín entre el 15 de abril y el 15 de mayo.

Cuadro 4 : Período de aparición del caudal máximo

Período	Frecuencia observada
15/03 al 31/03	1
01/04 al 14/04	2
15/04 al 30/04	6
01/05 al 14/05	5
15/05 al 31/05	2

Si se estudia la frecuencia de aparición del máximo anual por década (Fig. 14) se observa que el periodo más probable es la última década del mes de abril, y luego la primera del mes de mayo.

Frecuencia aparición del maximum anual

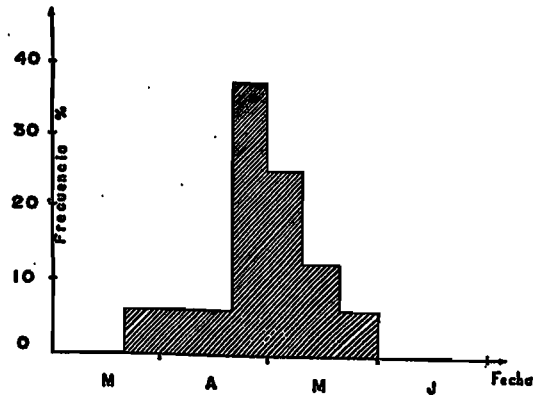


Fig. 14

El estudio estadístico de estos caudales da los parámetros reunidos en el cuadro 5 (pág. 12). Se nota que es baja la dispersión y que, como para todos los periodos de caudal abundante, la ley normal se ajusta perfectamente (Fig. 15).

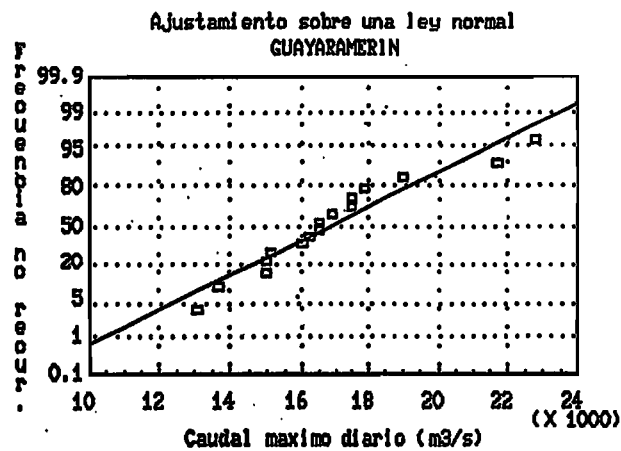


Fig. 15



Podemos deducir los caudales máximos para una recurrencia dada; el caudal de frecuencia decenal, con un intervalo de confianza de 90 %, será estimado en :

$$18\ 800\ m^3 \leq Q_{x0,1} \leq 21\ 700\ m^3/s$$

y el caudal máximo de período de retorno promedio de 1 año sobre 50 aproximadamente, con el mismo intervalo de confianza, se situará:

$$20\ 800\ m^3/s \leq Q_{x0,02} \leq 23\ 700\ m^3/s$$

Los niveles en la escala correspondiente a estos caudales se sitúan entre 10,5 y 11,5 metros en la escala PHICAB, y de 13 a 14 metros por la escala brasileña.

Los caudales específicos correspondientes a estas recurrencias son de 34 y 38 l/s/km<sup>2</sup>.

Cuadro 5 : Caudales máximos y mínimos anuales (m<sup>3</sup>/s) observados en el período 1970-1986.

Características	Caudal máximo: Q <sub>x</sub> (16 años)	Caudal mínimo: Q <sub>n20</sub> (17 años)
Promedio	16 900	1 700
Media	16 500	1 720
Desviación-standard	2 590	520
Coefficiente de variación	0,15	0,31
Mínimo	13 100	1 050
Máximo	22 800	2 760

#### 4.2 Estiaje

En el caso de los caudales de estiaje, con el fin de representar mejor el período de aguas bajas y también de minimizar los errores o las interpretaciones del observador, se escogerá como parámetro el promedio de los caudales diarios de los 20 días más bajos del año :  $Q_n 20$ .

El estudio de estos caudales, aunque a título diferente de aquellos de los máximos, interesa también a los ribereños y a los organismos de navegación en esta región donde el río es el único medio de comunicación.

Los valores de los estiajes absolutos anuales y de  $Q_n 20$  durante los diecisiete años de observación están reunidos en el cuadro 9 en anexo.

La Figura 16 da un cálculo aproximado de los períodos en los cuales han sido observados estos mínimos durante los últimos diecisiete años. Se constata que, en 83 % de los casos, el mínimo ha sido tomado en el curso del período comprendido entre el 15 de septiembre y el 30 de octubre.

Frecuencia aparición del mínimo anual

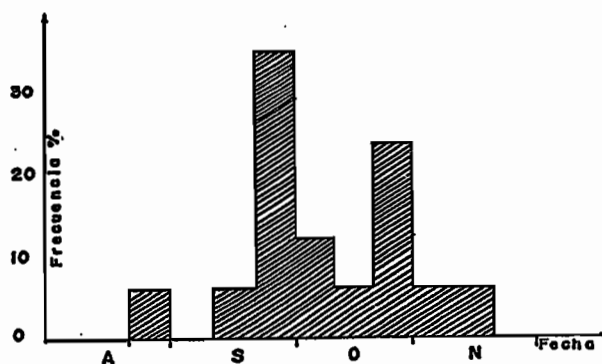


Fig. 16

Al contrario de los caudales máximos, las fechas de los estiajes aparecen más dispersos en el tiempo, y sólo tres décadas parecen más favorables.

El estudio estadístico de estos caudales proporciona las características ya mencionadas en el cuadro 5 (pág. 12). La dispersión de los valores aunque es menos grande que en el caso de los caudales mensuales de aguas bajas deja indeciso sobre la elección del ajuste. El punteo en un diagrama de Gauss revela una concavidad reveladora de una ley hipogáusica.

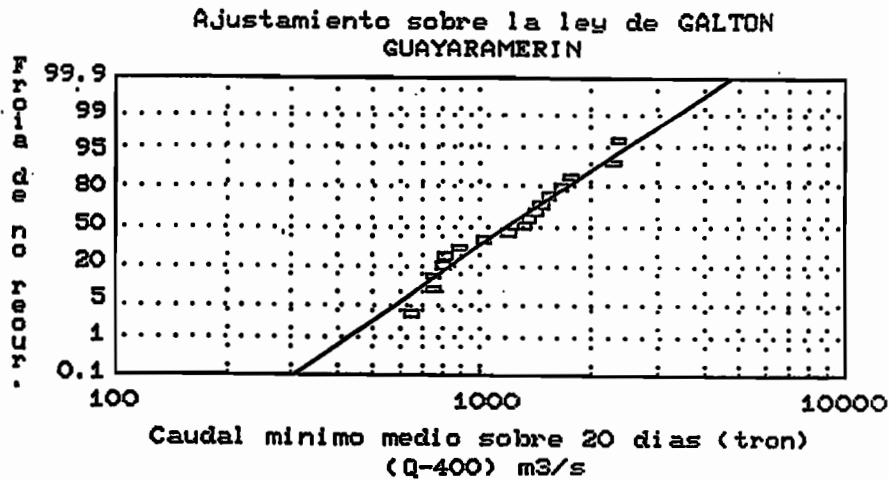


Fig. 17

El ajuste de una ley de Galton (Fig. 17) a partir de caudales corregidos, parece ser el más adecuado y permite calcular los valores de los caudales promedios mínimos sobre 20 días, para dos recurrencias escogidas :

- cada 10 años :  $Q_n 20 = 1\ 100\ m^3/s$
- cada 50 años :  $Q_n 20 = 900\ m^3/s$

y corresponde a caudales específicos de 1,9 a 1,5 l/s/km<sup>2</sup>.

Excepto cinco años donde la diferencia entre el estiaje absoluto anual y  $Q_n 20$  es superior a 10 %, alcanzando todavía 15% en 1982, estos dos parámetros son bastante próximos : la relación  $Q_n/Q_n 20$  oscila alrededor de 0,92.

El estiaje absoluto más severo registrado en el curso de las diecisiete estaciones observadas alcanzó 980 m<sup>3</sup>/s en octubre de 1974 y corresponde a un  $Q_n 20$  de 1 050 m<sup>3</sup>/s.

## 5. DESECACION

Hemos visto que, después del máximo alcanzado en abril-mayo, el caudal decrece regularmente hasta septiembre, alimentado a partir de julio por el vaciado de las napas y de las zonas inundables, y por los aportes de los últimos meses que continúan a llegar de la parte de aguas arriba de la cuenca. Se puede agregar a este flujo la influencia de algunas lluvias esporádicas sobre la cuenca inferior.

Desde septiembre comienzan a incorporarse a esta decrecida las crecidas "locales" como consecuencia de las primeras precipitaciones que afectan la parte baja de la cuenca y que se traducen en el hidrograma por una sucesión de ondulaciones.

Aunque no se pueda hablar de desecación pura ya que no se trata únicamente de vaciado de acuíferos, puede ser interesante estudiar el agotamiento real.

Si adoptamos la fórmula exponencial del caudal, generalmente reconocida en este caso,

$$q = q_0 e^{-\alpha (t-t_0)}$$

constatamos que el coeficiente determinado a partir de los hidrogramas, varía sensiblemente de un año a otro. Conviene precisar que este coeficiente es calculado a partir de una desecación "ideal" obtenida eliminando las crecidas parasitarias que interfieren en la decrecida.

Se notará, además, que este coeficiente disminuye con el caudal lo que parece lógico dada la heterogeneidad de la cuenca.

Los coeficientes son calculados para la primera parte del agotamiento para los caudales superiores a 6000 m<sup>3</sup>/s. En la parte inferior es difícil de trazar el agotamiento puro dado el número de crecidas que vienen a perturbarlo. Apenas se logra estimar algunos años el valor de  $\alpha$  que para un caudal del orden de 1000 a 1500 m<sup>3</sup>/s es de alrededor de 0,012 (Fig. 18).

Variación del coeficiente de agotamiento

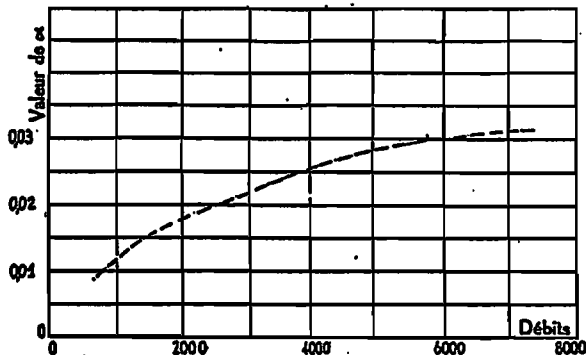


Fig. 18

La determinación de  $\alpha$  no es suficiente rigurosa para permitir encarar una correlación con otros parámetros, tanto menos que el examen de los valores de  $\alpha$  no parece indicar la influencia de un factor cualquiera. Como máximo se puede constatar que  $\alpha$  es mínimo cuando el módulo es el más elevado (1982) y que de 1971 a 1981, donde los módulos, con excepción de 1979, están comprendidos entre 7.000 y 8.500 m<sup>3</sup>/s, el valor promedio de  $\alpha$  es de 0,032, mientras que de 1982 a 1986 donde los módulos están comprendidos entre 9.000 y 11.000 m<sup>3</sup>/s, el valor promedio de  $\alpha$  es de 0,026. El año 1983 en el cual una crecida importante viene a perturbar la decrecida no es tomado en consideración.

Sin embargo, estos datos permiten trazar una curva tipo de desecación ideal a partir de un caudal ficticio al primero de julio escogido arbitrariamente igual al caudal promedio : 9.100 m<sup>3</sup>/s (ver Fig. 19 trazados en punteados).

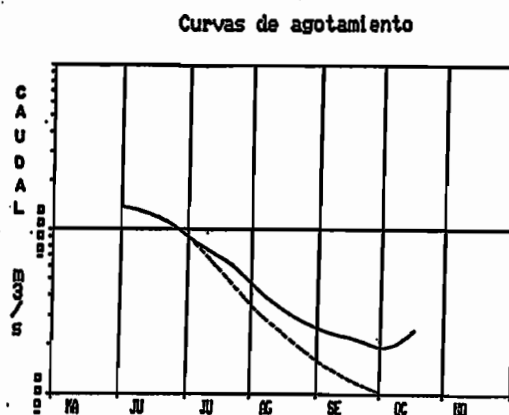


Fig. 19

En el mismo gráfico hemos representado, en trazado entero, la curva promedio de decrecida obtenida de los dieciseis años estudiados, considerando el caudal realmente observado, con o sin crecida párasito.

La diferencia entre las dos curvas representa los aportes de las crecidas de época seca.

## 6. CAUDALES CARACTERISTICOS

Puede ser interesante en algunos casos conocer los valores de los caudales característicos que son los caudales rebasados durante cierto número de días o de meses en el año. Estos

valores, obtenidos de la curva de caudales clasificados cada año, no representan un período continuo, sino un número dado de días consecutivos o no. Con el fin de estar seguro de tratar el máximo y el mínimo correspondientes en el mismo año, tomaremos como base de cálculo el año calendario. Estos datos son útiles en el caso de límites de navegación, por ejemplo, o para la gestión de represas.

Fuera de los caudales extremos, ya estudiados, podemos interesarnos en cinco caudales característicos correspondientes a períodos de 1 mes, 3 meses, 6 meses, 9 meses y 11 meses. Los parámetros estadísticos de estos caudales durante el período 1971-1986 son resumidos en el cuadro 6.

Cuadro 6 : Caudales característicos ( $m^3/s$ ).

	Promedio	Media	Coef.irreg.	Desviación-standard
DC 11	1960	1960	0,35	690
DC 9	3240	3120	0,29	940
DC 6	8070	7840	0,18	1480
DC 3	13400	13600	0,10	1400
DC 1	16400	16100	0,15	2410

El ajuste de la ley de Gauss será, evidentemente, mejor para los caudales elevados, DC 3 en particular, que para los caudales bajos, DC 11, que se aproximan más a los caudales de estiaje y por eso se utiliza la ley de Galton. Hay que notar la dispersión más fuerte de los caudales cuando se aproxima de los extremos lo que se traduce como un crecimiento del coeficiente de irregularidad para DC 1 y DC 11 mientras que es mínimo para DC 3 (Fig. 29).

No se representará los ajustes a las leyes de Gauss y gaussio-log para cada uno de los caudales característicos, sino solamente para DC 3 y DC 9 (Fig. en anexo).

Variación del coeficiente irregularidad

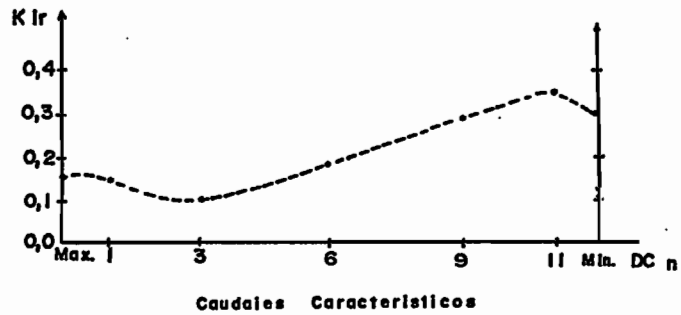


Fig. 20

De estas observaciones, se puede obtener los valores de recurrencia decenal y cincuentenal correspondientes así como el error de estos caudales para un intervalo de confianza de 90 % (Cuadro 7).

Cuadro 7 : Caudales característicos de recurrencia dada ( $m^3/s$ )

	Caudal decenal			Caudal cincuentenal		
	Húmedo	Seco	Int. Conf. 90 %	Húmedo	Seco	Int. Conf. 90 %
DC 11	2850	1100	± 380	3400	550	± 500
DC 9	4400	2050	± 520	5200	1300	± 680
DC 6	10000	6200	± 820	11100	5000	±1080
DC 3	15200	11600	± 780	16300	10500	±1010
DC 1	19500	13300	±1340	21300	11400	±1750

7. RELACIONES ENTRE LOS CAUDALES EXTREMOS Y LOS OTROS PARAMETROS DEL CAUDAL

A partir de todos estos parámetros diferentes que determinan el régimen hidrológico, puede ser interesante establecer comparaciones ya sea para poner en evidencia algunos factores, o

para prever algunos caudales. Nos basaremos para establecer estas relaciones en los dieciseis años completos, civiles u hidrológicos, de los que disponemos.

De esta manera, vamos a comparar los caudales máximos sucesivamente al DC 3, al módulo del año hidrológico y a un caudal en una fecha determinada.

La primera correlación expresada en la Fig. 21 es excelente; su coeficiente de correlación es : 0,87. Pero ello solo confirma la buena relación existente entre el caudal máximo del año y el de los 90 días más abundantes. Dada la regularidad de los caudales, esta constatación se explica perfectamente.

Para esta correlación como para todas las siguientes figuran en los gráficos, además de la recta de correlación, los límites del intervalo de confianza en 95 %.

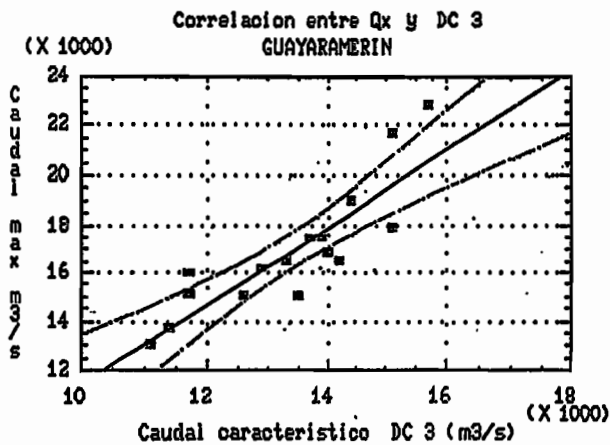


Fig. 21

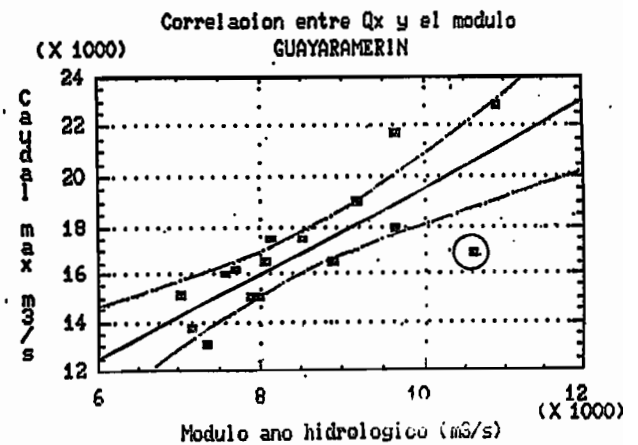


Fig. 22

La segunda correlación establece una relación entre el caudal máximo y el módulo del año hidrológico (Fig. 22). Esta correlación es todavía buena, ya que para los dieciseis años obtenemos un coeficiente de 0,80 que podría alcanzar 0,90 si se excluyera el año 1982/1983 (Punto en círculo en la fig. 22). Deduciendo la ecuación :

$$Q_x = 1,742 Q + 2066$$

La interpretación física de esta buena relación radica en la forma del hidrograma que varía muy poco de un año a otro, y en el "regreso al estado inicial" que se observa durante cada estiaje. Existe por eso cierta proporcionalidad entre el módulo y el caudal máximo excepto cuando la forma del hidrograma cambia como es el caso en 1983 donde la crecida es mucho más aplanada y



presenta una segunda onda de crecida que viene a superponerse a la onda principal durante su decrecida. En la Fig. 23 se ha materializado la separación de las dos crecidas. Si se limita a la onda principal, el módulo se encuentra disminuido de  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  y la correlación mejora sensiblemente con un coeficiente de 0,86 (Ver Fig. 24). La recta de correlación tiene en ese caso por ecuación :

$$Q_x = 2,003 \quad Q - 54$$

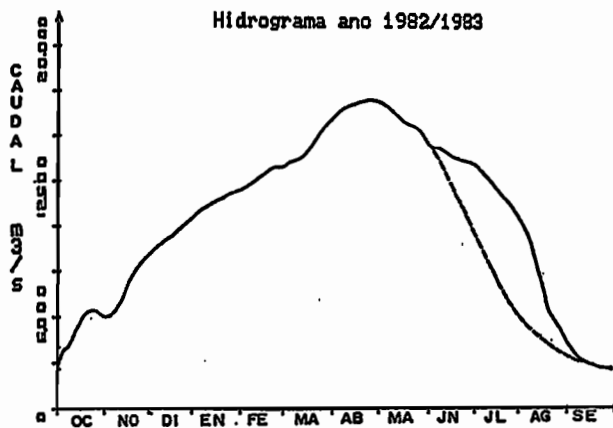


Fig. 23

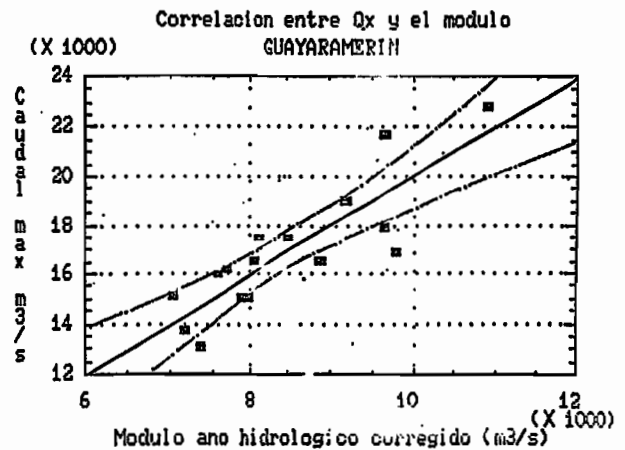


Fig 24

Finalmente hemos tratado de establecer una relación entre el caudal máximo y el caudal de un mes anterior, o de una fecha anterior.

La mejor correlación así puesta en evidencia se establece entre el caudal máximo y el caudal promedio diario en fecha del 31 de marzo, o sea aproximadamente un mes antes del período más probable de aparición de este máximo. El coeficiente de 0,92 denota una excelente correlación (Fig. 25) cuya recta se expresa bajo la forma :

$$Q_x = 1,404 \quad Q_{31/03} - 4531$$

Asímismo en lo que concierne a los caudales mínimos ya estudiados, es posible establecer relaciones entre este parámetro y el caudal característico rebasado durante nueve meses, DC 9, así como con el caudal en fecha del 31 de agosto. La correlación con DC 11 no tiene ningún interés ya que estos dos parámetros son prácticamente iguales.

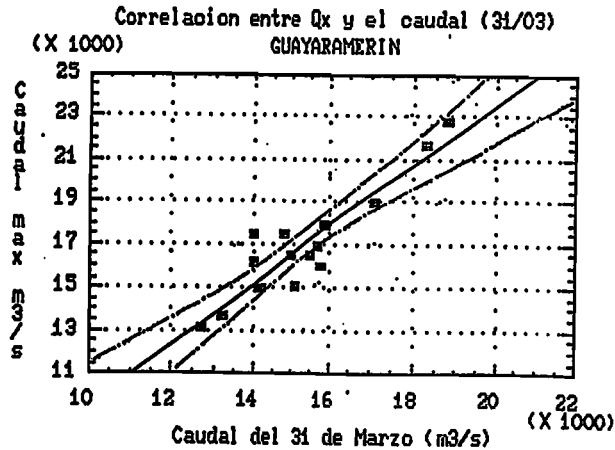


Fig. 25

La relación entre el caudal promedio de estiaje, Qn 20, y DC 9 es buena : K = 0,80. Ella sería superior sin el año 1986 que se sitúa claramente fuera de la nube (Fig. 26 - punto en círculo) debido a una importante crecida parásito que interviene durante todo el mes de Octubre.

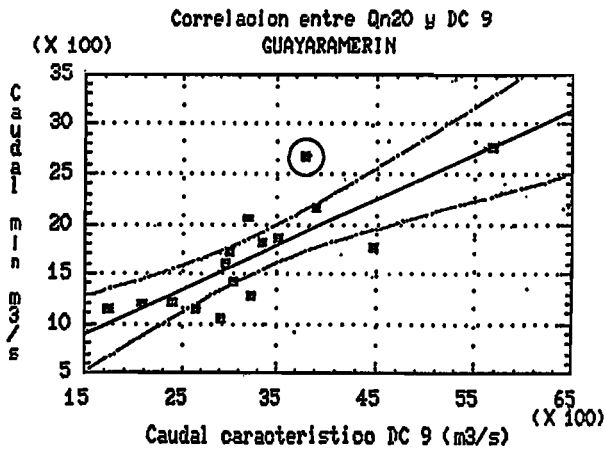


Fig 26

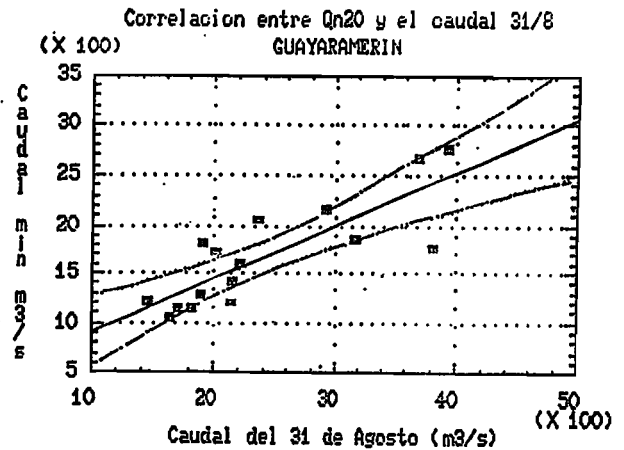


Fig. 27

A la inversa, la correlación con el caudal promedio del mes de Agosto o el caudal en fecha del 15 de agosto es malo; unicamente es representativo como parámetro el caudal en fecha del 31 de agosto (Fig. 27), o sea un mes aproximadamente antes de la fecha probable de aparición. El coeficiente de correlación obtenido es de 0,82 y la ecuación de la recta se escribe :

$$Q_n 20 = 0,537 Q_{31/08} + 378$$

Habría sido, por supuesto, más racional examinar las correlaciones interestaciones con las otras seis estaciones situadas río arriba, vincularse a las relaciones hidropluviométricas, estudiar la influencia de los factores físicos y del factor escala del conjunto de la cuenca vertiente. Pero no era el objetivo de este estudio.

Estos resultados solo tienen como pretensión de ofrecer ya desde ahora algunos datos a aquellos que se interesan en este cordón umbilical de la Amazonia boliviana. No se pretende constituir un estudio detenido que, él, será objeto de publicaciones próximas, que englobarán el estudio del conjunto de la cuenca del Mamoré.

- Anexo-

Cuadro 8

Módulos anuales

del año civil		del año hidrológico	
Año	Módulo (m <sup>3</sup> /s)	Año	Módulo (m <sup>3</sup> /s)
1971	7 460	1970/1971	7 030
1972	7 450	1971/1972	7 570
1973	7 390	1972/1973	7 350
1974	8 200	1973/1974	8 510
1975	7 430	1974/1975	7 160
1976	7 670	1975/1976	8 060
1977	8 490	1976/1977	7 890
1978	7 660	1977/1978	7 980
1979	8 730	1978/1979	9 190
1980	8 530	1979/1980	8 130
1981	8 020	1980/1981	7 690
1982	11 400	1981/1982	10 900
1983	9 760	1982/1983	10 600
1984	9 890	1983/1984	9 650
1985	9 390	1984/1985	9 640
1986	9 010	1985/1986	8 900
Promedio	8 530	Promedio	8 520

- Anexo -

Cuadro 9

Caudales máximos y mínimos. Valores y fechas de aparición

Año	Qx	Fecha	Duración	Qn	Fecha	Duración	Qn 20
1970	-	-	-	1880	23/09	3 d	1930
1971	15.100	1/4	2 d	2030	1/10	2 d	2060
1972	16.000	25/3	10 d	1550	25/08	2 d	1720
1973	13.100	5/5	1 d	1290	14/10	1 d	1430
1974	17.500	27/4	4 d	980	4/10	1 d	1050
1975	13.700	13/4	4 d	1390	19/9	1 d	1600
1976	16.500	29/4	1 d	1080	25/10	1 d	1200
1977	15.000	17/5	1 d	1630	23/9	1 d	1810
1978	15.000	20/4	5 d	1160	26/09	3 d	1210
1979	19.000	5/5	4 d	1110	7/11	1 d	1150
1980	17.500	21/5	3 d	1770	8/10	2 d	1860
1981	16.200	4/5	10 d	1150	21/9	1 d	1290
1982	22.800	27/4	9 d	2360	22/9	1 d	2760
1983	16.900	23/4	7 d	1530	21/10	1 d	1760
1984	21.700	26/4	10 d	1110	21/10	2 d	1150
1985	17.900	7/5	8 d	2030	26/10	1 d	2160
1986	16.500	14/5	3 d	2380	16/11	1 d	2680

Cuadro 10

Valores del coeficiente de desecación

Año	$\alpha$
1971	0,020
1972	0,024
1973	0,030
1974	0,032
1975	0,030
1976	0,035
1977	0,030
1978	0,036
1979	0,035
1980	0,039
1981	0,041
1982	0,021
1983	0,043*
1984	0,027
1985	0,029
1986	0,027

\* Crecida secundaria importante durante la decrecida.

- Anexo -

Ajuste de los caudales característicos de 9 y 3 meses

