



## PROGRAMA HIDROLOGICO Y CLIMATOLOGICO DE LA CUENCA AMAZONICA DE BOLIVIA

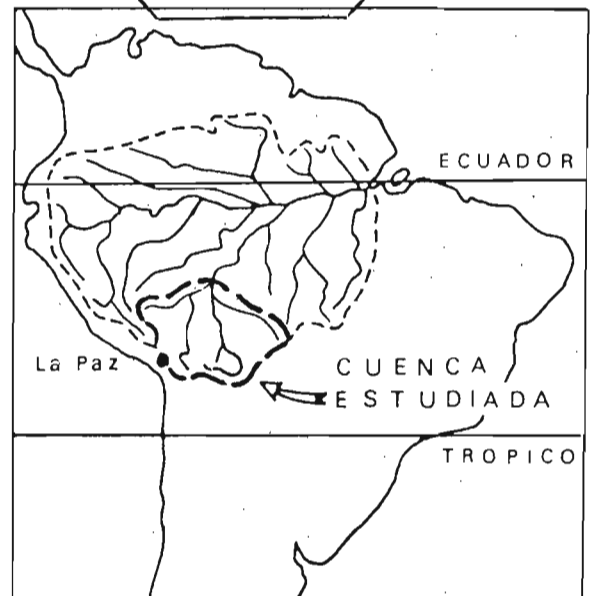
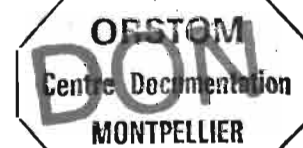
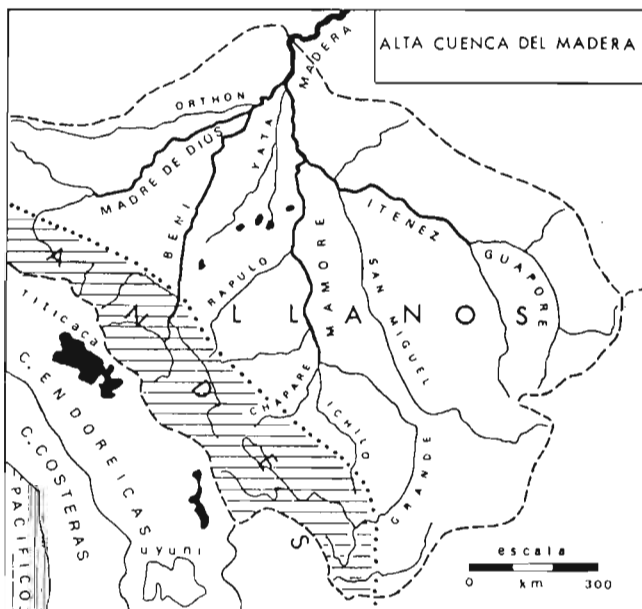
EL PHICAB es el Programa Climatológico e Hidrológico de la Cuenca Amazónica de Bolivia. Conforme a un acuerdo firmado en 1982 entre Bolivia y Francia, este programa está realizado conjuntamente por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y el "Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer" (ORSTOM).

### LA REGION DEL ESTUDIO

está representada por toda Bolivia para la climatología y por la cuenca amazónica del país para la hidrología. Esta cuenca se extiende desde los glaciares de las cumbres andinas (6800 m), los llanos amazónicos en parte inundables, hasta la parte oeste del Escudo Brasileño (180 m).

La cuenca vertiente tomada en consideración está así circunscrita a las nacientes del Río Madera.

Los cuatro grandes ríos y sus afluentes que dan nacimiento a este tributario mayor del Río Amazonas constituyen los ejes geográficos del estudio.



El trabajo contempla las cuencas de los Ríos Madre de Dios, Beni, Mamoré y Guaporé-Iténez.

A la salida de las cuencas andinas, los ríos entran sin transición a los llanos de pendiente sumamente baja, controlado en el norte por el nivel del Escudo Brasileño, el que corresponde a las rápidas del Río Madera. Esta morfología y los regímenes climato-hidrológicos determinan cada año inundaciones en decenas de millares de km<sup>2</sup>.

NECESIDAD DE UNA RED HIDROMETRICA PARA EL DESARROLLO  
APLICACION A LA REPRESA DE CACHUELA ESPERANZA

---

Jacques BOURGES <sup>x</sup>

---

Sería superfluo insistir en la importancia del agua como factor de desarrollo y en la necesidad, para una región o un país, de estudiar sus recursos hídricos mucho antes de que se tome la decisión de explotarlos.

El estudio de recursos hídricos en la perspectiva de su explotación exige la previa observación de un cierto número de estaciones de medidas, situadas en sitios bien determinados, que permitan la cuantificación de estos recursos y el conocimiento de su variación espacio-temporal.

La elección del emplazamiento de estas estaciones debe tomar en cuenta, no sólo las facilidades de acceso, sino también la representatividad de la cuenca, las ramificaciones de la red hidrográfica y en la posible, permitir un control recíproco de las estaciones a través de relaciones río arriba o río abajo. Esto es lo que se denomina una red hidrométrica.

La red hidrométrica boliviana es observada por el SENAMHI en la parte andina hasta la llanura (115 estaciones) y por el proyecto PH1CAB en la planicie amazónica desde el pie de los Andes hasta la formación del Río Madera; 15 estaciones hidrométricas están instaladas en esta zona de 650.000 Km<sup>2</sup> que representa los 3/4 de la superficie de la cuenca del Madera a Villabella y los 2/3 del territorio nacional.

Si bien el número de estaciones puede parecer insuficiente comparado a la superficie drenada por estos cursos de agua, es difícil aumentar la densidad de estaciones a raíz de la cuasi imposibilidad de encontrar observadores responsables en estas regiones muy poco pobladas, como también a raíz del costo del mantenimiento y de la explotación de estas estaciones.

Cada vez más, estas redes basadas en observadores permanentes están siendo remplazadas o asistidas por redes de equipos automáticos que utilizan flotadores o tomas de presión como medio para medir los niveles de agua. Tienen la ventaja de no falsear

---

<sup>x</sup> ORSTOM  
Casilla 8714  
La Paz - Bolivia

las observaciones y de realizar medidas continuas; tienen el inconveniente de malograrse algunas veces.

Frecuentemente, la necesidad de poseer datos en tiempo real ha hecho que se extienda la teletransmisión, radio o satélite, que presenta la ventaja - fuera del hecho de disponer de una radioscopia inmediata y completa de la red en cualquier momento - de generar costos de explotación inferiores a los de una red clásica ya que evitan visitas sistemáticas de control. Bolivia, con el impulso del SENAMHI, está a punto de dotarse de dicha red, en el marco de un proyecto de asistencia de la CEE.

Esta red de observación "estática" es complementada por visitas de inspección que, además del mantenimiento de los equipos, permiten efectuar en cada estación medidas de caudal y también establecer las calibraciones a partir de las cuales será posible deducir los caudales.

En vista de que los fenómenos naturales no pueden ser predichos, se debe disponer para preverlos, de largas series de medidas que permitirán un enfoque estadístico o sistemático, valedero. Este enfoque constituye la base de todo proyecto en el cual interviene el factor agua. Diez años de observación pueden constituir un período mínimo para sentar las bases para un proyecto serio.

La puesta en funcionamiento de una red y su explotación regular aparecen así como la primera etapa, anterior indispensable a las fases posteriores de los estudios, que debe iniciarse varios años antes a los primeros pre-proyectos de desarrollo.

Sin embargo, en la zona estudiada no se dispone, de la parte boliviana, más que de dos estaciones que responden a estos criterios:

Angosto del Bala	21 años
Abapo	10 años

Las estaciones restantes presentan, a lo mucho, 4 años de observación, con, generalmente, lagunas que hacen aleatoria la explotación de estos datos. Es importante por lo tanto, para el desarrollo de esta región de Bolivia, proseguir e intensificar, a pesar de las dificultades materiales, la observación de la red hidrométrica incluso si su costo puede parecer prohibitivo respecto a los resultados inmediatos.

El sitio de Abapo, sobre el Río Grande, ya ha sido objeto de un proyecto agrícola y eléctrico.

- Sobre el Beni, uno de los ríos que presenta la mayor hidraulicidad de Bolivia, han sido identificados dos sitios para la construcción de una represa (fig. 1) :



- Angosto del Bala que es el objeto de un estudio en curso, en colaboración con el IHH y el SENAMHI.

- Cachuela Esperanza, cuyo interés inmediato reside en el aprovisionamiento de energía a los dos poblados de Guayaramerín y Riberalta.

Si en el caso del Angosto del Bala, es suficiente explotar los 21 años de observación directa en la estación, en el caso de Cachuela Esperanza, instalada en 1980, no se dispone más que de 26 meses completos de observación para el período 1980-1984, y de tres años completos de 1985 a 1987, es decir muy poco para poder establecer directamente las características útiles al proyecto de la presa.



Es conveniente en este caso, utilizar todas las posibilidades de una red, es decir buscar, río arriba o río abajo, estaciones de período de observación más largo y establecer las relaciones entre alturas o caudales en estas estaciones a manera de ampliar el período de estudio.

Así, río arriba de Cachuela, las estaciones instaladas a fines de 1983, sobre los 3 afluentes del Beni pueden permitir, a pesar de alargar el período de estudio, comprobar la coherencia de los caudales y confirmar así la validez de las medidas realizadas en esta estación.

Río abajo, un examen del recorrido de la red (fig. 2) pone en evidencia que, a partir de las observaciones en dos estaciones, Abuna sobre el Madera y Guayaramerín sobre el Mamoré, es posible deducir por diferencia, los caudales del Beni a Cachuela. Se puede escribir:

$$Q_{MAMO} + Q_{YATA} + Q_{BENI} + Q_{ABUN} + Q_{inter} = Q_{MADE}$$

$Q_{inter}$  siendo el caudal de la cuenca intermedia

De donde se deduce :

$$Q_{BENI} = Q_{MADE} - Q_{MAMO} - (Q_{YATA} + Q_{ABUN} + Q_{inter})$$

Los caudales del Madera y del Mamoré son proporcionados por las observaciones efectuadas del lado brasilero desde 1976 y 1970 respectivamente.

El caudal del río Abuna puede ser deducido de las medidas efectuadas en la cuenca del río Orthon que es adyacente y de características (físicas y climáticas) equivalentes a las del río Abuna.

Al evaluar, sobre estas mismas bases, los aportes del YATA y de la cuenca intermedia podemos deducir, teóricamente, el caudal de Cachuela Esperanza.

Una primera aproximación al paso de tiempo mensual deja ver una cierta distorsión entre los caudales calculados y los caudales medidos, distorsión que es la consecuencia del cúmulo de imprecisiones de la calibración en las cuatro estaciones de referencia.

En la práctica, sin pretender cuantificar este error, lo corregimos utilizando la curva empírica deducida de los valores correspondientes observados durante el período común.

De esta primera aproximación podemos deducir los caudales promedios mensuales desde 1976. Brindan una buena estimación de los aportes pero son insuficientes para un estudio minucioso del proyecto.

Intentamos por lo tanto, una segunda aproximación, con el mismo método, pero a paso de tiempo diario, tomando en cuenta los tiempos de propagación de estación a estación.

Se puede señalar que los caudales diarios y mensuales obtenidos están muy próximos a los observados cuando existen observaciones fiables.

Así, si comparamos estos dos caudales mensuales, a lo largo de los años 1984 y 1985 (ver cuadro 1), constatamos que la diferencia entre ambos valores es, tres veces sobre cuatro, inferior a 7% y que, a excepción del mes de Julio 1985, que presenta datos dudosos, la diferencia es siempre inferior a 20%.

A partir de estos datos, completamos los períodos de lagunas observadas en Cachuela y, llegado el caso, remplazamos los valores observados cuando, luego de los controles, son juzgados poco realistas.

Cuadro 1 : Comparación de los caudales promedios mensuales obtenidos por observación directa y por cálculo en Cachuela (1984-1985)

	ENE	FEB	MAR	AVR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Caud.Obs.	13500	19100	21400	17900	9390.	-	-	-	-	-	-	11000	-
Caud.Calc.	14400	19100	21100	18800	10000	7140.	5190.	2780.	2400.	3360.	8660.	10600	10300
Caud.Obs.	16800	17400	14100	11600	8390.	4660.	3920.	3800.	2990.	4260.	6980.	7920.	8570.
Caud.Calc.	16900	17200	14000	12500	9380.	5420.	2280.	3620.	3090.	3460.	7010.	7540.	8530.

Así, a través de este método, hemos llegado a recrear las observaciones que faltaban o defectuosas y a reconstituir las crónicas de caudal diario desde 1976.

Un rápido examen de los módulos calculados sobre el año hidrológico, de Octubre a Septiembre, traduce (fig. 3) la aparición de un ciclo más húmedo a partir de 1980-1981, ciclo que parecería - si la tendencia se confirma en 1987-1988 - terminar pronto. Este período húmedo aparece claramente también en la cuenca del Mamoré a partir de 1981-1982 y manifiesta la misma tendencia a decrecer.

Para juzgar mejor la hidraulicidad de este sitio y la regularidad interanual de los aportes, hemos realizado un examen estadístico de los módulos.

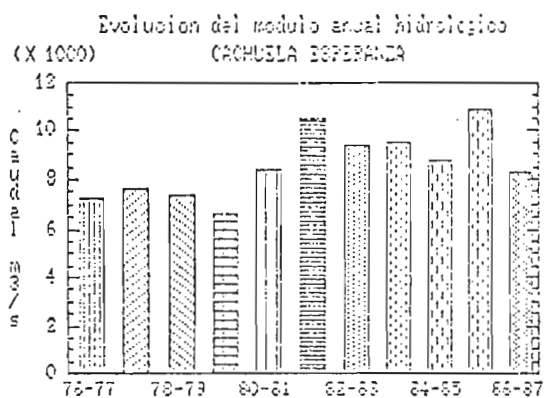


Fig. 3

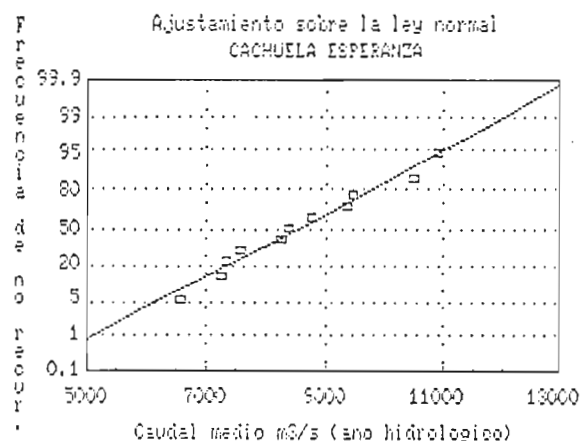


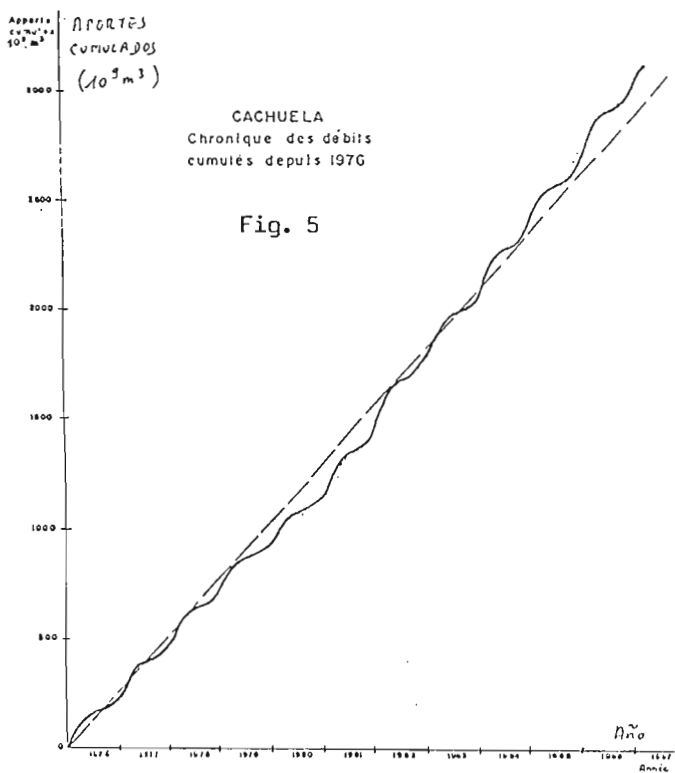
Fig. 4

En este sitio, relativamente próximo a los Andes y desprovisto de llanos de inundaciones, la estación de crecidas se diferencia claramente de la estación seca. Será por lo tanto más lógico considerar el caudal promedio calculado sobre el año hidrológico (de Octubre a Septiembre) que sobre el año calendario lo que confirma de hecho el ajuste de la ley normal (fig. 4) que es mucho mejor en el primer caso y de la cual deducimos las siguientes características:

Cuadro 2: Aportes anuales ( $\text{Km}^3$ )

	Año hidrológico	Año civil
Aporte promedio	270,6	268,5
Aporte centenal (H)	378,4	394,2
Aporte centenal (S)	160,8	145,1
Coefficiente de variación	0,42	0,37

Este coeficiente denota, para esta zona climática, una variabilidad bastante fuerte y por lo tanto la necesidad de prever una regulación interanual de los aportes.



Si en la represa de Cachuela Esperanza, supuestamente llena, se realiza una simulación de su funcionamiento en el período 1976-1986 no tomando en cuenta en una primera aproximación la evaporación estimada a 1400 mm/año, se vera en el gráfico de los aportes acumulados, (fig. 5) las variaciones estacionales, y anuales. La clara desviación de la curva a partir de 1981 traduce el período más húmedo, ya señalado.

En el caso óptimo en el que se quisiera explotar lo mejor posible las potencialidades hidroeléctricas de este sitio, se podría disponer de un caudal de  $8200 m^3/s$  lo que implicaría la construcción de una represa de más de  $150 Km^3$  de volumen útil. A pesar de esto, después de 1981, se debería vertir en promedio  $1500 m^3/s$ . Dicha represa es inconcebible en el plano económico tanto por su costo como por la ausencia de un mercado capaz de consumir los 1000 MW producidos.

En una segunda hipótesis, si nos contentamos con un caudal garantizado de  $6000 m^3/s$ , sabiendo que corresponde a una frecuencia de retorno de aproximadamente 20 años, es suficiente calibrar la represa para llegar a una regularización sobre el año y no interanual.



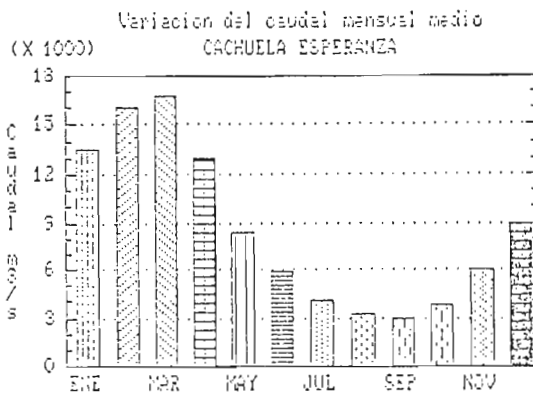


Fig. 6

En función a la distribución promedio de los aportes mensuales sobre el año (fig. 6) se puede estimar que un volumen útil de 22 mil millones de  $m^3$  sería suficiente pero, si consideramos el año en curso en el cual el módulo alcanza  $6000 m^3$ , se tiene que prever un vo-

lumen del orden de los  $35 Km^3$ . Según el levantamiento del nivel del agua debido a esta represa, la potencia disponible podría variar de 350 a 750 MW. potencia imposible de absorber en el contexto de desarrollo actual de esta región.

Los caudales máximos diarios varían de  $14400$  a  $26800 m^3/s$  con un promedio de  $20.000 m^3/s$  sobre 12 años. El ajuste de la distribución de Gauss es bueno pero mal adaptado a los extremos. Si se ajusta esta distribución en base a otras leyes como la de Frechet, Pearson III, Gumbel o Gausso-log, la estimación del caudal diario de frecuencia centenal varía de  $31000$  a  $34000 m^3/s$ . Dada la talla de la represa y la variabilidad del nivel en 24 horas, el caudal máximo instatáneo correspondiente no debería sobrepasar los  $35000 m^3$ . Según estas mismas leyes, un orden de amplitud del caudal milenario sería de  $40000 m^3/s$  pero, dada la brevedad de la serie de datos estudiados, 12 años, estos resultados deben ser considerados con reserva.

En la hipótesis más desfavorable, correspondiente a las necesidades actuales de esta región, un caudal de  $300 m^3/s$  es suficiente para producir los 15 MW necesarios.

Para no citar más que otra aplicación prevista para un futuro cercano, la explotación de los datos obtenidos sobre los afluentes del Mamoré, río arriba de Trinidad y que serán transmitidos por satélite a La Paz debería permitir, por la utilización de un modelo matemático, prever algunos días antes y con una buena precisión las inundaciones que afectan gravemente a esta región.

# ACTAS DEL SEGUNDO SIMPOSIO DE LA INVESTIGACION FRANCESA EN BOLIVIA



LA PAZ 19-22 de Abril 1988