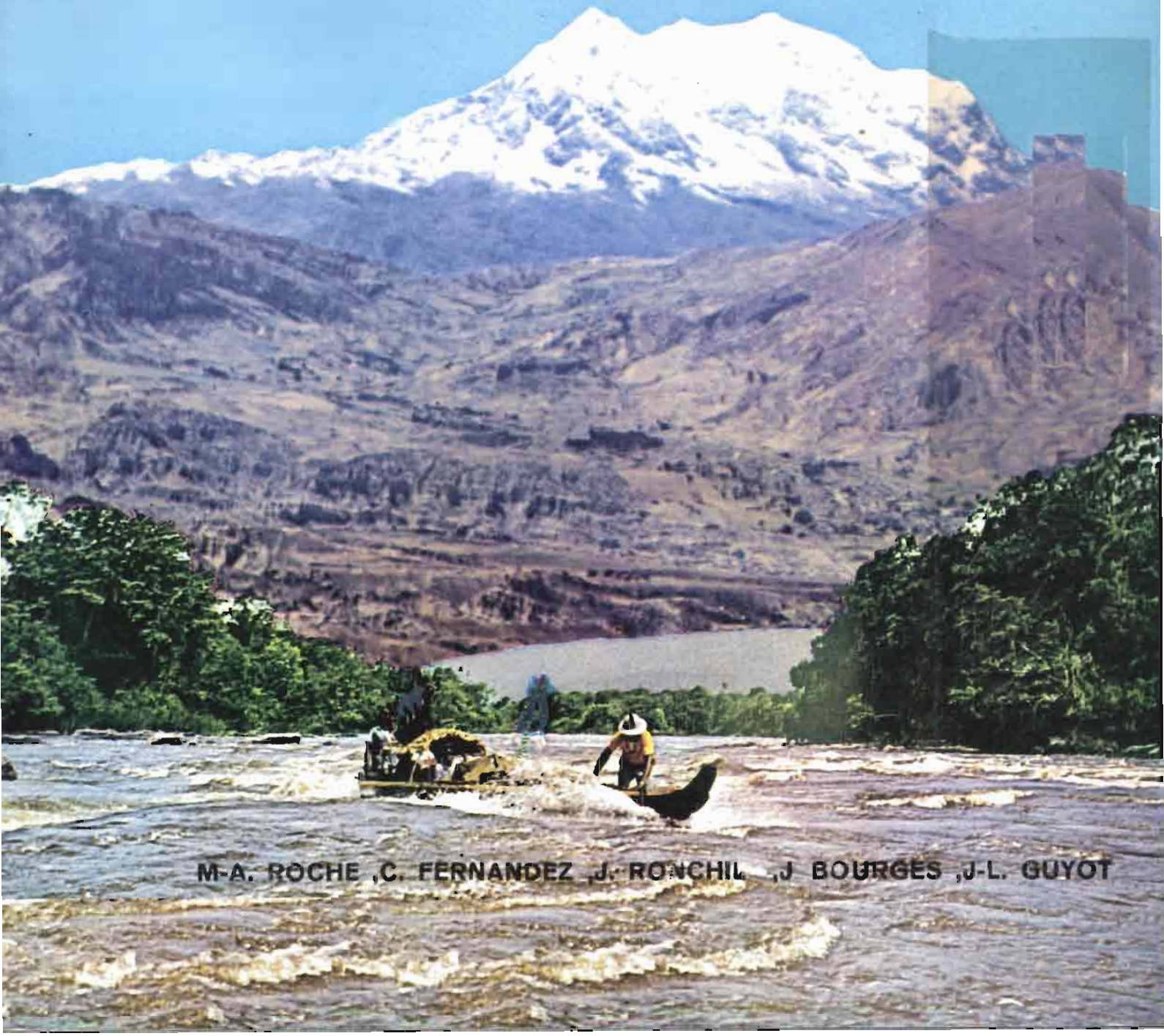
IHH IFEA

SENAMHI **PHICAB** ORSTOM

AASANA - IBTEN

PARTICIPACION DEL PHICAB EN EL SIMPOSIO DE LA INVESTIGACION FRANCESA EN BOLIVIA



M-A. ROCHE ,C. FERNANDEZ ,J. RONCHIL ,J BOURGES ,J-L. GUYOT

IHH IFEA

SENAMHI **PHICAB** ORSTOM

AASANA IBTEN

PARTICIPACION DEL PHICAB EN EL SIMPOSIO DE LA INVESTIGACION FRANCESA EN BOLIVIA

M-A. ROCHE ,C. FERNANDEZ ,J. RONCHAIL ,J. BOURGES,J-L. GUYOT

LA PAZ ,1986

PRESENTACION GENERAL DEL PHICAB

Michel-Alain ROCHE

El PHICAB es el Programa Climatológico e Hidrológico de Bolivia con una atención particular a la cuenca amazónica de este país.

Se realiza en común con un conjunto de organismos bolivianos y franceses. En este sentido convenios fueron firmados a partir de 1982 entre el ORSTOM y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y el Instituto de Hidráulica e Hidrología (IHH) de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), los cuales fueron renovados en 1984 y 1986. Participan también al PHICAB, la AASANA y el Instituto Boliviano de Técnicas y Ciencias Nucleares (IBTEN). A fines de 1984, un acuerdo fue firmado entre ORSTOM y el Instituto Francés de Estudios Andinos IFEA para una colaboración de este Instituto al Programa.

El programa está definido en los textos de convenios y resumido en un folleto de presentación.

El PHICAB trata de la climatología, de la hidrología y de la hidroquímica, isotopos y transportes sólidos de las aguas.

El Programa comprende por una parte trabajos operacionales en el campo y por otra parte el estudio del conjunto de los resultados obtenidos hace años en Bolivia, a los cuales están integrados los datos que se están adquiriendo en el marco de dicho Proyecto. Así, se elaboran síntesis de los conocimientos en estas áreas científicas.

Los medios de trabajos cuentan en el campo con embarcaciones y motores, aparatos hidrométricos y de mediciones físico-químicas necesarios. El Proyecto dispone de oficinas y el material de gabinete necesario. Dispone de cuatro microcomputadoras con discos de 8 pulgadas, disco duro y periféricos tales como pantalla gráfica, ploter, impresoras. Muchos programas informáticos han sido elaborados por los participantes al Proyecto por sus menesteres específicos.

CLIMATOLOGIA

- Estudio de las distribuciones espaciales y temporales en Bolivia de los parámetros climatológicos : lluvia, temperatura, presión, viento, humedad, insolación, evaporación.
- Estudio isotópico de las precipitaciones en función de la altura y en las aguas superficiales.
- Estudio de las anomalias climatológicas en Bolivia en relación con las situaciones meteorológicas determinadas por las circulaciones atmosféricas sobre América Latina.

HIDROLOGIA

- Instalación o mejoramiento de una red hidrométrica en la Cuenca amazónica desde el pie de los Andes hasta la formación del Río Madera para evaluar los aportes de los Andes y al Río Madera.
- Establecimiento de los balances hídricos de las grandes cuencas de Bolivia, con síntesis para el país, en relación con el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO.
- Realización de una síntesis sobre los regímenes hidrológicos de la Cuenca Amazónica, con caracterización y evaluación de las variaciones espaciales y temporales de los principales parámetros hidrológicos : alturas de agua; caudales diarios, mensuales, anuales; crecidas y aguas bajas; variabilidad de los volúmenes y recursos.

FISICO-QUIMICA Y TRANSPORTE SOLIDO DE LOS RIOS

- Estudio de las variaciones de las principales características químicas, de los isótopos y de las suspenciones de las aguas de la Cuenca Amazónica, en el espacio y el tiempo, con el establecimiento de los balances y regímenes hidroquímicos, y evaluación de riesgo de colmatación de presas.
- Investigación sobre la utilización de las características físico-químicas para la evaluación de los caudales.
- Caracterización de los diferentes medios acuáticos y calidad del agua para el abastecimiento y la irrigación.

La presentación de los resultados obtenidos en estos tres campos : climatología, hidrología, físico-química se harán a través de informes, notas, libros y de un atlas de mapas.

APLICACIONES DE LOS RESULTADOS

El conocimiento de la climatología e hidrología de Bolivia, en forma de documentos sintéticos es imprescindible para la planificación de su desarrollo, ya que toda actividad está bajo dependencia de dichos factores.

Así los resultados se aplicarán directamente para establecer una estrategia de lucha y adaptación contra las inundaciones y sequías. Servirán para planificar la ampliación de las carreteras, los transportes fluviales, y el desarrollo urbano e industrial. Se utilizarán también para evaluar el potencial hidroeléctrico, Estos resultados entrarán en la planificación de los recursos alimenticios tan prometedores de los llanos, tales como la ganadería muy dependiente de las inundaciones, la agricultura que deberá contar con la zonificación, la provisión climatológica y la irrigación; así mismo los recursos piscícolas cuya biología y biomasa están ligadas estrechamente al clima y la hidrología regional.

Además el estudio permitirá adelantar en el área de la hidrología, la climatología y la ecología de América del Sur con una contribución remarcable de Bolivia.

FORMACION DE PERSONAL

En el sentido de proporcionar medios al desarrollo de Bolivia, el Proyecto PHICAB asegura también una formación de campo y de estudios de gabinete a jóvenes Bolivianos en la especialidad de la Climatología e Hidrología.

En 1983 dos jóvenes Bolivianos beneficiaron de una beca de ORSTOM para una formación local. Contratados pués por el SENAMHI, uno de ellos pudo continuar su formación en la Universidad y el ORSTOM de Montpellier con un año de curso sobre la Hidrología Aplicada al Desarrollo. Un segundo se fue el año siguiente a Francia para el mismo curso. Beneficiaron de una beca del Ministerio de Relaciones Exteriores de Francia.

Por otra parte cuatro estudiantes egresados de la UMSA, becados de ORSTOM y seleccionados por el IHH, defendieron ya su tesis con estudios realizados en el PHICAB. Cinco otras tesis serían defendidas en 1986 y 1987, los trabajos estando en curso de conclusión.

De una manera general, los diferentes participantes al Proyecto PHICAB, tanto bolivianos como franceses, adquieren una formación complementaria "de contacto" por el trabajo realizado en común.

DISTRIBUCIONES ESPACIO-TEMPORALES DE LOS PARAMETROS CLIMATOLOGICOS SOBRE BOLIVIA

Michel-Alain ROCHE

Estos estudios, relacionados con otras partes del PHICAB tales como las anomalías climatológicas y la dinámica del clima,los balances y regímenes hídricos, contribuyen al conocimiento climatológico del país así como a su zonificación. Se aplicaran en particular a la agricultura y a cualquier proyecto de desarollo que involucra el clima y los recursos en agua.

S establecio primero el mapa de precipitaciones medio anuales sobre Bolivia y las regiones vecinas. Este trabajo permitió poner al punto la metodología apropriada al caso así como la técnica cartográfica y la impresión offset en La Paz. La meta final es constituir un conjunto de mapas climatológicos e hidrológicos, de tamaño 40 x 44 cm en el cual Bolivia entra a escala máxima de 1/4.000.000.

Otros mapas de esta categoría, para temperatura y evaporación están en preparación.

La distribución espacial de las lluvias aparece muy distinta según las regiones, mientras la distribución temporal tiene la misma forma en toda el área.

La variación estacional del clima es determinado por los movimientos de la Zona Intertropical de Convergencia (ZITC) y los movimientos de los anticiclonos atlántico y pácifico entre los cuales se mantiene muy frecuentemente un valle de bajas presiones sobre Bolivia (cf. J. Ronchail, 1985-1986).

En invierno austral, la ZITC alcanza las Antillas y los anticiclonos tropicales se establecen a sus latitudes más septentrionales, vecinas de la cuenca amazónica de Bolivia. Es la época seca, caracterizada por una estabilidad del aire, con sin embargo lluvias debidas a convecciones diurnas, pero a veces se producen intrusiones de aire del Sur, de origen polar con presencia de un frente frío que encuentra en esta época una masa de aire poca húmedo.

En el verano austral, la zona de convergencia vuelve hacia Bolivia pues oscila sobre el país. Es la época de lluvia que determina en final la distribución espacial. Los Alizeos que vienen del norte-este o del norte, así como turbulencias de la ZITC (vagadas) mantienen una masa de aire cuya húmedad se recicla a partir de la selva amazónica y que viene encontrar los Andes, estando así desviada

hacia el Sur-Este. Encuentra una masa de aire más seca venida del Sur, a veces verdadera masa polar que genera un frente frío. Esta masa es formada de una parte de aire del Pacífico, que parece haber perdido una gran parte de su humedad sobre los Andes del Sur del Chile, pués que transita sobre las zonas semi-aridas de Argentina, y de otra parte de aire atlántico venido del Sur-Este abandonando parte de su humedad en el Sur del Brasi y el Paraguay. Este aire del Sur se insinua en la llanura amazónica entre los Andes y los relieves del Escudo Brasileño.

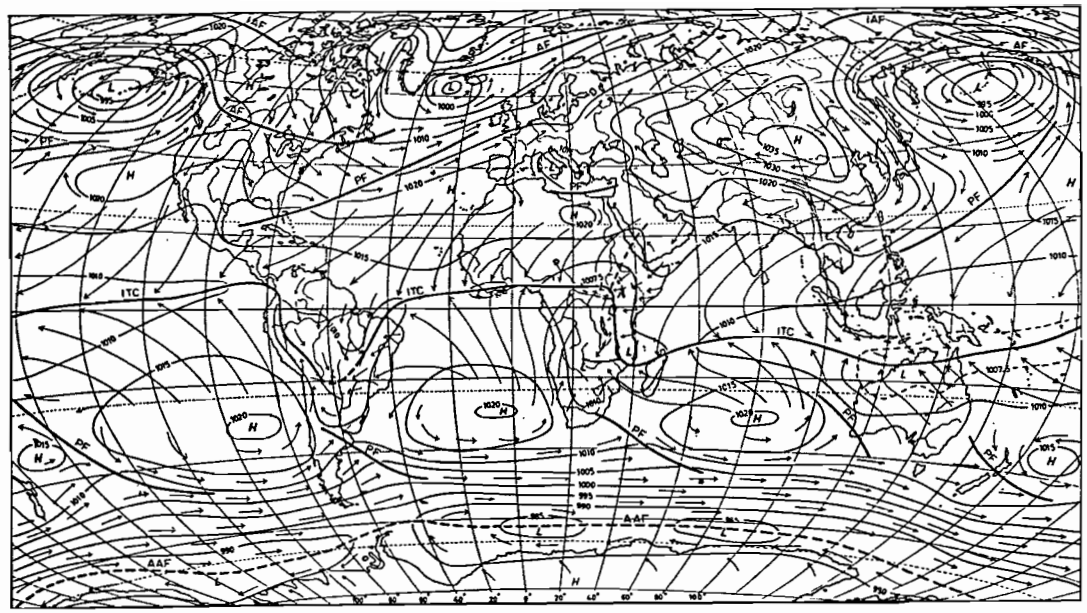
La influencia de esta masa de aire, muy marcada en el Sur de Bolivia, con precipitaciones inferiores a 600 mm, disminuye progresivamente hacia el norte de la llanura amazónica donde las precipitaciones alcanzan más de 2000 mm. El desvío del aire húmedo a lo largo de los Andes y su boloqueo en bahías de relieve, al contacte con los primeros cerros, condicionan fuertes precipitaciones en ciertas zonas como el Chaparé y el Perú donde las lluvias alcanzan 6000 a 7000 mm. Al contrario el bloqueo del aire húmedo por las cumbres de la Cordillera ponen al abrigo otras regiones tales como la de Cochabamba con pluviometría inferior a 500 mm, la mayor parte de la Cuenca del río Grande, la zona de Luribay. Además, la bajada del aire a estas zonas deprimidas no es favorable a las lluvias.

La influencia del aire humedo del Este va descreciendo en el Altiplano donde encuentra el aire seco venido del desierto peruano y chileno.

Debido a condiciones de estabilidad atmosférica muy fuertes, provocadas por la Corriente Humbolt, el desierto chileno es el más seco del mundo, con lluvias plurianuales inferiores a 1 mm en la costa. La pluviometría va aumentando con la altura hasta la cumbre de la cordillera para alcanzar 200 a 500 mm. Pués decrece de nuevo en el Altiplano con un mínimo de 200 en los Salares cuya influencia parece negativa sobre las precipitaciones. La influencia del Lago Poopó, con valores superiore a 400 mm parece el contrario positivo para las precipitaciones.

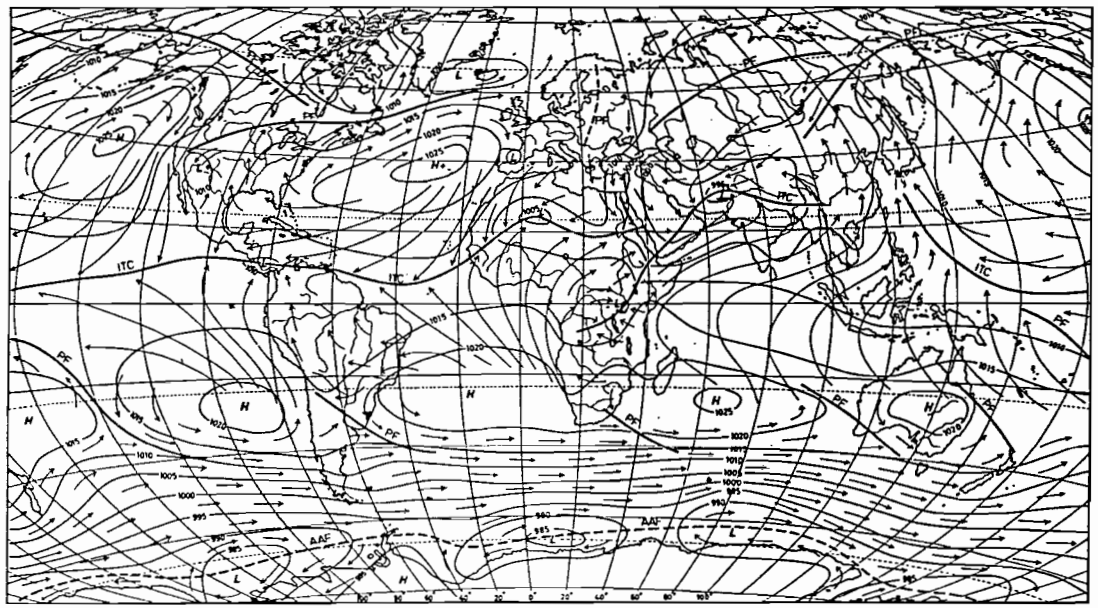
En el Norte del Altiplano se nota una influencia netamente positiva del Lago Titicaca que crea un aumento fuerte de las lluvias en su superficie, con valores superiores a 1200 mm en su centro. Esta influencia aparece concéntrica al Lago Titicaca hasta el Lago Poopó.

Así, este estudio trata de caracterizar las distribuciones climatológicas y explicar los grandes determinismos meteorológicos de las mismas, en relación con la circulación general y los fenómenos más locales como zonas deprimidas o expuestas al viente, lagos o salares de albedos diferentes.

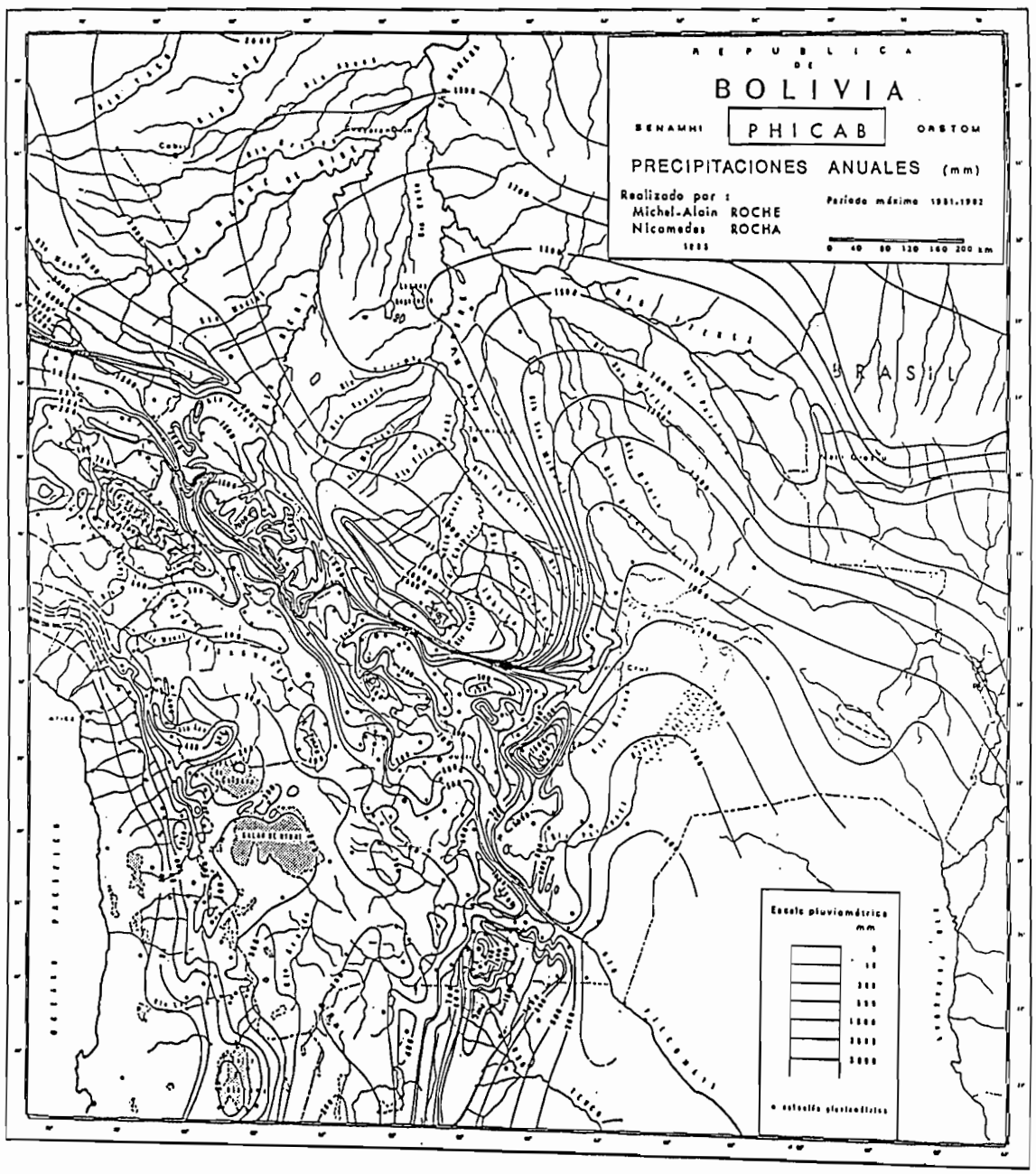


E N E R O

Presiones, vientos, zonas de convergencias y frentes. Esquema "promedio" en el mundo y en Bolivia, basado sobre datos de presiones para el periodo 1931-1960 (según Liljequist GH -1970- Klimatologi, Generalstabens Litografista Austalt. Stokholm).



J U L I O


REPUBLICA DE
BOLIVIA
SENAMHI
PHICAB
ORSTOM
PRECIPITACIONES ANUALES (mm)
Realizado por :
Michel-Alain ROCHE
Nicomedes ROCHA
Periodo máximo 1981-1982
0 40 80 120 160 200 km
BRASIL
Escala pluviométrica
mm

VARIACIONES CLIMATICAS EN BOLIVIA

METODO Y ENFOQUE DEL ESTUDIO

J. RONCHAIL

Estoy trabajando en el proyecto de hidrología y climatología de Bolivia con el fin de explicar las variaciones climáticas del país. Por que hace más calor o más frio ciertos años en el Altiplano o en el llano ? Por que ciertas zonas sufren sequías mientras otras sufren precipitaciones excesivas ? Tal es mi problema.

El Altiplano, por ejemplo, ha conocido muchos accidentes climáticos en los ultimos años, en particular en verano, periodo del año muy importante porque es el de la actividad vegetativa. En el verano 81-82 ya se registra un deficit pluviométrico. Durante el verano 82-83, año del Niño, un nuevo deficit esta registrado y las temperaturas son excepcionalmente fuertes; esos dos años con poca lluvia que se siguen, acarean una sequía muy grave para los campesinos del Altiplano.

En el 83-84, al contrario, las precipitaciones son muy abundantes en el Altiplano y, después del efecto de compensación que producen estas lluvias luego de la sequía anterior, empieza un proceso de saturación del suelo que, después de otros dos años lluviosos, conduce a la crecida del lago Titicaca del verano pasado.

En el llano se observan los mismos tipos de fenómenos; muchas veces pero no ocurren al mismo tiempo que en el Altiplano. Excepto estos eventos excepcionales que tienen graves consecuencias humanas y económicas, estudio también eventos menores que duran menos tiempo que los anteriores, como las nevadas en La Paz o los surazos en Santa Cruz. Esos también son importantes porque, al producirse muy frecuentemente, pueden modificar las características promedias de una estación.

¿ Como prever esos eventos climatológicos ?

Por eso hay que estudiar el pasado, tratando de comprender las causas de la lluvia o de su ausencia, las causas del frío o del calor en un lugar determinado.

Los principales medios de este estudio son por un lado, los datos climáticos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología y, por otra parte, los datos relativos a la circulación atmosférica en América del Sur, elaborados en mapas por la Administración Autonoma de los Servicios Auxiliares de la Navegación Aerea.

La circulación atmosférica es el conjunto de los movimientos de la atmósfera que producen, en un lugar determinado, llegadas de aire frío o caliente, enfrentamientos de masas de aire, ascendencia del aire propicia a las precipitaciones o, al contrario, descenso del aire propicio a la sequía.

La circulación atmosférica evoluciona a lo largo del año; así en verano, en Bolivia, vuelven las masas de aire calientes y húmedas desde las zonas ecuatoriales; en invierno, al contrario, ascienden las masas de aire frías polares, responsables, por ejemplo, de los surazos en Santa Cruz.

Pero, la situación de la atmósfera cambia también día tras día en una misma estación.

He descrito para Bolivia doce tipos de situación atmosférica consultando los mapas de la AASANA. Cada tipo de situación atmosférica esta caracterizado por la naturaleza de la masa de aire presente y por valores de presión, de dirección y fuerza del viento, de presencia o ausencia de frente. Generalmente, las situaciones se encadenan una a otra de un modo regular y conocido en ciertos casos. De tal modo que la presencia de una situación atmosférica hoy, deja prever cual sera la situación de mañana o del día posterior. Es el caso, por ejemplo, para la situación atmosférica que produce el surazo en Santa Cruz, que se puede prever tan pronto como el anticiclon sud-pacífico empieza a rodear por el sur los Andes chilenos y a proporcionar aire frío en el sur del continente.

Así se puede en ciertos casos prever la situación atmosférica que se producira el día posterior. Y, como a cada tipo de situación atmosférica corresponde una respuesta particular, es decir, valores de temperatura y lluvia particulares para un lugar determinado, se puede prever cuales seran las condiciones térmicas y pluviométricas de los días siguientes.

Si ciertas situaciones se repiten frecuentemente a lo largo de una estación, está adoptara las características térmicas y pluviométricas de esta situación atmosférica y se llegara a una estación excepcionalmente seca, lluviosa, etc...

Para que una situación se repite anormalmente, tiene que existir un desequilibrio en la circulación general de la atmósfera a nivel mundial. Este desquilibrio puede ser provocado por modificaciones del estado de los oceanos y particularmente de su temperatura.

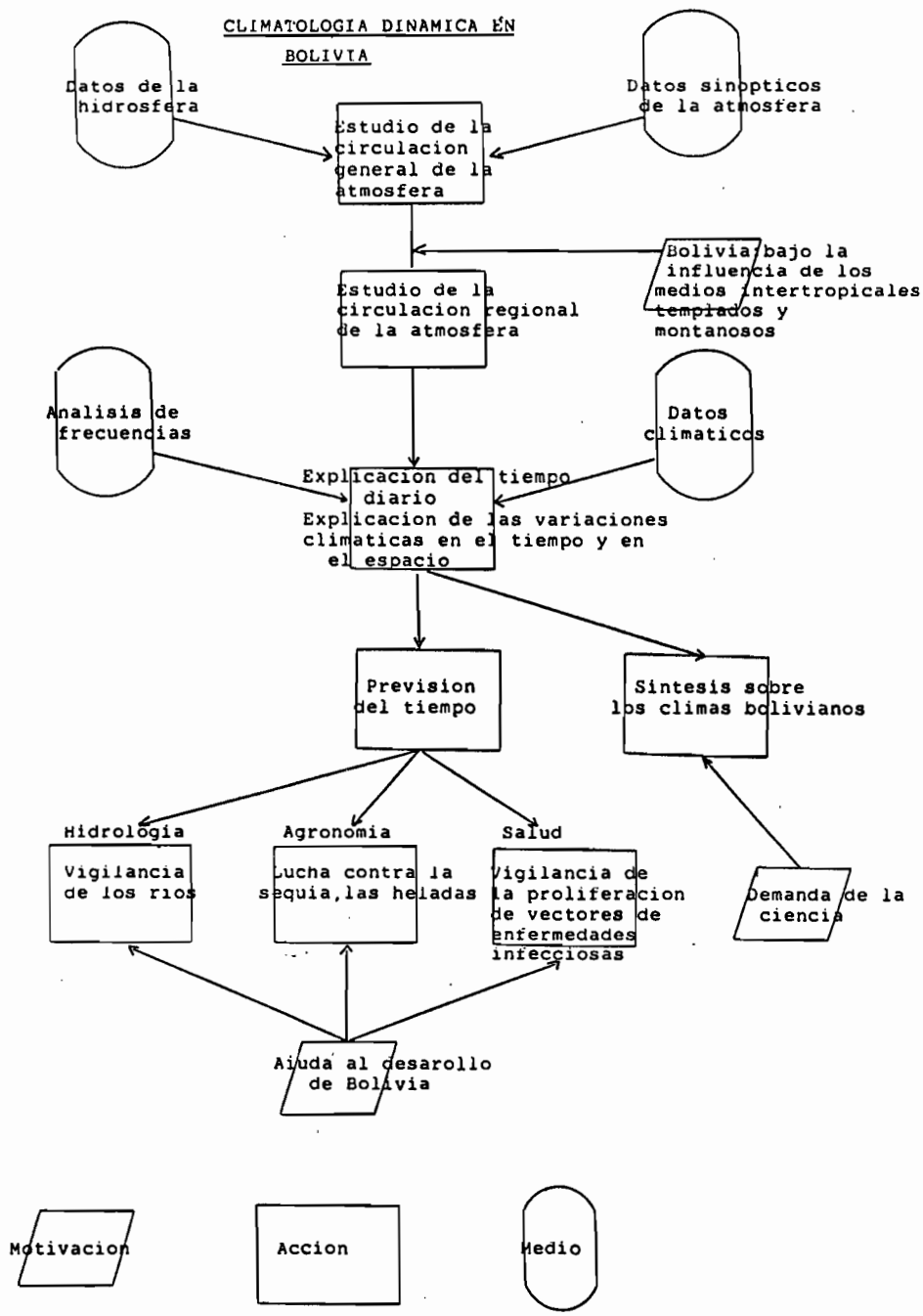
Normalmente, por la subida de aguas frías a lo largo de la costa del Pacífico, este lugar es una zona de descenso del aire y de sequía; esta rodeado por dos zonas de ascendencia del aire que favorecen las precipitaciones, situadas en el centro del Pacífico y en la cuenca amazónica. Pero, en 1982-83, las aguas frías de

la costa se encuentran cubiertas por las aguas calientes de la corriente del Niño y en consecuencia la costa del Pacífico se vuelve zona de ascendencia del aire mientras que, por compensación, las dos zonas vecinas, centro del Pacífico y Amazonas, se vuelven zonas de descenso del aire. La consecuencia de este trastorno durante el verano 82-83 es por un lado la caida de lluvias inhabituales y devastadoras en las costas peruanas y del Ecuador. Por otro lado, como las lluvias del Altiplano son estrechamente ligadas a las llegadas de aire húmedo del Amazonas, el Altiplano peruano-boliviano sufre una sequía muy fuerte.

Durante el verano 83-84, un año después, una otra anomalia se produce en la circulación general de la atmósfera. Mientras que por el lado del Pacífico, la situación ha vuelto a lo normal, las aguas del Atlántico sur se calientan anormalmente. Resulta que la zona de ascendencia del aire responsable de las lluvias de verano en América del sur, baja más hacía el sur que de costumbre y el Altiplano sufre una estación excepcionalmente lluviosa.

El interés de estos conocimientos es que el cambio de temperatura de los oceanos es progresivo y esta detectado con meses de anticipio en las estaciones marítimas. Entonces son fenómenos que, con algunos meses de anticipio, se pueden prever. Y, conociendo los efectos de la corriente del Niño, por ejemplo, sobre la circulación atmosférica, se puede, por consecuencia, prever cuales seran las condiciones térmicas y pluviométricas a producirse.

El estudio de la circulación atmosférica general y local, y de sus efectos sobre las características térmicas y pluviométricas de Bolivia es una aportación al conocimiento geográfico del país y del continente sud-americano. Y, además, permite establecer previsiones a corto plazo del tiempo cotidiano y a largo plazo de las eventuales variaciones climáticas. Toca después a los hidrólogos, a los agrónomos tomar en cuenta estos datos para establecer cuales son las obras a realizar para evitar inundaciones, luchar contra las heladas, las sequías, etc...


CLIMATOLOGIA DINAMICA EN BOLIVIA
Datos de la hidrosfera
Datos sinopticos de la atmosfera
Estudio de la circulacion general de la atmosfera
Bolivia, bajo la influencia de los medios intertropicales templados y montanosos
Estudio de la circulacion regional de la atmosfera
Analisis de frecuencias
Datos climaticos
Explicacion del tiempo diario
Explicacion de las variaciones climaticas en el tiempo y en el espacio
Prevision del tiempo
Sintesis sobre los climas bolivianos
Hidrologia
Agronomia
Salud
Vigilancia de los rios
Lucha contra la sequia, las heladas
Vigilancia de la proliferacion de vectores de enfermedades infecciosas
Demanda de la ciencia
Ayuda al desarollo de Bolivia
Motivacion
Accion
Medio

LA RED HIDROMETRICA DEL PHICAB
Y LOS PRIMEROS RESULTADOS OBTENIDOS

J. BOURGES

ZONA DE ESTUDIO

Aunque la zona de estudio de la parte hidrológica del proyecto PHICAB cubre toda la cuenca de afluentes del Río Madera, desde las cimas de los Andes, la actividad de campo y los primeros estudios estan particularmente interesados en los llanos del Amazonas que es la parte más desconocida.

MOTIVACIONES

El conocimiento del régimen hidrológico de los ríos cuya cuenca cubre cerca del 80% de Bolivia es primordial para la planificación del desarrollo de algunas regiones todavía poco o nada explotadas.

Este estudio debería indicar los medios de prevención tanto contra las inundaciones como contra la sequía y aportar el material necesario de trabajo de anteproyectos para el desarrollo.

Finalmente, dentro del marco de la cuenca del Amazonas la contribución de Bolivia para el conocimiento de sus recursos y regímenes fluviales, puede constituir un aporte importante a la síntesis regionales que llegaran.

MEDIO : LA RED HIDROMETRICA

A fin de poder observar y estudiar los principales cursos de agua, 13 estaciones hidrométricas han sido implantadas, desde los Andes hasta el afluente con el río Madera : cinco sobre la cuenca del Beni, y ocho sobre la del Mamoré. Aunque el número de estas estaciones parezca poca en relación a la superficie abarcada por los cursos de agua, es difícil

- las estaciones de la red -
(Abasto M. & Al. - 1985)

difícil aumentar la densidad de estaciones debido a la imposibilidad de encontrar observadores serios en estas regiones poco habitadas y, también debido al costo de mantenimiento y de explotación de estas estaciones.

En cada estación, un observador efectúa dos veces al día lecturas sobre la escala limnímetrica que indica el nivel del agua. Cuando se realiza una gira bimestral, un agente del PHICAB controla la calidad de las observaciones, mide el caudal, y si es necesario efectua el mantenimiento de las estaciones.

Cuando es imposible de contratar un observador competente, o cuando las variaciones del nivel de agua son rápidas, como en las estaciones al pie de los Andes, dos lecturas por día no son suficientes para restituir la forma de las curvas de variación. Entonces es conveniente instalar un limnígrafo, aparato que permite registrar continuamente las alturas de agua.

Aunque en algunos casos, como al momento de la previsión de las crecidas en caso de riesgo de inundaciones, el factor tiempo es preponderante y es muy importante obtener datos en tiempo real. Para esto se utiliza un teletransmisor y se asocia al limnígrafo un emitidor que por el intermedio de un satélite, Argos o Meteosat, o directamente por radio, transmite los datos al mismo instante a la estación de recepción del servicio hidrológico nacional.

METODOS

Todo estudio hidrológico se efectúa sobre la base de un caudal, que es el parámetro más representativo de un curso de agua. Es conveniente, por tanto conocer, con un máximo de precisión, las observaciones en el campo con carácter regular y permanente.

1. Medidas de campo

Todas las medidas de campo se hacen en relación a la escala limnimétrica que, cuando es posible, es referida a nivelación general.
Estas medidas conciernen :

- Las lecturas de las escalas efectuadas por el observador dos veces por día y que constituyen la base de los datos.
- Las medidas de caudal, llamadas aforos. En general, el método utilizado es el método punto a punto, a veces el método por integración. El punto de referencia dentro de la estación se efectua con un círculo hidrográfico o un telémetro.
  Una estación mejor equipada, posee un teleférico, actualmente en mal estado Angosto del Bala.
  Los otros métodos de aforos tales como los trazadores o, a fortiori, los ultrasonicos o el electromagnetismo, no estan utilizados en Bolivia.

2. Tratamiento de datos

A partir de las medidas de caudal efectuadas en el curso del año, a diferentes niveles de agua se traza la curva de calibración que permite para una estación determinada traducir las alturas observadas en aforos.

Esta relación una vez establecida debe ser controlada ya que por razones de cambio de lecho del río, o de intervención humana puede haber cambios.

3. Explotación de los datos

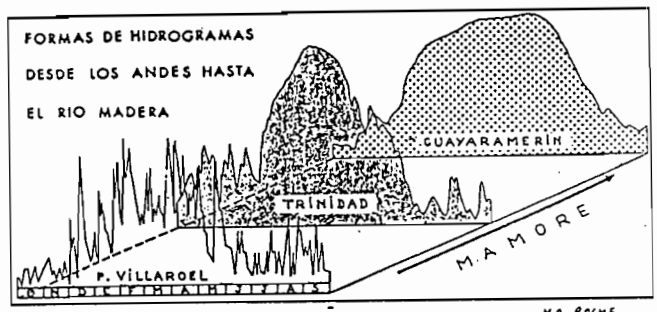
El estudio de estos resultados permite :

- El cálculo de los aportes anuales y el conocimiento del potencial hidraúlico utilizable para el desarrollo.
- El conocimiento de variaciones de los caudales, es decir el estudio del regímen hidrológico.
- A partir del estudio estadístico de los caudales éste también permite la predeterminación de las crecidas.
- Y finalmente crear y ajustar un modelo matemático de flujos que puede ser utilizado para la previsión de las crecidas.

RESULTADOS

1. Variación anual del caudal

Tanto en el Beni, como en el Mamoré el período de las crecidas de agua sobre las estaciones ubicadas a la salida de los Andes dura de 4 a 6 meses principalmente de enero a abril. A éste nivel, no hay máximos aparentes, y el hidrograma esta compuesto de una sucesión de crecidas y decrecidas.



- Fig 2 -

A medida que se desciende en el agua, y que penetra en la llanura amazónica, la curva se regulariza para formar una gran onda de crecida. El período de aguas altas se aplaza debido al tiempo de propagación de las crecidas y, al nivel de la confluencia con el Madera permanece de 4 a 7 meses, principalmente de marzo a junio sobre el Mamoré y un poco antes sobre el Beni; el máximo muy amortiguado interviene generalmente en abril o mayo (Fig. 3).

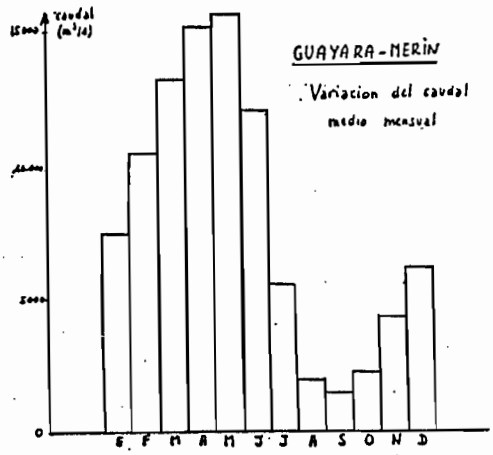


Fig. 3.

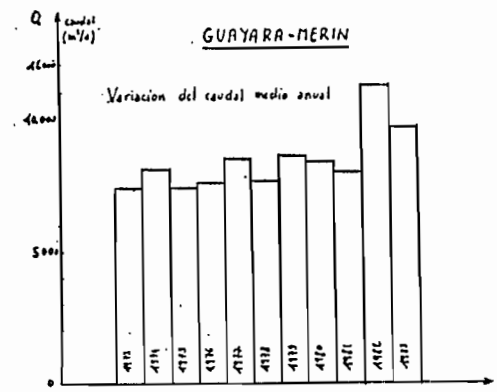


Fig. 4.

Sobre esta figura, se puede ver que los caudales medios anuales varian poco de un año a otro, excepto por el año 1982. Si nos interesamos por los aportes del Mamoré en Puerto Siles son más importantes que los del Itenez en la desembocadura.

APORTES DEL MAMORE

Nombre estación	Abapo	Puertos Siles	Vuelta Grande	Guayaramerin
Superficie Cuenca (Km^2)	60.000	220.000	310.000	580.000
Caudal medio anual (m^3/s)	260	4.500	2.500	7.400
Volumen aportado ($hm^3 = 10^9 m^3$)	8,2	142	79	233
Caudal especifico ($l/s/km^2$)	4,3	21,4	8,3	12,5

Sobre el río Beni, los caudales medios son más fuertes, y sobre todo los caudales específicos.

APORTES DEL BENI

Nombre estación	Angosto del Bala	Portachuelo	Cachuela Esperanza
Superificie cuenca (Km^2)	68.000	120.000	280.000
Caudal medio anual (m^3/s)	1.900	5.000	14.000
Volumen aportado ($hm^3 = 10^9 m^3$.)	60	158	441
Caudal especifico ($l/s/km^2$)	28	41,6	50

3. Caudales extremos máximos y mínimos

En numerosos casos, no es suficiente conocer los volúmenes globales de los aportes. También hay que determinar, en el caso de ciertos proyectos, los caudales máximos ó mínimos y su frecuencia de retorno. Para eso se utiliza el estudio estadístico.

3.1. Análisis estadístico de los caudales

Cuando los datos son bastante abundantes para que los métodos estadísticos tengan cierta representatividad, se utiliza para las crecidas máximas, mínimas o para los promedios ajustes sobre leyes estadísticas.

Las leyes generalmente usadas son :

- las leyes de Gauss,Galton, Pearson III para los caudales medios, anuales o mensuales.
- Las leyes de Gumbel, Frechet, Goodrich y Pearson III para los caudales extremos.

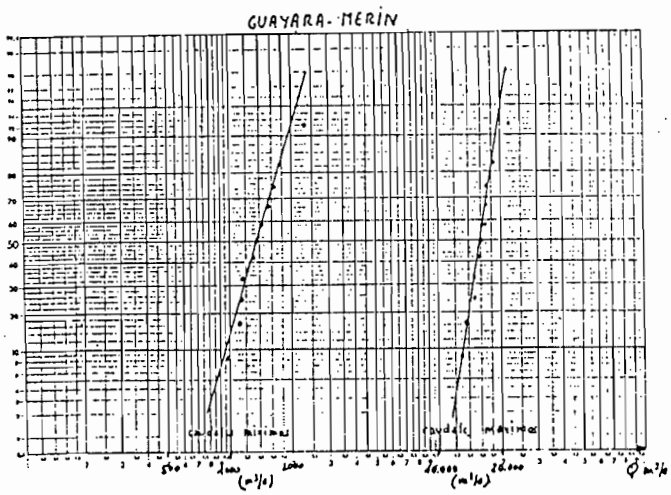


FIG-5-

El estudio de los regímenes hidrológicos es demasiado reciente para permitir tener en cuenta los resultados generales, pero por ejemplo se puede mencionar el ajuste de los caudales máximos conseguidos por el Brasil en Guayaramerin durante un periodo de 11 años (Fig. 5).

Excepto el año 1982 que, tanto por su estiaje, como por su crecida máxima es excepcional, el ajuste se hace bastante bien en relación con una ley de Gumbel. De este tipo de diagrama, se puede después sacar los valores de las crecidas decenales o vigésimales, secas o humedas y de los estiajes.

3.2. Crecidas máximas

Dada la brevedad del periodo de observación de las estaciones, solo se puede fundar estas estadísticas sobre periodos cortos y por consecuencia menos fiables. Entonces, en primera aproximación, tendriamos :

CAUDALES MAXIMOS

Cuenca	Estación	anual	decenal	veintenal
Mamoré	Puerto Siles	4.500	14.000	17.000
	Guayaramerin	7.400	20.000	24.000
Beni	Angosto del Bala	1.900	17.000	20.000
	Cachuela Esp.	14.000	40.000	45.000

sea un caudal específico de crecida decenal que varía de 30 a 60 $l/s/km^2$, en el río Mamoré y de 140 a 250 $l/s/km^2$ en el río Beni.

3.3. Estiaje

De la misma manera que para las crecidas máximas, tenemos en la cuenca del Mamoré :

CAUDALES DE ESTIAJE

	Caudal (m^3/s)		Caudal específico ($l/s/Km^2$.)	
	anual	decenal	anual	decenal
Puerto Siles	900	600	4,1	2,7
Guayaramerin	1.450	1.000	2,5	1,7

Tanto como para las crecidas máximas como para los estiajes, esos valores seran probablemente modificados a medida que el alargamiento del periodo de observación permitira de precisarlos.

CONCLUSION

Todos los resultados no constituyen más que el principio del estudio más amplio y más profundo. Son el fruto de una estrecha colaboración entre ORSTOM y SENAMHI en el seno del PHICAB. Se espera que las pérdidas de datos y la mala calidad de observaciones que nos han privado de buenas series de resultados en el pasado, debido principalmente a la insufisencia de las observaciones, cambiaran en el futuro.

LOS BALANCES HIDRICOS DE BOLIVIA

Michel-Alain ROCHE y Carlos FERNANDEZ JAUREGUI

El establecimiento de los balances hídricos superficiales de Bolivia, basado sobre el proceso de datos climatológicos e hidrológicos, representa una parte importante de los trabajos ya realizados en el PHICAB.

Dichos estudios se desarrollan conforme a convenios con el IHH de la UMSA y el SENAMHI, en coordinación con el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO. Cuentan con la participación de 8 egresados de la UMSA, quienes preparan tesis sobre estos temas, y benefician así de una formación concreta. Cuatro de ellos ya defendieron su tesis.

Los balances hídricos representan a nivel anual, así como plurianual, las relaciones entre lluvias, P, evaporación E y escurimiento Q. La ecuación en forma reducida se escribe :

$$Q = P - E \pm n$$

en la cual n es un factor de discrepencia representando la variación del almacenamiento subterraneo, mínima a causa del periodo largo tomado en cuenta, así como el error final de la evaluación. En el caso de los lagos, la ecuación es un poco más complicada.

El objetivo aplicado del balance es la cuantificación de los recursos hídricos de una cuenca, entrando por toda la superficie y saliendo por el río. Así se puede evaluar los recursos de aguas superficiales disponibles para el aprovechamiento de una cuenca, integrando también sus subcuencas. Estos resultados son imprescindibles para la planificación integrada de proyectos : hidroeléctricos, irrigación, abastecimiento de agua de ciudades y fábricas. Además, se proporciona un conjunto de resultados tales como mapas de zonificación climatológica e hidrológica indispensable para el establecimiento del balance, pero también a la planificación del desarrollo regional. Hace falta recordar por ejemplo que cualquier actividad en la Amazona está bajo dependencia de las aguas. Los resultados conseguidos serán extendidos con el estudio de los regímenes.

En el plan internacional, el establecimiento del balance hídrico de Bolivia es una contribución al conocimiento del balance hídrico de América latina. En esto Bolivia es uno de los primeros paises del continente.

Ocho grandes cuencas vertientes fueron distinguidas en Bolivia. Cuatro de ellas ya tienen el balance establecido, cubriendo más de 50% de la superficie (ver lista bibliográfica). Los estudios de las cuatro cuencas restantes serán concluido al inicio de 1987. Una síntesis a nivel de Bolivia se empieza a fines de 1986, cuya la publicación esta prevista para 1988.

La metodología esta conforme a las recomendaciones de la guía editada por la UNESCO para el establecimiento del balance hídrico de la América del Sur. A partir de datos básicos recompilados en varias entidades de Bolivia y de los paises vecinos para las zonas fronterizas, se establece ficheros primitivos por estaciones para las características pluviométría, temperatura, evaporación y escurrimiento. Se procede a una homogenización temporal, es decir un proceso de consistencia y una ampliación de los datos sobre un periodo común escogido de 1968 a 1982. Este principalmente por el establecimiento de curvas de doble acumulada y correlaciones entre estaciones ficticias constituidas sobre la base de grupos de estaciones vecinas (PPA, vectores). Así se elaboran ficheros operacionales de dichas características por estaciones.

A partir de estos datos, se dibujan mapas de lluvia y temperatura a escala 1/1.000.000, así como de evaporación real con evaluación basada sobre las formulas de Turc, Avellan, Contagne, Penman o/y Thornthwaite. También se pueden establecer a partir de este conjunto de mapas, o de los resultados obtenidos en estaciones hidrométricas instaladas en los ríos, mapas indicando características de escurrimiento; globalmente por cuencas o con isolineas de escurrimiento.

El trazado de los mapas toma en cuenta perfiles de variaciones en función a la altura, el mapa orográfico, el mapa ecológico así como las conecciones de las curvas de una cuenca a la otra o de las zonas fronterizas.

Si el escurrimiento R es conocido, el término de discrepencia n debe ser lo más pequeño posible. Si se revela demasiado grande, se procede a una nueva investigación para detectar eventuales causas y/o ajustes de los términos. Así aparece el interés del establecimiento del balance : detectar anomalías en el conjunto de los resultados climato-hidrológicos de una cuenca situadas en un sistema más amplio. Si R no es conocido la evaluación se hace por diferencia entre la lluvia y la evaporación estimadas pero el término de discrepencia queda desconocido.

Los mayores resultados ya disponibles están resumidos en el cuadro siguiente.

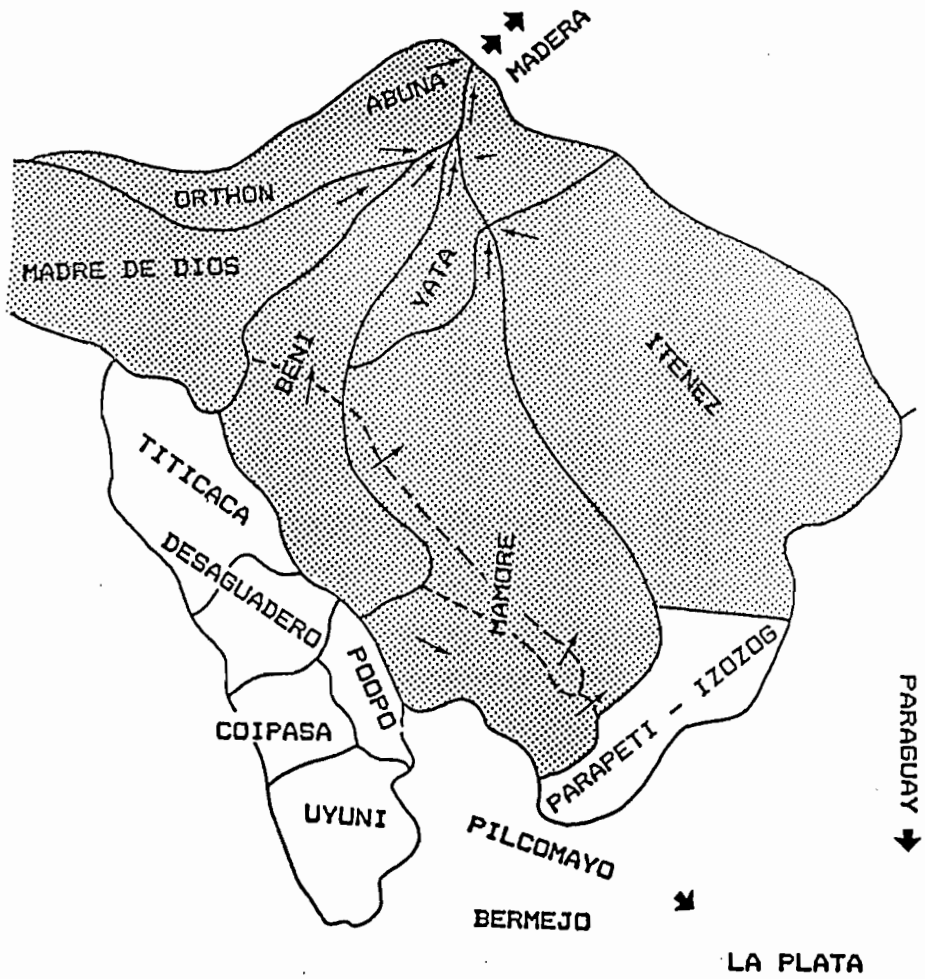


FIG. 1 : LAS GRANDES CUENCAS HIDROLOGICAS DE BOLIVIA

CUADRO 1 : BALANCES HIDRICOS DE LAS GRANDES CUENCAS DE BOLIVIA

	CUENCAS	LIMITES	SUPERFICIE Km 2	LLUVIA P mm	EVAPORACION E m m	ESCORRENTIA R m m	VOLUMEN ESC. 10^9 m^3	VOLUMEN ESC. %
AMAZONAS	Alto Beni	A. del Bala	67.540	1630	770	905	61	62%
	Llanura Beni	A. del Bala-Portachuelo	51.500	1925	1200	725	37	38%
	Beni	Portachuelo	119.040	1758	956	827	98	100%
	Grande	Abapo	59.840	751	614	137	8	6%
	C. Andinas Orient.	Límite de los Andes	29.000	3000	1200	1800	52	38%
	Llanura Mamore	P. Siles	127.400	1828	1224	604	77	56%
	Mamore	P. Siles	216.240	1687	1052	635	137	100%
PLATA	Madre de Dios	Miraflores	110.870		Previsto 1987			
	Itenez	C. More	310.000		Previsto 1986			
	Pilcomayo	Frontera	80.000		Previsto 1986			
	Bermejo	Frontera	15.000		Previsto 1987			
ALTIPLANO	Lago Titicaca	Desaguadero	52.980	977	1670**	Entrada 1038 Salidas sup.46 Salida subt,92	785	100%
	Desaguadero	L. Poopó	29.480	414	360*	52	1,5	
	Lago Poopó	Endorreico	27.740	370	315* 14731**	0	1,3-2,6	
	Salar Coipasa	Endorreico	30.170	242	187* 967**	0		
	Salar Uyuni	Endorreico	46630	193	129* 456**	0		

* Cuenca **Lago o Salar

EVOLUCION EN EL ESPACIO Y EL TIEMPO DE LAS CONCENTRACIONES DE MATERIA EN SOLUCION Y EN SUSPENSION, DE LAS AGUAS DE LA CUENCA AMAZONICA DE BOLIVIA

Jean-Louis GUYOT

Este estudio, parte integrante del proyecto PHICAB, tiene por finalidad seguir la evolución, dentro del espacio y el tiempo las principales características físico-químicas de las aguas de la cuenca amazónica de Bolivia.

LOS MEDIOS

- El muestreo -

La toma de muestras de agua esta a cargo :

* por una parte por los observadores de la red PHICAB que toman una muestra de 60 ml cada día, y al mismo tiempo miden la temperatura y la conductividad, y cada 15 días una muestra de un litro.
* por otra parte, durante las comisiones, por un agente del PHICAB que toma una muestra de un litro a cada estación.

- Los análisis -

Las muestras diarias de 60 ml recojidas durante las comisiones tienen por ojeto medir la conductividad, el pH y la turbiedad en el laboratorio del SENAMHI.

Las muestras de un litro provenientes tanto de la red como de las comisiones son analizadas de la manera siguiente :

- características físicas (conductividad, pH, turbiedad, color, materia en suspensión, residuos disueltos...) en el laboratorio del SENAMHI;
- análisis químicos (Ca, Mg, K, HCO_3, Cl, SO_4, NO_3, PO_4, SiO_2,..)
- en los laboratorios de la UMSA y del IBTEN;
- análisis de los sedimentos en el laboratorio del IBTEN.

LOS PRIMEROS RESULTADOS

- Evolución en el espacio -

A fin de conocer los diferentes medios ecológicos de la cuenca amazónica, las campañas de recolección de agua estan realizadas sobre toda la cuenca en periodos hidrológicos remarcables.

Estos muestreos son efectuados en un tiempo corto (un mes) y concierne además de las estaciones de la red, un gran número de ríos y lagunas desde los nevados de los Andes hasta los llanos orientales.

Los resultados de estas campañas permiten realizar mapas de distribuciones de los diferentes parámetros analizados, caracterizando los diferentes ecosistemas en un tiempo dado (fig. 1).

Los resultados de estaas campañas más los obtenidos sobre la red durante el curso de un año, muestran que las aguas proveniente de los glaciares andinos o directamente de las lluvias (agua muy debilmente mineralizada) se carga con iones y con materia en suspensión en todo el trayecto obteniendo su valor máximo a la salida de los Andes (fig. 2).

Después, estas aguas fuertemente cargadas, llamadas aguas blancas son progresivamente diluidas por las aguas negras típicas del Amazonas que tienen muy poco concentración de elementos en solución y en suspensión.

A partir de los mapas elaborados, podemos poner en evidencia algunos fenómenos particulares, como por ejemplo, la contaminación de los ríos que atraviesan las grandes ciudades, los cuales obtienen concentraciones de nitratos elevados.

Los parámetros medidos, una vez que representan un número importante, pueden ser analizados estatisticamente. Así la distribución de frecuencia de las conductividades medidas sobre toda la cuenca en un tiempo dado, siguen una ley log-normal (fig. 3).

- Evolución en el tiempo -

La evolución en el tiempo de la físico-química de las aguas de la cuenca amazónica, es estudiada a partir de los datos obtenidos de las muestras que vienen de la red.

La medida diaria de la conductividad permite apreciar la evolución del quimismo global en funcion del caudal (fig. 4).

Remarcamos una evolución inversa de la conductividad y del caudal con las más fuertes concentraciones en aguas bajas y las más débiles en aguas altas, que traduce un fenómeno de dilución por las aguas de lluvia.

Este estudio de la evolución de las concentraciones en solución y en suspensión va dar precisión sobre los mecanismos hidrológicos que son el origen de los fenómenos de erosión y sedimentación. Asi mismo, el análisis de sedimentos transportados va dar indicaciones complementarias.

A partir de las concentraciones de los diferentes afluentes, es posible evaluar el caudal relativo de cada uno de los mismos. Por ejemplo, el caudal del Itenez a podido ser evaluado aproximadamente a 0.34 veces del caudal del Mamore a Guayaramerin.

Con la ayuda de los datos sobre los regimenes hidrológicos una aproximación de los regimenes hidroquímicos permiten el cálculo del balance de la exportación de materia dando asi una idea de la erosión actual (Cuad. 1).

Los análisis estatísticos de la distribución de frecuencia de las conductividades (quiere decir concentración en solución) y de las materias en suspensión, sobre un largo periodo de observación, permite ver una evolución dentro del comportamiento hidrodinámico de estos ríos, desde los Andes hasta los llanos (fig. 5).

Notamos, a la salida de los Andes (Puerto Villarroel, Abapo), distribuciones extendidas plurimodales, que presentan después en los llanos una dispersión más débil con una distribución generalmente unimodal.

Las distribuciones presentan una repartición plurimodal extendida, correspondiente a datos dispersos, que significan :

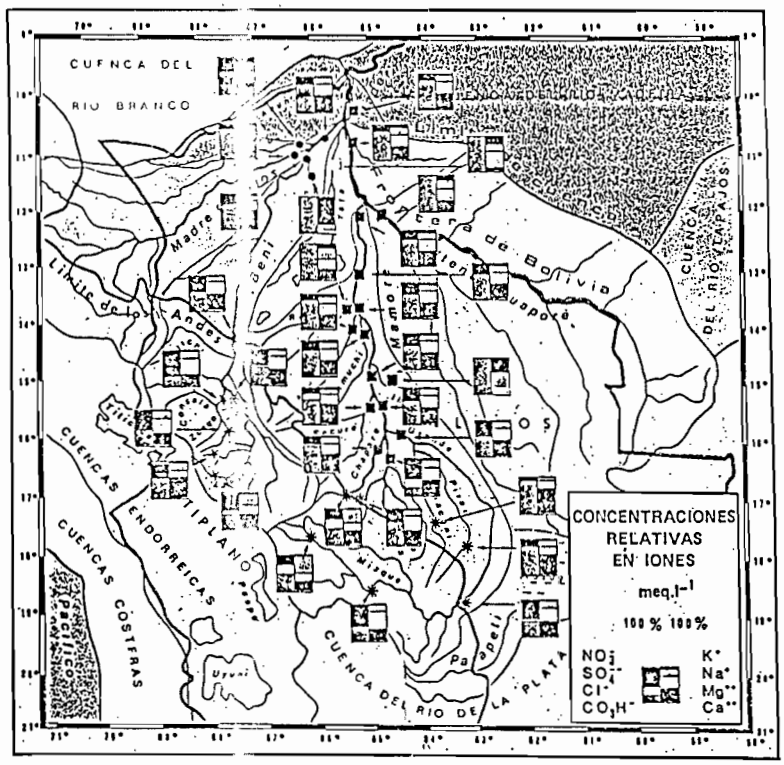
* ya sea una heterogeneidad de la cuenca,
* ya sea una heterogeneidad del regimen de las lluvias.

EL INTERES DEL ESTUDIO

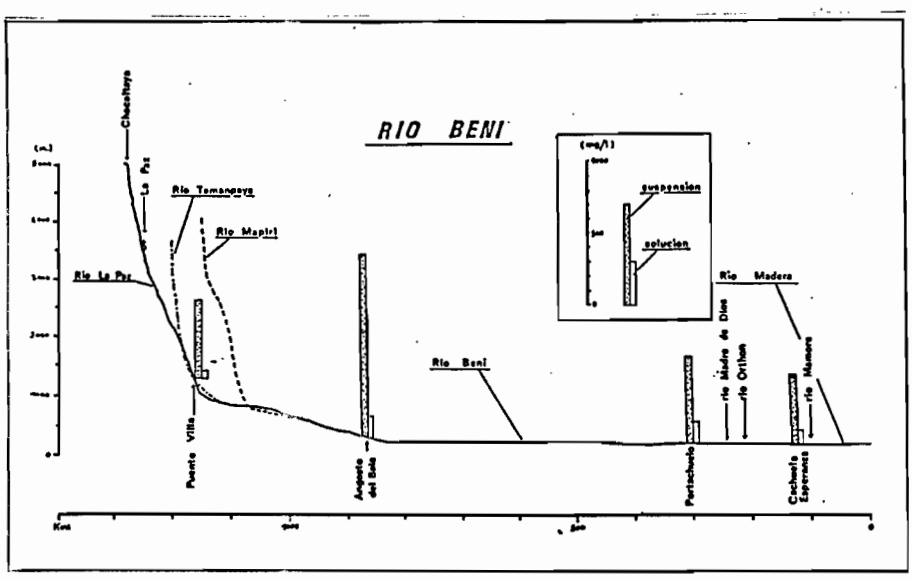
El interés de un estudio físico-químico de la cuenca amazónica de Bolivia, además de conocer el medio ecológico, reside dentro de la implicación primordial de la calidad de las aguas para el desarrollo agrícola, piscícola urbano e industrial de esta región.

Este estudio, también aporta indicaciones sobre ciertos fenómenos como la contaminación, y puede servir para la búsqueda de algunos elementos metálicos.

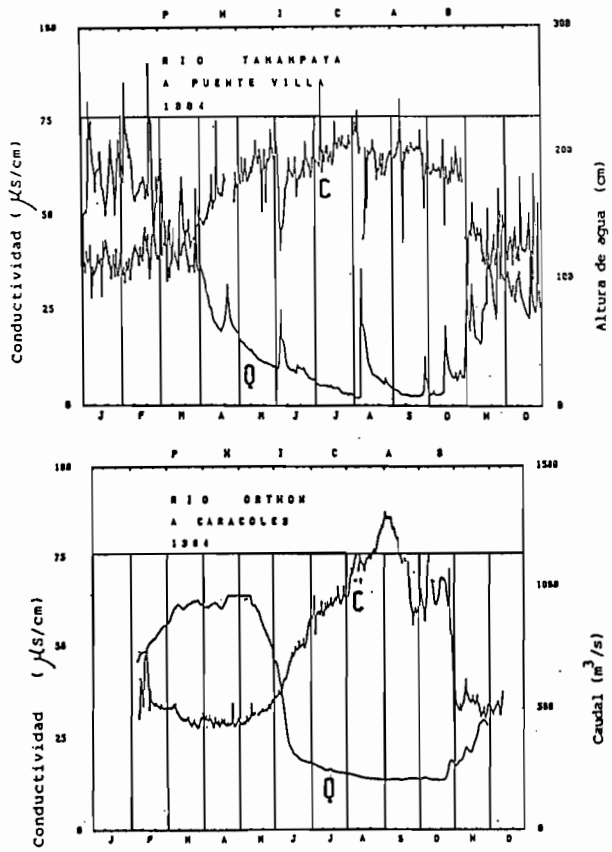
El estudio de los balances y de los regímenes hidro-químicos, además de la evaluación de la erosión de la cordillera andina, da indicaciones utiles sobre las tasas de sedimentaciºon que interesa a los proyectos de presas de agua.



- Mapa de las concentraciones relativas en iones -
(Roche M.A. & al. - 1986)
- Fig. 1 -



- Evolucion de la materia en solucion y en suspension en el perfil longitudinal del rio Beni -
- Fig. 2 -

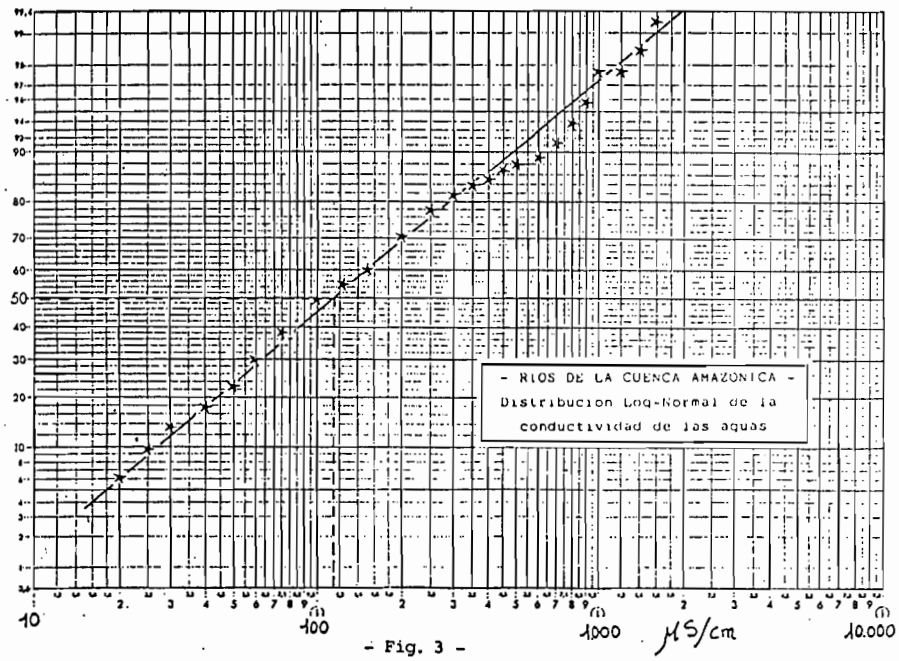


- Evolucion anual de la conductividad del agua y del caudal
(Apoteker A. & al. - 1985)

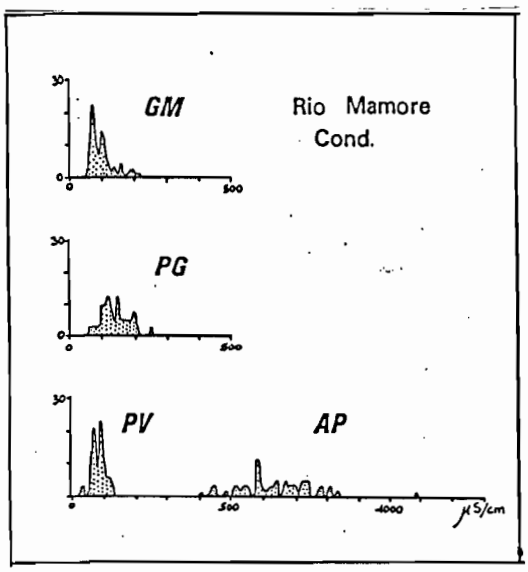
- Fig. 4 -

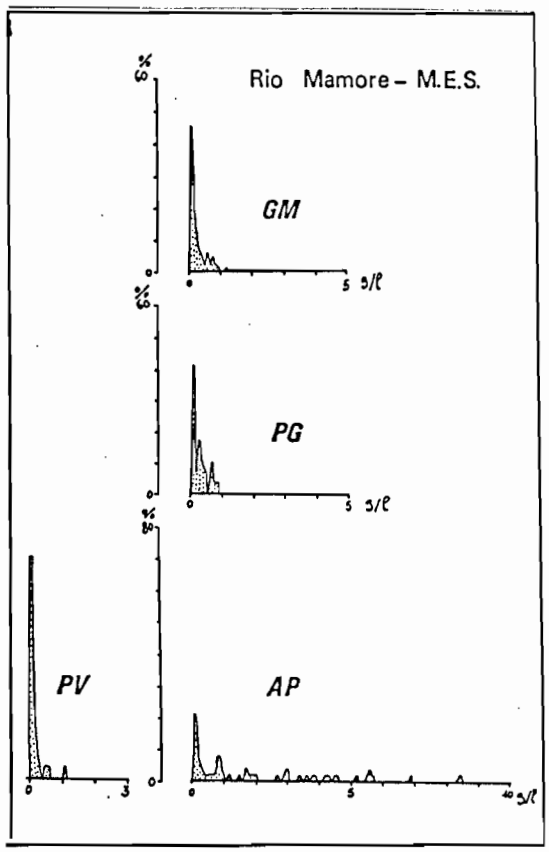
	Lugar	Rio	Caudal (m^3/s)	Conc. sol. (mg/l)	Conc. susp. (mg/l)	Materia exportada (Ton./KM^2.ano)	Materia exportada (mm/1000 Anos)
SALIDA DE LOS ANDES	ABAPO	GRANDE	260	400	2750	430	250
	ANGOSTO DEL BALA	BENI	1900	120	1220	1180	695
LLANOS	GUAYARAMERIN	MAMORE	7400	85	230	125	75
	CACHUELA ESPERANZA	BENI	14000	70	435	795	465

CUADRO 1



- Fig. 3 -





- Distribucion de frecuencia de la conductividad y de la M.E.S. en el rio Mamore -

- Fig. 5 -

P H I C A B

LISTA DE PUBLICACIONES
(Septiembre 1986)

ABASTO N, HOORELBECKE R,ROCHE MA, et al (1985). Características y calibración de la red hidrométrica PHICAB en la cuenca amazónica de Bolivia. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM,120 p.

ABASTO N, HOORELBECKE R, ROCHE MA, RUBIN DE CELIS L (1985). Alturas de agua y caudales, limnígramas y hidrógramas de la red hidrométrica PHICAB en la cuenca amazónica de Bolivia. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM,70 p.

APOTEKER A,ROCHE MA,RUBIN DE CELIS L (1985). Programas informáticos para el procesamiento de datos de conductividad de agua,PHICABC. Goupil 3 Flex 9 Basic 8" ploter.PHICAB: SENAMHI-ORSTOM, 2I p.

ESPINOZA OF (1985) Balance hídrico superficial de la cuenca del Río Beni. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM-IHH Tesis UMSA,181p.

GARCIA WA (1985). Balance hídrico superficial de la cuenca del Río Mamoré. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM-IHH Tesis UMSA,110 p.

GUZMAN WD, ROCHE MA (1985). Programas de análisis pluviométricos (consistencia de datos mensuales para 50 estaciones,hietógramas mensuales de series de 30 años,análisis mensuales de la estación seca y humeda para series mensuales de 30 años). Flex 9 BASIC GOUPIL 8" ploter. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM-IHH,24 p.

LOZADA GA (1985). Balance hídrico superficial de la cuenca del Lago Titicaca. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM-IHH.Tesis UMSA, 158 p.

MARIACA JJ (1985). Balance hídrico superficial de la cuenca del Lago Poopo y los salares de Uyuni y Coipasa-Bolivia. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM-IHH. Tesis UMSA 203 p.

ROCHE MA (1982). Les conditions d'une étude hydrologique en Amazonie Bolivienne. PHICAB: ORSTOM, 31 p.

ROCHE MA, CANEDO M (1984). Programa Hidrológico y Climatológico de la Cuenca Amazónica de Bolivia. Plaquette de présentation du PHICAB: SENAMHI-ORSTOM, Folleto 4 p.

ROCHE MA, ROCHA N (1985). Mapa pluviométrico de Bolivia y regiones vecinas, 1/4 000 000. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM, 1 hoja offset

ROCHE MA, ABASTO N,TOLEDE M,CORDIER JP,POINTILLART C (1986). Mapa de las salinidades ionicas de los ríos de la Cuenca Amazónica de Bolivia. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM-LHM, 1 hoja offset.

ROCHE MA, ABASTO N, TOLEDE M, CORDIER JP, POINTILLART C (1986). Mapa de las concentraciones en aniones de los ríos de la Cuenca Amazónica de Bolivia. PHICAB: ORSTOM-SENAMHI-LHM, 1 hoja offset.

ROCHE MA, ABASTO N, TOLEDE M, CORDIER JP, POINTILLART C (1986). Mapa de las concentraciones en cationes de los ríos de la Cuenca Amazónica de Bolivia. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM-LHM ,1 hoja offset.

ROCHE MA,FERNANDEZ C,APOTEKER A,ABASTO N,CALLE H,TOLEDE M,POINTILLARD C, CORDIER JP (previsto I986) . Reconocimiento de las salinidades de los rios de la cuenca amazonica de Bolivia,PHICAB : SENAMHI-ORSTOM-IHH.

RONCHAIL J (1985) Situations météorologiques et variations climatologiques en Bolivie (Situations météorologiques - Analyses de séries climatiques - Inventaire de saisons exceptionnelles). PHICAB: SENAMHI-ORSTOM-IFEA-AASANA, 60 p.

RONCHAIL J (1985). Relations de saisons remarquables avec la structure de l'atmosphère et les situations météorologiques sur l'Altiplano péruano-bolivien. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM-IFEA-AASANA, 38 p.

RONCHAIL J (1986). Variations climatiques hivernales à Santa Cruz de la Sierra.Amazonie bolivienne. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM-IFEA-AASANA. Communication au Symposium Ecologique-Impacto del Desarollo en la Ecologia del Trópico Boliviano, Santa Cruz 1986, 16 p.

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

RONCHAIL J (1986). Situations atmosphériques et températures comparées sur l'Altiplano et l'Amazonie - Bolivie. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM-IFEA-AASANA (previsto).

RUBIN DE CELIS L, ROCHE MA (1985). Programas informaticos para el procesamiento de datos hidrométricos básicos PHICABHQ. Goupil3 Flex9 BASIC 8" ploter. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM, 58 p.