

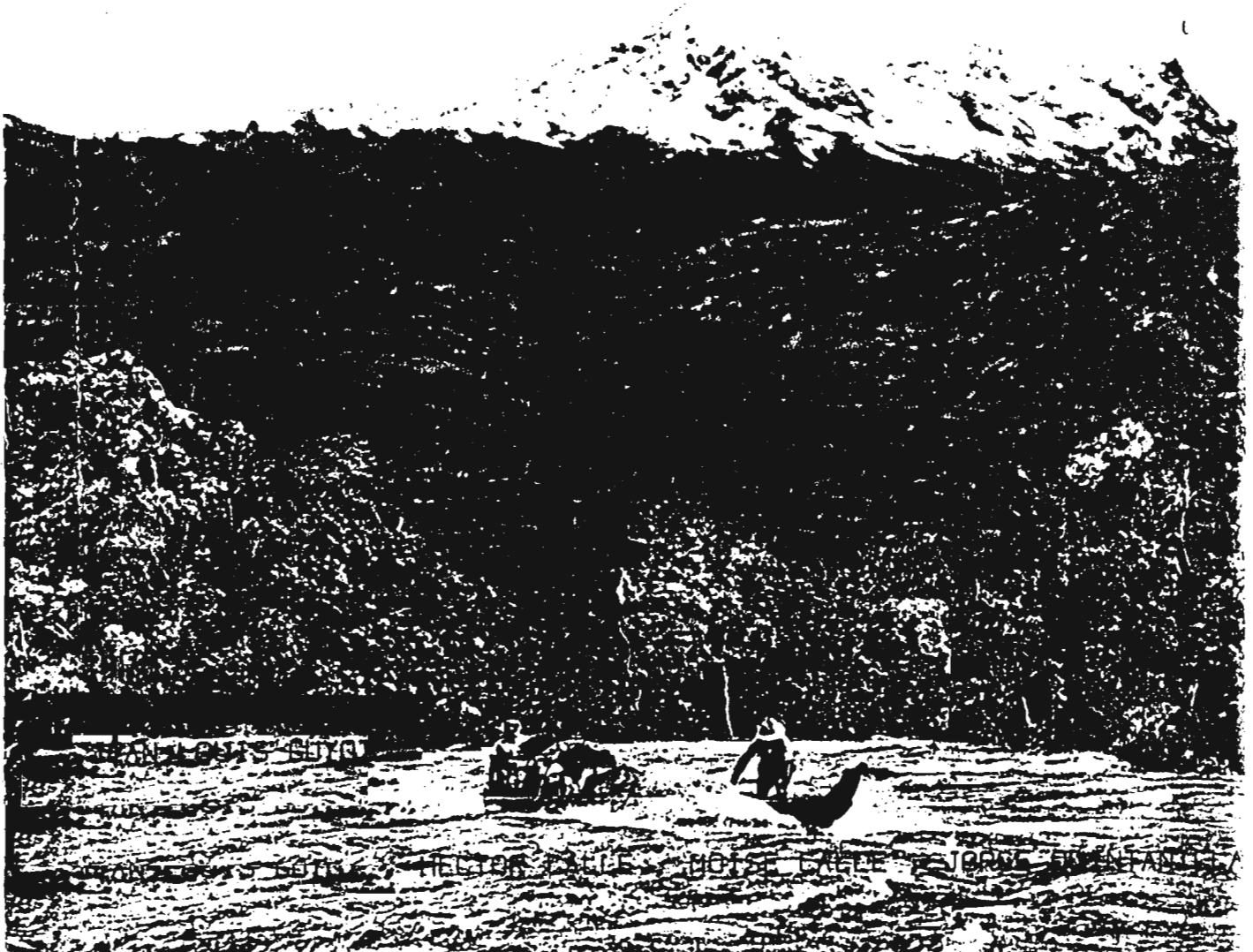
110

SENAMHI

PHICAB

ORSTOM

RESULTATS D'UNE CAMPAGNE D'ECHANTILLONNAGE
EN BASSES EAUX
EN AMAZONIE BOLIVIENNE
EN AOUT-SEPTEMBRE 1986



Jean-Louis GUYOT

RESULTATS D'UNE CAMPAGNE D'ECHANTILLONNAGE EN
BASSES EAUX EN AMAZONIE BOLIVIENNE
Août-Septembre 1986

Jean Louis GUYOT (1), Hector CALLE (2), Moïses CALLE CONDE (3)
& Jorge QUINTANILLA (3)

- (1) : Mission ORSTOM - C.P. 8714 - La Paz - BOLIVIE
(2) : S.E.N.A.M.H.I. -
(3) : I.I.Q. - U.M.S.A. -

I - INTRODUCTION -

Le PHICAB (Proyecto Hidrologico y Climatologico de la cuenca Amazonica de Bolivia), issu d'une convention entre l'ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération) et le SENAMHI (Service National de Météorologie et d'Hydrologie), puis plus récemment avec l'UMSA (Université de San Andres - La Paz), a pour but l'étude de la climatologie, de l'hydrologie et de la physico-chimie des eaux du bassin versant amazonien de Bolivie

Afin de connaître la variabilité spatiale des différents paramètres de la qualité des eaux du bassin versant amazonien de Bolivie (S=744000km²), des campagnes de prélèvements sur l'ensemble du bassin sont effectuées à des périodes hydrologiques particulières (hautes eaux, étiage).

Une campagne réalisée en Août et Septembre 1986 a permis la collecte de 161 échantillons appartenant à des écosystèmes très variés, depuis les glaciers andins jusqu'aux fleuves amazoniens (fig. 1), recoupant des zones à géologie, climatologie et couverture végétale très différentes.

L'interprétation des résultats obtenus le long des grands fleuves et sur l'ensemble du bassin à l'aide d'une méthode d'analyse multivariée, va permettre de caractériser chimiquement ces différentes zones géographiques.

II - LES RESULTATS -

Les points de prélèvement sont répartis entre 180 et 4800 mètres d'altitude avec toutefois un pourcentage plus important pour les valeurs inférieures à 750 mètres (fig. 2) correspondant aux prélèvements en plaines amazoniennes et au piedmont des Andes.

VIA

Distribution de frequence

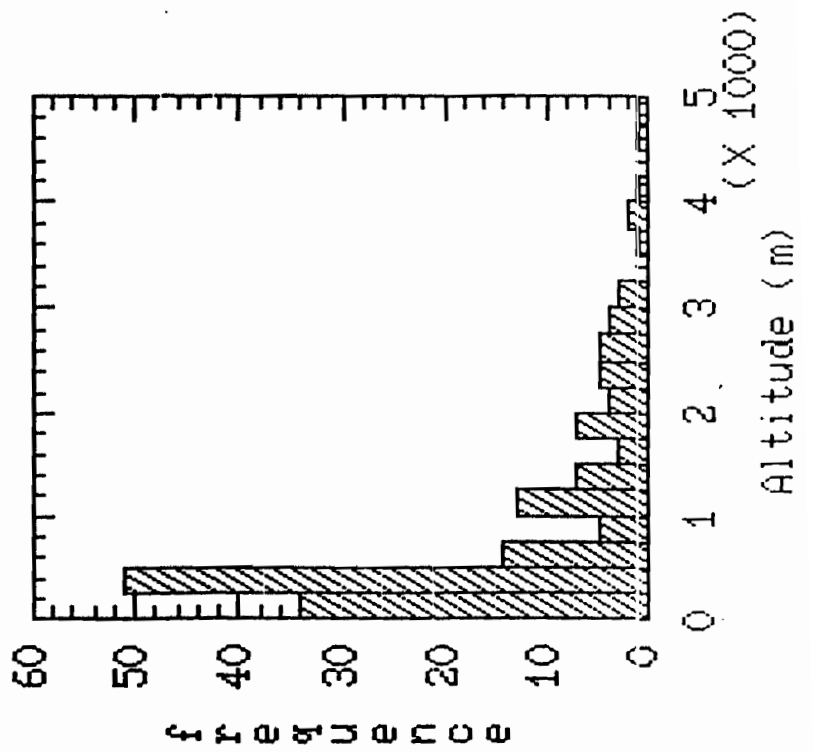


Fig. 2

Ichilc

Chaque échantillon fait l'objet des mesures et analyses suivantes : température et conductivité sur le terrain ainsi que conductivité, pH, couleur, turbidité, matières en suspension, résidu sec, bicarbonates, carbonates, chlorures, sulfates, calcium, magnésium, sodium, potassium, fer, manganèse et silice aux laboratoires du SENAMH (El Alto - La Paz) et de l'UMSA - IIQ (Cotacota - La Paz).

Le tableau 1 donne les valeurs caractéristiques des différents paramètres. A remarquer que tous les échantillons ont des teneurs en Manganèse nulles.

L'observation du tableau indique que les prélèvements concernent des eaux très contrastées avec des valeurs de :

- * température de terrain variant de 0 à 31 degrés Celsius
- * conductivité variant de 1 à 2286 MicroSiemens/cm
- * minéralisation totale variant de 4 à 1554 mg/l
- * matières en suspension variant de 0 à 4366 mg/l
- * pH variant de 4.9 à 9.6 unités pH
- * Couleur variant de 0 à 320 unités Pt/Co

Les distributions de fréquence des paramètres globaux (Conductivité et Matières en Suspension), qui suivent une loi Log-Normale, montrent cette dispersion (fig. 3).

Certains paramètres sont étroitement liés (fig. 4). La corrélation température - altitude n'est pas excellente mais montre que les variables sont bien dépendantes malgré l'influence d'autres facteurs comme l'exposition, la pente, ...

La minéralisation totale est bien corrélée avec la conductivité ($r=0.98$) et le résidu sec ($r=0.89$) qui représentent en fait la charge en solution.

Les matières en suspension sont également bien représentées par la turbidité ($r=0.97$).

Les ions dominants comme les sulfates, sont bien corrélés avec la conductivité ($r=0.90$) dont ils assurent une grande part. Certains ions sont étroitement liés entre eux comme le Sodium et les Chlorures ($r=0.91$), ce qui atteste une origine commune.

III - EVOLUTION LE LONG DES GRANDS FLEUVES -

Le long des grands fleuves comme le Béni et le Mamoré, il est possible de suivre cette évolution spatiale des différentes composantes de la qualité des eaux.

Les résultats obtenus lors de la campagne d'Août - Septembre 1986 montrent pour le Rio Béni (fig. 5), que les charges de matières en solution et en suspension, faibles en altitude (zone des glaciers), augmentent progressivement pour atteindre leur valeur maximale vers 2500 mètres d'altitude (Rio La Paz). Ensuite, on observe une décroissance très rapide de la minéralisation et des matières en suspension jusqu'à la sortie des Andes, puis une relative stabilisation des teneurs dans la plaine Amazonienne.

analyses
si que
résidu
cesium,
SENAMHI

s des
it des

TABLEAU 1

Valeurs caractéristiques des différents paramètres

ements

lobaux
Log-

La
re que
autres

la
nt en

entées

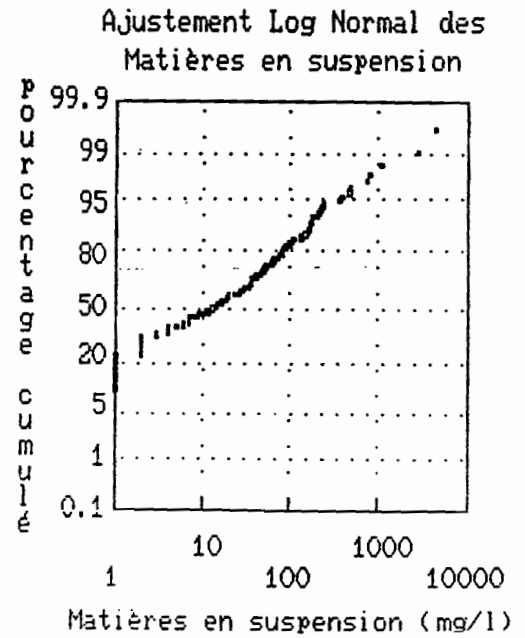
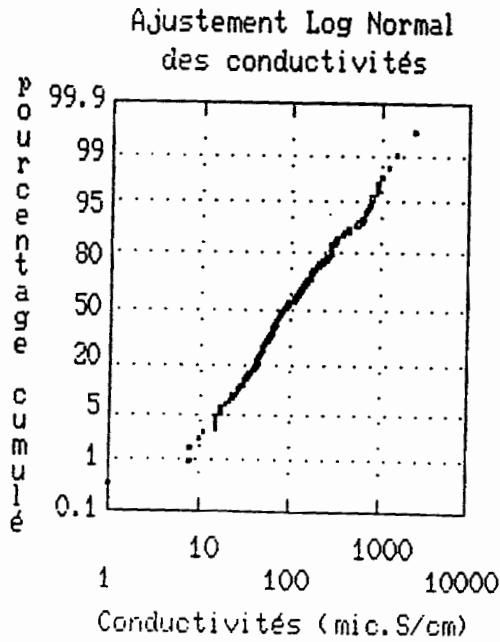
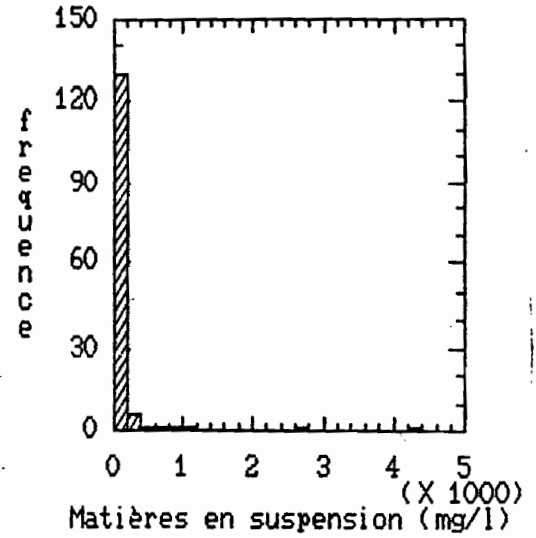
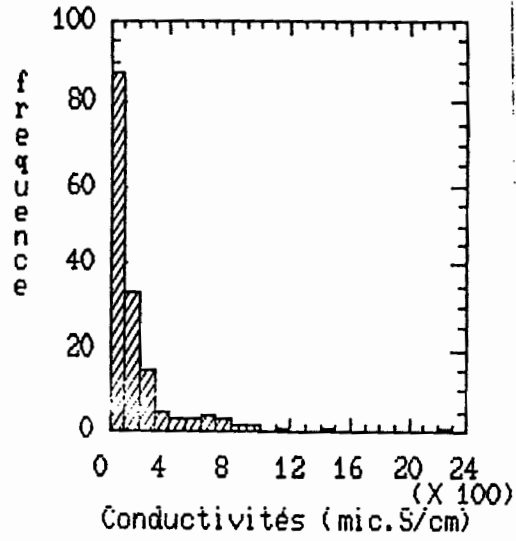
rrélés
part.
les

il est
santes

tembre
res en
iers),
vers
e une
es et
sation

		Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum
	Altitude (m)	1007	430	180	4800
	Temp. (° C.)	20.3	21.0	0.0	31.0
	pH	7.6	7.5	4.9	9.6
	Cond. (S/cm)	192	83	1	2286
	R.Sec (mg/l)	171	78	0	2082
	Minér. (mg/l)	135	69	4	1554
	Turb. (FTU)	75	10	0	3040
	M.E.S. (mg/l)	107	14	0	4366
	Coul. (Pt/Co)	21	0	0	320
	HCO3 (mg/l)	62.0	34.6	2.6	521.4
	CO3 (mg/l)	1.1	0.0	0.0	28.3
	Cl (mg/l)	5.7	1.4	0.0	143.9
	SO4 (mg/l)	26.5	8.3	0.0	477.4
	Ca (mg/l)	10.9	7.0	0.0	65.6
	Mg (mg/l)	4.5	2.2	0.0	21.4
	Na (mg/l)	12.8	4.2	0.0	338.0
	K (mg/l)	2.7	2.0	0.0	21.0
	Fe (mg/l)	0.4	0.0	0.0	3.6
	Mn (mg/l)	0.0	0.0	0.0	0.0
	SiO2 (mg/l)	10.2	9.2	0.0	44.2

Fig. 3



1 100 10000 1 100 10000
 Conductivités (mic.S/cm) Matières en suspension (mg/l)

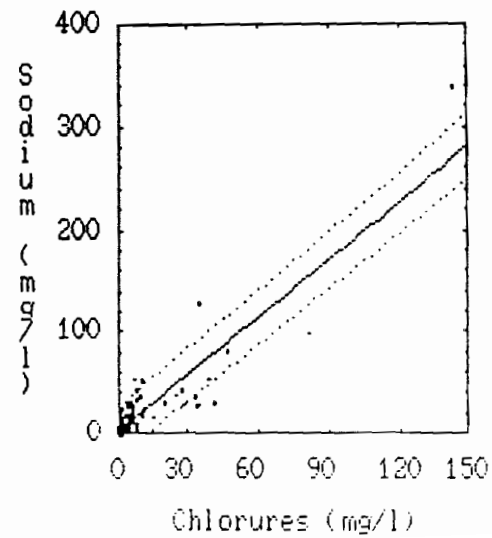
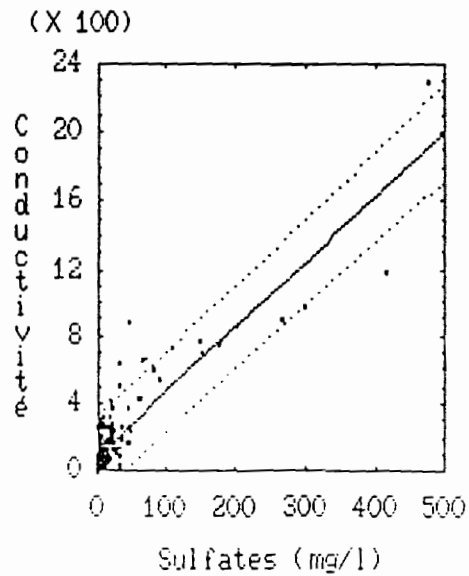
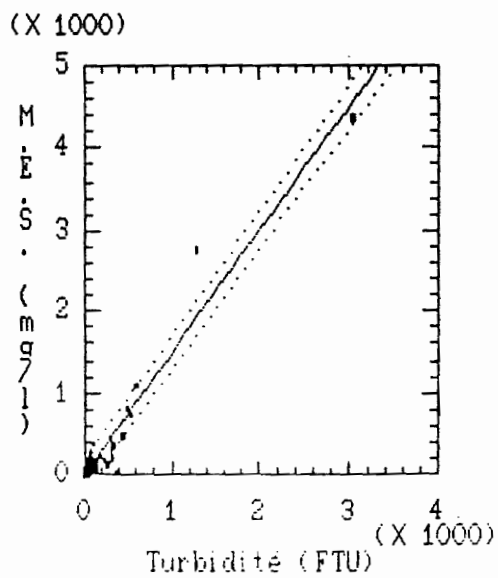
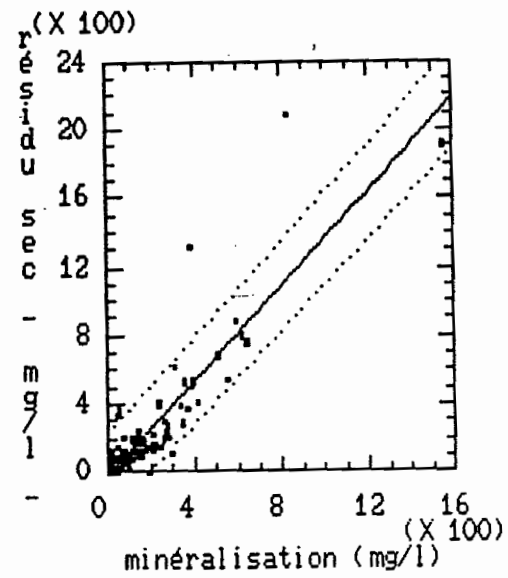
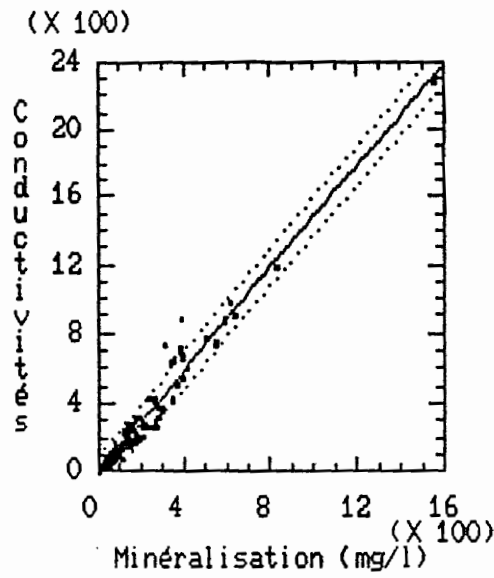
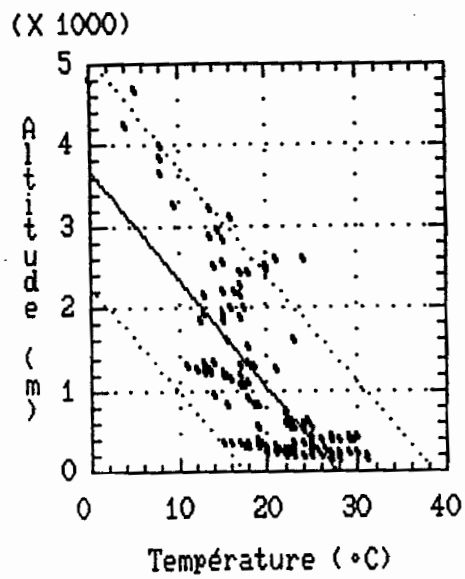


Fig. 4

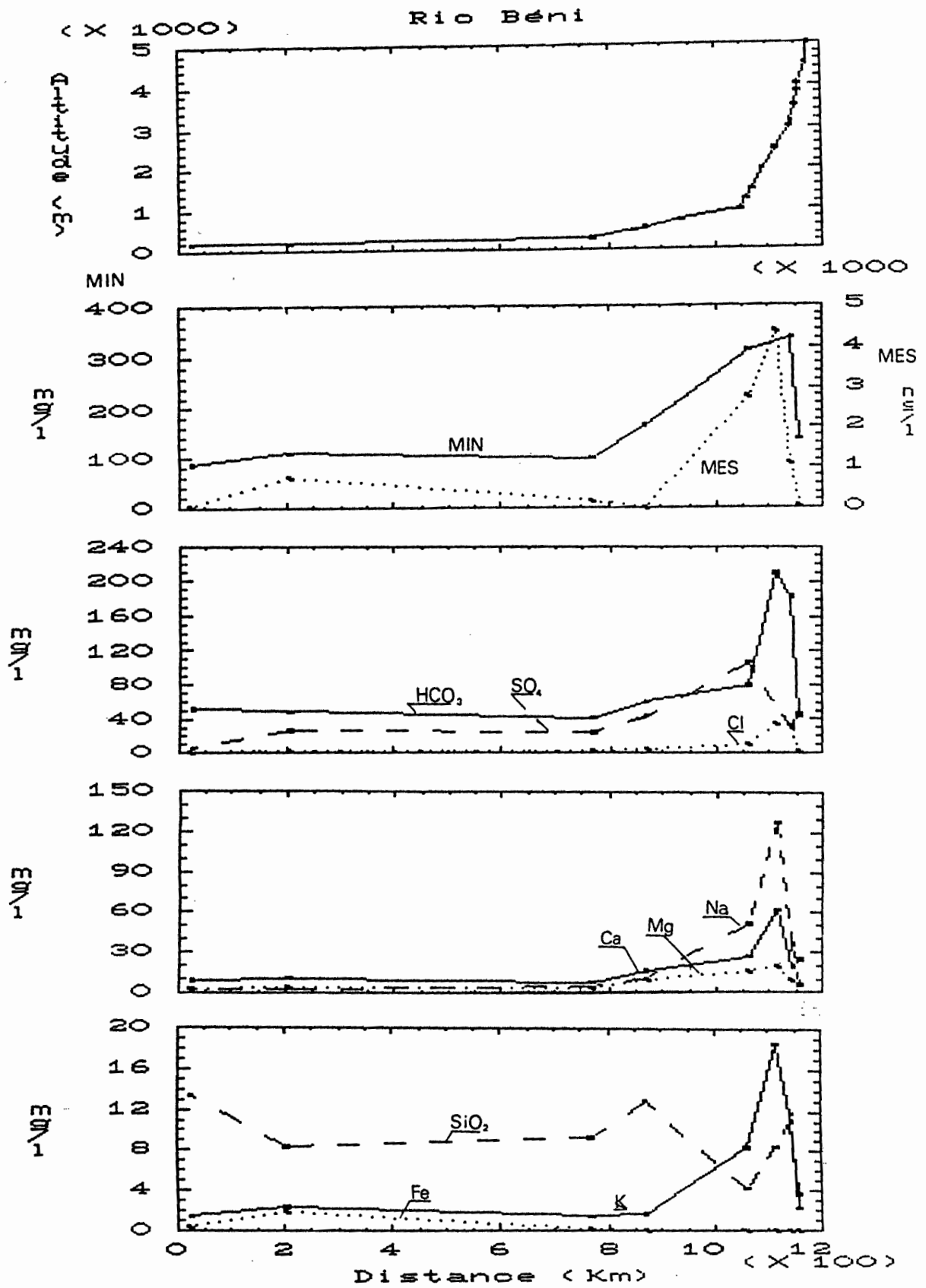


Fig. 5

○ ○ ○
 5
 >
 MES
 3
 2
 1
 E_{OH}⁻¹

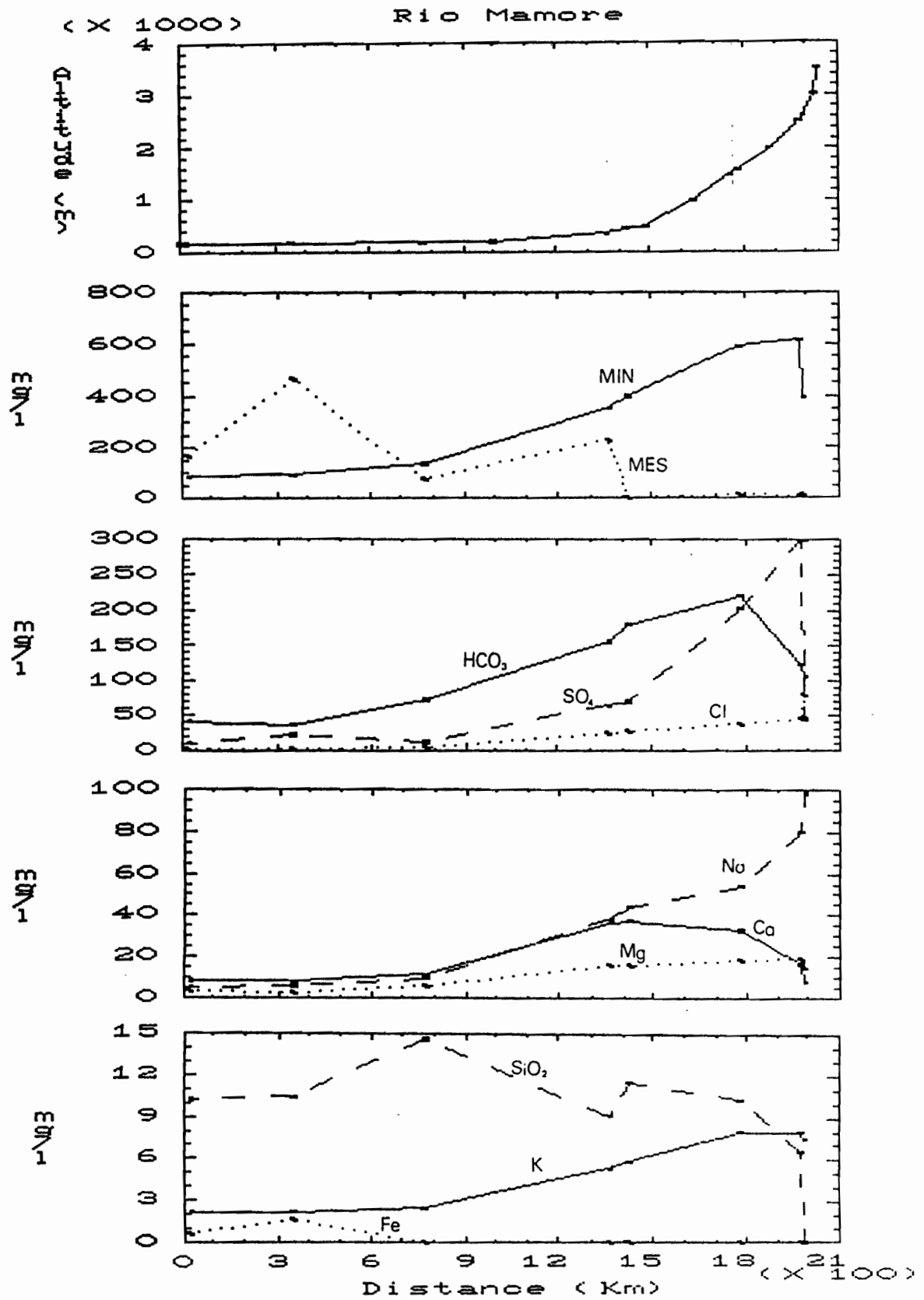


Fig. 6

La même réponse a été observée pour les concentrations des éléments majeurs (HCO_3 , SO_4 , Cl , Ca , Mg , Na et K).

Le Fer se singularise par son absence dans les Andes et une augmentation progressive lors de la traversée de la plaine amazonienne.

La silice dissoute évolue de manière particulière, l'inverse des éléments majeurs dans les Andes, puis de manière identique dans la plaine amazonienne, mis à part une augmentation après la confluence du Madre de Dios.

Pour le rio Mamoré (fig.6), les phénomènes observés sont semblables, mis à part pour les teneurs en matières en suspension qui évoluent de manière plus anarchique. Cette anomalie est vraisemblablement liée au fait que quelques épisodes pluvieux ont perturbé la période d'étiage lors des prélèvements.

En ce qui concerne la minéralisation et les éléments majeurs les mêmes réponses sont observées que dans le Béni, à savoir un maximum de concentration dans les Andes, puis décroissance allant vers une pseudo stabilisation en plaine amazonienne, avec toutefois un décalage pour les teneurs en calcium.

Le Fer, avec des teneurs nulles dans les Andes et une augmentation en plaine a un comportement identique à celui observé au Béni.

Enfin, la silice augmente dans les Andes puis se stabilise relativement en Amazonie.

Les eaux en plaine amazonienne apparaissent donc comme plus faiblement minéralisées, mais avec des teneurs en Fer plus élevées que dans les Andes, donnant une légère couleur brune à l'eau. Les autres éléments majeurs subissent une dilution depuis la Cordillère jusqu'aux 'llanos'.

IV - EVOLUTION SUR L'ENSEMBLE DU BASSIN VERSANT -

S'il est relativement aisé de décrire l'évolution des divers paramètres de la qualité des eaux le long de quelques grands axes, il en est autrement lorsque l'ensemble du bassin doit être traité.

Aussi, compte tenu du grand nombre de variables et d'individus (7×161), une méthode d'analyse factorielle a été retenue pour interpréter l'ensemble des données. Celles-ci étant de type numérique et continues, notre choix s'est porté vers l'analyse en composantes principales (ACP). Les calculs ont été effectués sur variables centrées réduites.

Les deux premiers axes expriment plus de 67 % de la variance (tableau 2), ce qui est non négligeable. Dans le plan représenté par les deux premiers axes factoriels, la répartition des points variables (fig. 7) montre :

- la composante 1 oppose les faibles minéralisations aux fortes exprimées par la conductivité et les teneurs en éléments majeurs. Il s'agit en quelque sorte d'une échelle de minéralisation.

- la composante 2 oppose les faibles pH aux forts, ou encore les fortes teneurs en Fer et Silice aux faibles. Il peut s'agir dans ce cas d'une échelle d'acidité.

ons de
 s et un
 ionne
 ere,
 manoir
 on aprè

és son
 ision qu
 A 1988
 oux de

majeurs
 maximum
 ers un
 décalage

ervé su
 lisse

me plu
 vées qu
 s autre
 usqu'au

diver
 Xes, I

les p
 retenu
 le typ
 lyse e
 jés su

varianci
 nté pa
 variable

fortes
 us. T
 core le
 s ce ca

Tableau 2

Principal Components Analysis		
Component Number	Percent of Variance	Cumulative Percentage
1	53.90182	53.90182
2	13.55400	67.45583
3	11.37154	78.82736
4	6.86929	85.69665
5	5.33532	91.03198
6	3.67394	94.70591
7	2.11787	96.82378
8	1.73919	98.56297
9	1.06508	99.62805
10	.31787	99.94591
11	.05409	100.00000

Analyse en composantes principales

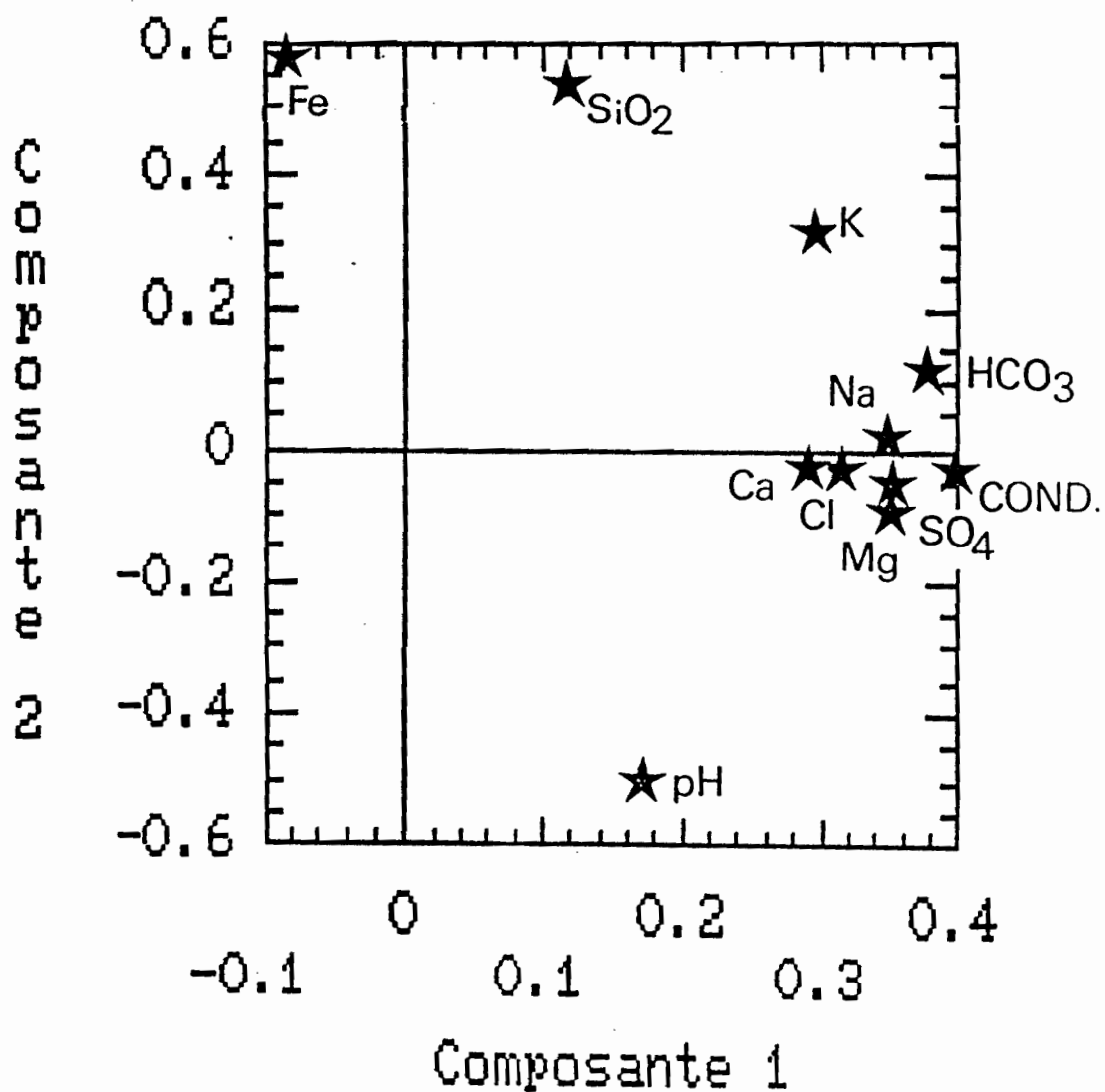


Fig. 7

Analyse en composantes principales

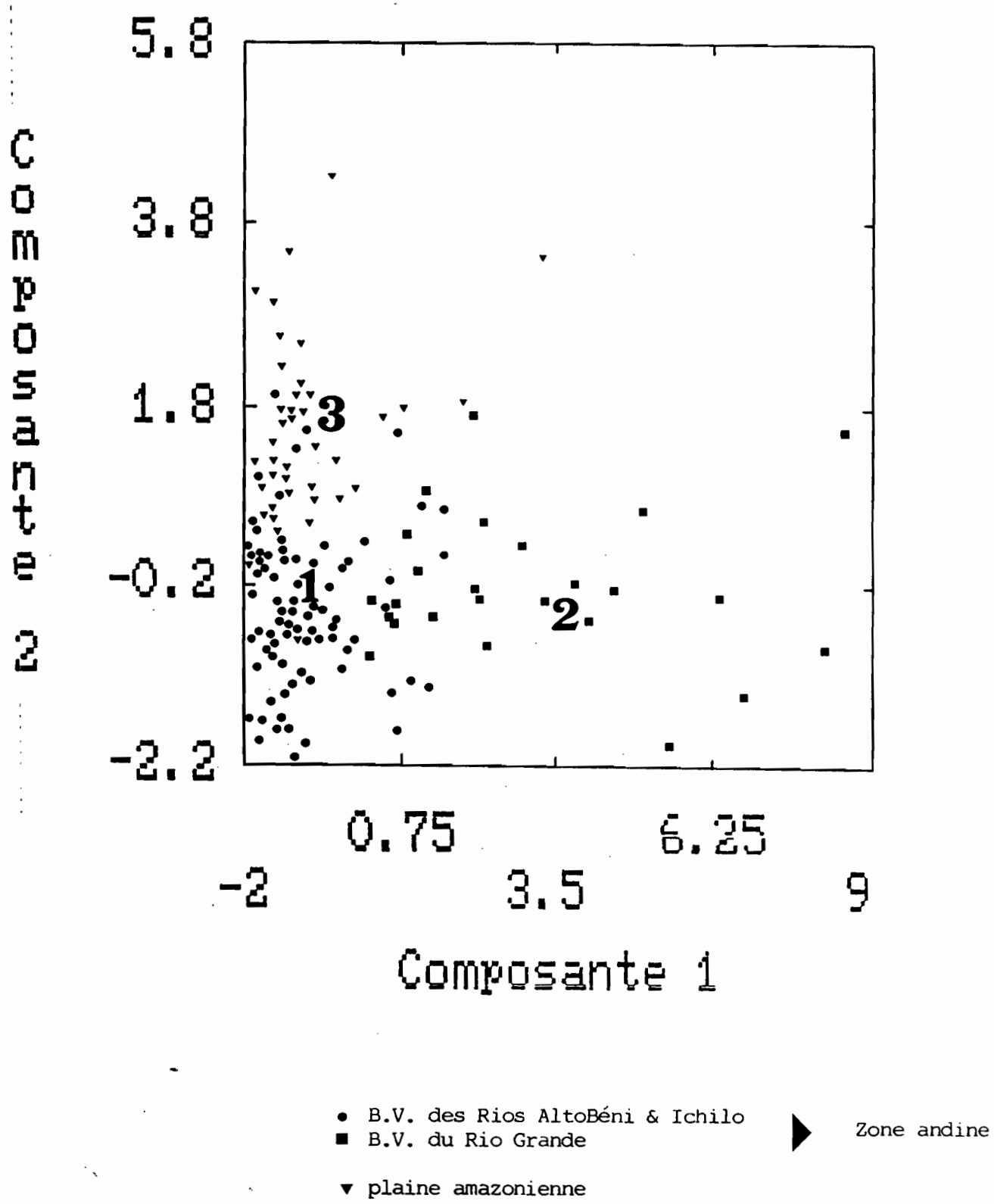


Fig. 8

TABLEAU 3

Valeurs moyennes des trois zones géographiques

	Zone 1	Zone 2	Zone 3
Altitude (m)	1133	1621	244
Temp. (° C.)	19.5	16.6	25.0
pH	7.6	8.3	6.9
Cond. (S/cm)	110	555	86
Minér. (mg/l)	79	378	83
M.E.S. (mg/l)	68	54	97
Coul. (Pt/Co)	8	4	54
HCO ₃ (mg/l)	33.9	163.3	45.4
Cl (mg/l)	3.2	17.5	2.0
SO ₄ (mg/l)	14.1	98.6	6.0
Ca (mg/l)	8.1	23.8	6.0
Mg (mg/l)	2.9	11.7	2.3
Na (mg/l)	6.0	40.7	5.7
K (mg/l)	1.8	4.4	3.0
Fe (mg/l)	0.1	0.0	1.1
SiO ₂ (mg/l)	7.9	14.0	12.5

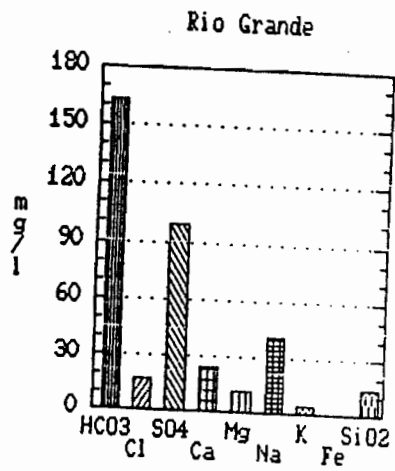
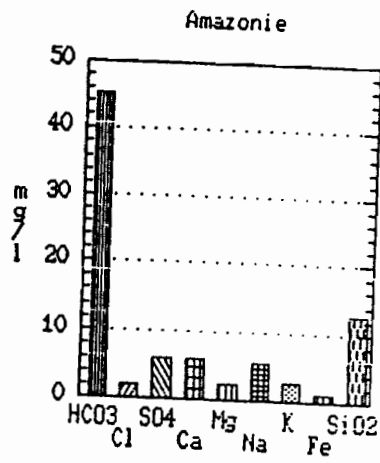
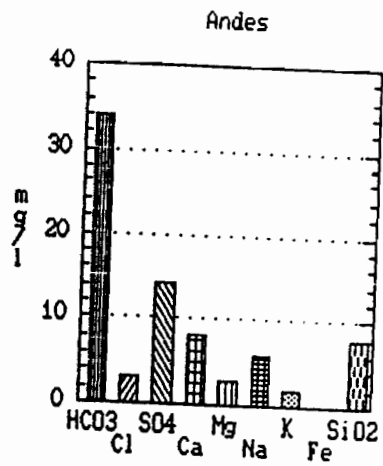


Fig. 9

avec les ... minéralisées ... les valeurs élevées en Fer. De la même manière avec les eaux acides, on se trouve également dans le même domaine à fortes teneurs en Fer, en Silice et en Potassium.

Avec la représentation des points individus (fig. 8), ceux-ci étant différenciés en trois classes géographiques (cf fig. 1), on obtient la distribution suivante après avoir écarté les rios présentant des traces nettes de pollution (Rios La Paz, Rocha, Hondo et Piray liés respectivement aux villes de La Paz, Cochabamba, Montero et San Cruz).

Globalement, les trois zones géographiques dont les valeurs des concentrations moyennes sont résumées dans le tableau 3 et figure 9, sont bien individualisées, il s'agit :

* 1 - la cordillère proprement dite, les eaux sont faiblement minéralisées (79 mg/l), très légèrement basiques (pH=7.6) et ont de faibles teneurs en Fer (0.1 mg/l) et en potassium (1.8 mg/l).

* 2 - le bassin versant du rio Grande qui englobe la partie Sud de la cordillère orientale et de l'Altiplano est soumis à un régime climatique différent (plus aride). Les affleurements géologiques le différencient du reste de la Cordillère par la présence de séries évaporitiques. Les eaux sont beaucoup plus minéralisées (378 mg/l) et plus basiques (pH=8.3) avec des concentrations élevées pour les ions majeurs, mais nulles pour le Fer.

* 3 - 'les llanos' ou plaine amazonienne dont l'altitude varie de 180 à 400 mètres. Ces eaux sont généralement faiblement minéralisées (83 mg/l), légèrement acides (pH=6.9), et ont des teneurs en fer (1.1 mg/l), silice (12.5 mg/l) et potassium (3.0 mg/l) plus élevées que la moyenne (cf tableau 1). Certains de ces éléments sont liés à la végétation et aux acides humiques qui donnent une couleur brune à l'eau (54 unités Pt/Co).

L'analyse en composantes principales a permis de vérifier la classification géographique des différents types d'eaux en familles assez homogènes et s'avère être un outil puissant pour l'interprétation des données physico-chimiques.

V - CONCLUSION -

Les nombreux résultats concernant la campagne d'échantillonnage d'Août - Septembre 1986, ont permis de mieux connaître les différents écosystèmes rencontrés.

La comparaison et l'identification des trois zones géographiques ont été possible grâce à l'utilisation de l'analyse en composantes principales et le suivi hydrochimique le long des grands fleuves.

Toutefois, la qualité d'une eau dépend intimement d'un certain nombre de facteurs dont les plus importants sont la géologie du bassin versant, le régime climatique, la couverture végétale. L'étude entreprise sur la variabilité spatiale des caractéristiques physico-chimiques des eaux va donc s'orienter dans cette voie afin de mieux connaître les facteurs d'acquisition du chimisme de l'eau de cette zone tropicale qu'est l'Amazonie bolivienne.

RESULTADOS DE UNA CAMPAÑA DE MUESTREO EN
PERIODO DE AGUAS BAJAS EN LA AMAZONIA BOLIVIANA

Agosto - Septiembre 1986

Jean Louis GUYOT (1), Hector Calle (2)

Jorge Quintanilla (3), Moisés Calliconde (3)

I. INTRODUCCION

El PHICAB (Proyecto Hidrológico y Climatológico de la Cuenca Amazónica de Bolivia), nacido de un convenio entre ORSTOM (Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación) y SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología), y recientemente con la UMSA (Universidad Mayor de San Andrés - La Paz), tiene por objetivo el estudio de la climatología, de la Hidrología y de la físico-química de las aguas de la Cuenca vertiente Amazónica de Bolivia.

A fin de conocer la variabilidad espacial de los diferentes parámetros de la calidad de las aguas de la Cuenca Vertiente Amazónica de Bolivia (Superficie = 744000 Km²), campañas de muestreo sobre el conjunto de la Cuenca son efectuadas en períodos hidrológicos particulares (aguas altas, estiaje).

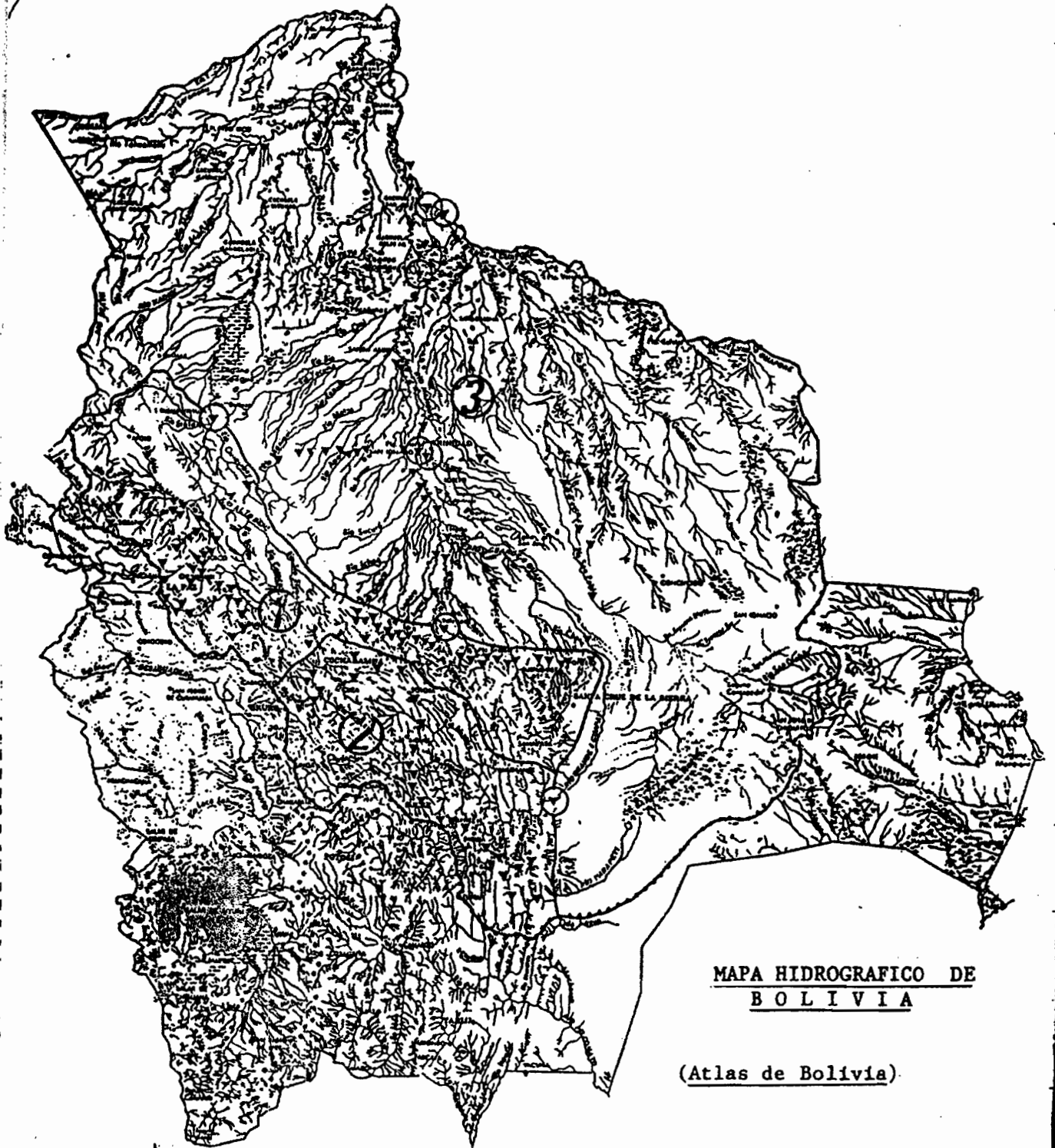
En una campaña realizada en Agosto - Septiembre de 1986, se han recolectado 161 muestras pertenecientes a ecosistemas muy variados, desde los glaciales andinos hasta los ríos amazónicos (Fig.1), comprendiendo zonas con geología, climatología y cobertura vegetal muy diferentes.

La interpretación de los resultados obtenidos a lo largo de los grandes ríos y sobre el conjunto de la cuenca efectuados con la ayuda de un método de análisis multivariado (multivariable ó multidimensional), va a permitir caracterizar químicamente estas diferentes zonas geográficas.

(1) : Misión ORSTOM - C.P. 8714 - La Paz - BOLIVIA

(2) : SENAMI - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - C.P. 996
La Paz - BOLIVIA.

(3) : I.I.Q. - UMSA - Instituto de Investigaciones Químicas - C.P. 303 -
La Paz BOLIVIA.



MAPA HIDROGRAFICO DE
BOLIVIA

(Atlas de Bolivia)

▼ Punto de muestreo

⊙ Estación de la red PHICAB

ZONA ANDINA

ZONA AMAZONICA

}	Cuenca de los Ríos Alto Beni & Ichilo.....	1
	Cuenca del Río Grande.....	2
	ZONA AMAZONICA	3

Fig. 1.-

II. RESULTADOS

Los puntos de muestreo están repartidos entre 180 m y 4800m de altitud, y cada vez con un porcentaje más importante para los valores inferiores a 750m (Fig.2) correspondiente a los muestreos en planicies amazónicas y al pie de monte de los Andes.

Cada muestra ha sido objeto de las siguientes medidas y análisis: Temperatura y conductividad sobre el terreno; asimismo pH, conductividad, color, turbidez, materias en suspensión, residuo seco, bicarbonatos, carbonatos, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, manganeso y sílice disuelta en los laboratorios del SENAMHI (El Alto-LA PAZ) y de la UMSA - IIQ (Cota-Cota LA PAZ).

En la Tabla I se muestran los valores característicos de los diferentes parámetros. Cabe remarcar, que todas las muestras no tienen contenidos en Manganeso.

La observación de la Tabla I indica que las muestras concernientes a estas aguas tienen valores muy contrastados en:

- Temperatura de terreno, que varía de 0° a 31° Celsius
- Conductividad, que oscila de 1 a 2286 MicroSiemens/centímetro (uS/cm)
- Mineralización (MIN) total, variable de 4 a 1554 mg/l.
- Materias en suspensión que van desde 0 a 4366 mg/l, (M.E.S.)
- pH, que varía de 4,9 a 9,6 unidades de pH
- Color, cuyos valores varían de 0 a 320 unidades Pt/Co.

Las distribuciones de frecuencia de los parámetros globales (conductividad y Materias en suspensión), obedecen a una ley Logarítmica Normal, muestran esta dispersión (Fig. 3).

Ciertos parámetros están estrechamente ligados (Fig. 4). La correlación Temperatura - Altitud no es excelente, pero muestra que estas variables son dependientes, a pesar de la influencia de otros factores como la exposición, la pendiente, etc.

Distribucion de frecuencia

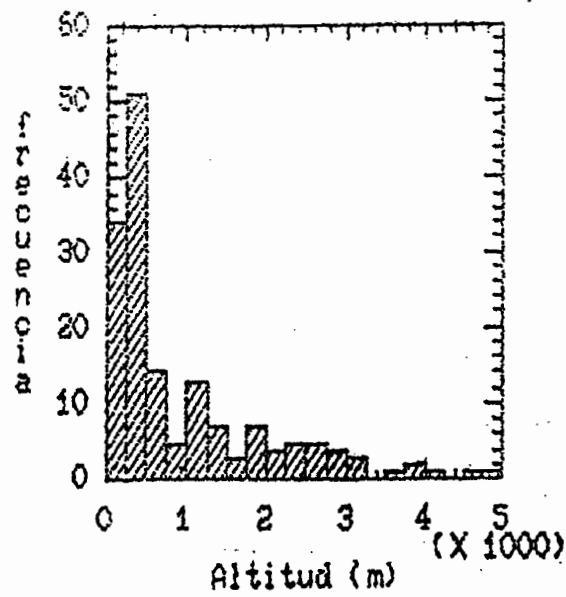
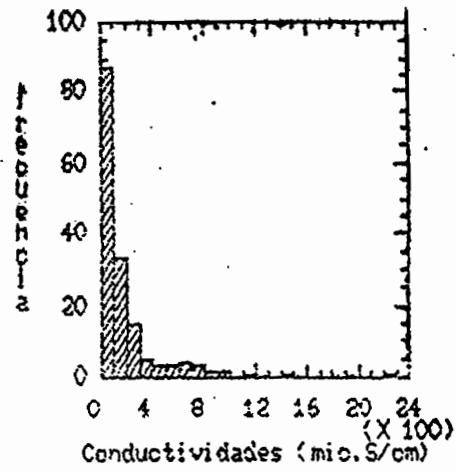
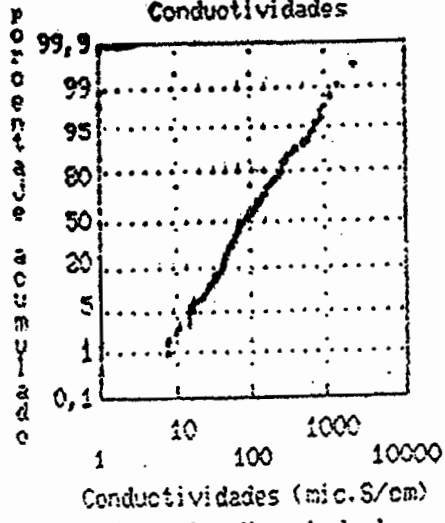


Fig. 2.-

Ajuste Log-Normal de las Conductividades



Ajuste Log-Normal de las Materias en suspension

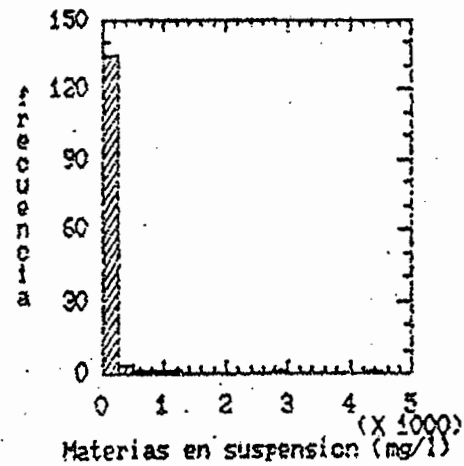
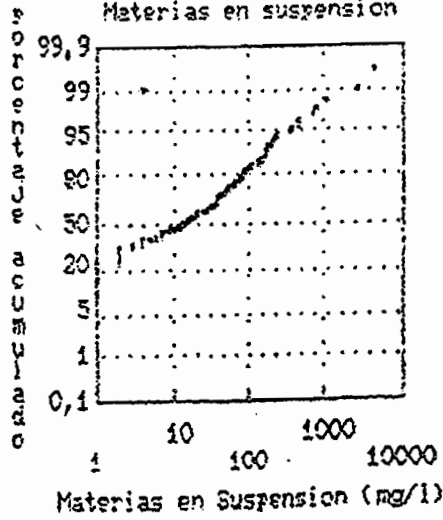
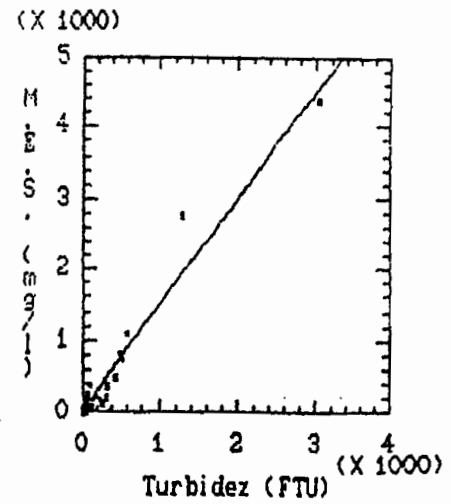
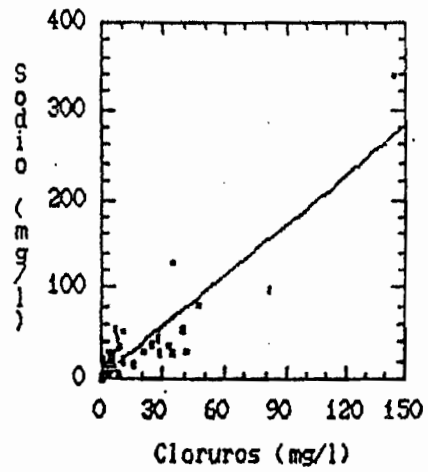
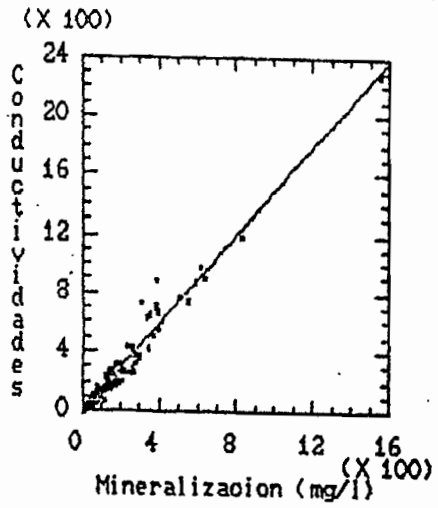
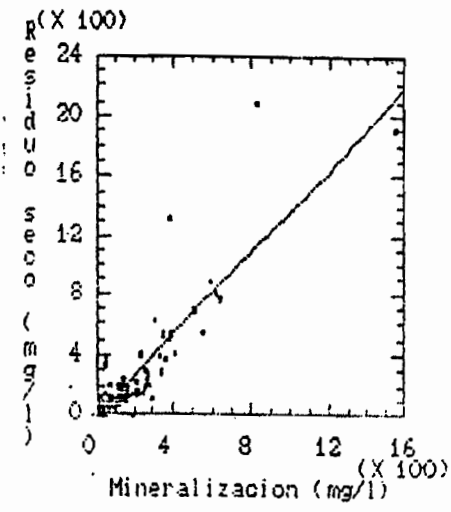
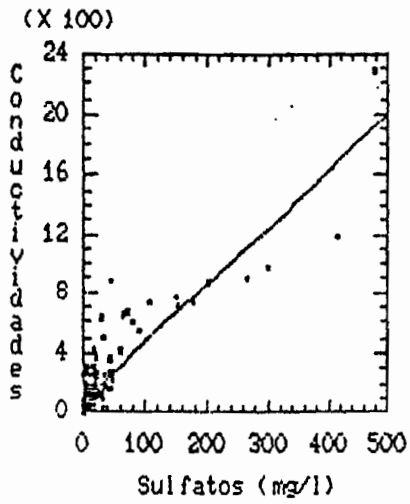
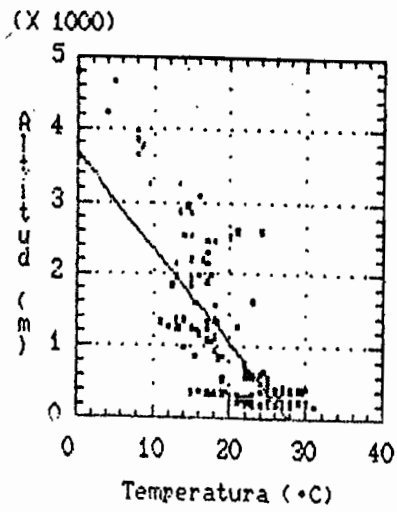


Fig. 3.-

Fig. 4.-



La mineralización total está correlacionada con la conductividad ($r=0,98$), que representa, en efecto, la carga en solución, así como el residuo seco ($r=0,89$).

Las materias en suspensión están igualmente representadas por la Turbidez ($r=0,97$).

Los iones dominantes, como los sulfatos, están correlacionados con la conductividad ($r=0,90$), los mismos que representan una gran parte de esta última.

Ciertos iones están estrechamente ligados entre ellos, como el Sodio y los cloruros ($r=0,91$), lo que atestigua un origen común.

III. EVOLUCION A LO LARGO DE LOS GRANDES RIOS

A lo largo de los grandes ríos, como el Beni y Mamoré, es posible seguir la evolución espacial de los diferentes componentes de la calidad de aguas.

Los resultados obtenidos durante la campaña de Agosto-Septiembre 1986 muestran para el Río Beni (Fig. 5), que las cargas de materias en solución y en suspensión, débiles en altitud (Zona de los glaciares), aumentan progresivamente hasta llegar a su valor máximo a 2500 m de altitud (Río LA PAZ). seguidamente, se nota un decrecimiento muy rápido de la mineralización y de las materias en suspensión hasta la salida de los Andes, luego, una relativa estabilización en sus concentraciones, en la planicie amazónica.

La misma respuesta se observa con las concentraciones de los elementos mayores (HCO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$, Cl^- , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+).

El hierro se singulariza por su ausencia en Los Andes y un aumento progresivo a lo largo de la planicie amazónica.

La sílice disuelta evoluciona de una manera particular, a la inversa de los elementos mayores en Los Andes, luego, de manera idéntica, en la plani

cie amazónica, aparte de un aumento después de la confluencia del Madre de Dios.

Para el río Mamoré (Fig. 6), los fenómenos observados son semejantes, sin tomar en cuenta los contenidos de materias en suspensión que evolucionan de una manera más anárquica. Esta anomalía está aparentemente ligada al hecho de que algunos episodios pluviosos han perturbado el período de estiaje durante los muestreos.

En la mineralización y los elementos mayores, se observaron las mismas respuestas que en el Beni, a saber, un máximo de concentración en Los Andes, luego una disminución gradual hacia una pseudo estabilización en la planicie Amazónica, sin embargo, con un desfase para los contenidos en calcio.

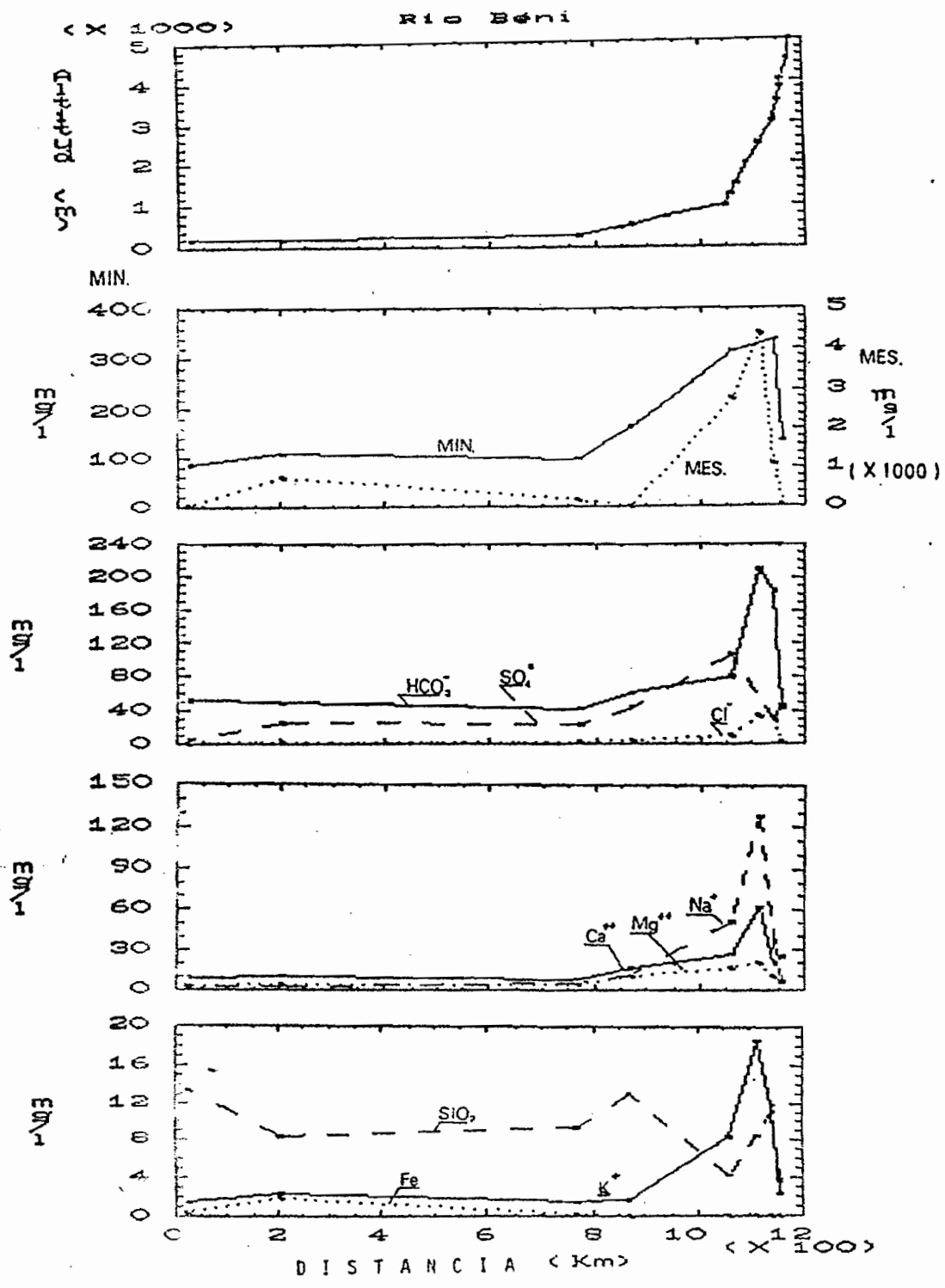
El hierro, con contenidos nulos en Los Andes y un aumento en la planicie, tiene un comportamiento idéntico al observado en el Beni.

Finalmente, la sílice aumenta en Los Andes, para estabilizarse relativamente en la Amazonía.

Las aguas en la planicie amazónica aparecen débilmente mineralizadas, pero con contenidos en hierro más elevados que en Los Andes, dando una ligera coloración café parduzca al agua. Los otros elementos mayores sufren una dilución desde la Cordillera hasta los Llanos Orientales.

IV. EVOLUCION SOBRE EL CONJUNTO DE LA CUENCA VERTIENTE

Es relativamente fácil describir la evolución de los diversos parámetros de la calidad de las aguas a lo largo de algunos grandes ejes, pero sucede lo contrario cuando el conjunto de la cuenca debe ser tratado. También, teniendo en cuenta del gran número de variables y de individuos (11 y 161, respectivamente), ha sido empleado un método de análisis factorial para interpretar el conjunto de datos. Ellos son de tipo numérico y continuos, nuestra elección tiene un alcance hacia el análisis en componentes principales (ACP). Los cálculos han sido efectuados sobre variables centradas y reducidas.



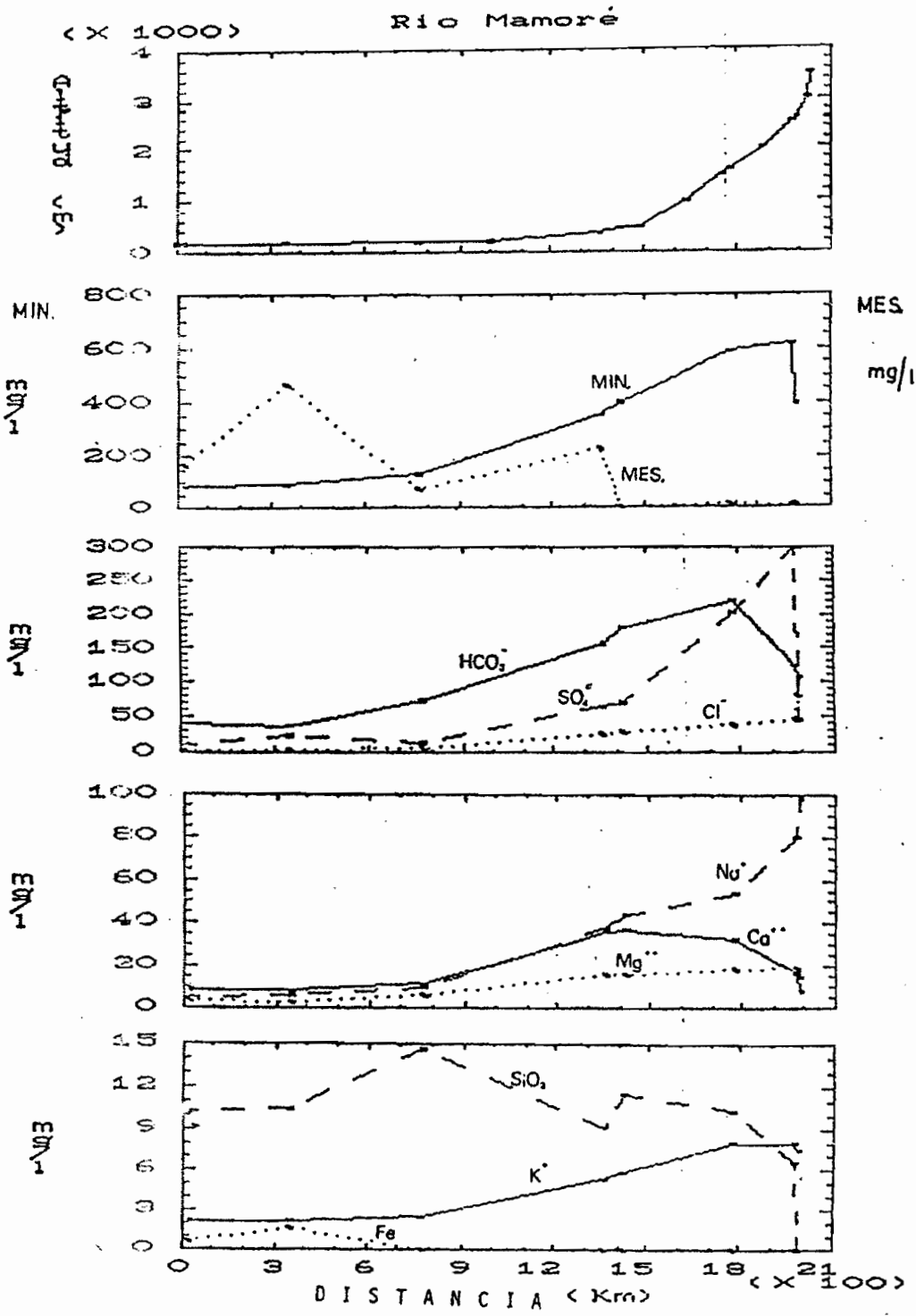


Fig. 6. -

Los dos primeros ejes expresan más del 67% de la varianza (Tabla 2), lo que no es despreciable. En el plano representado por los dos primeros ejes factoriales, la distribución de los puntos variables (Fig.7) muestran:

- El componente 1 opone las débiles mineralizaciones a las fuertes, expresadas por la conductividad y los contenidos en elementos mayores. Se trata, de alguna manera, de una escala de mineralización.
- El componente 2 opone los débiles valores de pH a los fuertes, y los fuertes contenidos en hierro y sílice a los débiles. En este caso se puede tratar de una escala de acidez.

Con las débiles mineralizaciones, encontramos los valores elevados en hierro. De la misma manera, con las aguas ácidas, nos encontramos en el mismo dominio con fuertes contenidos en hierro, en sílice y relativamente, en potasio.

Con la representación de los puntos individuales (Fig.8), éstos están diferenciados en tres clases geográficas (Fig.1), obtenemos la distribución siguiente: después de haber aislado los ríos que presentan trazas netas de contaminación (Ríos de La Paz, Rocha, Hondo y Pirafé ligados respectivamente a las ciudades de La Paz, Cochabamba, Montero y Santa Cruz).

Globalmente, las tres zonas geográficas cuyos valores y concentraciones medias están resumidas en la Tabla 3 y la Figura 9, están bien individualizadas, se trata de:

ZONA N° 1.- La Cordillera propiamente dicha; las aguas están débilmente mineralizadas (79 mg/l), ligeramente básicas (pH=7,6) y tienen contenidos débiles en hierro (0,1 mg/l) y en potasio (1,8 mg/l).

ZONA N° 2.- La cuenca vertiente del río Grande que engloba la parte Sur de la Cordillera Oriental y del Altiplano está sometida a un régimen climático diferente (más árido). Los afloramientos geológicos se diferencian del resto de la Cordillera por la presencia de series evaporíticas. Las aguas son mucho más mineralizadas

(378 mg/l) y más básicas (pH=8,3) con concentraciones elevadas para los iones mayores, pero nulas para el hierro.

ZONA N° 3.- Los Llanos ó la planicie amazónica, donde la altitud varía de 180 a 400 metros. Estas aguas están, generalmente, débilmente mineralizadas (83 mg/l), ligeramente ácidas (pH=6,9), y tienen contenidos en hierro (1,1 mg/l), sílice disuelta (12,5 mg/l) y potasio (3,0 mg/l) más elevados que el promedio (Tabla 1). Algunos de estos elementos están ligados a la vegetación y a los ácidos húmicos que dan una coloración parda al agua (54 unidades Pt/Co).

El análisis en componentes principales ha permitido verificar la clasificación geográfica de los diferentes tipos de aguas en familias muy homogéneas y han sido una herramienta poderosa para la interpretación de los datos físico-químicos.

V.- CONCLUSIONES

Los numerosos resultados concernientes a la campaña de muestreo de Agosto-Septiembre 1986, han permitido conocer mejor los ecosistemas encontrados.

La comparación y la identificación de tres zonas geográficas ha sido posible gracias a la utilización del análisis en componentes principales y al seguimiento hidroquímico a lo largo de los grandes ríos.

Sin embargo, la calidad de un agua depende íntimamente de un cierto número de factores, donde los más importantes son la geología de la Cuenca Vertiente, el régimen climático y la cobertura vegetal. El estudio emprendido sobre la variabilidad espacial de las características físico-químicas de las aguas, entonces puede orientarse en éste camino a fin de conocer mejor los factores de adquisición del quimismo del agua de esta zona tropical que es la Amazonía Boliviana.

ANÁLISIS EN COMPONENTES PRINCIPALES

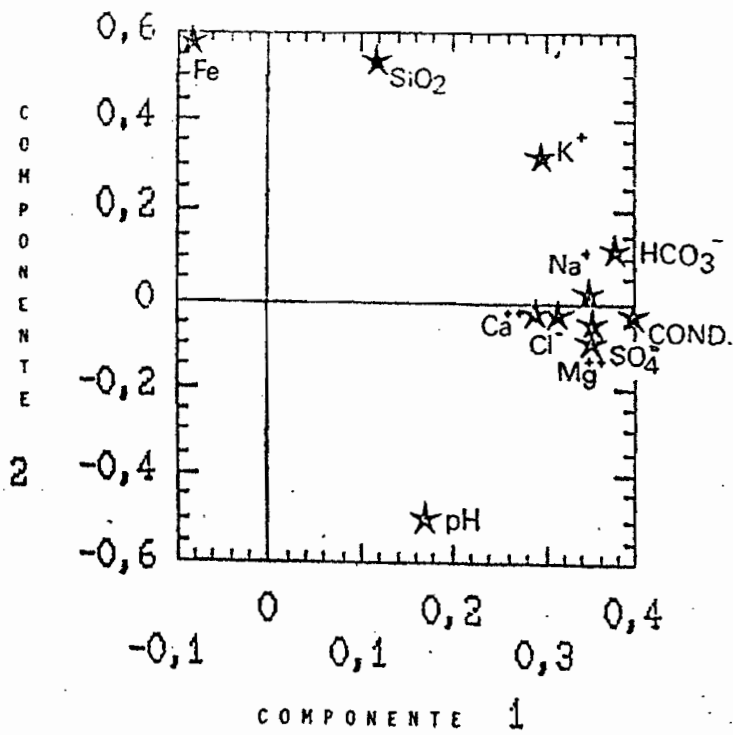
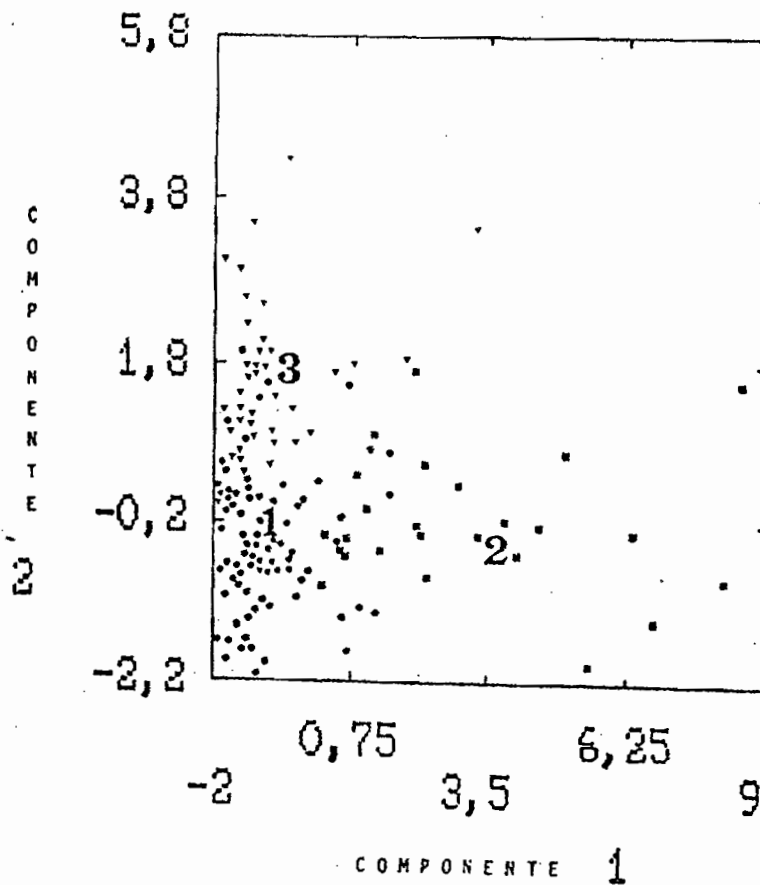


Fig. 7. -

ANÁLISIS EN COMPONENTES PRINCIPALES



• Cuenca de los ríos Alto Beni é Ichilo

■ Cuenca del río Grande

▶ ZONA ANDINA

Fig. 8. -

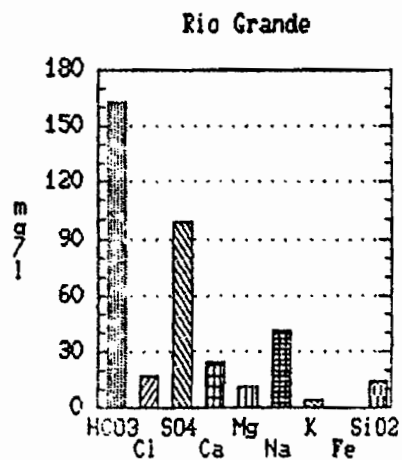
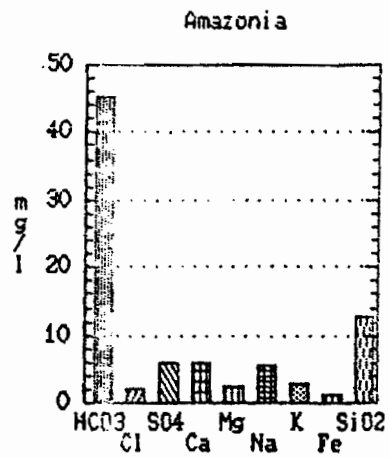
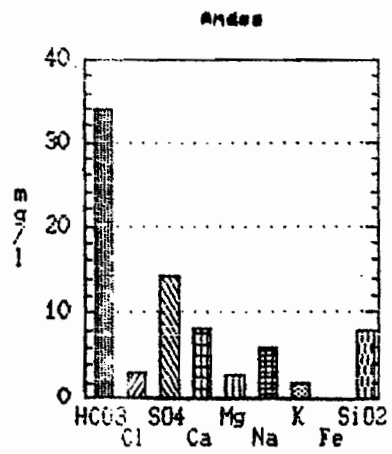


Fig. 9.-

T A B L A 1

VALORES CARACTERISTICOS DE LOS DIFERENTES PARAMETROS

		<u>Promedio</u>	<u>Mediana</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>
Altitud	(m)	1007	430	180	4800
Temp.	(°C.)	20,3	21,0	0,0	31,0
pH		7,6	7,5	4,9	9,6
Cond.	(μ S/cm)	192	83	1	2286
R. Seco	(mg/l)	171	78	0	2082
Míner.	(mg/l)	135	69	4	1554
Turb.	(FTU)*	75	10	0	3040
M.E.S.	(mg/l)	107	14	0	4366
Color	(Pt/Co)	21	0	0	320
HCO ₃ ⁻	(mg/l)	62,0	34,6	2,6	521,4
CO ₃ ⁼⁼	(mg/l))	1,1	0,0	0,0	28,3
Cl ⁻	(mg/l)	5,7	1,4	0,0	143,9
SO ₄ ⁼⁼	(mg/l)	26,5	8,3	0,0	477,4
Ca ⁺⁺	(mg/l)	10,9	7,0	0,0	65,6
Mg ⁺⁺	(mg/l)	4,5	2,2	0,0	21,4
Na ⁺	(mg/l)	12,8	4,2	0,0	338,0
K ⁺	(mg/l)	2,7	2,0	0,0	21,0
Fe	(mg/l)	0,4	0,0	0,0	3,6
Mn ⁺⁺	(mg/l)	0,0	0,0	0,0	0,0
SiO ₂	(mg/l)	10,2	9,2	0,0	44,2

* FTU = Formazine Turbidite Units

T A B L A 2

ANÁLISIS EN COMPONENTES PRINCIPALES		
<u>Componente</u>	<u>Porcentaje de</u>	<u>Porcentaje</u>
<u>Número</u>	<u>Varianza</u>	<u>Acumulativo</u>
1	53,90182	53,90182
2	13,55400	67,45583
3	11,37154	78,82736
4	6,86929	85,69665
5	5,33532	91,03198
6	3,67394	94,70591
7	2,11787	96,82378
8	1,73919	98,56297
9	1,06508	99,62805
10	0,31787	99,94591
11	0,05409	100,00000

T A B L A 3

VALORES MEDIOS DE LAS TRES ZONAS GEOGRAFICAS

Altitud (m)	1133	1621	244
Temp. (° C.)	19,5	16,6	25,0
pH	7,6	3,3	6,9
Cond. (µ S/cm)	110	555	36
Miner (mg/l)	79	378	83
M.E.S. (mg/l)	68	54	97
Color (Pt/Co)	8	4	54
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	33,9	163,3	45,4
Cl ⁻ (mg/l)	3,2	17,5	2,0
SO ₄ ⁻ (mg/l)	14,1	98,6	6,0
Ca ⁺⁺ (mg/l)	8,1	23,8	6,0
Mg ⁺⁺ (mg/l)	2,9	11,7	2,3
Na ⁺ (mg/l)	6,0	40,7	5,7
K ⁺ (mg/l)	1,8	4,4	3,0
Fe (mg/l)	0,1	0,0	1,1
SiO ₂ (mg/l)	7,9	14,0	12,5