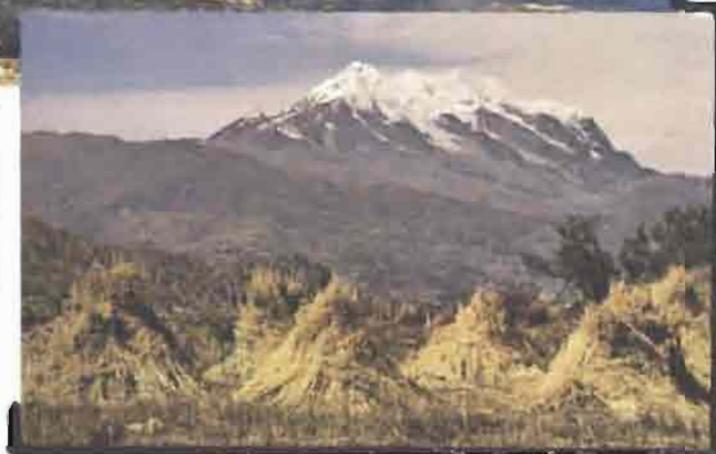
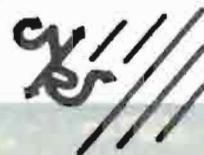


# ACTAS DEL SEGUNDO SIMPOSIO DE LA INVESTIGACION FRANCESA EN BOLIVIA

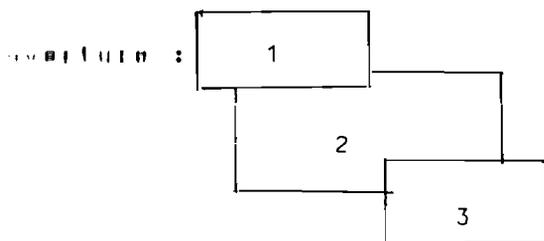


LA PAZ 19-22 de Abril 1988



ACTAS  
DEL SEGUNDO SIMPOSIO  
DE LA INVESTIGACION  
FRANCESA EN BOLIVIA





1. Perforation pour analyses géochimiques, au centre du Salar d'Uyuni. (Photo François RISACHER)
2. Lac Titicaca, rivage du petit lac, près de Huatajata. Prairie de Tatora (*Schoenoplectus tatora*) et barque typique faite de la même plante. (Photo Claude DEJOUX)
3. Programme d'agronomie de l'Altiplano. Production caractéristique. Au fond l'Illimani. (Photo Claude DEJOUX)

Dernière page de couverture : Traces de dinosaures près du village de Toro-Toro. (Photo Annie GUYOT )

## S U M A R I O

pag.

Prefacio. C. Dejoux Representante del ORSTOM en Bolivia....	3
Discurso del Señor Pierre Mutter, Embajador de Francia.....	5
Discurso del Señor Philippe Tenneson, Director General de ORSTOM.....	7
G. HERAIL : Los yacimientos de oro de Bolivia : contexto geológico y genético.....	10
T. SEMPERE : Desciframiento del registro sedimentario de los 500 millones de años en Bolivia : Modelización de la formación de los Andes y del entrampamiento de los hidrocarburos.....	17
F. RISACHER : Ultimos datos sobre el Salar de Uyuni. Recursos económicos y origen de las concentraciones.....	19
P. CRESPO A., H. PALMA : Tratamiento químico de salmueras y su aplicación.....	27
R. CABRE, A. VEGA, E. MINAYA, M. DESCLOITRES : Observatorio SanCalixto- Sismicidad en Bolivia.....	37
C. De MUIZON, P. TAQUET : Los paleontólogos franceses en Bolivia.....	44
C. De MUIZON . LG. MARSHALL : Tiupampa (Bolivia), un punto clave en la historia de los mamíferos sudamericanos.....	52
PY. GAGNIER : El más antiguo vertebrado del mundo - Un descubrimiento franco-boliviano.....	61
M. GAYET : Los peces del Cretácico de Bolivia y los problemas paleogeográficos suscitados.....	66
Ph. JAVIER : Los peces devónicos de Bolivia.....	75
M.A. ROCHE : Las aplicaciones del Proyecto PHICAB al desarrollo de Bolivia.....	77

J. BOURGES : Necesidad de una red hidrométrica para el desarrollo - Aplicación a la represa de Cachuela Esperanza.....	89
JL. GUYOT, D. CORBIN, J. QUINTANILLA, M. CALLICONDE, H. CALLE : Caracterización físico-química de los ríos y lagunas de la cuenca amazónica de Bolivia.....	98
JL. GUYOT, H. CALLE, J. CORTES, MC. BARRAGAN : Aportaciones de sedimentos por el río Beni a los sitios potenciales de presas.....	101
J. QUINTANILLA : La hidroquímica del Lago Titicaca y su relación con el plancton.....	114
JG. WASSON , R. MARIN : Primeros datos para una tipología ecológica de los ríos de altura en la región de La Paz.....	126
J. VACHER, O. ATTEIA, E. IMAÑA : La radiación neta y la evapotranspiración potencial (ETP) en el Altiplano Boliviano.....	143
J. VACHER, O. ATTEIA, E. IMAÑA, E. BRASIER : Estudio "in situ" del consumo de agua y de la producción de papa para tres estaciones del Altiplano Boliviano.....	154
R. ALURRALDE : Las investigaciones llevadas a cabo en cooperación por INAN y ORSTOM.....	162
A. FRANQUEVILLE, R. ALURRALDE : El concepto de seguridad alimentaria y la realidad boliviana.....	166
Y. SAINT-GEOURS : El Instituto Francés de estudios Andinos (IFEA).....	178
I. COMBES : Ciclos festivos en el valle del Ingre.....	181
O. MARCANTONI, A. APOTEKER, JL. GUYOT : Las últimas exploraciones espeleológicas en Bolivia. El potencial turístico de la región de Toro-Toro.....	185

## AVANT-PROPOS

---

Voici près de deux ans se déroulait à La Paz le premier symposium de la Recherche Française en Bolivie. Né d'une initiative commune entre le Service Culturel et Technique de l'Ambassade de France et les "acteurs" eux-mêmes de cette recherche, c'était l'occasion de sortir d'une certaine discrétion et de montrer à un public que nous avons voulu le plus large possible quelle était notre action et nos projets de recherche dans un pays qui représente et demeurera un véritable laboratoire, échelonnant son entité écologique des sommets les plus hauts à la plaine amazonienne.

Conscients et fiers du succès obtenu, nous avons voulu refaire cette expérience, mais cette fois en avançant d'un pas. Nous avons donc essayé de montrer, et je pense que ceci ressortira des communications présentées dans ce recueil, les liaisons qui existent entre recherche fondamentale et recherche appliquée, et surtout comment il a été possible de passer (ou il est possible de le faire...) de l'obtention de résultats scientifiques à leur utilisation pour des projets de développement. Nous avons voulu mettre en évidence, non plus ce que nous voulions faire, mais ce que nous avons fait !

La réalisation de cette publication est donc le moyen pour nous de présenter aux "utilisateurs" de la Recherche, un ensemble de résultats qui nous l'espérons leur seront d'utilité. C'est aussi le résultat d'une conjonction d'efforts et de bonnes volontés. Qu'il me soit alors permis ici de remercier tous les chercheurs, Boliviens et Français, qui ont bien voulu exposer sous cette forme les résultats de leurs recherches communes, mettre l'accent quand ceci était possible sur leur liaison avec le développement et présenter par écrit ces résultats pour qu'ils soient accessibles à tous.

Cette publication rapide n'aurait d'autre part pas été possible sans l'important travail de frappe et également de traduction de certaines communications effectué par Mlle. Daniela CARRIQUIRIBORDE, secrétaire scientifique de la Mission ORSTOM de La Paz, travail que nous avons nous-mêmes essayé de mettre en valeur en réalisant couverture et structuration interne.

Par ailleurs, il est évident que si efforts et bonne volonté sont indispensables, ils ne peuvent atteindre leur pleine efficacité sans un bon support financier. Qu'il me soit donc permis de remercier ici le Ministère des Affaires Etrangères français qui a entièrement financé l'impression de cet ouvrage.

Enfin, je ne saurai oublier l'aide, autant morale que matérielle, apportée par Monsieur l'Ambassadeur de France en Bolivie et les différents services de cette Ambassade, pour participer à la valorisation de la Recherche Française dans ce Pays, marquant ainsi avec dynamisme son intérêt pour nos travaux. Qu'ils en soient tous ici vivement remerciés.



Claude DEJOUX  
Représentant ORSTOM en Bolivie

La Paz, 1<sup>er</sup> Août 1988

## Discurso del señor Embajador de Francia

Sr. Pierre MUTTER

---

Excelentísimo Señor Ministro de Educación,  
Señor Presidente de la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia,  
Señor Director General de ORSTOM,  
Señor Director del IFEA,  
Señoras y Señores.

Hace menos de dos años, precisamente el 9 de Septiembre de 1986, me encontraba yo en este mismo recinto, dispuesto a pronunciar un discurso parecido; como lo recordarán ustedes, se trataba entonces de inaugurar, el Primer Simposio sobre la Investigación Francesa en Bolivia.

Poco tiempo ha transcurrido desde aquella fecha, y si tengo el honor y la grata satisfacción de pronunciar estas palabras para inaugurar este Segundo Simposio es porque ya llego la hora de presentar un nuevo balance.

Esta periodicidad acelerada de nuestros simposios no es por supuesto señal de vana agitación sino de notable vitalidad de la cooperación francesa, una cooperación cuya meta primordial es promover el desarrollo de Bolivia.

Los 25 investigadores de la Misión ORSTOM, el Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación, cuyo director general el Sr. Philippe TENNESON se encuentra entre nosotros y a quien agradezco su presencia, los investigadores del IFEA, Instituto Francés de Estudios Andinos, cuyo director, Sr. Yves SAINT-GEOURS, se encuentra entre nosotros y a quien también agradezco su presencia, los científicos bolivianos que trabajan con estos organismos; todos, día tras día, se esfuerzan en describir la realidad, en inventariar los recursos disponibles, en encontrar respuestas a los grandes problemas que el necesario desarrollo plantea al país.

Otra prueba de esta notable vitalidad de la cooperación francesa en Bolivia, es la labor realizada por el IBBA, Instituto en el cual trabajan precisamente siete investigadores de ORSTOM. Como ya saben ustedes, en este preciso instante, a poca distancia de aquí, se está procediendo a la inauguración del Congreso extraordinario del vigésimo quinto aniversario del IBBA, en el cual se van a debatir temas relacionados con la fisiología de la altura, la Parasitología, la Farmacognosia y la Nutrición.

Segundo simposio, congreso extraordinario : si me atreviera a hablar como los científicos diría que se ha producido un fenómeno de escisiparidad por ser la cooperación francesa en Bolivia un organismo rebozante de vida.

Muy prudentemente, dejaré a los científicos el manejo de su lenguaje tan particular; les cederé la palabra para que nos expongan los resultados de los trabajos que estan realizando en Bolivia, para Bolivia.

Gracias.

**Discurso del Señor Director General de ORSTOM****Sr. Philippe TENNESON**

---

Excelentísimo señor Embajador de Francia,  
Señor Presidente de la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia,  
Señor Director de la Cooperación del Ministerio de Asuntos Extranjeros,  
Señor Director del Instituto Francés de Estudios Andinos,  
Doctor DEJOUX, Representante de ORSTOM en Bolivia,  
Señoras y Señores.

En primer lugar, deseo expresar el placer que siento al encontrarme hoy entre ustedes. En efecto, por primera vez descubro físicamente este magnífico país que es Bolivia. De hoy en adelante, Bolivia no será mas para mi, un establecimiento anónimo de una de las misiones de ORSTOM en el extremo del mundo, sino que estará asociado a los espléndidos paisajes de la Cordillera, del lago Titicaca o a los paisajes vertiginosos de Los Yungas.

Siento placer también al descubrir que Bolivia es un país donde la cooperación francesa se manifiesta plenamente, sea ésta cultural o científica. En este último campo, a través de los trabajos emprendidos por otras instituciones como el Instituto Francés de Estudios Andinos, el Museo de Historia Natural de Paris o la Universidad de Paris que colabora con el Observatorio de San Calixto, me doy cuenta que ORSTOM es un organismo muy dinámico.

En efecto, ORSTOM está presente en su país desde hace más de veinte años. Durante todos estos años, nuestro Instituto ha diversificado su colaboración para centrar sus esfuerzos en la investigación adaptada a las prioridades de Bolivia y para pasar de los primeros trabajos fundamentales de Geología Andina a los estudios con finalidad aplicada, hoy en día a nuestra disposición.

No es sorprendente que el tema principal de este Segundo Simposio brinde un amplio campo a la aplicación efectiva potencial de los resultados de la investigación para el desarrollo del país. Sin embargo, muy frecuentemente hemos constatado que importantes resultados, cuya aplicación estaba favoreciendo en un aspecto u otro al desarrollo de un país, no han sido conocidos por los usuarios potenciales o fueron únicamente conocidos por los científicos de la misma disciplina sin que se los valorizara plenamente.

En lo que concierne a Bolivia, las comunicaciones que seguirán, fruto de investigaciones efectuadas en cooperación entre investigadores franceses e investigadores bolivianos, demostrarán cómo los resultados obtenidos o a obtenerse proporcionarán elementos concretos para la explotación de los recursos naturales sean éstos minerales, biológicos o hídricos.

En algunos campos, y a la luz de los resultados de la investigación, será necesario crear, mientras que en otros será suficiente fomentar. Todo el mundo está hoy en día consciente de la importancia de la investigación en geología aurífera o geología petrolera, la una para paliar la baja de algunos metales, otrora generadores de divisas, la otra, para acceder a una verdadera independencia energética. Pero esto no es todo en un país como Bolivia que tiene la suerte de poseer en sus salares inmensas reservas de litio, potasio y otras sales explotables, que debería abocarse al estudio científico de sus riquezas: estimar con la mayor exactitud posible la amplitud y la localización precisa de estas reservas así como los medios de explotarlas.

Todo el mundo está consciente de la importancia del agua como factor de desarrollo. Sin embargo, este elemento es algo complejo y por lo tanto se lo debe cuantificar, utilizar, acondicionar y proteger. Por estas razones, todas las investigaciones concernientes a las aguas están directamente conectadas a los problemas de desarrollo. La definición de los grandes climas de Bolivia, la estimación de balances hídricos y de exportaciones de sales por el flujo de grandes ríos con los problemas corolarios de sedimentación, constituyen el conjunto de elementos que toman en cuenta los investigadores hidroclimatológicos y nosotros veremos, concretamente, cómo pueden utilizarse sus resultados.

El agua es fuente de vida, pero en exceso se convierte en un elemento nefasto para los cultivos. Su distribución en el suelo es determinante para el crecimiento de numerosas plantas alimenticias. Las comunicaciones que van a ser presentadas durante los próximos días, en el campo de la agronomía, insistirán en la gran importancia de la dinámica del agua a nivel de las plantas y de los suelos.

Finalmente, es difícil hablar del agua sin hablar de la vida que existe dentro de ella. Por ello, las investigaciones efectuadas por la ORSTOM en el campo de la hidrobiología serán presentadas en forma de posters. Simultáneamente, una comunicación tratará la tipología ecológica de los ríos del Altiplano y expondrá de qué modo estos datos de base pueden servir de guía para un cambio piscícola adaptado.

En otro campo completamente distinto, como es el de las Ciencias Humanas, debo señalar que los trabajos de nuestros investigadores acaban de concretizarse en dos publicaciones importantes, una de ellas titulada "Los campesinos y la crisis" y

la otra "Los migrantes del Alto de La Paz y sus estrategias alimentarias" que tratan los problemas cruciales de actualidad de su país. Estos trabajos han sido efectuados en colaboración con los investigadores bolivianos y pienso que los resultados serán presentados aquí a través de dos comunicaciones que, no sólo reflejarán la visión extranjera sino también una visión conjunta de la realidad de una situación que espero siga mejorando.

No puedo concluir, sin decir algunas palabras sobre los trabajos de los investigadores de la ORSTOM, especialistas en problemas de salud. Ellos están actualmente presentes en el Congreso Extraordinario de Biología de la Altura que se desarrolla en los nuevos locales del IBBA, razón por la cual han sido eximidos de las presentaciones de este simposio. No por esto quedan olvidados, son también parte integrante de los trabajos de nuestro instituto, en uno de los campos igualmente vitales para el desarrollo de un país, que son los siguientes: el estudio de las enfermedades tropicales, el estudio de las sustancias naturales utilizadas en la farmacopea tradicional y, por último, el estudio de la malnutrición.

Finalmente, a nivel de la capacitación quiero destacar el esfuerzo hecho por la ORSTOM. Decir, por ejemplo, que durante los dos últimos años le fue posible brindar su apoyo a la realización de más de treinta tesis de grado en diferentes campos (geología, hidrología, hidrobiología y salud).

Para el futuro, todas las posibilidades para un intercambio de investigadores entre Bolivia y Francia quedan abiertas.

Antes de terminar este corto discurso, quisiera destacar que lo que ORSTOM hace en Bolivia es también lo que el Instituto realiza o puede realizar en otros países tropicales. En este sentido, ORSTOM se beneficia con una experiencia adquirida en casi todo el mundo que le permite afirmar su intención de establecer una red de investigación que se desarrolle tanto a nivel regional y nacional como a nivel mundial.

Para ilustrar esto, citaré el trabajo que realizamos en el campo de la hidrobiología en el Delta Central del Níger; el que realizamos en el campo de la conservación de los suelos en Ecuador, Brasil y toda África; nuestra larga experiencia en teledetección y explotación de datos transmitidos por teletransmisiones que puede ser aplicada en todas partes del mundo.

No quisiera abusar de su tiempo con un discurso más largo. Pienso que ya es tiempo de ceder la palabra a los investigadores a quienes, tengo que agradecerles ahora, el esfuerzo efectuado para que este Segundo Simposio de la Investigación Francesa en Bolivia sea un éxito y, sobre todo, una contribución a este país.

Agradezco a ustedes su amable atención.

---

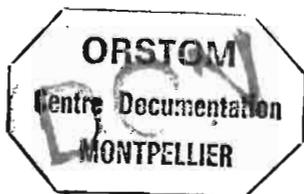
## LOS YACIMIENTOS DE ORO DE BOLIVIA : CONTEXTO GEOLOGICO Y GENETICO

Gérard HERAIL \*

Los principales distritos auríferos de Bolivia están ubicados (Ahlfeld 1937, Heuschmidt 1986, Morteani y Fuganti 1988) en la zona cordillerana del país (sobre todo en la Cordillera Oriental y parte del Altiplano), la llanura beniana y el escudo brasilero (fig. 1). La ubicación de estos yacimientos así como sus características metalogénicas son controladas por la evolución geológica regional. Sólo una parte de ellos (los yacimientos epitermales del Altiplano y los placeres) tienen origen en la historia andina propiamente dicha del país mientras que otros son anteriores.

Los yacimientos primarios de oro del escudo brasilero situados en Bolivia, como una gran parte de los yacimientos de oro hoy explotados en la Cordillera Oriental boliviana, surgen de una evolución geológica esencialmente pre andina; en cambio, son fenómenos geodinámicos recientes (Terciarios y Cuaternarios) los que han generado los yacimientos secundarios (placeres) asociados. En el escudo (Ahlfeld y Schneider-Scherbina 1964, Litherland et al 1986) tres distritos (fig. 1) tienen fama de ser auríferos. En el distrito de Sunsas-Santiago el oro se halla dentro en un "paleo-placer" del Proterozoico superior pero aún es mal conocido (Litherland et al 1986). El oro se descubrió en los años 1850 en el distrito de San Ramón (Lombard 1892, Peiser 1944) donde se explotaron mayormente placeres en los valles del río Quiser y de la Quebrada La Honda y, recientemente, de la Quebrada Las Limas. El oro de estos placeres procede de la erosión de vetas de cuarzo emplazadas en la faja esquistosa de Ñuflo de Chavéz (Proterozoico medio). Se conoce también la presencia de oro en sulfuros contenidos en amfibiolitas y metavulcanitas; este es el oro que se habría concentrado en las vetas de cuarzo durante la fase de metamorfismo asociada al episodio orogénico Sunsas (1250-950 Ma) (Litherland et al. 1986). En la frontera con Brasil, en el distrito aurífero de la Serranía de San Simón, el oro fue explotado desde fines del siglo XVIII; la mineralización (oro y misquiquel) está emplazada en mantos y "saddle reefs" de cuarzo contenidos en las subgrawakas poco metamorfizadas de la formación Bonanza así como en vetillas de cuarzo post-tectónicas. La composición del oro es muy variable y aparentemente está controlada por el con-

-----  
 x ORSTOM  
 Casilla 8714  
 La Paz - Bolivia



F 96 139

texto geológico (Pitfield in Litherland et al. 1986). En el transcurso de la evolución geomorfológica terciaria y cuaternaria se concentró oro en lateritas pero, sobre todo, se formaron placeres en los ríos que drenaban la zona primaria mineralizada: Arroyo de Oro, Arroyo Colorado... Actualmente, en el escudo, las investigaciones se abocan a la búsqueda de greenstones belts con mineralizaciones auríferas.

En la Cordillera Oriental de Los Andes bolivianos, los yacimientos de oro son numerosos y explotados desde tiempos antiguos. Corresponden generalmente a vetas de cuarzo aurífero emplazadas en el Ordovícico muy poco o nada metamorfozadas. Sin embargo, existen unas cuantas minas situadas en terrenos más recientes del Paleozoico como la mina Progresiva, cerca de Sorata, ubicada en el Silúrico o la mina Marcamarcani emplazada en el Devónico metamorfozada que bordea el Illampu al suroeste. En las Cordilleras de Apolabamba y Real, las mineralizaciones auríferas corresponden generalmente a mantos o vetas de cuarzo gris-azulado situadas en las areniscas y esquistos del Ordovícico superior. La mineralización es de alta temperatura. Generalmente corresponde a oro libre en el cuarzo y la paragenesis está constituida, fuera del cuarzo, por clorita, albita, pirita, arsenopirita, calcopirita y pirrotita (Tistl 1985). Se ha subrayado la existencia, en asociación con estos yacimientos, de sulfuros en la serie sedimentaria así como de sills de rocas volcánicas espilitizadas (Tistl 1985) lo que brinda argumentos para considerar que estos yacimientos son sinsedimentarios y están asociados a un volcanismo submarino de edad ordovícica. Las mineralizaciones auríferas de la Cordillera de Apolobamba, en el extremo sur del Perú, han sido explicadas por un contexto genético semejante (Fornari et al. 1984). El oro contenido en las vetas de cuarzo aurífero de la región de Yani contiene 4,5 a 6% de plata y, en proporciones inferiores al 0,05%, Cu, As, Fe, (Hérail et al. 1988a). Al margen de la zona ya conocida como aurífera, se descubrió una zona con mineralizaciones primarias constituida por oro libre en vetas emplazadas en los esquistos negros del Ordovícico medio (Hérail et al. 1988b). Además, en las investigaciones actualmente llevadas a cabo por ORSTOM, se ha establecido localmente la existencia de dos fases de mineralización aurífera; en Liriugi (Cordillera de Apolobamba) se explotan mantos de cuarzo aurífero emplazados en el Ordovícico, en los cuales se individualizó oro libre en cuarzo contenido en fracturas posteriores a la "fase manto" propiamente dicha. Por otra parte, los primeros datos radiocronológicos que estamos obteniendo sobre las vetas auríferas de la cordillera sugieren la existencia de una fase mineralizante bastante tardía. Es posible entonces que se deba reconsiderar, con más precisión, el problema de la génesis de las mineralizaciones primarias emplazadas en el Ordovícico del Norte de Bolivia.

En la parte central y meridional de la Cordillera Oriental están emplazados la mayor parte de los yacimientos de oro-antimonio (Ahlfeld y Schneider-Scherbina 1964). Por lo general, la

mineralización se halla en "saddle reefs"; en el cuarzo se encuentra oro libre, estibina, pirita, arsenopirita, jamesonita, esfalerita, calcopirita, galena y sulfosales (Lehrberger 1988). Si bien el oro está presente como oro libre en el cuarzo lo está también en microinclusiones en la estibina, la pirita o la esfalerita. El oro es generalmente muy puro pero, el que está libre en el cuarzo o el contenido en la pirita o la esfalerita, contiene más plata (1,6 a 6,5%) que el que está en la estibina (0 a 1,5%) (Lehrberger 1988).

Existen ocurrencias de cuarzo aurífero donde el oro está acompañado de Sn, W, As y Sb cerca de las intrusiones granodioríticas terciarias, como la Cordillera de Quimsa Cruz o los alrededores del Illimani (Lambate). Los eventos más recientes (Cenozoicos) de la historia andina de la Cordillera son los que han dado lugar a dos tipos de yacimientos importantes: los yacimientos epitermales del Altiplano (desde la región de Oruro hasta el Sud Lipez) y los placeres (principalmente en el departamento de La Paz y el Norte del país). En Bolivia, los yacimientos (o zonas de prospección) epitermales de oro, son yacimientos polimetálicos en los que los metales de base son mayoritarios y donde el ratio Ag/Au es de 50 o a veces más; por lo tanto son razones económicas (la alta cotización del oro) y técnicas (la posibilidad de tratar grandes volúmenes de baja ley de los cuales se recupera oro por heap-leaching) las que recientemente han "transformado" algunos de ellos en yacimientos de oro. Los yacimientos de este tipo están situados en el Altiplano (fig. 1) y se formaron en el curso de la evolución del arco magmático andino, durante el Mioceno y el Cuaternario (Redwood 1987a). Estos yacimientos corresponden a intrusiones porfíricas o a centros volcánicos (domos extrusivos, calderas y estratovolcanes). Las mineralizaciones se hallan ya sea en vetas bien definidas y con tenores altos (a veces varias decenas de gramos por tonelada) ya sea, con tenores mucho más bajos (unos gramos por tonelada), en brechas y zonas de alteración hidrotermal. La estructura mineralizada expuesta depende también del nivel alcanzado por la erosión (Redwood 1987).

Los placeres provienen de la erosión (o alteración supergénica) de mineralizaciones primarias y de la reconcentración de oro en los depósitos correlativos. En Bolivia, los placeres eluviales tienen escasa importancia mientras que los placeres aluviales tienen gran importancia económica. Su génesis es consecutiva a la formación de los relieves andinos y al momento en el cual la erosión alcanza las zonas primarias mineralizadas. Es por esto que en Bolivia, los placeres de mayor importancia son de edad miocena y cuaternaria. En muchos casos, estos placeres pueden estar muy dispersos y tener una importancia reducida pero condiciones estructurales y geomorfológicas peculiares pueden favorecer el entrapamiento de volúmenes importantes de sedimentos auríferos. Es por todas estas razones que en Bolivia existen placeres de mayor importancia en la vertiente nororiental de la Cordillera de Apolobamba y Cordillera Real (Freydanck 1964,

Hérail et al 1986). Los últimos 15 millones de años de la historia geológica de esta zona se caracterizan por un acortamiento tectónico importante al cual se asocia la formación de importantes cabalgamientos en la zona subandina, lo que permite el proseguimiento del levantamiento de la Cordillera Oriental y su fuerte erosión así como la formación de relieves cada vez más jóvenes desde la Cordillera hacia la llanura. En las depresiones comprendidas entre estos relieves (Serranía de Carura, Serranía del Tigre-Caquiahuaca...) se entramparon los productos de la erosión de la Cordillera, acumulándose en estas cuencas intramontanas volúmenes importantes de sedimentos auríferos (Formación Cangallí, en la cuenca de Tipuani-Mapiri, Formación Tutumo, en el sinclinal del Tuichi). Estos sedimentos son progresivamente incluidos al orógeno y sometidos a la erosión fluvial; de este modo provienen de oro los aluviones de los ríos conjuntamente a las vetas ubicadas en el Paleozoico de la Cordillera y en las terrazas como en el lecho de los ríos, se pueden formar placeres aluviales, tanto en la zona cordillerana (Ríos Mapiri, Tipuani, Challana...) como en el subandino (Bopi, Tuichi, Madidi) como en zonas muy distales (Madre de Dios...). En los otros lugares de la vertiente oriental de la Cordillera, existen placeres fluviátiles pero que se localizan sólo en la parte cordillerana de los valles (zona de Ayopaya, del Camblaya...). Esto se debe a la disposición de las mineralizaciones primarias como también al tipo de evolución morfoestructural en el Terciario. En el Altiplano y en el pie de monte occidental de la Cordillera Oriental también existen algunos placeres pero que se formaron en un contexto diferente. A lo largo de los ríos, drenando zonas donde existen mineralizaciones primarias, se formaron placeres, por lo general de poca importancia eso por la poca amplitud de la erosión y por las características del oro liberado que en ciertos casos es muy diminuto. Placeres de cierto volumen se formaron en el transcurso de las últimas fases glaciares en el pie de monte de la Cordillera de Apolobamba (región de Ulla-Ulla). El oro se halla en los sedimentos morémicos y fluvioglaciares dejados por los glaciares que erosionaron mineralizaciones primarias en la Cordillera, según un modelo bien establecido en la Cordillera de Apolobamba sudperuana (Hérail et al 1988c). Más al Sur sólo existen placeres glaciares muy localizados al pie de la Cordillera Real en los valles del río Vilaque o del río Chuquiaguillo por ejemplo (Ahlfeld y Schneider-Scherbina 1964).

Los trabajos llevados a cabo en el marco del Convenio UMSA-ORSTOM, con la colaboración de otras entidades bolivianas, tiene el propósito de analizar la geología de zonas donde se conoce o se supone la existencia de indicios de yacimientos aluviales de oro con el fin de reconstituir su contexto genético. Actualmente, las investigaciones se centran, por una parte, en la vertiente nororiental de la Cordillera de Apolobamba y sus pie de montes y, por la otra, en la región del río San Juan de Oro y sus afluentes que proceden de los Lípez; se realizan trabajos de menor amplitud en la región de Caracollo. En estas zonas nuestro propósito es:

- facilitar datos que permitan a las entidades competentes escoger con más conocimiento las zonas donde se pueden emprender trabajos costosos de evaluación de yacimientos aluviales;

- realizar el estudio de las características de las mineralizaciones aluviales y el estudio morfoscóptico (morfología y composición) de las partículas de oro colectadas en aluviones para conocer mejor el origen del oro de los aluviones y, en ciertos casos, descubrir nuevas fuentes primarias.

- proporcionar modelos regionales que ayuden a la exploración de territorios a veces muy grandes.

#### REFERENCIAS

AHLFELD, F., 1937 - Typen bolivianischer Goldlagerstätten. Zbl. Miner. Geol. Palaont., Abt. A, p. 240-245.

AHLFELD, F. y SCHNEIDER-SCHERBINA, A., 1964 - Los yacimientos minerales e hidrocarburos de Bolivia - Bol. Esp. Dep. Noc. Geol. Bolivia, 5, 388 p.

ERICKSEN, G.E., 1988 - Volcanic epithermal gold-silver deposits of the Central Andes, in "Yacimientos epitermales en ambiente de volcanismo reciente". La Paz. Ined. 10p.

FORNARI, M. y BONNEMAISON, M., 1984 - Mantos et amas sulfoarsenié à or : la Rinconada, premier indice de minéralisation de type exhalatif-sédimentaire dans la Cordillera Oriental du Pérou. Chron. Rech. Min., 474, p 33-40.

FREYDANCK, H.G., 1965 - The gold deposits at the foot of the Eastern Cordillera of Bolivia. Ined. 52 p.

HERAIL, G.; RUIZ, E.; ARGOLLO, J.; FORNARI, M.; LAUBACHER, G. y VICARRA, G., 1986 - El distrito de Tipuani. Geología e Historia, (Parte II). Khrysos, 1, 3, p. 7-14.

HERAIL, G.; FORNARI, M.; VISCARRA, G. y MIRANDA, V., 1988a - Evolución de las partículas de oro en el transcurso de la formación de un placer fluvial : el caso de los placeres de Tipuani (Andes, Bolivia). En prensa en VII Congreso Latinoamericano, Belén.

HERAIL, G.; FORNARI, M.; MIRANDA, V. y VISCARRA, G., 1988b - Découverte de nouvelles minéralisation primaires d'or dans la Cordillère Royale de Bolivie à partir de l'analyse morphoscopique de paillettes d'or prélevées en alluvion. C.R. Acad. Paris, Série II, T 307, p 63-69.

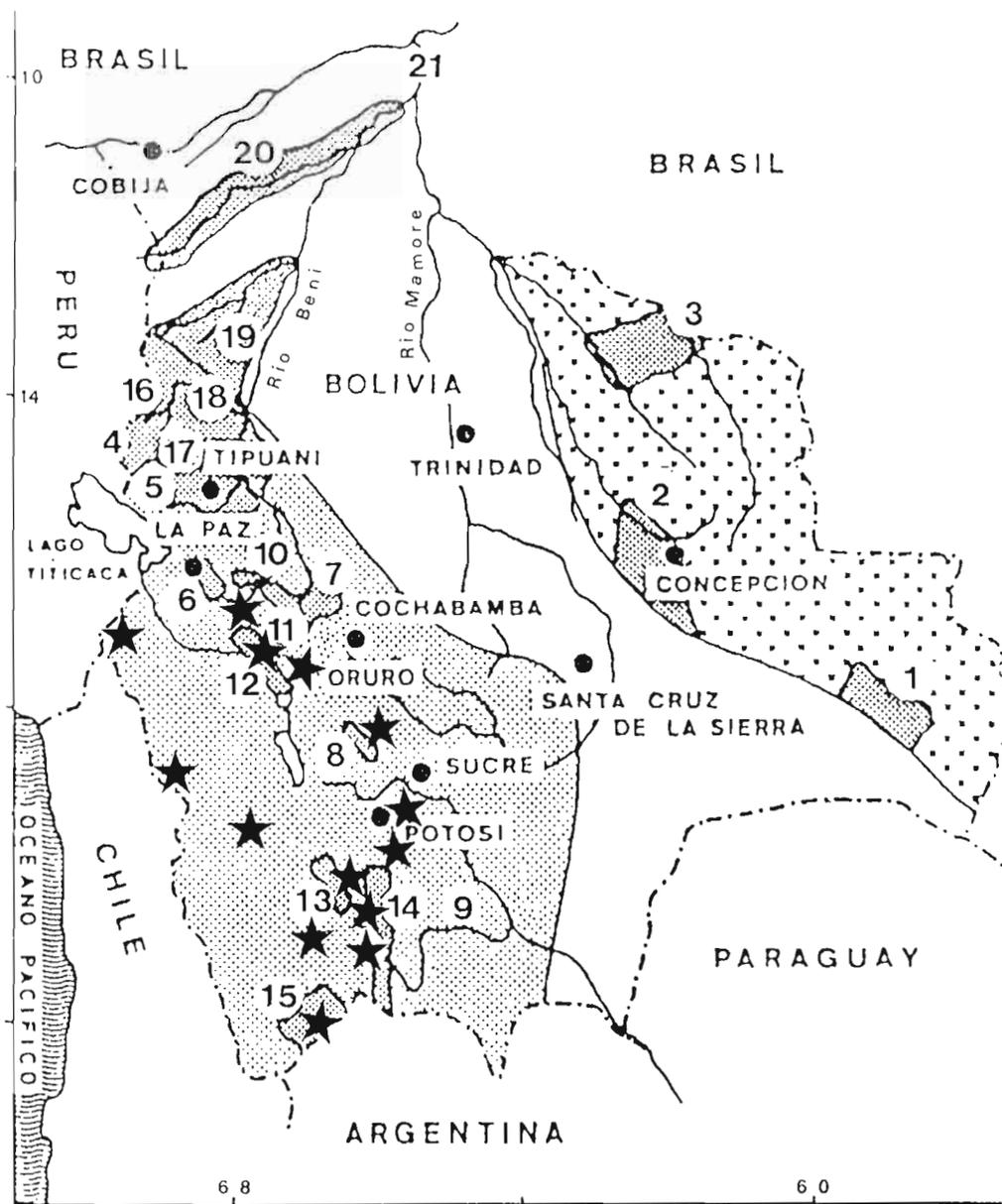


Fig. 1.- Los distritos auríferos de Bolivia y principales complejos volcánicos cenozoicos con oro y plata.

1: Sunsas-Santiago, 2: Ñuflo de Chávez, 3: San Simón, 4: Cordillera de Apolobamba, 5: Yani, 6: La Paz, 7: Cocapata, 8: Amayapampa, 9: Cotagaita-Camblaya, 10: Lambate, 11: Inquisivi-Ayopaya, 12: Laurani- La Joya, 13: Pulacayo, 14: Chichas, 15: Lípez, 16: Mojos, 17: Tipuani, 18: Tuichi, Alto Madidi, 19: Madidi y piedmonte beniano, 20: Madre de Dios, 21: Madera.

Las estrellas indican la localización de los complejos volcánicos Terciarios y Cuaternarios con mineralización de oro y plata.

(Fuentes: Ahlfield y Schneider-Scherbina 1964, Heuschmidt 1986, para los complejos volcánicos, Ericksen 1988).

HERAIL, G.; FORNARI, M.; ROUHIER, M. y LAUBACHER, G.; 1988b - Geomorphological determination of gold distribution and gold particle evolution in glacial and fluvioglacial placers of the Ancocala-Ananea basin (Southeastern Andes of Peru). *Geomorphology* 1,4, en prensa.

HEUSCHMIDT, B., 1986 - Provincia y distritos auríferos de Bolivia. *Khrysos*, 1,1, p 7-15.

LOMBARD, A., 1892 - Les gisements aurifères de Santa Rosa (Bolivie) Buenos Aires, 31p.

LEHRBERGER, G., 1988 - Gold-antimonite deposits in marine sediments of the eastern Cordillera of the bolivian Andes. *Bicentennial Gold 88*, Melbourne, p 319-321.

LITHERLAND, M.; ANNELS, R.N., APPLETON, J.D.; BERRANGE, J.P.; BLOOMFIELD, K.; BURTON, C.C-J.; DARBYSHIRE, D.P.F.; FLETCHER, C.J.N.; HAWKINS, M.P.; KLINCK, B.A.; LLANOS, A.; MITCHELL, W.I.; O'CONNOR, E.A.; PITFIELD, P.E.J.; POWER, G. y WEBB, B.C., 1986 - The geology and mineral resources of the Bolivian Precambrian shield. *British Geol. Surv., Overseas Memoir* 9, 153 p.

MORTEANI, G. y FUGANTI, A., 1988 - The gold deposits of Bolivia, a genetic classification and economic considerations. *Bicentennial Gold 88*, Melbourne, p 403-405.

PEISER, F., 1944 - Los yacimientos auríferos de la Provincia Ñuflo Chávez. *Min. Bol.* 1,12.

REDWOOD, S.D., 1987a - Metallogenic belts of the central Andes. *Pacific Rim Congress 1987*, p. 899-907.

REDWOOD, S.D., 1987b - The Soledad caldera, Bolivia : a Miocene caldera with associated epithermal Au - Ag - Cu - Pb - Zn mineralization. *Geol. Soc. Am. Bull.* 99, p 395-404.

TISTL, M., 1985 - Die Goldlagerstätten der nordlichen Cordillera Real (Bolivien) und ihr geologischer Rahmen. *Berliner Geow. Abh.*, A, 65, 102 p.

DESCIFRAMIENTO DEL REGISTRO SEDIMENTARIO DE LOS ÚLTIMOS 500 MILLONES DE AÑOS EN BOLIVIA : MODELIZACIÓN DE LA FORMACIÓN DE LOS ANDES Y DEL ENTRAMPAMIENTO DE LOS HIDROCARBUROS.

Thierry SEMPERE \*

Los métodos actuales de análisis de las cuencas sedimentarias y de sus deformaciones, aplicados en Bolivia por ORSTOM desde 1983, permiten precisar la evolución geológica del país durante los últimos 500 millones de años (Ma) y proporcionar datos utilizables en la exploración petrolera.

Esta historia empieza en el Cámbrico superior (520 Ma) por el nacimiento de una extensa cuenca marina - ubicada en el margen suroccidental del supercontinente de Gondwana -, que, pese a una crisis en el Ordovícico superior (460-450 Ma), no deja de evolucionar en dominio epicontinental hasta la crisis tectónica del Misisipiano (360-330 Ma). Luego de una discontinuidad fundamental debida a la acreción de la Patagonia al Gondwana, la sedimentación se reanuda en el Pensilvaniano (320 Ma) por la depositación de facies glaciomarinas, a las cuales sucede una plataforma carbonática en el Pérmico inferior. La crisis tectónica del Pérmico superior (260-240 Ma) es poco perceptible en Bolivia, pero introduce la sedimentación de facies fluviátiles y eólicas sobre un dominio cratónico apenas fracturado, probablemente hasta el Jurásico superior. El inicio de la apertura del Atlántico Sur en esta época (150 Ma) trastorna completamente la ubicación geotectónica del territorio boliviano, cuya parte andina bascula en la órbita del margen activo pacífico. La evolución de este dominio se desarrolla entonces en posición de retroarco (distensivo). La aceleración de la convergencia de las placas provoca la propagación hacia el Este de los fenómenos compresivos, que aparecen en el Altiplano occidental a fines del Paleoceno (61 Ma), y el funcionamiento, como cuenca muy subsidente de antepaís, del dominio Altiplano-Cordillera Oriental entre 59 y 28 Ma, y luego del conjunto Subandino-Llanura desde 28 Ma hasta hoy. Es durante este último período que se desarrollan las más importantes deformaciones responsables del presente aspecto de los Andes bolivianos. Aquellas deformaciones provocan por lo tanto desplazamientos horizontales considerables, y se propagan, todavía hoy, en dirección al cratón sudamericano.

Desde el punto de vista petrolero, los mejores horizontes generadores son de edad paleozoica, mientras que todos los cuerpos arenosos sellados constituyen posibles reservorios. Los mapas paleogeográficos realizados pueden leerse directamente dentro de una óptica petrolera. La historia térmica de las rocas-madres depende sobre todo de la cronología y ubicación de los varios procesos de rifting ocurridos, de las condiciones

\* Convenio YPFB-ORSTOM  
Casilla 487S  
Santa Cruz - Bolivia



alcanzadas durante las subsidencias rápidas del Cenozoico, y del magmatismo andino. Sin embargo, el entrampamiento de los hidrocarburos debió ser principalmente controlado por la evolución tectónica y sus diversos efectos (plegamientos, cabalgamientos, duplexes, basculamientos, etc...), que son modelizados por cortes estructurales balanceados.

Los trabajos del Convenio YPFB-ORSTOM se dedican en su conjunto a estas aspectos, buscando una mayor precisión de aquellos factores, no solamente mediante estudios de campo pero también a través de una reinterpretación actualizada de los numerosos datos existentes.

---

**ULTIMOS DATOS SOBRE EL SALAR DE UYUNI**  
**RECURSOS ECONOMICOS Y ORIGEN DE LAS CONCENTRACIONES**

En Li, K, Mg, B

François RISACHER <sup>x</sup>

I. DESCRIPCION SOMERA DEL SALAR DE UYUNI

El Salar de Uyuni es la costra de sal más grande del mundo : 10.000 Km<sup>2</sup> (Fig. 1). Tiene hasta 11 metros de espesor en la zona Nor-este. Está constituida de halita (95%) y de yeso (5%). Es muy porosa (35%) y muy permeable. Está rellena con una salmuera intersticial (Fig. 2). Es en esta salmuera que se encuentran disueltos los elementos económicamente interesantes : litio (Li), potasio (K), boro (B) y magnesio (Mg). Debajo de la costra hay sedimentos lacustres impermeables con una porosidad media de 50%, también rellena con una salmuera intersticial. El nivel de la salmuera dentro de la costra sube y baja según la estación.

Esta costra de sal proviene de la sequía, hace 10000 años, de un antiguo lago salado (1) : el lago Tauca (Fig. 3).

Ya se tienen numerosos análisis de las salmueras de la costra de sal ((2), (3), (4), (5), (6), (7)). Esto permite estimar las órdenes de magnitud de las reservas en los elementos económicamente interesantes :

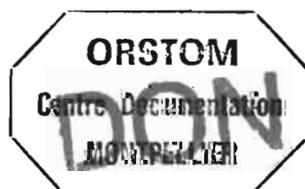
Li :	9 millones de toneladas (récord mundial)
B :	6 " "
K :	150 " "
Mg :	100 " "

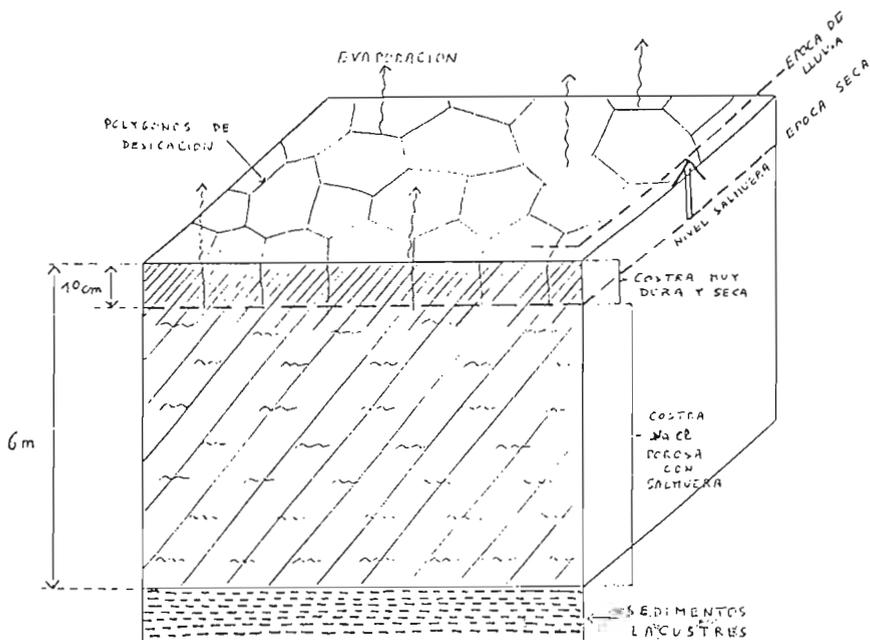
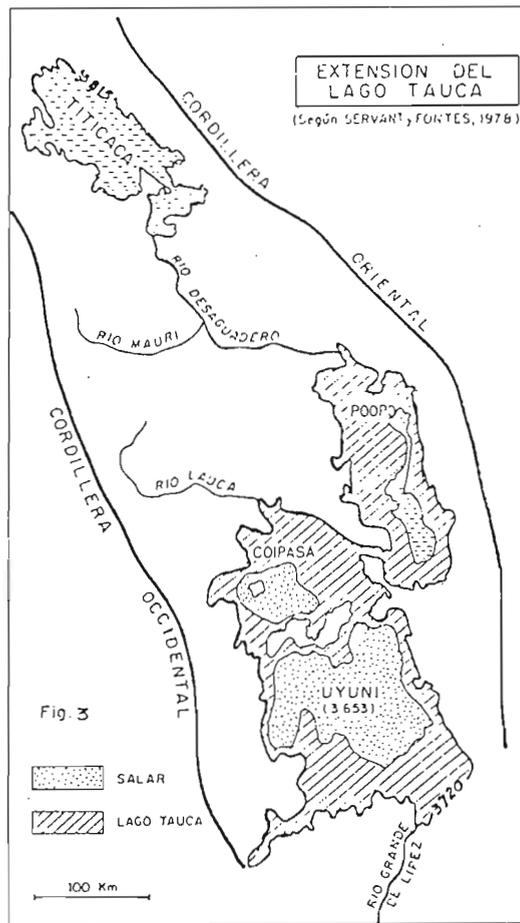
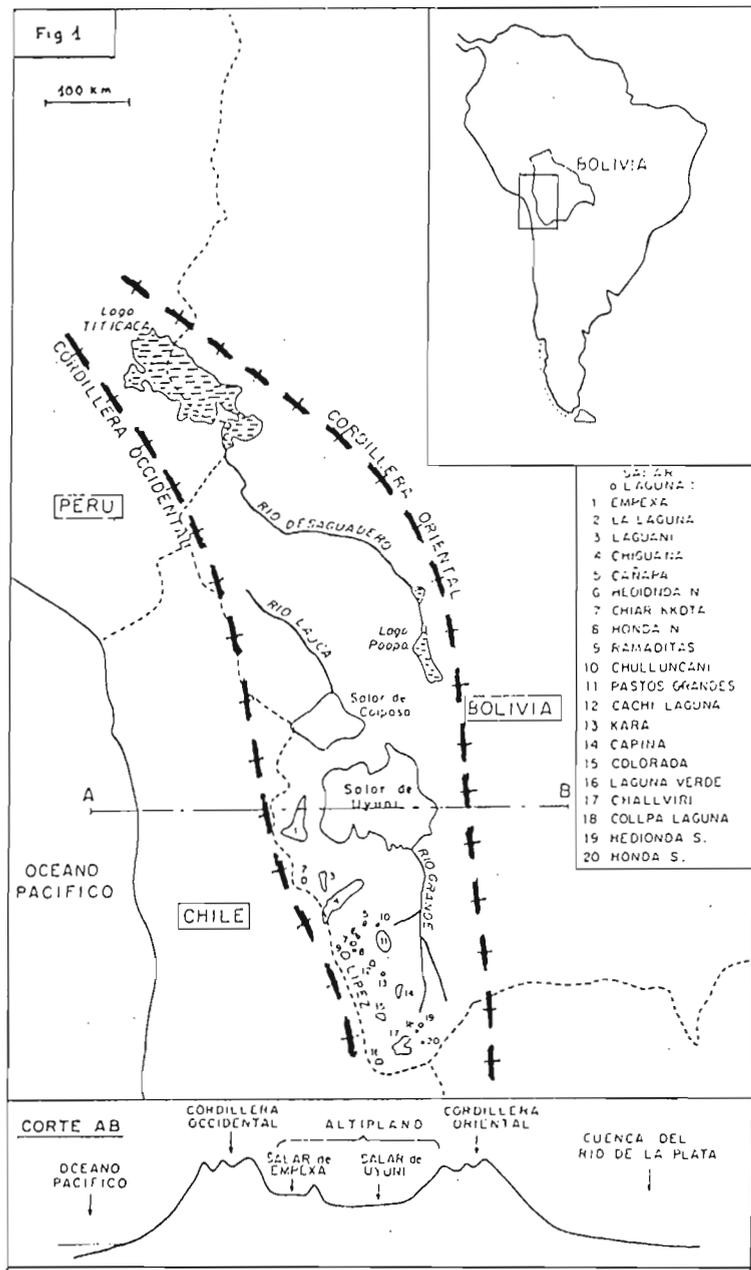
II. EL PROBLEMA MAYOR

Conociendo las cantidades de todos los elementos ahora presentes en el salar, y sabiendo que éste proviene de la sequía de un antiguo lago, se puede tratar de obtener la composición química de este lago disolviendo todo lo que hay en el salar en el volumen del antiguo lago.

---

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





**FIG. 2**  
COSTRA SUPERFICIAL DEL  
SALAR DE UYUNI

Previamente es necesario hacer una corrección con respecto a la cantidad de elementos que han llegado al salar desde hace 10.000 años. La composición química que se obtiene del antiguo lago es muy particular. No tiene ninguna relación con el quimismo de todos los manantiales, ríos y lagos del Altiplano (Fig. 4). La cantidad de Li, K, B y Mg es inferior a la de cloruro de sodio (8).

Si el antiguo lago hubiera tenido una composición similar a la de todas las demás aguas y salmueras del Altiplano, hoy día el salar debería tener 100.000.000 de toneladas de Li (y no las 9.000.000 que existen actualmente).

Una explicación parcial es que el lago Tauca ha redissuelto una costra de sal similar a la actual. Si un nuevo lago se establece ahora en el Altiplano central, este lago redissolvería una gran parte de la costra, enriqueciéndose mucho más en NaCl en relación a todos los demás componentes.

Sin embargo, esta no es una explicación muy satisfactoria; sólo desplaza el problema al pasado : por qué el lago anterior al Tauca tenía una composición tan particular ?

Una de las hipótesis es que los elementos que aparentemente faltan se hubieran infiltrado lentamente en los sedimentos, por debajo de la costra. Para verificarlo, hemos conseguido una pequeña perforadora saca-testigo con la que hemos hecho varios pozos. El más profundo, en la zona central del salar, alcanzó una profundidad de 121 metros.

### III. EL POZO CENTRAL

Debajo de la costra superficial, hemos encontrado 11 costras suplementarias separadas por niveles lacustres (Fig. 5). Todo el perfil está saturado por una salmuera intersticial al igual que en la costra superficial.

Inmediatamente observamos que el espesor de las costras aumenta con la profundidad y que, al contrario, el espesor de los niveles lacustres disminuye.

En la figura 5 presentamos el perfil de concentraciones en Li, de las salmueras intersticiales de todo el perfil. Se puede observar :

- que las concentraciones son uniformes en las costras
- que las concentraciones son variables en los sedimentos

Al parecer, en la zona más espesa en sedimentos lacustres, se produce una notable disminución del contenido en Li de las

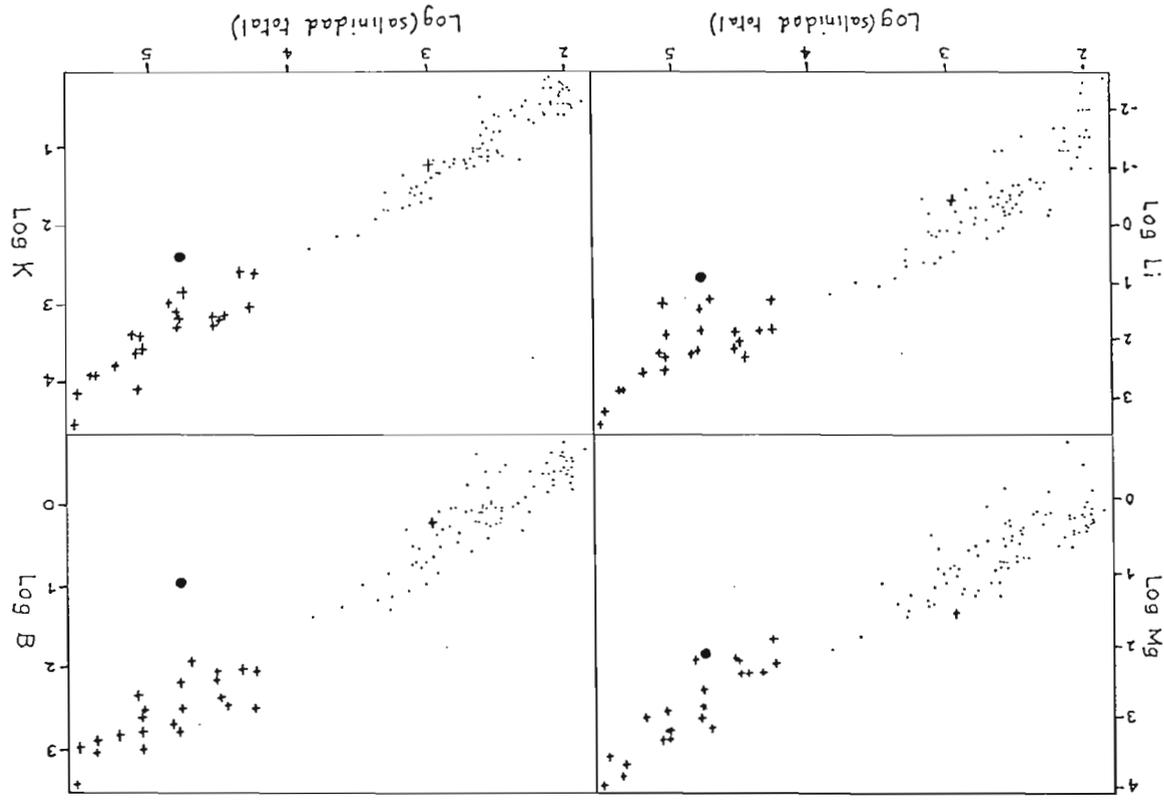


FIG. 4 Comparación de la composición química del lago Tauca con las composiciones de las vertientes, ríos y lagos del Altiplano

• Ríos y vertientes  
 + lagos actuales  
 ● Lago Tauca

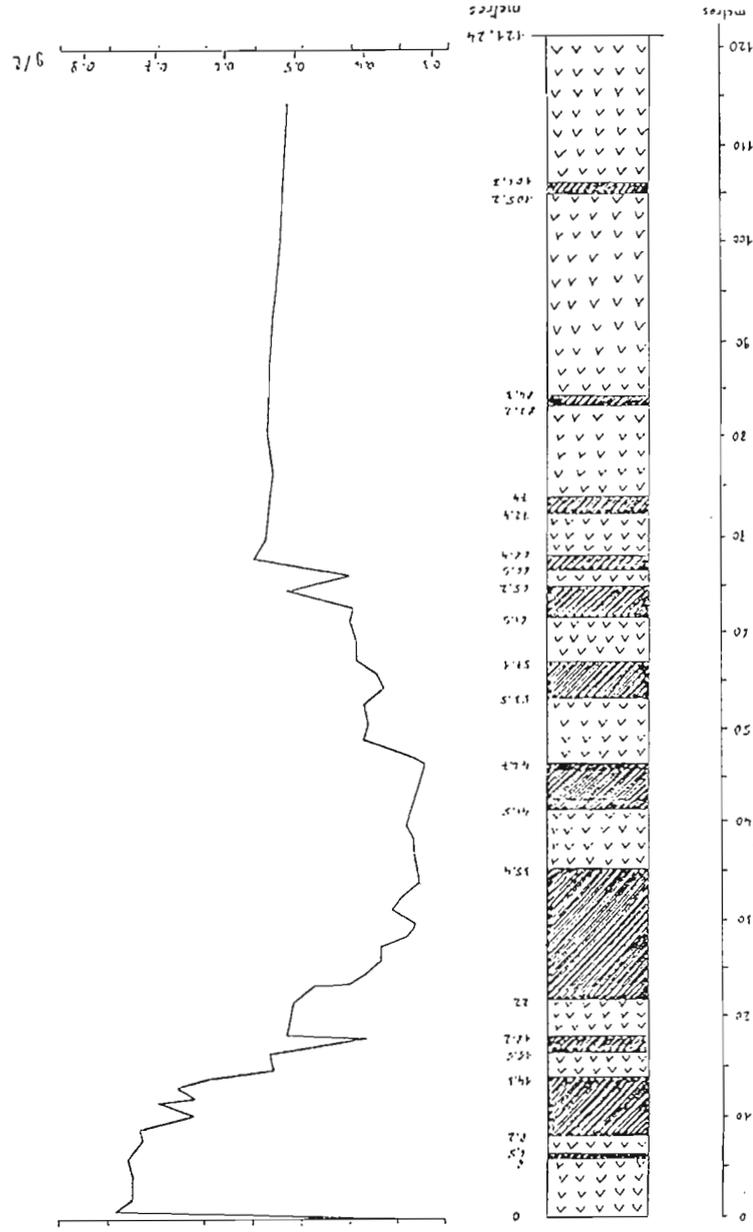


FIG. 5 UYU - PA Perfil del Pozo Central

salmueras. Esto se debe probablemente a neoformaciones arcillosas (9) dentro de los sedimentos que producen esmectitas con cierto contenido de Li. Un balance simple muestra que la disminución en Li (así como en Mg y K) corresponde a una cantidad de arcillas neoformas en una proporción mínima con respecto al porcentaje total de la masa de sedimentos. Es probable que el boro sea utilizado por las illitas y los micas, muy abundantes en la fase detritica de los sedimentos lacustres.

Nos hallamos, por lo tanto, ante un mecanismo que puede explicar la falta de Li, K, B y Mg en las salmueras. Sin embargo, este proceso sólo da cuenta de una pequeña fracción (10%) de lo que teóricamente falta.

Si la hipótesis de una infiltración, anteriormente señalada, fuera válida, deberíamos encontrar concentraciones mucho más elevadas en profundidad, lo que no ocurre. La anomalía que subrayamos al principio refiriéndonos a la costra superficial, es válida para cada una de las demás costras. Por lo tanto, resulta difícil mantener la hipótesis de una infiltración de Li, K, B y Mg; por lo menos en el caso de la zona central del salar.

La nueva hipótesis es que no hay una mayor deficiencia en Li, K, B y Mg en las salmueras, sino un exceso en NaCl. Esto es sugerido por las gruesas capas profundas de halita. Parece que ha entrado mucho más NaCl en la cuenca de Uyuni que en cualquier otro lago del Altiplano. Se supone que hubo una disolución de halita en antiguas evaporitas de la cuenca de drenaje. Existen muchos diapiros de yeso alrededor del salar. Es posible que, hace cientos miles de años, estos diapiros contuvieran también NaCl que fue poco a poco lixiviado. Queda un indicio: las aguas que lixivian cerca de Corocoro (Ulloma) contienen mucha halita que es explotada por los lugareños.

La actual costra de sal ha podido ser redisuelta y reprecipitada varias veces, transmitiendo cada vez, la anomalía inicial. Pero, como ahora entra mucho menos NaCl que antes, las proporciones en Li, K, B y Mg aumentan. Esta puede ser la razón por la cual la última costra es la más concentrada de todas.

#### IV. LA ZONA DE RIO GRANDE

La zona más concentrada en Li, K, B y Mg está ubicada al sud-Este del salar, muy próxima a la desembocadura del Río Grande de Lípez. La figura 6 presenta las curvas de isoconcentración en Li de esta zona del salar (8).

Se han hecho varios pozos en esta zona, manuales y con perforadora. La figura 7 presenta un perfil longitudinal de este sector del salar. La localización de este perfil está indicada en la figura 6.

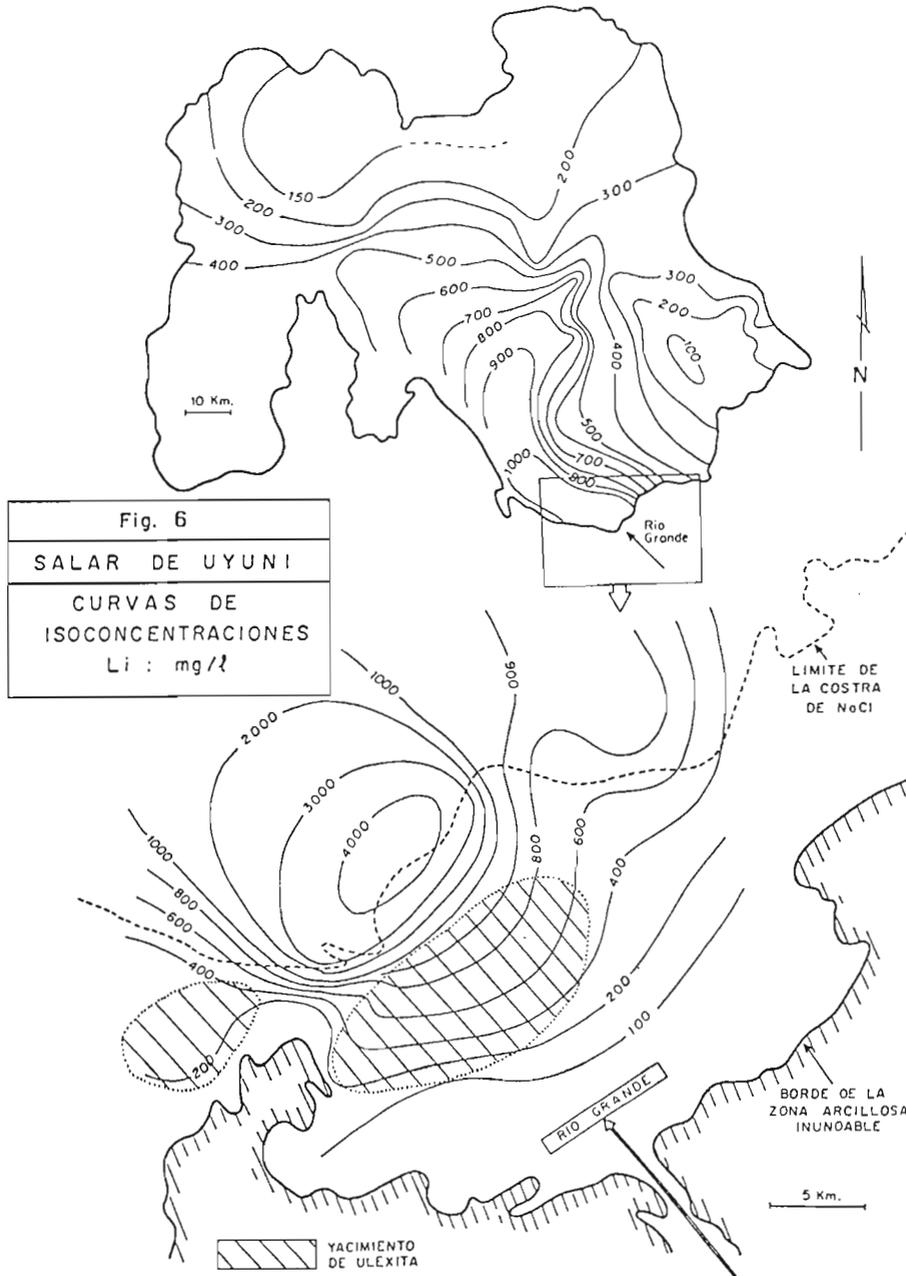
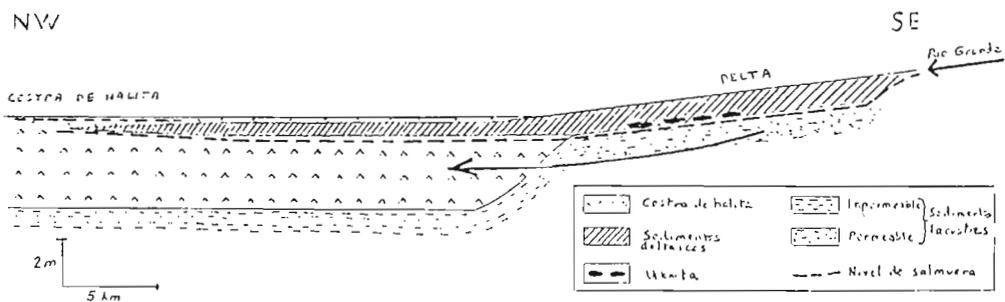
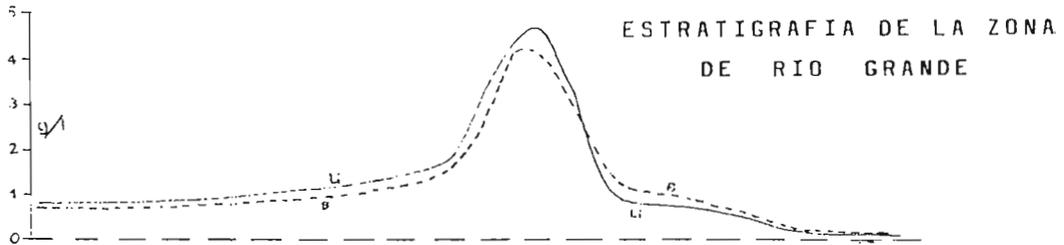


FIG. 7



Se observa que existen tres unidades estratigráficas :

- un nivel base de sedimentos lacustres
- la costra de halita
- una capa de sedimentos deltáicos que se intercala en la costra de sal.

El Río Grande alimenta una capa de salmuera subterránea que se mueve hacia la costra de sal, concentrándose progresivamente y depositando lentes de ulexita ( $\text{Na Ca B}_5 \text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) dentro de los sedimentos deltáicos.

Esta salmuera llega ya muy concentrada en Li, K, B y Mg al contacto con la costra de sal donde se estanca. A esto se debe que la zona más concentrada de la costra de sal se encuentre al extremo borde Sud-Este del salar.

Se han podido estimar órdenes de magnitud de las cantidades de Li, K, B y Mg de este sector del salar como también de las cantidades de estos mismos elementos transportados por el Río Grande desde la última sequía del Lago Tauca, hace 10000 años :

	Reservas Salmuera + ulexita	Aportes por el Río Grande desde hace 10.000 años
Li	1	1,5
K	10	12
Mg	15	19
B	3,5	4

Se observa que los órdenes de magnitud son bastante similares. Eso significa que las fuertes concentraciones en la zona de Río Grande son muy reciente : menos de 10.000 años. Fueron los aportes del Río Grande los que produjeron, hace 10.000 años, estas fuertes anomalías de concentración en la zona Sud-Este del salar de Uyuni.

Cabe señalar un hecho interesante. Si el Río Grande tuviera un caudal más importante que el actual, sus aguas desembocarían directamente encima de la costra de sal y no en los sedimentos del borde. Esto produciría un lago permanente como el lago de Coipasa alimentado por el río Lauca. Los elementos disueltos Li, K, Mg y B se esparcirían en una gran parte del salar, sin concentrarse. Por otra parte, si el Río Grande tuviera un caudal inferior al actual, sus aguas se infiltrarían mucho antes de llegar cerca del salar y tampoco se concentrarían en esta trampa como es la del borde de la costra de sal. El Río Grande tiene justo el caudal necesario para alimentar en Li, K, Mg y B al extremo Sud-este de la costra de sal de Uyuni.

## REFERENCIAS

- (1) SERVANT, M. et FONTES, J.Ch., 1978 - Les lacs qui ont existé sur les hauts plateaux des Andes boliviennes. Premières interprétations paléo-climatiques. Cah. ORSTOM, sér. Géologie, vol. X, n°1, p. 9-23.
  - (2) ERICKSEN, G.E. and VINE J.D., 1976 - Preliminary report on the lithium-rich brines at Salar de Uyuni and nearby salars in South-Western Bolivia. U.S. Geological Survey. Informe inédito, 43 p.
  - (3) RISACHER, F. y MIRANDA, J., 1976 - Indicios de interés económico en los salares del Sud-Liepz. Informe UMSA-ORSTOM, La Paz, Bolivia (inédito), 8 p.
  - (4) RISACHER, F.; MIRANDA, J. y CARLO, L., 1976 - Litio y potasio en las borateras de Río Grande. Informe UMSA-ORSTOM, La Paz, Bolivia (inédito), 3 p.
  - (5) ERICKSEN, G.E.; VINE, J.D. and BALLON, R., 1978 - Chemical composition and distribution of lithium-rich brines in Salar de Uyuni and nearby salars in South-Western, Bolivia. Energy, vol. 3, p. 355-363.
  - (6) REITIG, S.L.; JONES, B.F. and RISACHER, F., 1980 - Geochemical evolution of brines in the Salar of Uyuni, Bolivia. Chem. Geol., 30, p. 57-79.
  - (7) RISACHER, F., 1984 - Origine des concentrations extrêmes en bore et en lithium dans les saumures de l'Altiplano bolivien. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 299, série II, n° 11, p. 701-706.
  - (8) BALLIVIAN, O. y RISACHER, F., 1981 - Los salares del Altiplano Boliviano. Métodos de estudio y estimación económica. ORSTOM, Paris, 246 p.
  - (9) BADAUT, D. and RISACHER, F., 1983 - Authigenic smectite on diatom frustules in Bolivian saline lakes. Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 47, p. 363-375.
-

TRATAMIENTO QUIMICO DE SALMUERAS DEL  
SALAR DE UYUNI - POTOSI

---

Pedro CRESPO A.<sup>x</sup>      H. PALMA C.<sup>x</sup>

---

El compuesto más importante del Litio en la actualidad es el Carbonato de Litio que cubre más del 50% del mercado mundial, siguiéndole el Hidróxido de Litio con cerca del 34% y muchos otros compuestos sintetizados.

Actualmente las industrias del Aluminio, la cerámica y el vidrio, son las que más demandan el uso de compuestos de Litio, siguiendo en importancia la industria de grasas y lubricantes que usa el Hidróxido de Litio.

#### EVAPORACION (Figura 1 y 2) (Tabla 1)

En la evaporación de salmueras, se trató de simular las condiciones que regirán en la fase pre-industrial. Se utilizaron para ello, un reflector de rayos infrarrojos y vasos semisumergidos en un baño adiabático de agua.

El proceso comprendió 11 etapas, con un volumen de partida de 1000 cm<sup>3</sup> y un residuo final de 15 cm<sup>3</sup> de salmuera. El pH de la salmuera en el transcurso de toda evaporación es poco variable, casi neutro.

Se distinguen los cationes mayoritarios Na<sup>+</sup> y Mg<sup>2+</sup> con el 40% en peso de la masa total de sólidos disueltos y los aniones Cl<sup>-</sup>, en mayor cantidad, y SO<sup>2-</sup> con cerca del 59,6 % en peso en la etapa cero, antes de entrar en el proceso.

Inicialmente, se tiene la salmuera saturada en NaCl (302 g/l) que va disminuyendo su solubilidad conforme otra especie, el KCl, aumenta su concentración; este fenómeno se explica por el efecto del ión común Cloruro en la solución. La disminución de solubilidad del NaCl, hace que esta sal comience a precipitar en primera instancia; posteriormente, al alcanzar el KCl su punto de saturación de 155 g/l, precipita en forma conjunta.

---

<sup>x</sup> Instituto de Investigaciones Químicas  
Universidad Mayor de San Andrés  
Casilla 303  
La Paz - Bolivia

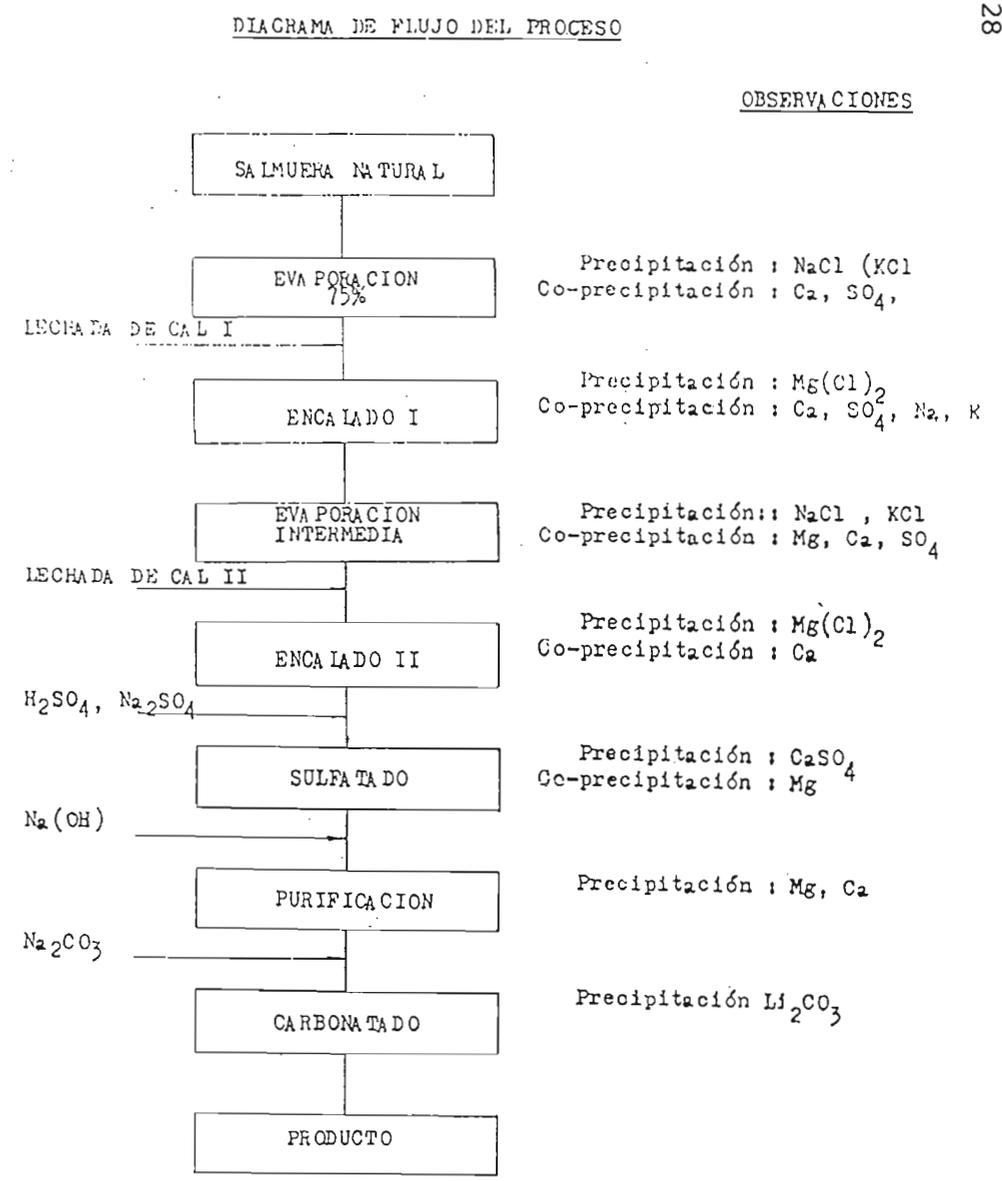
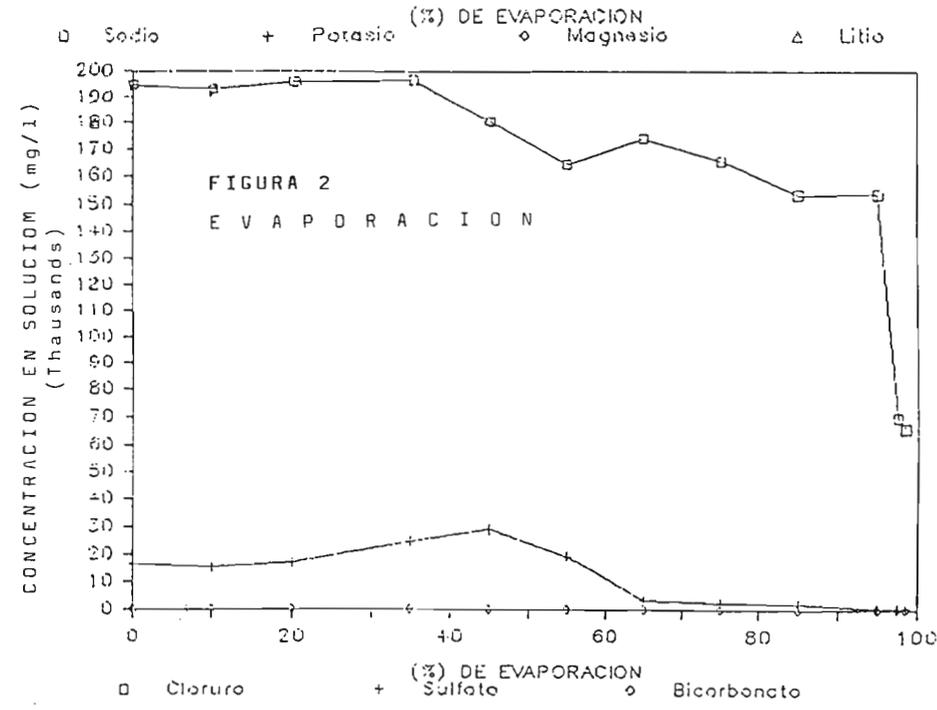
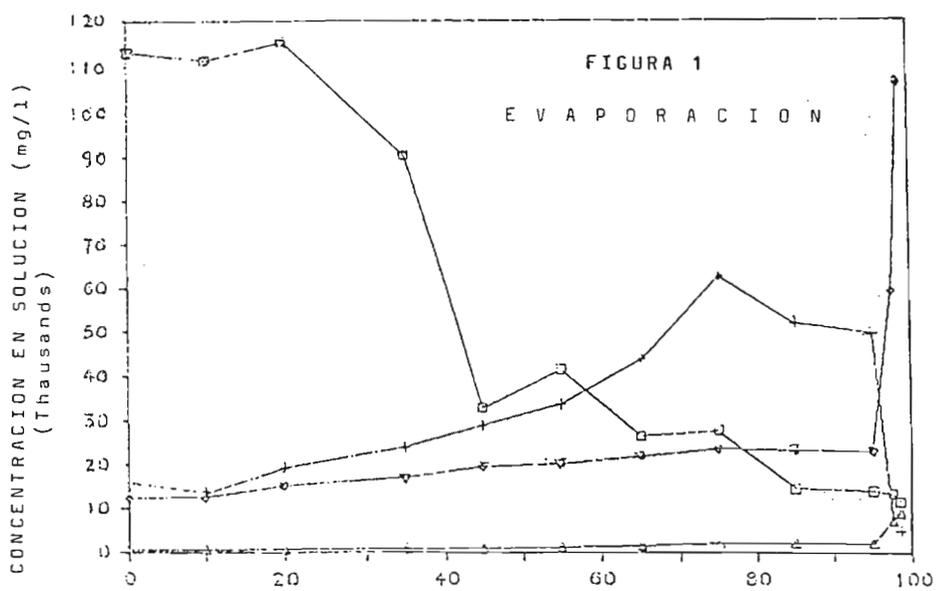


FIGURA 3

TABLA 1  
RESULTADOS DE ANALISIS, EVAPORACION SALMUERA NATURAL

ETAPA	CATIONES										ANIONES						D	
	Li <sup>+</sup>		Na <sup>+</sup>		K <sup>+</sup>		Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>		Cl <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			
	CONCENT. mg/l	% EN PESO	CONCENT. mg/l	% EN PESO	CONCENT. mg/l	% EN PESO												
0	513	0,14	113 700	31,97	16 000	4,52	291,4	0,08	12 500	3,53	194 505	54,93	16 480	4,65	45,2	0,01	556	0,16
1	547	0,16	111 500	32,14	13 698	3,94	228,0	0,07	12 663	3,64	193 785	55,53	15 510	4,46	40,0	0,01	534	0,15
2	627	0,17	115 511	31,71	19 488	5,35	61,0	0,02	15 392	4,23	195 723	53,74	16 970	4,66	41,0	0,01	536	0,15
3	729	0,21	90 400	25,54	24 000	6,73	71,0	0,02	17 098	4,83	196 418	55,43	24 752	6,99	39,0	0,01	538	0,15
4	824	0,25	32 900	9,40	29 069	8,19	47,0	0,02	19 627	5,44	119 335	33,20	29 116	8,10	37,0	0,02	680	0,20
5	1 112	0,33	31 068	8,80	32 366	9,16	73,0	0,03	20 253	5,71	152 433	42,31	10 173	2,81	36,0	0,01	618	0,18
6	1 456	0,43	26 552	7,52	43 873	12,41	45,0	0,02	22 019	6,00	174 009	47,98	3 357	0,93	33,0	0,01	759	0,22
7	2 019	0,59	27 770	7,71	63 565	17,88	--	--	23 578	6,50	165 667	45,22	2 495	0,69	34,0	0,01	802	0,23
8	2 087	0,61	14 604	4,11	51 933	14,64	--	--	23 228	6,34	153 669	41,83	2 122	0,58	30,0	0,01	852	0,24
9	2 090	0,61	14 035	3,92	49 480	13,74	--	--	23 164	6,29	153 824	41,85	454	0,12	30,0	0,01	902	0,26
10	7 300	2,11	13 431	3,70	8 174	2,24	--	--	59 100	16,11	70 000	19,16	400	0,11	--	--	--	--
11	9 020	2,53	11 540	3,15	4 962	1,34	--	--	107 150	29,00	66 158	18,12	330	0,09	--	--	--	--

TABLA 2  
PRECIPITACION CON LECHADA DE CAL I

RESULTADOS DE ANALISIS											MASA DE CAL ANADIDA		EXCESO S/ESTEQU.	pH
VASO	Li <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	AT	STD		g	% de M.I.	%	
1	1 664	13 015	50 131	356	5 483	29 516	240	25	106,4		24,5	4,0	-10	3,3
2	1 663	17 922	50 103	210	3 033	92 780	915	25	100,7		27,2	4,4	0	3,3
3	1 664	17 951	50 122	312	1 173	91 409	859	25	38,3		29,9	4,9	+10	3,3
4	1 666	17 958	50 115	149	3 054	91 099	869	25	99,6		34,9	5,5	+25	3,3
5	1 668	17 810	50 114	459	3 391	25 522	875	25	102,9		39,4	6,4	+45	3,3

\* En mg/l (Volumen Medio de salmuera : 0,604 l)  
AT Alcalinidad Total (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

TABLA 3  
EVAPORACION INTERMEDIA

RESULTADOS DE ANALISIS											MASA LIQUIDO RESIDUAL		pH
VASO	Li <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	AT	STD		g	% del Total	
1	3 586	15 239	9 402	421	5 567	68 438	399	0	25,2		264,3	64,9	8,9
2	3 842	15 114	12 127	328	3 080	65 299	468	3	25,2		284,4	64,3	8,8
3	3 888	15 149	10 367	414	1 112	61 667	323	0	23,5		273,4	67,0	9,0
4	3 616	15 822	10 167	315	3 188	64 572	390	0	24,6		266,3	65,0	9,0
5	3 744	15 243	10 147	438	3 791	67 207	419	7	24,9		269,3	66,0	9,0

\* En mg/l (Volumen Medio de salmuera : 0,251 l)  
AT Alcalinidad Total (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Al cabo de cierto volumen evaporado, de igual manera, la solución se satura en  $MgCl_2$  (460 g/l;) y comienza la precipitación sumándose a las dos especies anteriores. Sólo entonces el cloruro de litio ( $LiCl$ ) se concentra.

Teóricamente, el  $LiCl$  sigue su concentración hasta el valor de 419 g/l, punto en el cual se predice la precipitación conjunta de cuatro sales;  $NaCl$ ,  $KCl$ ,  $MgCl_2$  y  $LiCl$ .

#### PRECIPITACION DE MAGNESIO CON LECHADA DE CAL

La relación magnesio/litio en Uyuni es la más alta de las salmueras en que es explorado el litio. La abundancia del ión magnesio en Uyuni, casi igual a la de potasio, hace que este elemento no pueda ser separado óptimamente con un simple proceso de evaporación sin perjudicar el rendimiento en recuperación de Litio.

Usualmente, la separación de magnesio en medio básico, se realiza a partir de hidróxido de calcio, en mezcla líquida o la llamada "Lechada de cal".

Los oxhidrilos liberados por la lechada de cal, debido a la diferencia de solubilidad entre el  $Ca(OH)_2$  y el  $Mg(OH)_2$ , reaccionan rápidamente con los iones  $Mg^{2+}$ : pueden atrapar más fácilmente un anión (como el  $OH^-$ ) que el  $Ca^{2+}$ , quien en solución se desliga del oxhidrilo que precipita ligado al magnesio.

#### PRECIPITACION CON LECHADA DE CAL I (Tabla 2)

Se realizaron los cálculos necesarios, tomando como referencia las cantidades estequiométricas y variando las proporciones en -10 %, 0 %, +10 %, +25 % y +45 %.

Estos resultados muestran que la proporción estequiométrica no es ideal para el proceso, pues deja una concentración de 3033 mg/l de  $Mg^{2+}$  en solución, frente a 1173 mg/l con un 10% de exceso en  $CaO$ , 3054 mg/l con el 25% de exceso y 3891 mg/l con el 45%.

#### EVAPORACION INTERMEDIA (Tabla 3)

Cuando se mezcla la lechada de cal con la salmuera concentrada, se incrementa el volumen total en aproximadamente el 30%, es necesario concentrarla nuevamente por evaporación.

La prueba de precipitación con lechada de cal comprende, por lo mismo, una etapa intermedia de evaporación del 40% de la salmuera residual.

#### PRECIPITACION CON LECHADA DE CAL II (Tabla 4)

Hasta la evaporación intermedia, el objetivo que se persigue en la separación de magnesio está parcialmente cumplido. Sin embargo, aunque más del 96% promedio del catión ha sido separado, resta un 4% muy importante que aún acompaña al litio en solución.

#### NEUTRALIZACION CON $H_2SO_4$ , PRECIPITACION CON $Na_2SO_4$ (Tabla 5)

En las etapas anteriores se ha eliminado el magnesio a costa del incremento de la concentración de calcio.

Aquí puede verse que prácticamente todo el calcio y sulfato precipitan como la sal sulfato de calcio. La concentración de sodio naturalmente se eleva y la de potasio se mantiene; existen trazas de magnesio y el cloruro se pierde en un 4% relativo a la anterior etapa.

En lo referente al litio, nuevamente coprecipita por arrastre con una sal relativamente pesada como es el caso. A pesar de esta pérdida, en esta etapa si puede ser recuperado parte del litio coprecipitado; ello por el lavado de los cristales de precipitado con agua destilada a una temperatura superior a los  $80^{\circ}C$ .

#### PRECIPITACION DE LITIO CON CARBONATO DE SODIO (Tabla 6)

Se trata de la operación más importante en la precipitación selectiva de cationes. El carbonato de litio ( $Li_2CO_3$ ) es el producto final al que se pretende llegar con un rendimiento óptimo. A pesar de ello, antes de precipitar el carbonato de litio, es necesario eliminar las posibles trazas de magnesio y calcio restantes. Por ello, se requiere del previo tratamiento con una pequeña cantidad de hidróxido de sodio. Esta separa, en su totalidad, las trazas de magnesio y calcio restantes, que a una temperatura superior a los  $70^{\circ}C$ . precipitan como hidróxidos insolubles, dejando en solución los cationes  $Li^+$ ,  $Na^+$  y  $K^+$ . La importancia de esta precipitación en el plan de una purificación final, se justifica plenamente al observar las solubilidades de carbonatos. El tratamiento de salmuera concentrada se dió con la precipitación de  $Li_2CO_3$  a partir de carbonato de sodio anhidro a la temperatura de  $90^{\circ}C$ . La forma de llevar a efecto la prueba fue similar a las de etapas anteriores en el uso de distintas proporciones del reactivo precipitante.

Se aprecian los resultados de análisis correspondientes al sólido precipitado ( $Li_2CO_3$ ) después de dos lavados consecutivos de cristales.

Con lo que generamos el diagrama de procesos (Fig. 3).

TABLA 4  
PRECIPITACION CON LECHADA DE CAL II  
BALANCE

RESULTADOS DE ANALISIS										MASA DE CaO ARADIDA		EXCESO S/ESTEQU.	pH
VASO	Li <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	AT	STD	g	% de M.I.	%	
1	3 337	14 307	9 218	442	413	53 962	318	0	21,9	3,18	1,41	+10	9,3
2	3 581	14 195	11 318	393	196	53 188	438	7	22,2	1,76	0,78	+10	9,3
3	3 588	14 217	10 105	401	42	51 798	303	0	21,5	0,63	0,28	+10	9,3
4	3 341	14 843	9 502	416	211	53 706	454	0	22,1	1,82	0,81	+10	9,3
5	3 375	14 281	9 790	435	238	54 988	389	0	22,3	2,16	0,96	+10	9,3

\* En mg/l (Volumen Medio de salmuera : 0,267 l)  
AT Alcalinidad Total (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

TABLA 5  
PRECIPITACION CON SULFATO DE SODIO  
BALANCE

RESULTADOS DE ANALISIS										MASA DE Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ARADIDA		EXCESO S/ESTEQU.	pH
VASO	Li <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	AT	STD	g	% de M.I.	%	
1	2 800	13 471	8 237	17	234	46 620	0	0	21,1	0,234	0,09	-10	6,9
2	2 925	13 017	10 169	7	123	46 207	17	0	21,4	0,177	0,07	00	7,0
3	2 909	13 458	9 108	3	19	45 509	0	0	21,0	0,254	0,10	+10	7,0
4	2 780	13 805	8 461	0	126	46 491	24	0	21,2	0,238	0,09	+25	7,0
5	20902	13 437	8 786	7	140	47 868	10	0	21,6	0,333	0,12	+45	7,0

\* En mg/l (Volumen Medio de salmuera : 0,295 l)  
AT Alcalinidad Total (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

TABLA 6  
PRECIPITACION CON CARBONATO DE SODIO

RESULTADOS DE ANALISIS										MASA DE Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ARADIDA		EXCESO S/ESTEQU.	pH
VASO	Li <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	AT	STD	g	% de M.I.	%	
1	2 720	-	-	16	220	-	-	12 855	4 695,9	5,1	1,7	-10	6,9
2	2 942	-	-	7	60	-	-	13 102	4 755,3	5,9	2,0	0	7,1
3	2 829	-	-	3	16	-	-	12 254	4 485,4	6,5	2,2	+10	7,0
4	2 701	-	-	-	119	-	-	12 151	4 446,3	7,0	2,4	+25	7,0
5	2 821	-	-	7	130	-	-	13 737	4 958,4	8,5	2,9	+45	7,1

\* ANALISIS DE SOLIDOS EN mg/l. Volumen medio de análisis : 0,297 l  
AT Alcalinidad Total : CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>



## INGENIERIA DEL PROYECTO, PLANTA PILOTO DE $\text{Li}_2\text{CO}_3$

Con excelentes resultados se ha comprobado la utilidad y eficiencia del método propuesto para la separación del litio, en forma de carbonato de litio, de las Salmueras del Salar de Uyuni. Se ha realizado además la extrapolación de resultados al diseño de una planta experimental cuyo diseño en detalle se encuentra en estudio. Aquí se presentan resultados preliminares de dicho estudio.

La figura 3 presenta el diagrama de flujo en el que se basa todo el proceso en planta; se contemplan, además de las operaciones mencionadas, cálculos y balances másicos adecuados a la utilización eficiente de cada equipo.

### CAPACIDAD DE PLANTA

La planta experimental que se pretende, tendrá la capacidad instalada de tratamiento de salmueras siguiente :

Capacidad diaria :	9,6 TM/día (min.)	40 TM/día (max.)
Capacidad mensual :	288 TM/mes (min.)	1150 TM/mes (max.)
Capacidad anual :	3.500 TM/año (min.)	13825 TM/año (max.)

### PRODUCCION

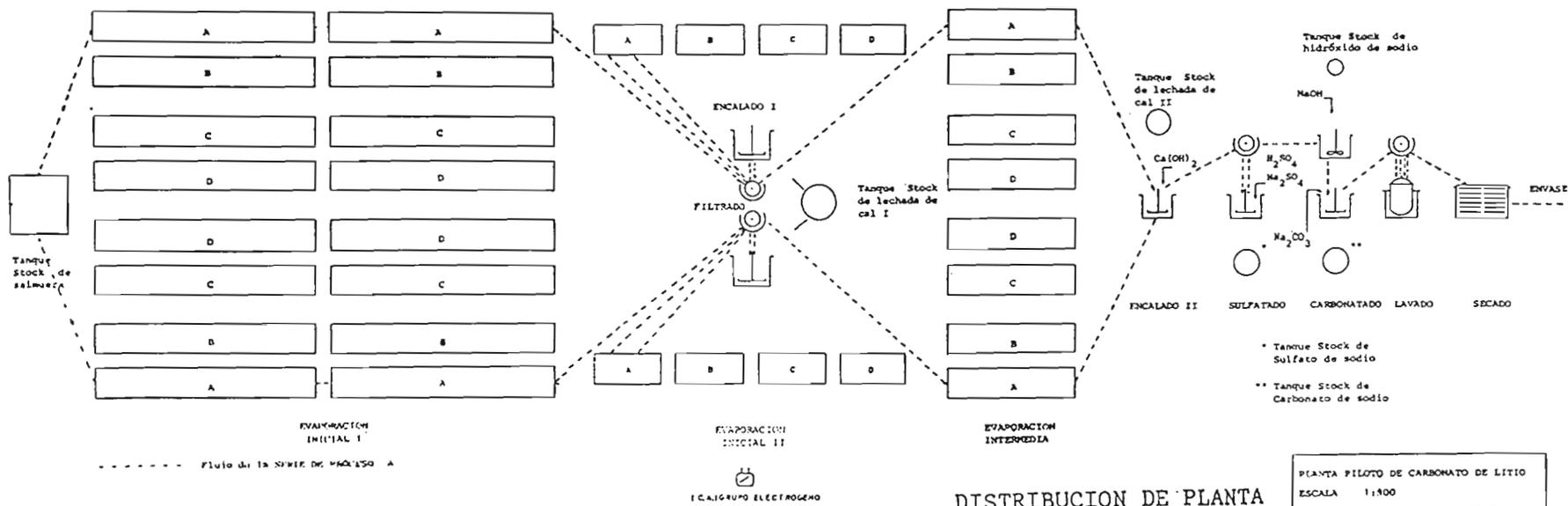
La producción de esta planta se ha estimado en forma aproximada con los datos que brinda la parte experimental :

Producción anual:	6.500 Kg.	$\text{Li}_2\text{CO}_3$ /año	(min.)
	26.000 Kg.	$\text{Li}_2\text{CO}_3$ /año	(max.)
Rendimiento est.	81%		

### DESCRIPCION DE LA PLANTA

Esta planta tendrá una forma "modular", es decir un modelo versátil en el que fácilmente se podrá incrementar la capacidad acoplando equipo sencillo en las denominadas "series de proceso". Cada una de ellas contempla una secuencia de trabajo con uso constante de maquinaria que, de acuerdo a un estudio de teoría secuencial, evita tiempos de ocio y colas no controlables. El programa de distribución secuencial se muestra en la figura 4.

En esta figura se muestra la distribución específica, en el tiempo, de la maquinaria en 4 series de proceso idénticas, para las cuales será común el uso de algunos de los siguientes equipos: Filtros (baterías A,B,C), pozas de encalado, pozas de sulfato y carbonatos; la modularidad de la planta y el tiempo de uso de equipo programado para cada serie de proceso prevé la ampliación de la capacidad hasta un máximo de 4 veces la capacidad inicial instalada.



**DISTRIBUCION DE PLANTA**

FIGURA 5

PLANTA PILOTO DE CARBONATO DE LITIO  
 ESCALA 1:500  
 PROYECTO: BENEFICIO DE LITIO EN EL  
 SALAR DE UYUNI - POTOSI  
 PROYECTISTA: HERNANDO PALMA GARRASCO  
 FECHA : La Paz, Mayo 16, 1987

DISTRIBUCION DE PLANTA

De acuerdo a un balance másico y el uso de equipo programado se ha realizado la distribución de planta que muestra la figura 5. Las líneas punteadas indican la dirección que sigue, en el proceso, la serie A. También se muestra cómo, tras la evaporación inicial I, la salmuera pasa a la batería de filtros A, de donde es transportada mediante bombeo a las piletas B y, nuevamente, tras la operación, a los mismos filtros. El filtrado pasa a la poza de Encalado I, y, filtrada la salmuera, es nuevamente bombeada (con la misma bomba) a la serie de piletas C de Evaporación Intermedia. Concluida esta operación, se continúa el proceso conforme al flujograma estudiado.

Para la distribución de planta se ha realizado un estudio de tiempos y movimientos en tal forma de no interferir ninguna de las operaciones. La forma modular de la planta hace que, con sólo añadir uno o dos grupos de piletas y programando el uso de filtros, agitadores y demás maquinaria en el tiempo, pueda ampliarse la producción sin una inversión grande en equipo.



## OBSERVATORIO SAN CALIXTO

## SISMICIDAD DE BOLIVIA

R. CABRE S.J.<sup>x</sup> A. VEGA<sup>x</sup> E. MINAYA<sup>x</sup> M. DESCLOITRES<sup>x</sup>

El día 1<sup>ro</sup> de Mayo de 1913 se dio por concluida la etapa de experimentación de la estación sismológica de La Paz, que ha sido conocida internacionalmente por la sigla LPZ y comenzó a publicarse un boletín que aún tiene vigencia en nuestros días. Esta fecha es considerada como la fecha de fundación del Observatorio San Calixto, si bien desde 1892 existe una estación meteorológica que aun sigue en funcionamiento en el presente.

Durante estos 75 años de existencia, el Observatorio se ha caracterizado por su especialidad en Sismología, aunque los datos de meteorología hayan sido siempre muy estimados. La investigación meteorológica tuvo su importancia en algunas épocas, en particular cuando se descubrió que, por un error arrastrado desde Panamá, todo el continente Sudamericano había sido considerado unos 400 metros al Oeste de su verdadera posición. Por su parte, el estudio de los infrasonidos en la atmósfera tuvo también una época de relieve.

El francés Pierre M. Descotes S.J., considerado como el fundador del Observatorio - Director del mismo durante 50 años -, digno hombre de ciencia; fue reconocido al ser nombrado como uno de los Miembros Fundadores de la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia, condecorado con la Legión de Honor, el Cóndor de los Andes en Grado de Oficial y con varias otras condecoraciones.

La fundación del Observatorio San Calixto se produjo a raíz de una recomendación de la 2<sup>da</sup> Asamblea General de la Asociación de Sismología (precursora de la actual Asociación Internacional de Sismología y Física del Interior de la Tierra), celebrada en Manchester el año 1911. P. Descotes consideró, desde el primer momento, que el Observatorio debía contribuir a la ciencia mundial con el estudio del interior de la Tierra pero, especialmente, aportar a Bolivia - en una misión evangelizadora - el conocimiento de la sismicidad del país. Fue por ello que se empeñó en recopilar toda la información posible tanto sobre los sismos históricos como sobre los que fuesen ocurriendo; de esta manera proporcionó información para publicaciones futuras y para las complementaciones que actualmente se realizan a través de programas multinacionales, como el SISAN y el SISRA.

---

<sup>x</sup> Observatorio San Calixto  
La Paz - Bolivia

Durante el Año Geofísico Internacional , 1957-1958, el Observatorio prestó su colaboración a un estudio realizado por la Carnegie Institution de Washington intentando registrar las ondas sísmicas producidas por las explosiones en las minas de Chuquicamata y Toquepala. El resultado de dicho estudio fue negativo ya que las ondas sísmicas eran extraordinariamente atenuadas por debajo de los Andes y por lo tanto no se podían registrar o se registraban muy debilmente en la parte boliviana. Esto dió lugar a la idea de registrar ondas sísmicas de mayor energía, como suelen ser las de los sismos naturales, aún con la dificultad de no contar con un tiempo y una magnitud certeros. Por ello, la Carnegie Institution organizó una red de estaciones semiportátiles.

Las estaciones Carnegie debían ser administradas en Bolivia por el Instituto Geofísico organizado en la Universidad Mayor de San Andrés (que posteriormente pasaría a ser el Instituto Tecnológico). Sin embargo, la responsabilidad fue delegada al Observatorio San Calixto que de esta manera amplió su espacio de actividades. Estas estaciones debían contribuir a llegar a un buen conocimiento de la sismicidad de Bolivia. Sin embargo, diversas causas impidieron alcanzar este objetivo en su totalidad. Se alcanzaron otros, en particular el entrenamiento del personal Boliviano que daría frutos en programas posteriores.

En 1963, la empresa norteamericana Geotech instaló una nueva estación sísmica en Peñas, no lejos del Lago Titicaca. Era del tipo LR-SM que incluía una disposición de 7 sismómetros verticales de corto período con pequeña apertura. Esta última condición impedía hacer localizaciones con suficiente aproximación en el conjunto de la superficie de Bolivia, por lo que el estudio de la sismicidad no pudo avanzar. De 1965 a 1975 (año en que se cerró) la estación dependió enteramente del Observatorio San Calixto.

A partir de 1975, un Convenio con la Universidad de Paris determinó la instalación de tres estaciones telemétricas en el Valle de Zongo. Estas, junto con los datos de la estación standard WWSSN - instalada en 1962 en Seguencoma, La Paz - permitieron obtener localizaciones suficientemente precisas para ir preparando el estudio integral de la Sismicidad Boliviana, en base a estimaciones matemáticas de probabilidad de sismos de mayor magnitud en función al número de sismos de magnitudes muy pequeñas ( sin obviar la aportación de los datos de sismos históricos mayores ocurridos en el país).

El Proyecto Multinacional denominado SISAN (Sismicidad Andina) agrupó a Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia y contó con una ayuda de la OEA con el fin de uniformar métodos, recuperar información olvidada en los archivos y, sobre todo, preparar un nuevo proyecto de mayor envergadura. Ocola (1984) editó, en cuatro volúmenes, los resultados del Proyecto SISAN.

El Proyecto para la Mitigación de los Efectos de Terremotos en la Región Andina (SISRA), ha tenido mayor envergadura en cuanto a extensión e intensidad que el SISAN. Este Proyecto ha cubierto toda la región Andina y ha uniformado la forma de presentación de la actividad sísmica. En lo que se refiere a Bolivia, este Proyecto cobró importancia por el estudio de varias fallas geológicas activas y por la recuperación de información respecto a los terremotos históricos.

Este Proyecto ha tenido como resultado, la publicación de cuatro mapas de Sudamérica que presentan diversos aspectos relacionados con la sismicidad, veintidos volúmenes con datos de observación directa e instrumentales y varios estudios de carácter general, importantes para la investigación de la Sismicidad. Si bien este trabajo no puede ser considerado como definitivo, ya que no se conoce lo suficiente para prevenir riesgos sísmicos, constituye un gran aporte que facilitará los trabajos futuros al respecto.

En 1985, se instaló una nueva estación sísmica francesa en el Cerro Gloria - al Oeste de la Paz. Esta estación ha facilitado el control Este-Oeste para las localizaciones de sismos. Además, se trasladó la telemetría hasta la ciudad. De este modo, el local central del Observatorio cuenta con el registro en tiempo real de 5 estaciones, cuatro de ellas instaladas y operadas por el programa de cooperación de Francia y una por la cooperación del Servicio Geológico de EE.UU. Esta última cuenta con tres componentes de corto período que, al registrar mejor las ondas transversales, facilita el cálculo de la distancia entre el evento y la red de registro.

La red alrededor de La Paz, aún contando con el apoyo de Cochabamba - con un equipo poco sensible -, requería ser complementada con equipos en otras partes de Bolivia. Una estación en Tupiza, instalada por la Universidad Libre de Berlín y operada por personal de YPFB, ha brindado registros aceptables pero durante períodos de tiempo muy cortos. Se ha intentado instalar otra estación en Tarija, en cooperación con el Observatorio Astronómico (operado por la Academia de Ciencias de Bolivia y la URSS) pero, el equipo disponible presentó deficiencias que se agravaron por la distancia entre el Observatorio y esa estación.

En 1988 se instala la estación sísmica de San Ignacio de Velasco, nuevamente dentro del programa de cooperación con la Universidad de París. Tanto el equipo empleado como el sitio prometen brindar muy buenos registros. Por lo tanto, los estudios futuros en toda Bolivia, serán más fáciles y seguros.

Aún está en preparación la instalación de una nueva estación, del tipo Global Telemetered Seismic Network, que elevará a seis el número de estaciones instaladas en la ciudad de La Paz. Este tipo de estación sísmica da especial relieve a los

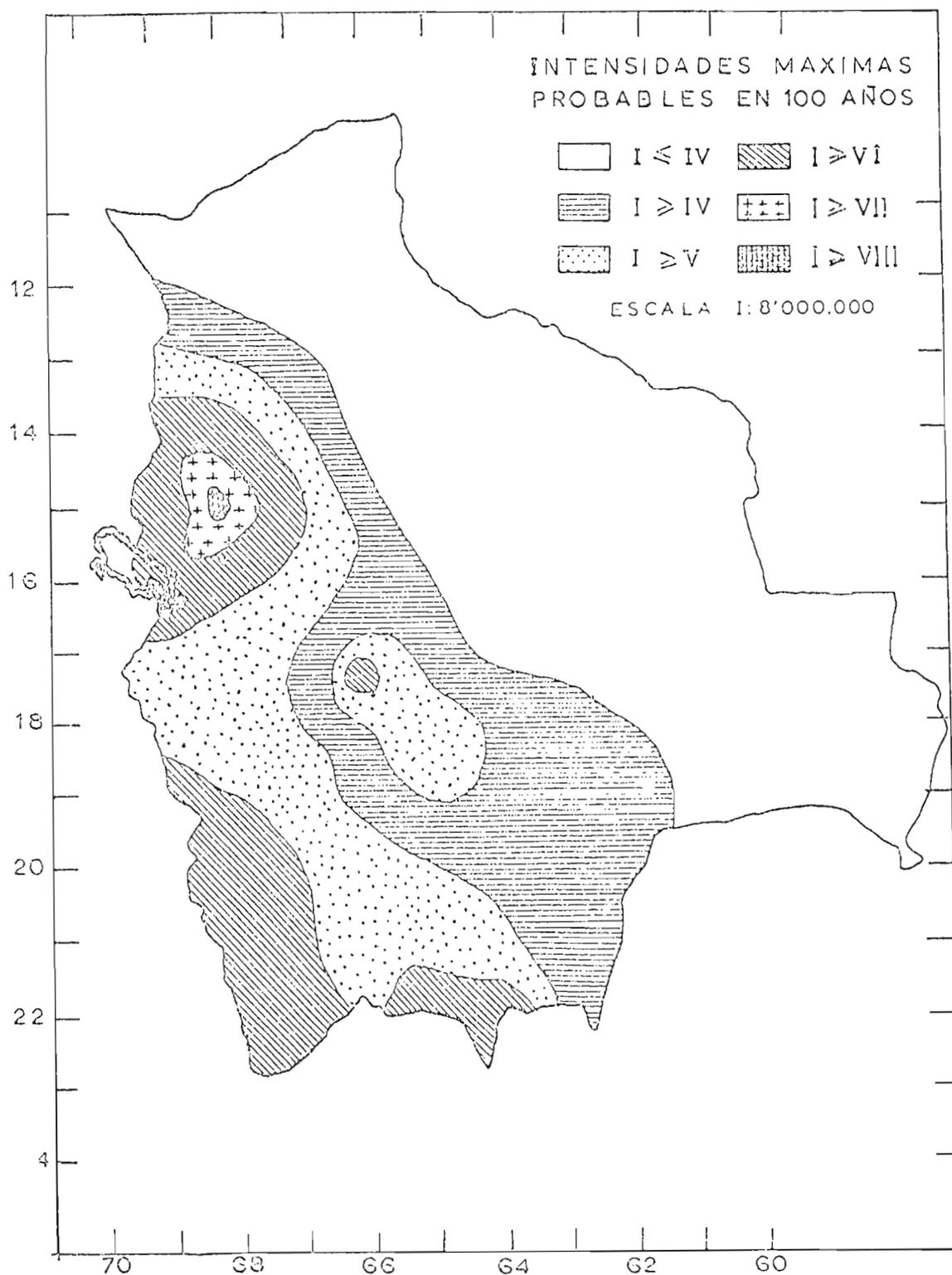


Fig. 1.- Mapa preliminar de la sismicidad de Bolivia: En función de la aceleración del suelo producida por los sismos entre 1913 y 1976. Se ha estimado la máxima intensidad (escala M.M.) a la que se puede llegar alguna vez en el margen de cien años. (De A. Vega, Observatorio San Calixto. En: Revista Geofísica, N<sup>o</sup> 13, Jul-Dic. 1980).

componentes del largo período como también al componente vertical de largo período que se instala en el fondo de una perforación de roca y promete dar registros muy libres de ruidos parásitos.

Las investigaciones realizadas en el Observatorio han atendido a diversos aspectos de la Sismología y de la instrumentación empleada en ella. Algunas de ellas consideran, directa o indirectamente, la sismicidad. Por ejemplo, el estudio de la sismicidad del Valle de Zongo y todos los estudios sobre la corteza terrestre. Muchos de estos trabajos se han presentado en la Universidad Mayor de San Andrés como tesis para optar a la Licenciatura. Otros, forman parte de los proyectos ya expuestos, SISAN y SISRA.

Actualmente, se está llevando a cabo el estudio de la fase Lg, ondas transmitidas por una capa guía, que puede brindar abundante información sobre la estructura cortical a lo largo del cambio recorrido, así como de la zona cercana al epicentro, donde toman forma.

Otro trabajo, también actualmente en pleno desarrollo, la localización de todos los sismos originados en Bolivia a lo largo de siete años; presenta una mayor relación con la sismicidad, si los registros son suficientes para obtener el tiempo y coordenadas aceptables para su origen. Cabe recalcar que esos sismos se acercan a un millar por año, dada la alta sensibilidad actual de las estaciones. Sobre esta base se piensa aplicar la fórmula de Richter  $\log N = a - bM$ , donde N es el número de sismos de magnitud M o mayor en determinado espacio y tiempo; de esta manera, a partir de sismos muy pequeños existe la probabilidad de que en una determinada zona se produzca un sismo de gran magnitud al cabo de un determinado número de años. Por los estudios históricos sabemos que, en cualquier zona de Bolivia, esa probabilidad no es nula.

Un aspecto que realza la importancia de ese estudio es el hecho de que cuanto mayor es el intervalo entre grandes terremotos, mayor puede resultar el riesgo para cuando se cumpla el intervalo, en contraposición a otro principio, que los sismos de mayor magnitud se originan, generalmente, en "barreras" o "asperezas" de las fallas geológicas.

A modo de resumen, debemos resaltar la importancia que ha tenido la cooperación Francesa, a través de la persona de P. Descotes y de la aportación convenida con la Universidad de Paris, para el conocimiento de la sismicidad de Bolivia y, por otra parte, la eficiencia lograda en el Observatorio San Calixto con miras al conocimiento del riesgo sísmico.

---

## BIBLIOGRAFIA

Nota: Entre las publicaciones del OSC se han seleccionado las más directamente relacionadas a la presente exposición.

DESCOTES, S.J.; P.M., 1913 - Le Nouvel Observatoire Sismologique de la Compagnie de Jésus à La Paz, Bolivie. Impr. Velarde. La Paz.

DESCOTES, S.J.; P.M.; PRIETO, A., 1925 - Determinación de la Longitud de La Paz y Coordenadas geográficas del Observatorio. Tip. La Patria. La Paz.

DESCOTES, S.J.; P.M., 1930 - Una Rectificación de la Longitud de La Paz y de las Longitudes del Continente Sudamericano. Anales de la Sociedad Científica de Bolivia.

DESCOTES, S.J.; P.M., 1933 - Courbes Isodiestémasques - Nouvelle Méthode pour les calculer. Impr. Daupeley-Gouverneur. Nogent-le Rotrou.

ANZOLEAGA, R., 1964 - Algunas Consideraciones sobre la corteza Terrestre debajo de los Andes. Tesis UMSA.

SANTA CRUZ, J., 1964 - Contribución al Estudio de la discontinuidad de Mohorovicic al NW de La Paz. Tesis UMSA.

DESCOTES, S.J.; CABRE S.J., 1965 - Historia Sísmica de Bolivia. Bol. del Instituto Boliviano de Petróleo. 5.

CABRE, S.J. 1966 - Preliminary Study of the Aftershocks in the Central Andes. OSC.

GUZMAN, J., 1967 - Actividad Sísmica en el Codo Andino de Arica. Tesis UMSA.

FERNANDEZ, L.M.; GUANCA, E., 1967 - Propagation of Infrasonic Acoustic Waves in the Southern Hemisphere and their correlation with Long Period Seismic Noise. OSC.

VALDA, F., 1968 - Actividad Sísmica en Bolivia; Relación con el Acodamiento de Arica. Tesis UMSA.

OBLITAS, J.L., 1968 - Mecanismo Focal de Dos Sismos en los Andes Centrales. Tesis UMSA.

FERNANDEZ, L.M.; SANTA CRUZ, J., 1969 - Small Sequence of Aftershocks in the Andean Valley of Zongo. Earthquake Notes, 40, p. 27-48.

- MENDOZA, E., 1970 - Atenuación de Ondas P de Corto Período en los Andes Centrales. Tesis UMSA.
- AMADOR, J., 1970 - Estudio de Ondas Infrasonicas producidas por causas Naturales y Artificiales. Tesis UMSA.
- TELLERIA, J.L., 1970 - Dinamismo Sismico bajo los Andes Centrales y la Tectónica Global. Tesis UMSA.
- CASTAÑON, W., 1970 - Distribución Espacial y Liberación de Energía Sismica en la Costa Central del Pacífico Sudamericano. Tesis UMSA.
- CABRE, S.J., 1971 - Ondas Lg Registradas en La Paz. Geofísica Panamericana. 1, p. 71-95.
- GONZALEZ, R., 1971 - Sismicidad Local de la Parte Central de Sudamerica. Tesis UMSA.
- OTERO, H.A. 1972 - Sismicidad de Ciudades Sud y Centroamericanas. Tesis UMSA.
- MARTINEZ, E.R., 1972 - Sismicidad de la Región de Zongo. Tesis UMSA.
- DESCOTES, S.J.; CABRE, S.J., 1973 - Historia Sismica de Bolivia. Geofísica Panamericana. 2, p. 251-278.
- CABRE, S.J., 1974 - Research in Seismology and Infrasonic Acoustic Waves. OSC.
- CABRE, S.J., 1976 - Long Period Seismic Waves. Final Report Grant AFOSR 72-2397. OSC.
- VEGA, A., 1976 - Sismo del 22 de Febrero de 1976 en el Sur de Cochabamba. OSC.
- CABRE, S.J., 1982 - Seismology in Bolivia-Close to the Stars. Earthquake Information. Bull. U.S. Geological Survey.
- OCOLA, L. Editor., 1984 - Proyecto de Sismicidad Andina SISAN. Vol. I. Catálogos Sísmicos: República de Bolivia. OEA-CERESIS. Lima.
- CERESIS., 1985 - Programa para la Mitigación de los Efectos de los Terremotos en la región Andina. (Proyecto SISRA). (Elaboración de la parte Boliviana en los 4 maps y 20 volúmenes de la colección). Lima.
- SEGALINE, H.; CABRE, S.J., 1988 - El Clima de La Paz: Datos del Observatorio San Calixto. OSC.
- En preparación: Datos Sísmicos y Probabilidad de Terremotos en Bolivia. OSC.
-



LOS PALEONTOLOGOS FRANCESES EN BOLIVIA

---

C. de **MUIZON** y P. **TAQUET**<sup>x</sup>

---

El 31 de Julio de 1826 la corveta "La Meuse" deja la rada de Brest en Francia y hace vela hacia el puerto de Río de Janeiro. A bordo, un joven naturalista francés de 24 años, poseedor de una orden de misión del Muséum National d'Histoire Naturelle (Museo Nacional de Historia Natural) en Paris.

Alcide Dessaline d'Orbigny es invitado oficialmente por el gobierno brasileño para estudiar la fauna, la flora actual y fósil, la geología y las costumbres de los habitantes de este país inmenso del cual no se conocía casi nada.

Su viaje durará ocho años.

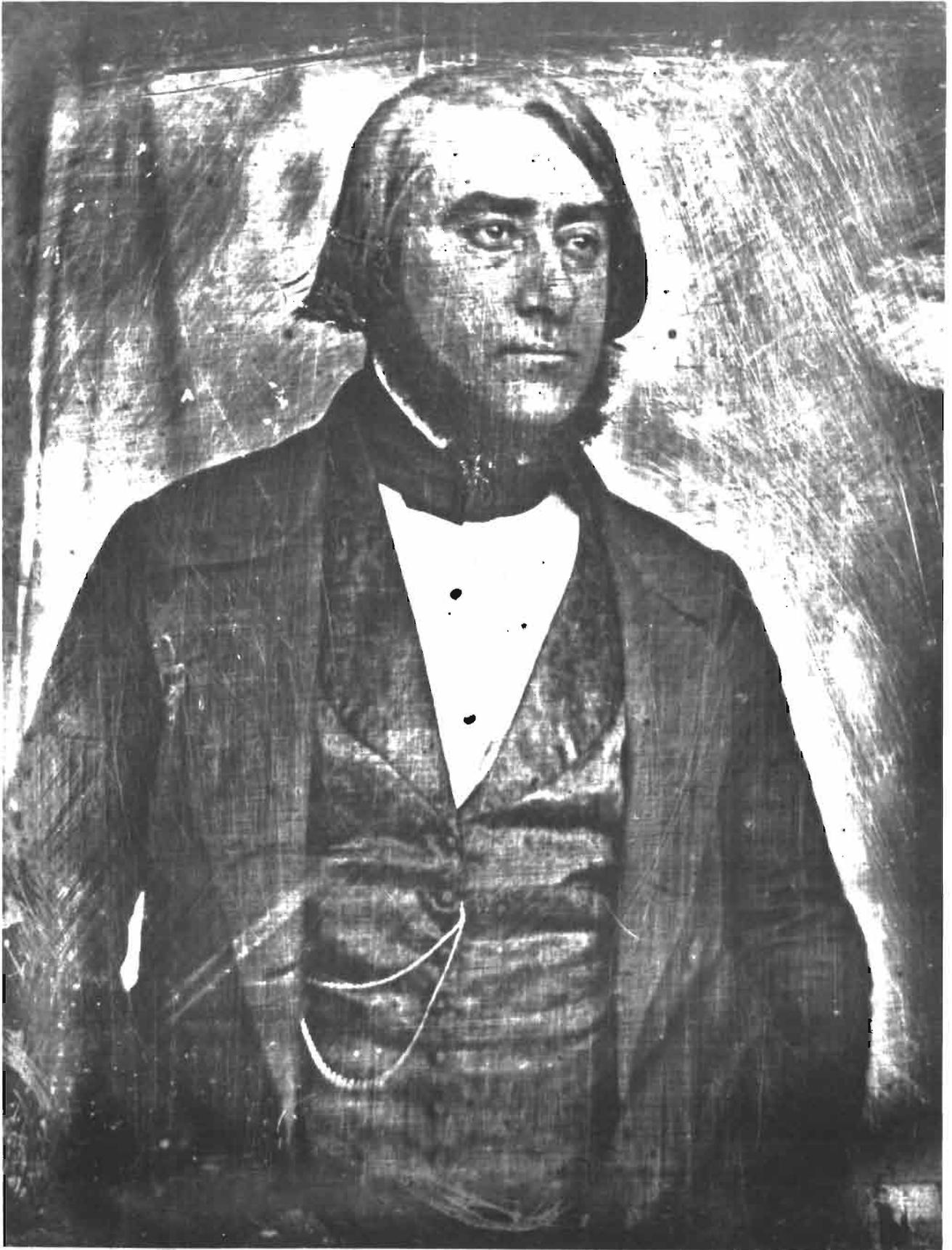
Atravesando mares y sierras, antes del famoso viaje de Charles Darwin alrededor del mundo, Alcide d'Orbigny fue a explorar, descubrir y traer al Museo de Paris una cantidad impresionante de documentos científicos. De 1826 a 1830, recorrió Brasil, Uruguay, Argentina, Chile, Perú y, de 1830 a 1833, Bolivia.

Alcide d'Orbigny fue el primer explorador geólogo y paleontólogo de Bolivia.

Del puerto de Arica, d'Orbigny llega a la Paz, donde lo recibe el Presidente, el Mariscal Andrés de Santa Cruz, quien lo nombra ciudadano de honor. De allí, se traslada a Santa Cruz de la Sierra, donde se quedará más de dos años recolectando plantas, insectos, aves y mamíferos. Después, d'Orbigny se traslada a Cochabamba y, en toda la cuenca de esta ciudad, recolecta numerosos fósiles del Paleozoico. En 1833, viaja a la ciudad de Chuquisaca (hoy llamada Sucre), capital del país, para rendir cuentas de su viaje al Presidente de la joven República de Bolivia. Agotado por una fuerte fiebre, regresa a La Paz pasando por Potosí y Oruro. En el Puerto de Arica, d'Orbigny se embarca en el "Misanthrope" y regresa a Francia. En Paris, publicará sus observaciones en los "Voyages dans l'Amérique Méridionale" (viajes a América Meridional). La síntesis geológica, la primera parte, presenta la estratigrafía, la petrografía y la paleontología. D'Orbigny ha descrito numerosos fósiles nuevos del Paleozoico. Los más famosos son los bilobites Cruziana, llamados así en honor al Mariscal de Santa Cruz; esta huella fósil fue, durante mucho

---

<sup>x</sup> Instituto de Paleontología UA 12 CNRS  
Museo Nacional de Historia Natural  
8, rue Buffon, 75005, Paris, Francia



Daguerotipo de Alcide Dessalines d'Orbigny, tomado en 1843 por Sauzen; constituye el único documento fotográfico que se conoce de este brillante naturalista.

tiempo, considerada como enigmática. Sin embargo, ahora se sabe que fue dejada por los trilobites en el fondo del mar. D'Orbigny describió también el famoso Spirifer condor, un braquiópodo del Pérmico de la cuenca de Cochabamba.

En 1953, en el "Muséum National d'Histoire Naturelle" de Paris, se crea para él la primera cátedra de Paleontología del Museo. Este naturalista excepcional, viajero infatigable y padre de la Geología y de la Paleontología boliviana, muere en 1857, a los 55 años de edad.

Obligado a retornar precipitadamente a Francia, d'Orbigny no pudo visitar los famosos yacimientos de mamíferos pleistocenos ubicados en los alrededores de la ciudad de Tarija. Sin embargo, este sitio ya era conocido, pues fue mencionado en 1602 por Diego Avalo y Figueroa, quien afirma que en esta zona se encuentran numerosos huesos petrificados, que él los califica como huesos de gigante. En 1761, Joseph de Jussieu, médico, botánico, miembro de la misión geodésica de la Condamine en Ecuador; menciona en una carta a su hermano, Bernard, huesos y dientes petrificados y dos molares de un grosor prodigioso. Sin embargo, las primeras excavaciones y recolecciones importantes de fósiles fueron realizadas por Weddell, en el año 1845. Enviados al Museo, varios centenares de especímenes fueron analizados por Gervais, en 1855.

En 1903, el Márquez de Créqui Montfort y E. Sénéchal de la Grange, adquirieron la colección lograda por E. Echazú. El material, enviado al Museo, fue estudiado y publicado bajo la forma de monografía en 1920 por M. Boule y A. Thevenin: "Les mammifères fossiles de Tarija" (Los mamíferos fósiles de Tarija).

Aquí, se produce un largo eclipse, más de cuarenta años, en las expediciones paleontológicas francesas en Bolivia.

En 1946, la investigación francesa se reinicia con R. Hoffstetter. Entre 1946 y 1952, R. Hoffstetter fue profesor de la Escuela Politécnica Nacional de Quito (Ecuador). Durante su estadía, visitó varios países de Sudamérica y, particularmente, Bolivia. Con la ayuda de varias instituciones locales, tanto bolivianas (GEOBOL, YPFB), como francesas (ORSTOM), recorrió la mayor parte del territorio de Bolivia, en busca de mamíferos fósiles. Desde Tarija al Chaco, desde el Altiplano hasta la Cordillera Oriental y la zona del lago Titicaca, Cochabamba, Potosí, Sucre; todas estas regiones fueron prospectadas por este infatigable científico. En su trabajo, junto a sus colegas bolivianos, L. Branisa, C. Villarroel, H. Galanza, J. Valdivieso, H. Bejarano; R. Hoffstetter pudo recolectar y estudiar una cantidad impresionante de fósiles, no sólo de mamíferos sino también de reptiles, peces e invertebrados.

Dentro de todos los yacimientos mamíferos terciarios de Bolivia, el más importante es sin duda el de Salla Luribay, al

Sur del macizo del Illimani. En este lugar, Hoffstetter encontró una cantidad impresionante de mamíferos de edad Oligoceno inferior (ahora considerada como Oligoceno medio) cuyo resto más espectacular es un maxilar de un pequeño primate, el más antiguo de Sudamérica. R. Hoffstetter dedicó este fósil a su descubridor, el paleontólogo L. Branisa. Branisella boliviana aportó un argumento suplementario a la teoría de origen africano sobre los primates sudamericanos, los platirinos.

Durante muchos años no se conoció ningún resto de mamífero en el Cretácico boliviano, a pesar de la riqueza en restos de vertebrados de la Formación El Molino (Cretácico superior). Riqueza que fue reconocida por L. Branisa y R. Hoffstetter. Sin embargo, en 1967, el geólogo francés M. Mattauer, había encontrado en Perú, cerca del lago Titicaca, un fragmento de mandíbula de mamífero de edad cretácica (Maastrichtiano).

Con la esperanza de encontrar tales restos, R. Hoffstetter junto a nosotros, inició en 1980 una misión de reconocimiento en las capas del Cretácico de la Formación El Molino. La etapa más importante de este recorrido fue el hallazgo de la localidad de Tiupampa (cerca de Villa Villa, Departamento de Cochabamba), donde hemos encontrado numerosos restos de vertebrados. Los restos más abundantes son caparasones de tortuga (Roxochelys vilavilensis) como también restos de cocodrilos sebecocuchios, peces lepisosteiformes, los bagres y pirañas más antiguos del mundo. Frente a tal riqueza, C. de Muizon y L.G. Marshall decidieron iniciar en 1982 un gran programa de búsqueda sistemática de mamíferos en el Cretácico de Bolivia.

El primer golpe resultó ser el bueno pues, en Octubre 1982, durante una misión financiada por la National Geographic Society, encontramos en la localidad de Tiupampa el primer mamífero del Cretácico de Bolivia. Un maxilar casi completo y tres mandíbulas parciales constituyen los primeros restos encontrados de un marsupial de 70 millones de años, de régimen omnívoro y que fue nombrado Roberthoffstetteria nationalgeographica, en homenaje al precursor de la paleontología andina. Después de seis años de exploración, la fauna de mamíferos cretácicos de Tiupampa ha demostrado ser la más importante de Sudamérica y la segunda en el mundo, tanto con respecto a la cantidad de especímenes y a su calidad de preservación como a la cantidad de taxones. Más de veinte especies nuevas, incluyendo quince géneros nuevos, constituyen esta fauna, representada por marsupiales y placentarios. Pucadelphis andinus, el marsupial más abundante del yacimiento, es conocido por cuatro esqueletos subcompletos, cuatro cráneos completos y numerosas quijadas y dientes aislados. Es un pequeño didelphoideo muy primitivo que ocupaba un nicho ecológico de tipo insectívoro. Los placentarios eran también numerosos; Alcidedorbignya inopinata, denominado así en homenaje al padre de la paleontología boliviana, es el pantodonte más antiguo conocido y el primero encontrado en América meridional. Los pantodontes

son abundantes en el paleoceno de Norteamérica y de Asia, donde perduraron hasta el Oligoceno. Apparently no tuvieron descendientes en el Terciario de Sudamérica. Dentro de los placentarios se conocen también varios condilartros (ungulados primitivos de régimen omnívoro) y algunos prateuterios (pequeños animales de régimen insectívoro), un grupo desconocido hasta ahora en Sudamérica. La presencia, en el Cretácico superior de Bolivia, de grupos de mamíferos abundantes en el Cretácico superior y en el Paleoceno de Norteamérica corrobora el intercambio faúnico que caracterizó a las dos Américas al fin del Cretácico.

La abundancia y la variedad de la fauna de mamíferos de Tiupampa demuestra que, en el Cretácico superior, los mamíferos sudamericanos tenían una larga historia anterior todavía muy mal conocida.

En Tiupampa, se conocen también numerosos vertebrados inferiores (reptiles, anfibios y peces). La fauna de peces incluye los Siluriformes (bagres) y los Characiformes (entre otros los pirañas) más antiguos del mundo. Los anfibios son muy abundantes y los reptiles están representados por numerosas tortugas (Roxochelys vilavilaensis de broin 1971) y por cocodrilos del infra-orden Cebecosuchia que tenían un cráneo alto y comprimido transversalmente.

Las investigaciones paleontológicas del "Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris" no se desarrollaron solamente en los niveles del Cretácico boliviano. Gracias a los hallazgos de L. Branisa, P. Janvier y P.Y. Gagnier iniciaron una prospección sistemática del Altiplano y de la Cordillera Oriental, en búsqueda de restos de peces del Paleozoico (esencialmente Ordovícico, Devónico y Silúrico). Los yacimientos del Altiplano fueron descubiertos por L. Branisa y se encuentran al Sureste de La Paz; en Sica-Sica, Belén, Chacoma y Ayo Ayo. Varios restos de peces se han encontrado en estas localidades. Todos están preservados en nódulos fosfatados. La fauna se compone mayormente de peces con quijadas. Los yacimientos del Altiplano boliviano, han producido restos de los condictios más antiguos del mundo; Zamponiopteron triangularis cuyas aletas tienen un esqueleto con una morfología tubular que recuerda la flauta andina, la zampoña. Pucapampella rodrigae es otro selacio nuevo del Devónico boliviano. Bolivosteus chacomensis es un placodermo (peces con quijadas que poseen potentes corazas dorsal y ventral) renánido, un grupo conocido hasta ahora únicamente en Europa. Las localidades del Devónico del Altiplano han producido también, restos de acantodios (peces con aletas espinosas) y los primeros restos de actinopterigios (todos los peces con aletas con rayos óseos) conocidos en el mundo.

En la región de Sucre, en Seripona - descubierta por M. López y J. Pareja -, la formación Catavi ha dado una fauna de peces del Silúrico superior, la primera conocida en Sudamérica.

Está constituida por tres grupos de vertebrados: telodontes (peces sin quijadas), acantodios y condriictios.

En colaboración con R. Suárez Soruco, P. Janvier y P.Y. Gagnier, P. Racheboeuf (Universidad de Brest) se encuentra iniciando un programa de estudio de los braquiópodos del Silúrico y del Devónico de Bolivia.

De todos los hallazgos de vertebrados en el Paleozoico de Bolivia, Sacabambaspis janvieri es sin duda el descubrimiento más espectacular. En 1985, G. Rodrigo de Walker encontro en Sacabamba (Departamento de Cochabamba), en las capas del Anzaldo (Ordovícico inferior), el primer resto de vertebrado ordovícico de Sudamérica. P.Y. Gagnier, quien determinó el fósil, pudo efectuar varias misiones en la Localidad de Sacabamba y descubrió otro yacimiento en Sacabambilla. Gracias a su perspicacidad, P.Y. Gagnier ha encontrado ahora, más de quince especímenes completos del vertebrado más antiguo del mundo: Sacabambaspis janvieri. Otros restos de vertebrados se conocen en América del Norte y en Australia, pero son un poco más jóvenes y, sobre todo, muy fragmentados. Sacabambaspis janvieri es un pez muy primitivo sin quijada, como las actuales lampreas de mar. Era un animal bastante grande (de aproximadamente 30 cm. de largo), que no tenía aletas pares y que presentaba la morfología de un gran renacuajo. Su cráneo tenía escudos dorsal y vertebral y su cuerpo poseía escamas muy alargadas y estrechas.

Respecto a este hallazgo, es emocionante constatar que la edad Ordovícica de las capas geológicas de donde procede el fósil está determinada por una asociación característica de invertebrados fósiles, compuesta por Bistramia elegans, Lingula ellipsiformes, Lingula lineata y sobre todo, Cruziana forcifera u Cruziana rugosa. Estas especies son las que vió Alcide d'Orbigny durante su gran viaje en Sudamérica, particularmente la huella de trilobite que nombró Cruziana en honor al Mariscal de Santa Cruz. Así mismo, después de tantos años, la obra de Alcide d'Orbigny queda muy presente en los trabajos de los paleontólogos del siglo XX.

Gracias a todos estos hallazgos, Bolivia demuestra, una vez más, ser un país privilegiado en el área de la paleontología. Su territorio nos ha revelado una parte, sin duda muy parcial, de su rico patrimonio paleontológico. Es posible que, los años futuros sean testimonios de nuevos grandes momentos de la paleontología boliviana y mundial y que permitan entender la evolución y la repartición geográfica de los grandes grupos que vivieron y que viven todavía en la superficie de nuestro planeta.

Estos trabajos recientes, centrados en los vertebrados del Cretácico y las faunas del Paleozoico, se realizan en colaboración con Yacimientos Petrolíferos Fiscales de Bolivia y la Asociación Boliviana de Paleontología. Se ha recibido el apoyo incondicional del Dr. M. Suárez Riglos (Director General de

Hidrocarburos) y del Lic. R. Céspedes Paz, Arqueólogo de la Universidad de San Simón de Cochabamba. Fueron financiados por una "action spécifique" (acción específica) del "Muséum National d'Histoire Naturelle" de Paris y por tres subvenciones de la "National Geographic Society" (Sociedad Geográfica Nacional).

---



**TIUPAMPA (BOLIVIA), UN PUNTO CLAVE EN LA HISTORIA DE  
LOS MAMIFEROS SUDAMERICANOS**

---

C. de MUIZON<sup>x</sup> y L.G. MARSHALL<sup>xx</sup>

---

El origen y la historia biogeográfica de las faunas de mamíferos continentales de Sudamérica, constituye un tema muy debatido de la evolución de los vertebrados.

Durante mucho tiempo, los restos de mamíferos más antiguos conocidos en Sudamérica, procedían de niveles del Paleoceno medio de Brasil y Argentina (Marshall, 1985). Grupos (algunos de ellos conocidos únicamente en Sudamérica) de marsupiales, edentados, condylartros, astrapotherios, xenungulados, notungulados y litopternos; aparecían, por primera vez, en estas faunas en Sudamérica. Sin embargo, las relaciones filogenéticas entre estos grupos y con otros de mamíferos de edad idéntica o más antigua, eran muy inciertas y totalmente desconocidas. No se sabía si todos estos grupos o algunos de ellos habían evolucionado localmente de una población indígena, o si todos o algunos procedían de antecesores nacidos sobre otros continentes (Norteamérica, África o Australia vía Antártica) que hubieran migrado a Sudamérica al fin del Cretácico. Entonces, es obvio que una solución a este problema sea una búsqueda sistemática de mamíferos en los niveles de edad cretácica de Sudamérica.

Durante las dos últimas decenias y sobre todo, en los últimos cinco años, se han multiplicado los hallazgos de mamíferos del Cretácico superior en Sudamérica. En 1967, un equipo de paleontólogos y geólogos franceses hallaron el primer mamífero de edad preterciaria (Cretácico superior) de Sudamérica, en la Formación Vilquechico -en la localidad de Laguna Umayo - al Sur del Perú. El yacimiento ha producido algunos dientes aislados y una porción de mandíbula de mamífero, asociados a fragmentos de cáscara de huevos de dinosaurios (Kerourio & Sigé, 1984). La fauna incluye tres marsupiales (un Peradectidae, Peradectes austrinum; un Pedomyidae o Macrobiotheriidae y un Didelphidae indeterminado) y dos placentarios (un condylarthro inédito y un probable notungulado, Perutherium altiplanense), (Grambast et al., 1967, Sigé, 1971, 1972, Marshall et al., 1985).

En 1983, paleontólogos argentinos descubrieron, en la Formación de Alamitos (Provincia de Río Negro, Argentina), otro yaci-

<sup>x</sup> Instituto de Paleontología  
Museo Nacional de Historia Natural  
8, rue Buffon, 75005, Paris Francia

<sup>xx</sup> Instituto del Origen del Hombre  
2453, Ridge Road, Berkeley, California 94709, USA

miento de mamíferos del Cretácico superior (Campaniano). La fauna se compone de dientes de mamíferos que no pertenecen ni a marsupiales ni a placentarios (con una posible excepción). Incluye un posible triconodonte (Autrotriconodon mckennai), un multituberculado (Ferugliotherium windhausenii), seis therios (un symetrodonte indeterminado); un eupantotherio indeterminado; dos Dryolestidae, Groebertherium stipanicici y G. novasi; un mesungulatae, Mesungulatum houssayi) y un posible parettherio (Gondwanatherium patagonicum) (Bonaparte y Soria, 1983 y 1985, Bonaparte 1986 a,b,c, Bonaparte & Pascual, 1987).

En 1986, otro equipo francés descubrió en el Cretácico superior (Santoniano-Campaniano) de la región de Bagua, al Norte de Perú, un fragmento de molar superior atribuido a un therio (Mourier et al., 1986) y un dentario incompleto de un posible marsupial fue descrito por Goín et al (1986) procedente del Cretácico superior (Campaniano-Maastrichtiano) de la Formación Río Colorado (Provincia de Río Negro, Argentina).

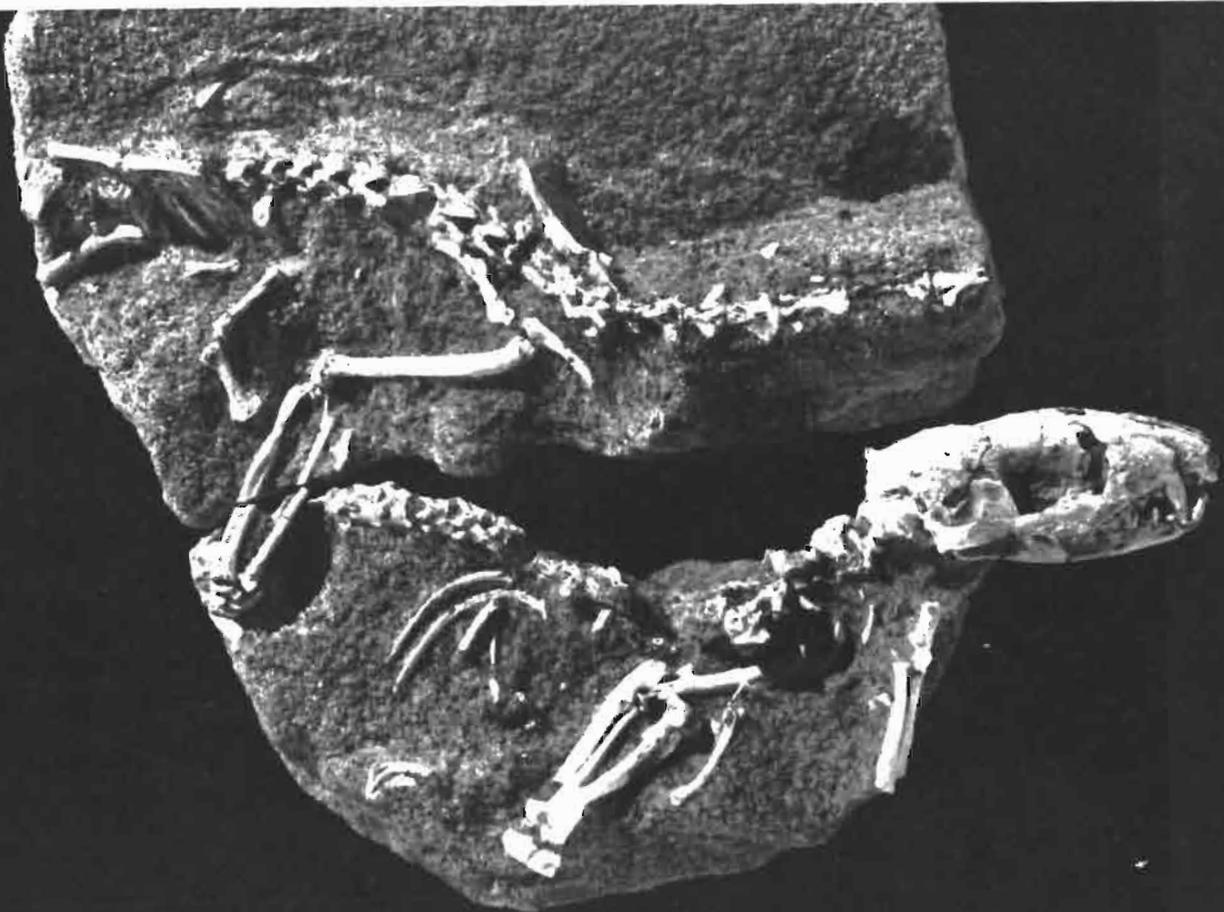
#### Tiupampa, una luz en la noche

La contribución más espectacular al problema que nos preocupa es la fauna de mamíferos hallada en 1982, por un equipo francés-americano-boliviano, en el Cretácico superior de la Formación El Molino de Bolivia. Hasta ahora, el yacimiento de Tiupampa, ha producido casi un millar de especímenes repartidos por lo menos en veinte taxones (11 marsupiales y 9 placentarios), representados por centenares de dientes aislados, decenas de quijadas, cuatro cráneos completos, cuatro cráneos parciales y cuatro esqueletos subcompletos - dos de ellos asociados a su cráneo-. Dentro de los marsupiales, se encuentran los miembros más antiguos de los Didelphidae, Peradectidae, Microbiotheriidae, caroloameghiniidae, Borhyaenidae y de los Caenolestoidea (Marshall et al. 1983, Marshall & Muizon 1988, Marshall et al. in press). Los placentarios incluyen los primeros y únicos representantes conocidos en Sudamérica de los Proteutherios, condylarthros Hyopsodontidae Mioclaeninae y pantodontes (Muizon & Marshall, 1987 a,b,c; Marshall & Muizon, 1988). La fauna de Tiupampa incluye los más antiguos y más conocidos, indudablemente, marsupiales y placentarios de Sudamérica.

La fauna de Tiupampa ha sido preliminarmente descrita por Marshall et al. (1983, 1985); Marshall & Muizon (1988); Muizon & Marshall (1987 a,b,c) y Muizon et al. (1983, 1984). Su edad Maastrichtiana (Muizon et al. 1983), ha sido confirmada por el hallazgo en Tiupampa de oogonias de Charophytas típicas del Cretácico superior, encima de las capas donde se encuentran los mamíferos (J. Dejax com. Pers.).

Estos esqueletos subcompletos pertenecen a un pequeño marsupial de la familia de los Didelphidae procedente del Cretácico superior de Tiupampa: *Pucadelphys andinus*. Su preservación excepcional, asociada con su antigüedad, hacen de estos fósiles los restos de marsupiales más valiosos conocidos actualmente en el mundo.

Fig. 1.



Afinidades de los mamíferos de Tiupampa

Varios de los mamíferos de Tiupampa tienen afinidades obvias con las faunas del Paleoceno medio de Brasil y Argentina, aunque las faunas de Tiupampa y las de Itaborai (Brasil) no tienen ningún taxon en común. Dentro de las 11 formas de marsupiales encontrados en Tiupampa, cinco tienen afinidades estrechas con formas de Itaborai (Brasil), de las cuales representan potenciales antecesores (Marshall & Muizon, 1988; Muizon & Marshall 1987a). Además, las cinco familias de marsupiales conocidas en Tiupampa, o se conocen en el Cretácico superior de Norteamérica (Peradectidae y Caroloameghinidae) o, están representadas por su grupo hermano (según Marshall et al. in press), (Didelphidae, grupo hermano: Peradectidae; Microbiotheriidae, grupo hermano: PEDIOMYIDAE; y Bohyaenidae, grupo hermano: Stagodontidae). Por lo tanto, la fauna de marsupiales de Tiupampa podría considerarse como un intermediario morfológico aceptable entre las faunas del Cretácico superior pre-Maastrichtiano de Norteamérica y las del Paleoceno medio de Itaborai (Brasil).

Los placentarios de Tiupampa, en su mayoría, tienen relaciones con las formas del cretácico superior y del Paleoceno de Norteamérica. El pantodonte, Alcidedorbignya inopinata es el representante más antiguo del orden y el más primitivo de las formas americanas (quizás de todas). Constituye un antecesor morfológico ideal, para el género Pantolambda del Paleoceno medio de Norteamérica. Los Panteodontes se extinguieron en Sudamérica al fin del Cretácico o al principio del Terciario, aparentemente sin descendencia, aunque quedan todavía para investigar las relaciones filogenéticas que puedan existir entre los pantodontes y algunos grupos típicamente sudamericanos como los Xenungulata o los Trigonostylopoidea, conocidos en el Paleoceno medio de Brasil y Argentina.

Dos formas de Proteutherios han sido mencionados en la fauna de mamíferos del Cretácico superior de Tiupampa. Los restos de estos placentarios son bastante raros (algunos dientes inferiores y quizás superiores), pero representan la única mención de este orden en Sudamérica. Uno de estos dientes se vincula al género Cimolestes, conocido en el Cretácico superior y el el Paleoceno de Norteamérica. La otra forma - más grande - se acerca morfológicamente a Gypsonictops o de Procerberus, también conocidos en el Cretácico superior de Sudamérica.

Además, un diente incompleto de notoungulado se emparenta a las familias, ya sea de los Henricosborniidae, ya sea de los Oldfieldthomasiidae, conocidas en el Paleoceno medio de Itaborai en Brasil.

### La fauna de Arroyo Verde (Argentina)

Bonaparte y Soria (1983 y 1985) y Bonaparte (1986 a,b,c) han descrito varias especies de mamíferos procedentes de la Formación Los Alamitos, de edad campaniana, es decir posiblemente entre 5 y 10 M.A. más antigua que la Formación El Molino (Bolivia). La Formación Los Alamitos contiene grupos de mamíferos primitivos como eupantotherios, multituberculados y triconodontes y, una forma bastante especializada, Gondwanatherium patagonicum, que podría representar el más antiguo adentado conocido. La fauna de Arroyo Verde difiere entonces de la de Tiupampa, pues no contiene - hasta ahora - ningún marsupial como tampoco placentarios (con seguridad), los cuales son los únicos mamíferos conocidos en Tiupampa. Los multituberculados se conocen en el Cretácico superior de Norteamérica (entre otros) pero, en este subcontinente, los eupantotherios se conocen solamente en el Jurásico. Los eupantotherios y los triconodontes de Arroyo Verde son los más recientemente conocidos.

### Conclusiones

Las faunas de los dos yacimientos de mamíferos del Cretácico superior más importantes de Sudamérica son fundamentalmente diferentes taxonómicamente, pues no tienen ningún orden en común. La fauna de Tiupampa, por otra parte, se compara con la fauna del Maastrichtiano de la Formación Vilquechico en la Laguna Umayo (Sur del Perú), pues las dos faunas se componen exclusivamente de marsupiales y de placentarios y tienen un mismo taxón en común, Peradectes austrinum. La fauna de Tiupampa, tanto los marsupiales como los placentarios, tienen afinidades obvias con los mamíferos del Cretácico superior y paleoceno de Norteamérica; mientras que, dentro de los mamíferos de la Formación Los Alamitos (Argentina), sólo los multituberculados se conocen en el Cretácico superior de Norteamérica. Tomando en cuenta los datos disponibles, se observa un cambio faunico radical, entre el Campaniano y el Maastrichtiano en Sudamérica. Las afinidades de la fauna de Tiupampa corrobora la comunicación entre las dos Américas, demostrada por Rage (1978, 1981 y 1986) y Bonaparte (1984); además la ausencia posible de mamíferos therios (marsupiales y placentarios) en el Campaniano, conduce a pensar en un origen holártica para la fauna de Tiupampa y por lo tanto, para los marsupiales y los placentarios de Sudamérica. Sin embargo, aunque esta interpretación parezca satisfactoria a primera vista, una opinión definitiva sobre este punto es prematura. Hasta ahora, se conocen en Sudamérica solamente tres localidades notables, que han producido mamíferos del Cretácico superior (Laguna Umayo, Tiupampa y Arroyo Verde); lo que no es suficiente para considerar la ausencia de tal o cual grupo de mamíferos como significativa. Además Goin et al. (1986) ha señalado recién una mandíbula sin dientes procedente del campano-maastrichtiano de la

Formación Río Colorado, en la Provincia de Río Negro (Argentina); los autores atribuyen el espécimen a un probable marsupial. Si su edad se confirma, este marsupial se ubicaría estratigráficamente entre las faunas de Tiupampa y la de Arroyo Verde y el fósil representaría el marsupial más antiguo de Sudamérica. Por otra parte, cabe mencionar que el pantodonte de Tiupampa, siendo el más antiguo y el más primitivo de todos los pantodontes americanos (quizás de todos los pantodontes), parece indicar una migración del Sur hacia el Norte. En conclusión, estas restricciones a la hipótesis sugerida arriba, indican que se conoce aún muy poco el poblamiento mamalógico del Cretácico sudamericano. Queda aún mucho por descubrir en este continente, antes de poder elaborar hipótesis creíbles sobre el origen filogenético y biogeográfico de las faunas de mamíferos sudamericanos. En este contexto, Tiupampa aparece como una luz en la noche.

---

### Agradecimientos

El trabajo de campo fue realizado con el apoyo de tres subvenciones de la "National Geographic Society" (° 2467-82, 2908-84 y 3381-86) y con la "Action spécifique Paléontologie-Andes" del Museo Nacional de Historia Natural de Paris. El estudio preliminar del material recolectado fue realizado gracias a una subvención de la OTAN (n° 86/0013) y dos contratos de L.G. Marshall como profesor asociado en el MNHN. El trabajo de campo fue posible gracias a la colaboración logística de Yacimientos Petrolíferos Fiscales de Bolivia, particularmente en las personas del Dr. Mario Suárez Riglos y del Ing. Ramiro Suárez Soruco. Este trabajo se efectúa bajo los auspicios de la Asociación Paleontológica de Bolivia. Los especímenes colectados pertenecen al Centro de Tecnología Petrolera de YPFB y fueron prestados a los autores para preparación y estudio.

### BIBLIOGRAFIA

---

- BONAPARTE, J.F., 1984 - El intercambio faunístico de vertebrados continentales entre América del Sur y del Norte a fines de Cretácico. Mem. III Congr. Latinoamer. Paleont., México: 438-450.
- BONAPARTE, J.F., 1986a. - A new and unusual late Cretaceous mammal from Patagonia. Journ. Vert. Paleont., 6: 264-270.
- BONAPARTE, J.F., 1986b - Sobre Mesungulatum houssayi y nuevos mamíferos Cretácicos de Patagonia, Argentina. Mem. IV Cong. Argent. Paleont. y Bioestrat., Mendoza, 2: 48-61.

BONAPARTE, J.F., 1986c - History of the terrestrial Cretaceous Vertebrates of Gondwana. Mem. IV Cong. Argent. Paleont. y Bioestrat., Mendoza, 2: 63-95.

BONAPARTE, J.F. & SORIA, M.F., 1983 - El primer mamífero del Cretácico Argentino. Circul. Inform., Asoc. Paleont. Argent. 11: 5.

BONAPARTE, J.F. & SORIA, M.F., 1985 - Nota sobre el primer mamífero del Cretácico Argentino, Campaniano-Maastrichtiano (Condylarthra). Ameghiniana 21: 177-183.

GOIN, F.J., CARLINI, A.A. & PASCUAL, R., 1986 - Un probable marsupial del Cretácico Tardío del Norte de Patagonia, Argentina. Mem. IV Congr. Argent. Paleont. y Bioestrat., Mendoza, 2: 43-47.

GRAMBAST, L., MARTINEZ, M., MATTAUER, M. et al., 1967 - Perutherium altiplanense, nov.gen., nov.sp., premier mammifère mésozoïque d'Amérique du Sud. C. r. Séanc. Acad. Sci. Paris, 264: 707-710.

KEROURIO, P. & SIGE, B., 1984 - L'apport de coquilles d'oeufs de dinosaures de Laguna Umayo à l'âge de la Formation Vilquechico (Pérou) et à la compréhension de Perutherium altiplanense. Newsletter of Stratigr., 13: 133-142.

MARSHALL, L.G., CASE, J.A. & WOODBURNÉ, M.O., in press - Phylogenetic relationships of the families of marsupials. Current Mammalogy.

MARSHALL, L.G. & MUIZON, Ch. de., 1984 - A new didelphid marsupial (Itaboraidelphys camposi nov.gen., nov.sp.) from the middle paleocene (Itaboraian) of Sao José de Itaborai (Brazil). C. r. Séanc. Acad. Sci. Paris, 299: 1297-1300.

MARSHALL, L.G. & MUIZON, Ch. de., 1988 - The dawn of the age of mammals in South America. Nat. Geogr. Res., 4 (1): 23-55.

MARSHALL, L.G., MUIZON, Ch. de., GAYET, M. et al., 1985 - The "Rosetta Stone" for mammalian evolution in South America. Natn. Geogr. res., 1: 274-288.

MARSHALL, L.G., MUIZON, Ch. de. & SIGE, B., 1983 - Late Cretaceous mammals (Marsupialia) from Bolivia. Geobios, 16: 739-745.

MOURIER, T., JAILLARD, E., LAUBACHER, G. et al., 1986 - Découverte de restes de dinosauriens et mammaliens d'âge crétacé supérieur à la base des couches rouges du synclinal de Bagua (Andes nord-péruviennes): aspects stratigraphiques, sédimentologiques et paléogéographiques concernant la régression fini-crétacée. Bull. Soc. Géol. Fr., 8<sup>ème</sup> sér., 2: 171-175.

MUIZON, Ch. de., GAYET, M., LAVENU, A. et al., 1983 - Late Cretaceous vertebrates including mammals from Tiupampa, south-central Bolivia. Geobios, 16: 747-753.

MUIZON, Ch. de., GAYET, M., LAVENU, A. et al., 1984 - Observation to the note by Ch. de Muizon, M. Gayet, A. Lavenu. L.G. Marshall, B. Sigé and Villarroel "Late Cretaceous vertebrates including mammals from Tiupampa, south-central Bolivia". *Geobios*, 17: 251-252.

MUIZON, Ch. de., & MARSHALL, L.G., 1985 - Sur la piste des premiers mammifères d'Amérique du Sud. *La recherche*, 16: 812-815.

MUIZON, Ch. de., & MARSHALL, L.G., 1987a - Le plus ancien Pantodonte (Mammalia) du Crétacé supérieur de Bolivie. *C. r. Séanc. Acad. Sci. Paris*, 304: 205-208.

MUIZON, Ch. de., & MARSHALL, L.G., 1987b - Le plus ancien Condylarthre (Mammalia) sud-américain (Crétacé supérieur, Bolivie). *C. r. Séanc. Acad. Sci. Paris*, 304: 771-774.

MUIZON, Ch. de., & MARSHALL, L.G., 1987c - Deux nouveaux Condylarthres (Mammalia) de Maestrichtien de Tiupampa (Bolivie). *C. r. Séanc. Sci. Paris*, 304: 947-950.

MUIZON, Ch. de., MARSHALL, L.G. & SIGE, B., 1984 - The mammal fauna from the El Molino Formation (Late Cretaceous-Maestrichtian) at Tiupampa, south-central Bolivia. *Bull. mus. natn. Hist. nat., Paris, sér. 6, sect. C*, 4: 327-351.

RAGE, J.Cl., 1978 - Une connexion continentale entre Amérique du Nord et Amérique du Sud au Crétacé supérieur ? L'exemple des vertébrés continentaux. *C. r. somm. Soc. géol. Fr., Paris*, 6: 281-285.

RAGE, J. Cl., 1981 - Les continents péri-atlantiques au Crétacé supérieur: migrations des faunes continentales et problèmes paléogéographiques. *Cret. Res.*, 2: 65-84.

RAGE, J.Cl., 1986 - South American/North American terrestrial interchanges in the latest Cretaceous: short comments on Brett-Surman and Paul (1985), with additional data. *Journ. Vert. Paleont.*, 6: 382-383.

SIGE, B., 1971 - Les Didelphoidea de Laguna Umayo (Formation Vilquechico, Crétacé supérieur, Pérou), et le peuplement marsupial d'Amérique du Sud. *C. r. Séanc. Acad. Sci. Paris*, 273: 2479-2481.

SIGE, B., 1972 - La faunule de mammifères du Crétacé supérieur de Laguna Umayo (Andes Péruviennes). *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (99), Terre 19: 375-409.

---

EL MAS ANTIGUO VERTEBRADO DEL MUNDO  
UN DESCUBRIMIENTO FRANCO-BOLIVIANO

---

Pierre-Yves GAGNIER <sup>x</sup>

---

Resumen

Recientemente, nuevos datos sobre los primeros vertebrados han sido obtenidos gracias al descubrimiento del excepcional yacimiento del cerro Chakeri, cerca de Sacabambilla, en la región de Cochabamba en Bolivia. Numerosos microrestos atribuidos a Vertebrados se conocen desde el Cambriano pero, queda una afinidad incierta. Si bien ya se puede ubicar en el tiempo el primer vertebrado boliviano, Sacabambaspis janvieri, del Ordovícico; nuevas especies de invertebrados estudiadas por G.R. de Walker y M. Toro permitirán establecer su edad. Sin embargo, parece ser contemporáneo a los restos menos completos conocidos en América del Norte y Australia, que datan respectivamente del Ordovícico medio y del Llanvirniano. La fauna de invertebrados encontrados, asociada a especímenes de Sacabambaspis janvieri, permite determinar que murieron en un medio marino cerca del Litoral. Los estudios preliminares muestran una relación filética con las taxa contemporáneas de Australia y sugieren, por lo tanto, una relación paleobiogeográfica privilegiada con esta región. Nuestras apreciaciones sobre la evolución de los primeros Vertebrados son nuevamente puestas en tela de juicio si la pertenencia de Sacabambaspis al grupo de los Heterostraceos se basa en los caracteres de escudo y de hueso acelular.

El descubrimiento

El Centro de Tecnología Petrolera (CTP) y la Gerencia de Exploración de la compañía de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB), mantienen una tradición de intercambio científico con el Instituto de Paleontología (UA 12 del CNRS) del Museo Nacional de Historia Natural en París. Gracias a esta ayuda mutua, nuestros conocimientos sobre la historia de los Vertebrados sudamericanos están en pleno desarrollo.

En 1985, Gabriela Rodrigo de Walker, del Museo Nacional de Historia Natural de La Paz, quien efectuaba estudios sobre los icnofácios de la formación Anzaldo (cf. Rodrigo de Walker & Toro,

-----  
x Instituto de Paleontología (UA 12 de CNRS)  
Museo Nacional de Historia Natural en París  
8 rue Buffon, Paris 75005, Francia

1987), recuperó un espécimen enigmático, que fue identificado como un Vertebrado ordoviciano (Gagnier, Blieck & Rodrigo, 1986). En 1986, la localidad de Sacabamba (60 Km al sur de Cochabamba) pudo ser explotada gracias al apoyo de la Gerencia de Exploración de YPFB en Cochabamba. Una prospección efectuada con la ayuda del palinólogo Carlos Molina, en la región de Sacabambilla (55 Km al este de Cochabamba), permitió descubrir otro prometedor yacimiento. Al año siguiente, gracias al apoyo financiero de la "National Geographic Society" (Sociedad Nacional Geográfica) una nueva expedición permitió recolectar fósiles muy bien conservados de estos organismos. Este material, propiedad de la Asociación Boliviana de Paleontología, es actualmente estudiado en el Museo Nacional de Historia Natural de París.

### El primero entre los vertebrados

Sacabambaspis Janvieri, uno de los más antiguos Vertebrados conocidos, está representado por varios ejemplares completos. Hasta ahora, ningún fósil que presentara tal calidad de preservación había sido encontrado antes del Siluriano superior (-420 millones de años). Este es mucho más antiguo ya que fue recuperado en rocas ordovicianas que datan aproximadamente de -470 millones de años. Además, su edad está actualmente en discusión. Suárez S. (1976) presenta a la formación Anzaldo, donde fue encontrado Sacabambaspis, como de edad estrictamente Caradoc, pero G. Rodrigo de Walker y M. Toro (comunicación personal) la consideran de edad Llanvirniana-Llandeliana, basando su correlación bioestratigráfica en un nuevo Trilobite y Graptolite que recolectaron en esta formación.

Microrestos atribuidos a los Vertebrados son conocidos desde el Cámbrico (-550 millones de años) pero son, en la mayoría de los casos, fragmentos de Artropodes. Los primeros incontestables Vertebrados provienen de areniscas del Ordovícico, de Harding a los Estados Unidos (Astraspis y Eriptychius), de aquellos de Stairway en Australia (Arandaspis y Poropheraspis) y, por lo tanto ahora, de la formación Anzaldo de Bolivia (Sacabambaspis). Pero, las formas norteamericanas y australianas no están representadas más que por fragmentos que no ofrecen más que una información suscita de su organización.

### La imagen exacta de un Vertebrado ordoviciano

Las anteriores descripciones (Gagnier, Blieck & Rodrigo, 1986; Gagnier, 1987) no estaban fundadas más que sobre un material fragmentario disponible. Ahora, que poseemos numerosos especímenes articulados, podemos corregir las precedentes reconstrucciones.

Sacabambaspis janvieri, de apariencia pisciforme, tenía una

boca provista de pequeños filamentos, compuestos por pequeñas unidades óseas dérmicas, que podían constituir un filtro para retener los micro-organismos. La ausencia de aletas pares debía forzarlo a nadar como un renacuajo. La cabeza y la zona bronquial están cubiertas de un caparazón formado por dos escudos principales, dorsal y ventral, y lateralmente por una serie de plaquetas que sirven de cobertura a las aperturas bronquiales. Este caparazón resulta de la unión de pequeñas unidades óseas que se encuentran en todos los grupos de Vertebrados con formas y modos de crecimiento diversos. Como en los Vertebrados actuales, esta morfología revela a la vez características filogenéticas pero también algunos rasgos adaptativos.

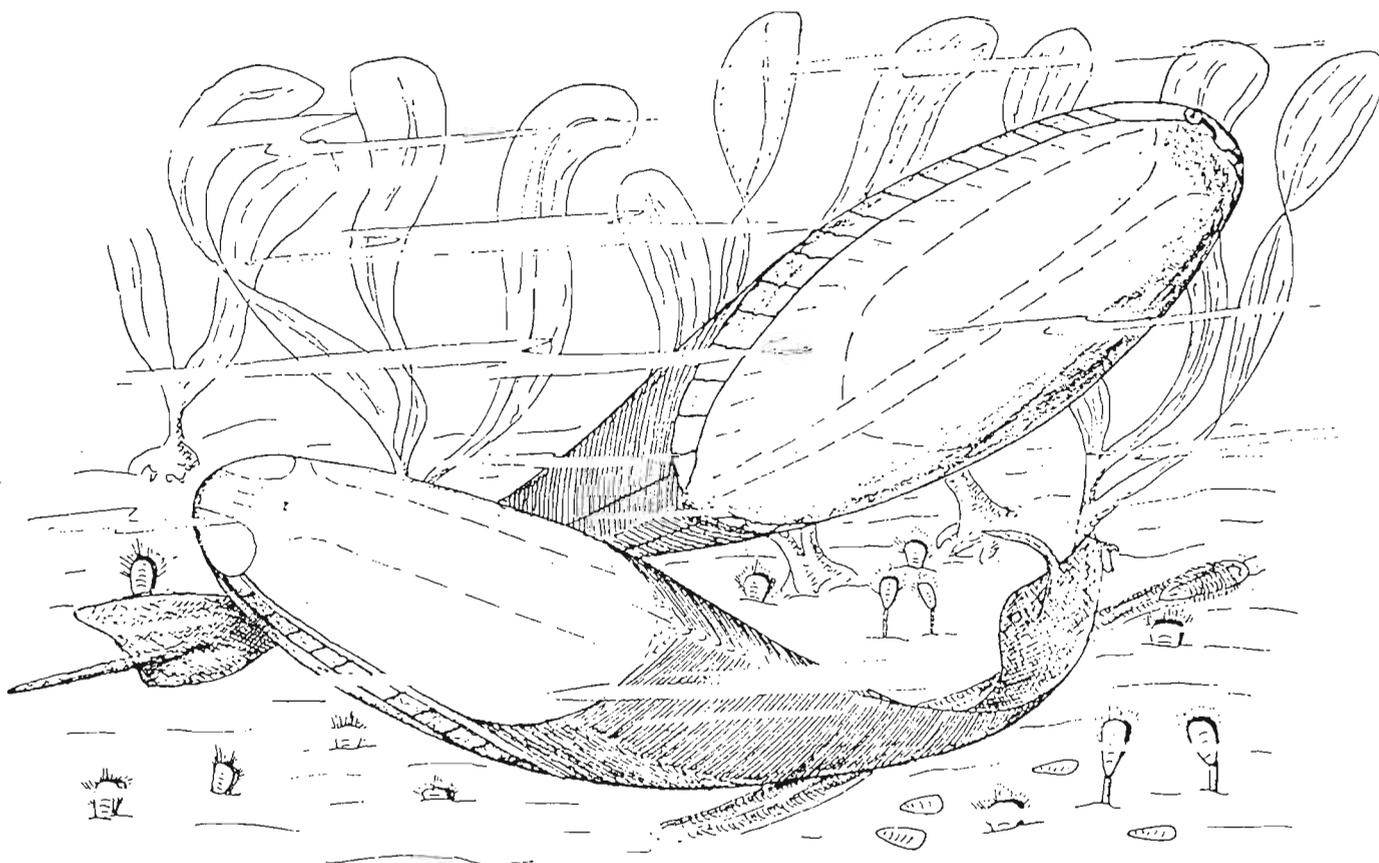


figura 1: Reconstitución del *Sacabambaspis janvieri* evolucionando en su medio (modificado a partir del dibujo original de P. Janvier). Los caracteres ilustrados son para algunos, hipotéticos y, serán modificados a la luz del nuevo material en actual interpretación.

Los yacimientos ordovicianos han revelado una abundante fauna de invertebrados identificados por Ramiro Suárez S., *Sistramis elegans*, *Lingula ellipsiformis*, *Lingula muensteri*, *Homalonotus* (*Brongniartella?*) *bistrami*, conjunto que indica un medio marino costero, en la zona intersticial o subtidal (cf. Boucot & Janis, 1983), es decir un ecosistema muy particular, al menos si la tanatocenosa corresponde a la biocenosa de este Vertebrado. Las próximas expediciones permitirán poner en orden los datos sedimentológicos y estratigráficos en la perspectiva de comprender mejor en qué tipo de depósito se acumularon estos restos.

Su interés

Sacabambaspis constituye un verdadero jeroglífico ya que no alcanza ni el estado evolutivo de los animales con mandíbula ni el de los animales de aletas pares. Es por lo tanto un agnato que debe ser ubicado en la base de los Heterostraceos o para el cual se debería crear un grupo original. Los Heterostraceos se han diversificado durante el Siluriano superior hasta el Devónico medio (-350 millones de años). Todos se caracterizan por la presencia de dos escudos óseos que cubren la región cefalobronquial, compuestos de huesos acelulares (aspidina). Si el agnato Ordovícico de Bolivia posee estas estructuras, muestra también caracteres más originales que se encuentran en otros grupos de agnatos.

Los agnatos actuales incluyen los mixinos y los lampreas. Los primeros no serían, por lo tanto, considerados por todos los autores como Vertebrados sensu stricto sino como simples Craniates (Janvier & Blieck, 1979), en razón de la total ausencia de apariencia de vertebrados. Los agnatos fósiles forman dos conjuntos: uno está compuesto por animales desprovistos de aletas pares, como los Heterostraceos; el otro, incluye formas más evolucionadas, que poseen dichas aletas y estarían emparentadas a los lampreas, que las perdieron durante su evolución. Los Heterostraceos, si bien son considerados como Vertebrados, fueron interpretados a partir de un esquema anatómico de mixinos (cf. Sentio, 1964). Las relaciones filogenéticas del conjunto de agnatos son nuevamente puestas en tela de juicio por los caracteres de Sacabambaspis.

Algunos de ellos, con una mayor evolución que aquellos encontrados en las mixinos actuales, permiten pensar que algunas características de los Heterostraceos, consideradas hasta aquí como primitivas serían en realidad, rasgos muy evolucionados; tal es la interpretación de la presencia de un seno prenasal, o la ausencia de osificación esclerótica.

El Vertebrado ordovícico de Bolivia esta morfológicamente más cercano al Arandaspis de Australia que al Astraspis de América del Norte. Un otro género de América del Norte, Eriptychius, podría tener un parentesco con el agnato sudamericano, tal y como lo sugieren la forma de sus escamas y la cobertura de su escudo; pero, a falta de un material bien conservado, es actualmente obviado en las discusiones. En el plano paleobiogeográfico, estas aproximaciones sugieren un contacto privilegiado entre Australia y América del Sur o, por lo menos, la ausencia de barreras geográficas infranqueables para estos agnatos ligados al medio costero, o de poca profundidad.

Los descubrimientos dan sus primeros pasos

El Sacabambaspis, plantea más preguntas que respuestas sobre la filogenia de los primeros Vertebrados. El conjunto del grupo de los agnatos debe ser revisado a la luz de los nuevos datos brindados por este animal.

Nos hallamos, por lo tanto, en el inicio de la búsqueda de informaciones relativas a estos animales desaparecidos y ya, a esta altura, algunas de nuestras concepciones deben ser revisadas. No dudamos que en los próximos años, la filogenia de los Vertebrados, vuelva a cobrar actualidad.

#### Agradecimientos

Agradezco muy especialmente al Ing. Ramiro Suárez Soruco por el recibimiento y la ayuda que nos brindó la Gerencia de Exploración de YPFB en Cochabamba. Debo, por otra parte, subrayar la importancia del sustento económico otorgado por las acciones específicas del Museo Nacional de Historia Natural de Paris así como el de la National Geographic Society. Finalmente, no quisiera dejar de mencionar a la Sra. Sabine Renous y al Sr. Philippe Janvier quienes aceptaron releer este texto.

---

#### BIBLIOGRAFIA

BOUCOT, A.J.; JANIS, C., 1983 - Environment of the early paleozoic vertebrate. in Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology 41:251-287.

GAGNIER, P.Y., 1987 - Sacabambaspis janvieri, un heterostraceo del Ordovícico Superior de Bolivia. in Acta del IV congreso latinoamericano de paleontología II:665-677.

GAGNIER, P.Y.; BLIECK, A.R.M.; RODRIGO, G., 1986 - First Ordovician vertebrate from South America in Geobios 19(5): 629-634.

JANVIER, P.; BLIECK, A., 1979 - New data on the internal anatomy of the heterostraci (agnatha), with general remarks on the phylogeny of the craniota. in Zoologica scripta 8:287-296.

RODRIGO DE WALKER, G; TORO, M., 1987 - Icnifácies de la Formación Anzaldo (Ordovícico) en las regiones de Santivañez, Cuchupunata y Sacabamba, Departamento de Cochabamba. in Acta del IV Congreso Latinoamericano de Paleontología II:647-664.

STENSIO, E., 1964 - Les cyclostomes fossiles ou ostracodermes. in Piveteau, J., Traité de paléontologie. Masson, Paris. 4(1): 96-385.

SUAREZ, S., R., 1976 - El sistema Ordovícico en Bolivia. Revista técnica YPFB 5(2): 111-223.

---



Mireille GAYET<sup>x</sup>

La ictiofauna fósil descubierta en la Formación El Molino de Bolivia, de edad maastrichtiana, está compuesta por 22 familias (Fig.1) de las cuales 15 tienen representantes que habitan en aguas dulces (Gayet, en prensa a).

El estudio de las relaciones filogenéticas de ciertos taxones demuestra relaciones paleogeográficas entre los continentes del esquema clásico.

I.- Presentación de la ictiofauna de aguas dulces de Bolivia (Fig.1).

Ordre	Famille	Genre	Milieu
Pycnodontiformes	Pycnodontidae		mer
Semionotiformes	Semionotidae	<u>Lepidotes</u>	eau douce
Lepisosteiformes	Lepisosteidae	<u>Lepisosteus</u>	eau douce
Clupeiformes	Clupeidae	<u>Gasteroclupea</u>	eau douce
Hiodontiformes ?	Hiodontidae ?		eau douce
Osteoglossiformes	Osteoglossidae	cf. <u>Phareodus</u>	eau douce
Salmoniformes	Enchodontidae	<u>Enchodus</u>	mer
Cypriniformes	<u>incertae sedis</u>	<u>Molinichthys</u>	eau douce
Characiformes	Serrasalminidae Erithrinidae Characidae		eau douce
Siluriformes	Ariidae Ictaluridae (?) Diplomystidae Hypsidoridae	nov. gen. nov. gen. nov. gen. nov. gen.	eau douce + mer eau douce eau douce eau douce
Cyprinodontiformes	Cyprinodontidae	nov. gen.	mer + eau douce
Perciformes	Percichthyidae		eau douce
Tetraodontiformes	Eotrigonodontidae	<u>Eotrigonodon</u>	<u>Eotrigonodon</u>

Fig. 1 : Lista de la ictiofauna del Cretácico de Bolivia.

<sup>x</sup> Instituto de Paleontología UA 12 CNRS  
Museo de Historia Natural  
8, rue Buffon, 75005, Paris, Francia

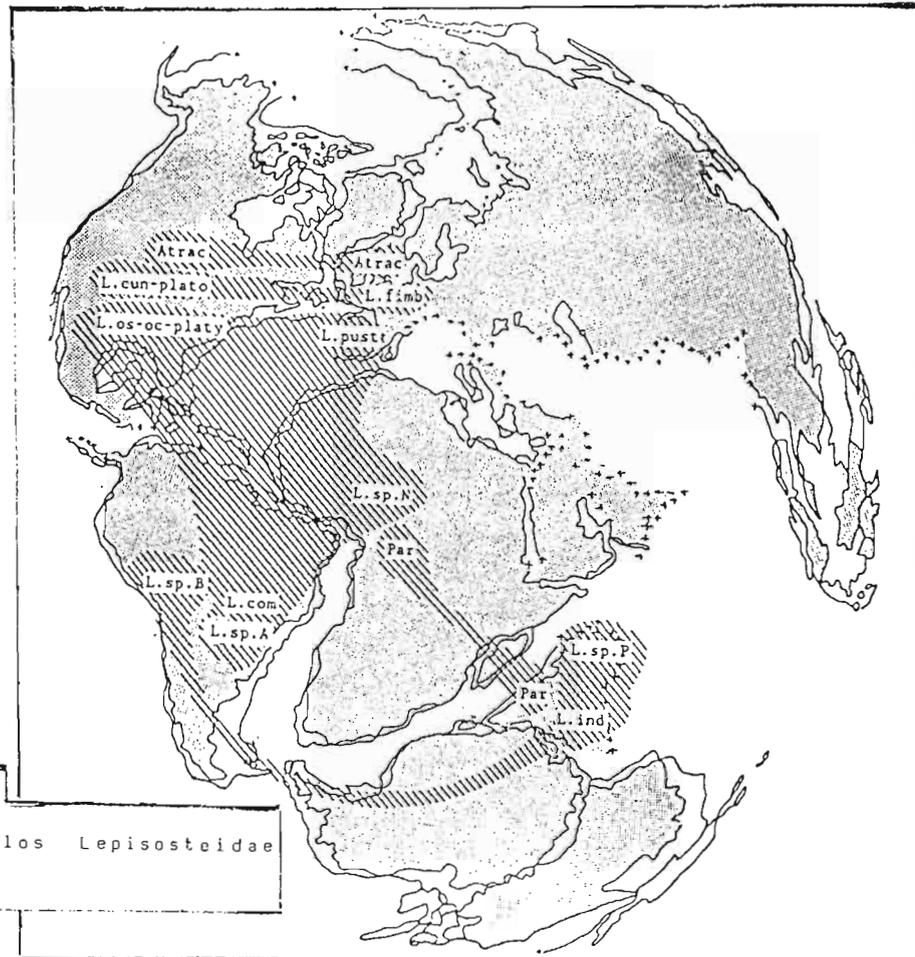
1. Semionotidae: Lepidotes.

Este género ha sido reconocido en Bolivia por el hallazgo de dientes y de escamas. No se puede decir nada en particular sobre la paleobiogeografía de este género ya que es conocido en todas partes del mundo, desde el Triásico (y en esta época, hubiera podido ser marino), y porque el reconocimiento de todas las especies está mal planteado.

2. Lepisosteidae: Lepisosteus.

Este género ha sido reconocido en Bolivia por el hallazgo de escamas, dientes, vértebras, fragmentos de aleta y de cabeza; en Brasil (Formación Bauru) por esqueletos completos y en Argentina (Formación Los Alamitos) por escamas.

Gracias a una nueva investigación, (Gayet & Meunier, 1986) quienes observan la parte superior de la escama con un microscopio electrónico de exploración, es posible reconocer los géneros y a veces las especies de la familia Lepisosteidae. De ello se desprende, que los restos de Lepisosteidae de Bolivia pertenecen al género Lepisosteus, pero de una especie diferente de las de Brasil y de Argentina (Gayet, en prensa b). Lepisosteus sp. de Bolivia tiene relaciones solamente con las especies de India y de Pakistán. En cambio, la especie de Brasil (L.cominatoi) y la de Argentina (Lepisosteus sp.) tiene relaciones con las de África (Lepisosteus sp. de Niger) (Fig.2).



### 3. Clupeiformes : Gasteroclupea.

Los Clupeiformes son representados solamente por Gasteroclupea que es conocida en la Formación El Molino de Bolivia y en la Formación Yacoraité de Argentina, (y quizás en varios lugares de Perú).

### 4. Los Osteoglossiformes.

Los Osteoglossiformes son representados por los Phareodontinae (Osteoglossidae) y los Hiodontidae (Gayet, 1987, Santa Cruz). Los Phareodontinae son conocidos también en América del Noroeste, en Australia Este y en Indonesia (Sumatra). Los Hiodontinae son conocidos en América del Noroeste (Grande, 1984), en Argentina (Dolgopolo Saez, 1939) y en China (Greenwood, 1970).

En Brasil, los Osteoglossiformes encontrados en la Formación Santana (Albion) pertenecen a la familia Arapaimidae (Santos, 1984) diferente de los Phareodontinae y tienen relaciones con los Osteoglossiformes de África.

### 5. Siluriformes.

Los restos de Siluriformes son muy abundantes en Bolivia y pertenecen al menos a 4 familias: los Diplomystidae conocidos en el Cretácico de Argentina y en la actualidad únicamente en Argentina y en Chile; los Ariidae conocidos desde el Paleoceno hasta ahora y que pueden ser marinos; los Hysidoridae conocidos sólo en el Paleoceno de América del Norte y una nueva familia que tiene relaciones con los Ictaluridae norteamericanos.

En Brasil como en África, nunca se han encontrado restos de Siluriformes antes del Paleoceno.

### 6. Characiformes.

Los Characiformes son conocidos solamente en el Cretácico de Bolivia (al menos 3 familias) (Gayet, 1982a; de Muizon *et al.* 1983) y de Perú (2 familias). En Brasil y en Ecuador, este grupo aparece solamente en el Oligoceno o en el Mioceno.

### 7. Los Cypriniformes.

Los Cypriniformes son conocidos por primera y única vez en América del Sur por un hueso faríngeo con dientes (Gayet, 1982b). Actualmente, no hay ninguno en América del Sur.

### 8. Los Cyprinodontiformes.

Son los únicos Cyprinodontiformes del Cretácico en todo el mundo. En América del Sur, son conocidos solamente en el Mioceno del Ecuador. Existen relaciones filogenéticas de los Cyprinodontiformes actuales con los de Anatholie (Parenti, 1981).

### 9. Percichthyidae.

Es necesario ser muy prudente con la paleobiogeografía de esta familia ya que su distribución actual está muy dispersa, y es, probablemente, el resultado de un regreso.

Vemos que los peces cretácicos de Bolivia no se encuentran en el Brasil o en Africa, pero sí en Argentina, en Perú, en América del Norte, en Australia y en Asia sensu lato.

En cambio, los peces conocidos en el Cretácico de Brasil no existen en Bolivia, como los Amiiformes cuya distribución existía en América del Norte, Europa y una parte de Africa (Niger); los Gonorhynchiformes bien representados en Africa, América del Norte y Europa (hay que tener en cuenta que este grupo era conocido en la Tethys durante el Cenomaniano); los Coelacanthidae (Mawsonia) conocidos en Africa (pero quizás, su ausencia en el Maastrichtiano puede ser la consecuencia de la desaparición general en todo el mundo).

En consecuencia, podemos preguntarnos de dónde viene la ictiofauna cretácica de Bolivia.

#### 1. Travesía entre las dos Américas

A causa de la presencia en América del Norte, en el Paleoceno, de taxones relacionados filogenéticamente con los de Bolivia; es posible considerar una migración entre las dos Américas.

Rage (1978) y Brett Surman (1979) han sido los primeros en decir que ha existido una conexión continental entre las dos Américas. En 1981, Rage dijo que la hipótesis de una serie de islas es más segura que una conexión continental continua, porque ésta ha funcionado como un filtro para varios grupos, si bien tuvo en cuenta también la supervivencia en el medio de inmigración.

Sin embargo, nunca se ha comprobado la existencia de un pasaje continental permanente. Una prueba puede ser la presencia de estos peces de aguas dulces, que tienen relaciones filogenéticas estrechas en el Maastrichtiano de Bolivia y en el Eoceno de América del Norte (durante el Terciario, las dos Américas fueron separadas por el mar).

De acuerdo con Rage (1981), el sentido del intercambio de los peces parece haber sido del Sur hacia el Norte. En efecto, los peces del Cretácico de América del Sur son conocidos desde y después del Eoceno en América del Norte (y desaparecen en América del Sur después el Cretácico tardío). En cambio, los peces conocidos en el Cretácico de América del Norte no pasaron a América del Sur. Hay que tener en cuenta también que, sólo los peces del Cretácico de América del Suroeste - es decir de Bolivia y de Perú -, han emigrado a América del Norte y no los de América del Sureste - es decir de Brasil -. Esto está de acuerdo con la presencia de un mar entre el Euramérica (parte Este de América del Norte + Eurasia) y América del Sureste (Fig.2). Por ello, considero que es mejor explicar las relaciones de Lepisosteus en el sentido Brasil-Africa-Europa-América del Norte (o vice versa).

## 2. La "travesía" del Océano Pacífico.

La comparación de la ictiofauna boliviana con las de otros países de América del sur (Brasil, Perú y Argentina) muestra la existencia de relaciones filogenéticas estrechas entre la de Bolivia (Formación El Molino), Perú (Formación Vilquichico) y Argentina (Formación Yacoraite) y una ausencia de relaciones entre la de estos países y la del Brasil, aún cuando hay que tener en cuenta la mayor edad de la ictiofauna del Brasil (Fig.3).

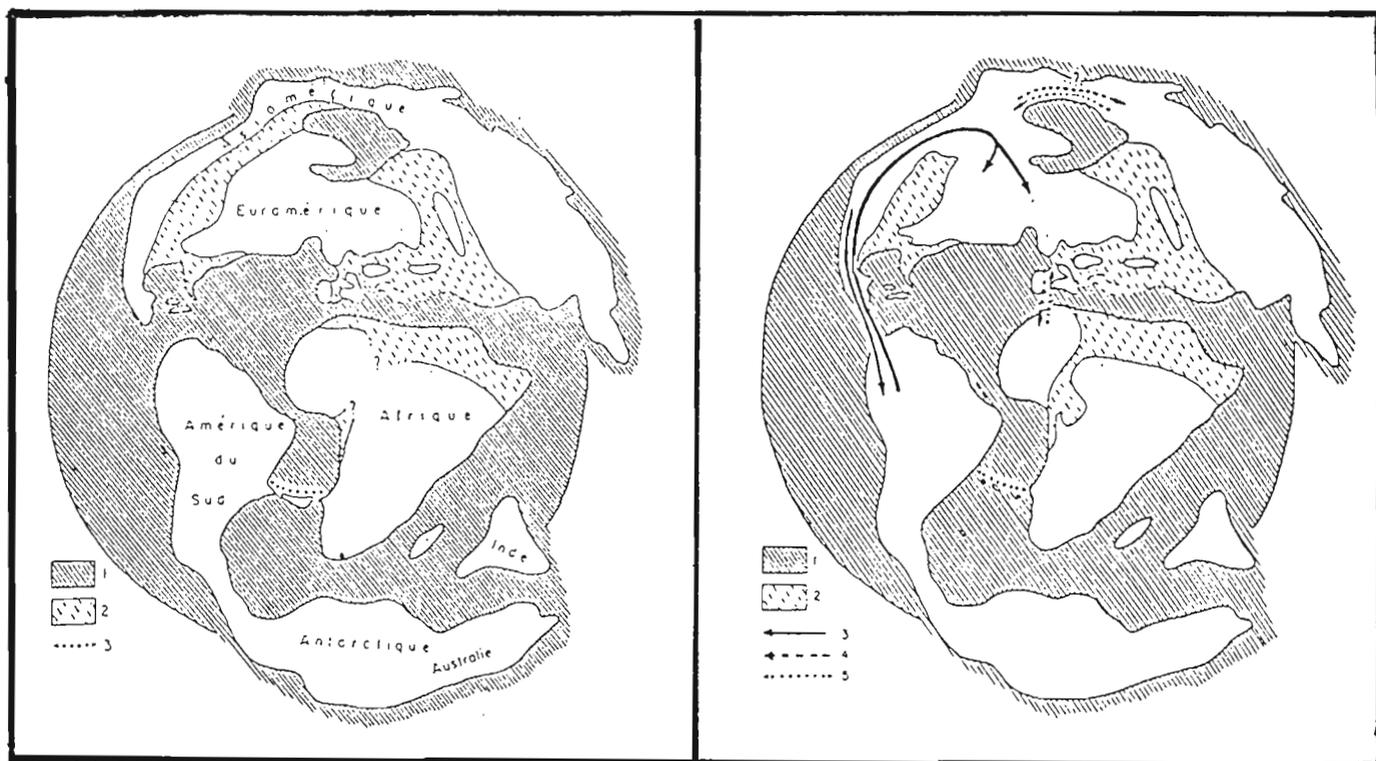


Fig. 3 : Relaciones de los Continentes durante el Santoniano (según Rage, 1981).

Fig. 4 : Relaciones de los Continentes durante el Maastrichtiano (según Rage, 1981).

Las ictiofaunas cretácicas de Perú y de Argentina son muy pobres, pero hasta ahora, nunca se han encontrado en Bolivia taxones de aguas dulces con relaciones africanas, al contrario de casi todos los taxones del Brasil. Sin embargo, ciertos taxones bolivianos tienen relaciones filogenéticas no sólo con los de América del Norte sino también con los de Australia, Indonesia y/o Asia del Suroeste. Se puede tomar en cuenta, una travesía de América del Sur a Australia por la Antártida (Fig.4), pero esta hipótesis no puede explicar las relaciones con peces de Asia a causa de la presencia de la Tethys entre la primera y Australia (Según la teoría de Ridds, 1971, Indonesia puede estar situada junto a Australia, pero el problema de Travesía de la Tethys continua entre Indonesia, Australia y Asia (cf. Gayet, 1987)).

La única explicación, según los conocimientos actuales, para entender esta repartición circum-pacífica es tener en cuenta la teoría de la PACÍFICA (Melville, 1966) elaborada en principio a partir de las plantas fósiles y basada en aspectos geológicos (Fig.5).

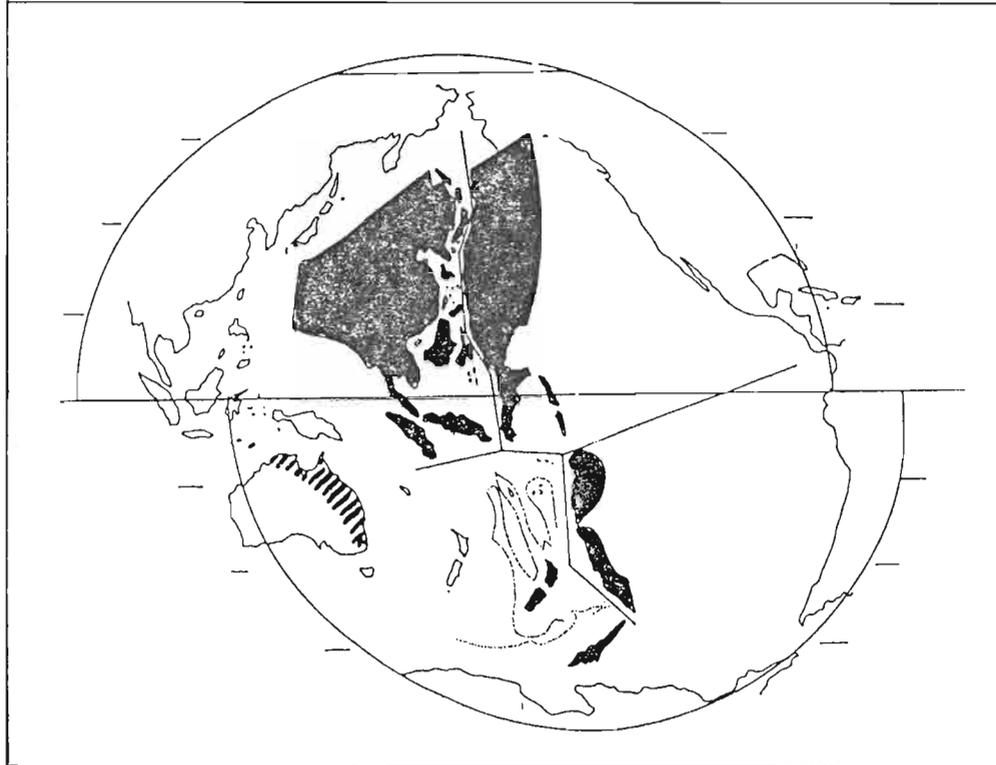


Fig. 5 "Pacífica" (según Melville, 1966).

La PACÍFICA sería un continente antiguo, localizado en el centro del Océano Pacífico y que comprendería más o menos cinco partes:

- las provincias andinas de América del Sur (Perú, Bolivia, Chile y Argentina);
- la parte oeste de América del Norte y América Central, las Grandes Antillas y Hawaii;
- el Este de Asia con China del Este, Japón, Tailandia e Indonesia;
- la parte Este de Australia;
- la punta de la Antártida.

Estas cinco partes habrían derivado para unirse a su continente respectivo en una época de 110 MA por América del Sur.

La repartición de ciertos grupos de peces como los Osteoglossiformes (Paiche), Lepisosteiformes y quizás Siluriformes (Bagre) encontrados en el Cretácico de Bolivia (Fig.6) corresponde exactamente a las partes geográficas pertenecientes a la PACÍFICA (Gayet, 1987).

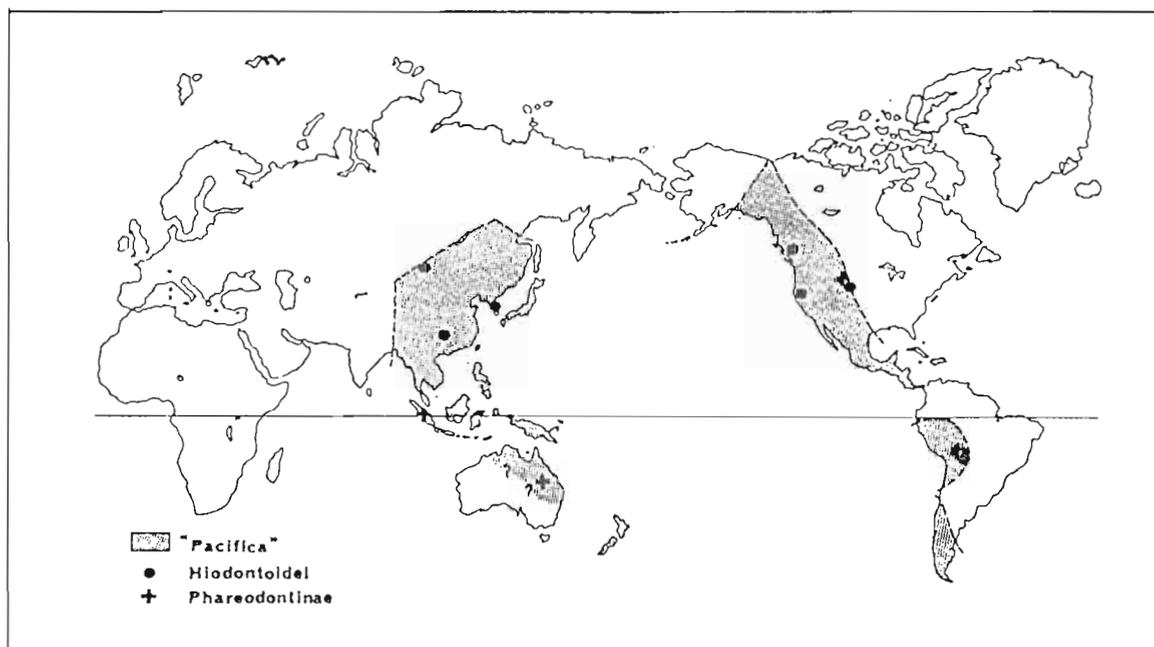


Fig. 6 : Repartición paleobiogeográfica de los Phareodontinae y de los Hiodontidae cretácicos de Bolivia.

Esta teoría es cuestionada, pero, según los conocimientos actuales, es la única posibilidad para entender las relaciones paleobiogeográficas de los peces cretácicos de Bolivia.

---

#### BIBLIOGRAFIA

---

BRETT-SURMAN, M.K., 1979 - Phylogeny and paleobiogeography of hadrosaurian dinosaurs. Nature 277: 560-562.

OOLGOPOZ DE SAEZ, 1939 - Un nuevo Leptolepidido ("Neolycoptera" gracilis N.G. N.S.) de la provincia de Jujuy. Notas Mus. La Plata, IV, Paleont. (19), Buenos Aires.

GAYET, M., 1982a - Découverte dans le Crétacé de Bolivie des plus anciens Characiformes connus. C. R. Acad. Sc., 294, ser. II: 1037-1040, Paris.

- GAYET, M., 1982b - Cypriniforme crétacé en Amérique du Sud. C. R. Acad. Sc., 295, ser. II: 1037-1040, Paris.
- GAYET, M., 1987 - Consideraciones preliminares sobre la paleobiogeografía de los Osteoglossomorpha. IV Congreso Latinoamericano de Paleontología, Bolivia (1987) I: 379-398.
- GAYET, M., en prensa a - The cretaceous ichthiofauna of Bolivia. Biostr. Cret. Latinoamer., Buenos Aires.
- GAYET, M., en prensa b - Affinités paléobiogéographiques des Lepisosteidae du Crétacé brésilien et bolivien. Coletânea de trabalhos paleont., ser. geol., seção Paleont. Strat. Brasília.
- GAYET M., MEUNIER, F.J., 1986 - Apport de l'étude de l'ornementation microscopique de la ganoine dans la détermination de l'appartenance générique et/ou spécifique des écailles isolées. C. R. Acad. Sc., 303, ser II (13): 1259-1262, Paris.
- GRANDE, L., 1984 - Paleontology of the Green River Formation, with a review of the fish fauna. Bull. geol. Surv. Wyoming 63: 1-333, Laramie.
- GREENGOOD, P.H., 1970 - On the genus Lycoptera and its relationships with the family Hiodontidae (Pisces, Osteoglossomorpha). Bull. brit. Mus. (Nat. Hist.), Zool., 19 (8): 259-285, London.
- MELVILLE, R., 1966 - Continental drift, Mesozoic continents and the migrations of the angiosperms. Nature (London), 211 (5045): 116-120.
- PARENTI, L., 1981 - A phylogenetic and biogeographic analysis of cyprinodontiform fishes (Teleostei, Atherinomorpha). Bull. Amer. Mus. nat. Hist., 168: 335-557, New York.
- RAGE, J.C., 1978 - Une connexion continentale entre Amérique du Nord et Amérique du Sud au Crétacé supérieur ? L'exemple des Vertébrés continentaux. C. R. Acad. Sc., 6, ser D: 281-285, Paris.
- RAGE, J.C., 1981 - Les continents péri-atlantiques au Crétacé supérieur. Migrations des faunes continentales et problèmes paléogéographiques. Cretaceous research. 1981 (2): 65-84.
- RIDDS, M.F., 1971 - South-East Asia as a part of Gondwanaland, Nature, 234: 531-533.
- SANTOS da, S., 1981 - Lepisosteus cominatoi n.sp. da Formação Bauru, estado de Sao Paulo, Brazil. Anais da Acad. Bras. Ciências, 56 (2): 197-202, Rio de Janeiro.
-

## LOS PECES DEVONICOS DE BOLIVIA

---

Ph. JANVIER

---

Si los numerosos invertebrados fósiles del Devónico de Bolivia son conocidos desde hace cerca de un siglo, no es sino muy recientemente que se han descubierto los restos de peces, principalmente Chondrichthianos (tiburones), como también Acanthodrens, Placodermos y Actinoptérygianos. Este descubrimiento de peces devónicos de Bolivia, realizado gracias a l' Action Spécifique "Paléontologie-Andes" (Acción Específica "Palerontología-Andes) del Museo Nacional de Historia Natural, es también el primer descubrimiento de peces devónicos en América del Sud.

### Relaciones con Asia y Australia...

En el Devónico inferior y medio, hace aproximadamente 400 millones de años, ya existían "provincias" biogeográficas, caracterizadas por faunas o floras particulares. En lo que concierne a los peces, ya hemos reconocido varias de estas provincias, pero cuyas relaciones no parecen en absoluto concordar con la mayoría de los modelos paleogeográficos propuestos por la geofísica. Saber en qué provincia, o conjunto biogeográfico, se integraban los peces devónicos de Bolivia era por lo tanto un resultado de primera importancia.

En el estado actual de las investigaciones sobre este tema, podemos decir que los peces devónicos de Bolivia se repartían en tres grandes conjuntos : las formas conocidas únicamente en esta región (endémicas), las formas conocidas prácticamente en el mundo entero (de amplia repartición geográfica), y finalmente las formas conocidas únicamente en algunas otras regiones, únicos testigos de relaciones biogeográficas particulares. Entre estas últimas, se reconocen diversas formas de Agnatas (vertebrados primitivos sin mandíbula), Acanthodianos y Chondrichtianos que no son conocidos más que en el Devónico de la Antártida, de Australia y de China del Sud. Esta distribución puede explicarse por la existencia de vías de dispersión a lo largo de la meseta continental del antiguo continente de Gondwana, constituido por Africa, América del Sud, Australia, la Antártida, la India, y al cual debían estar ligadas, en el Paleozoico, diversas placas continentales que más tarde estarán crestadas a las masas continentales boreales. Pero también se la puede explicar por la existencia de relaciones transoceánicas más fáciles en esa época, suponiendo que el Pacífico haya sido menos ancho que actualmente, incluso inexistente.

Está claro que un solo grupo, como el de los Vertebrados, no puede permitir sacar conclusiones paleogeográficas definitivas. Sólo el estudio simultáneo de numerosos grupos animales o vege-

tales y la búsqueda de huellas que concuerden con sus distribuciones, podrá servir como guía en la construcción de modelos confiables. Esta es una de las esperanzas de este trabajo, de largo aliento, conducido por los paleontólogos bolivianos y franceses.

#### Peces conocidos y desconocidos...

Entre estos primeros peces devónicos de Bolivia, descubiertos en los últimos años, algunos eran parecidos, incluso idénticos a algunas especies conocidas desde hace tiempo en el Devónico de Europa y de América del Norte. Es el caso de los Placodermos Bolivosteus, o del Acanthodiano Climatius. Esto no es para nada sorprendente en la medida en que se trataba posiblemente de peces buenos nadadores y de repartición geográfica. En contrapartida, la sorpresa surge por los restos de Chondrichtianos, peces cuyos representantes actuales son los tiburones, las rayas y las quimeras. Los restos de Chondrichtianos del Devónico de Bolivia no sólo se ubican entre los más antiguos conocidos en el mundo, sino que presentan estructuras, morfologías no conocidas en ninguna otra parte. Es el caso, por ejemplo, de Zamponiopteron, cuyas aletas pares estaban anquilosadas en una masa de cartílago calcificado prismático, o de Pucapampella, cuyo neurocráneo parece haber estado constituido por dos partes articuladas, como el de los Crossoptérygiens. Estos tiburones primitivos pertenecen a una fauna en particular, propia al ambiente Pacífico o "Malvinocaffre" ? O bien, estaban muy ampliamente distribuidos, pero sólo se han conservado aquí gracias a las condiciones de fosilización excepcionales ? Estas son las preguntas a las cuales la continuación de las investigaciones del Devónico, no sólo de América del Sud, sino también de Australia, de China y de Indonchina, permitirá responder en los próximos años.

---

LAS APLICACIONES DEL PROYECTO PHICAB AL DESARROLLO DE BOLIVIA

Michel-Alain Roche <sup>x</sup>

LA NECESIDAD DE UN CONOCIMIENTO DEL CLIMA Y LA HIDROLOGIA

Ya que a menudo, uno no se imagina la magnitud del problema, parece quizás poco original decir que cualquier actividad en un país es dependiente del clima y del agua. Sin embargo en Bolivia, esta es una realidad que cada día y en cada lugar, el hombre no puede ignorar.

Por razones de relieve, además de su ubicación geográfica y de los sistemas de circulación atmosférica mundial, Bolivia presenta, para un solo país sobre el conjunto de su superficie, una variedad de climas, probablemente la más amplia del planeta. Sin embargo, muchos lugares del país presentan climas irregulares a lo largo del año o variaciones climatológicas grandes e imprevisibles, que constituyen una ventaja o un inconveniente e incluso una plaga nacional. A causa de estas condiciones básicas, se observan también condiciones muy contrastadas de escurrimiento de las aguas superficiales, según las cuencas y las épocas.

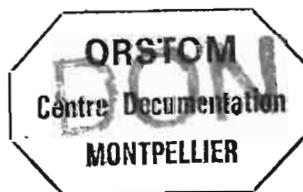
Así, las variaciones espacio-temporales, climatológicas e hidrológicas presentan en Bolivia intensidades excepcionalmente marcadas imprescindibles de tomarse en cuenta para cualquier planificación de desarrollo regional o nacional.

Por la falta de documentos generales sobre la climatología e hidrología - tanto a escala nacional como en lo que se refiere específicamente a las grandes cuencas hidrográficas - y por la inexistencia de informes sobre los llanos amazónicos (sólo se cuenta con informes, más o menos actualizados, sobre cuencas aisladas de Los Andes, realizados por proyectos específicos), fue necesario obtener un conocimiento de síntesis. Esto para entender los principios de funcionamiento de los sistemas y para disponer de datos epurados y resultados disponibles, para la mayoría de las aplicaciones a proyectos de aprovechamiento (Roche, 1982).

EL PROYECTO PHICAB.

Fue con la intención de cubrir las carencias anteriormente

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



~~5-06-125~~

citadas, que el Proyecto PHICAB, Programa de Estudio de la Climatología e Hidrología de Bolivia, nació. Los trabajos del PHICAB se realizan conforme a acuerdos firmados entre Bolivia y Francia, conjuntamente con el Instituto de Hidráulica e Hidrología (IHH) de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), el servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), y el "Institut Français de la Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération" (Instituto Francés de Investigación científica para el Desarrollo en Cooperación) (ORSTOM).

Los estudios contemplan las grandes cuencas de Bolivia: la cuenca amazónica, la cuenca endorreica del Altiplano, la cuenca del Río de La Plata, incluyendo Los Andes y la llanura oriental. Se brinda una atención particular a la cuenca amazónica.

El programa comprende, por una parte, trabajos operacionales en una red hidrométrica para la medición de las alturas de agua y los caudales de la cuenca amazónica de Bolivia, y, por otra parte, el estudio del conjunto de los resultados obtenidos hace años en Bolivia, a los cuales se suman los datos obtenidos en el marco de dicho proyecto. Así, se está elaborando una síntesis de conocimientos actualizados sobre la alta cuenca del Río Madera, en el campo de la climatología, la hidrología, la físico-química y de los transportes sólidos de los ríos (Roche y Canedo, 1984).

Se cuenta, en el campo de trabajo, con las embarcaciones, motores, aparatos hidrométricos y de mediciones físico-químicas necesarios. El Proyecto cuenta con oficinas y el material necesario (seis microcomputadoras y periféricos como pantallas de alta resolución gráfica, ploters, impresoras). Muchos programas informáticos han sido elaborados por los integrantes del Proyecto, en sus respectivos campos (Rubin de Celis et al., 1985; Guzmán y Roche, 1985; Apoteker et al., 1985). Se utilizan también programas de Hidrología de ORSTOM como también aquellos que están en venta en el comercio.

El personal incluye a tres investigadores del IHH así como a un promedio de cinco estudiantes de la UMSA-IHH, quienes están en plena elaboración de su tesis. Hasta la fecha se han beneficiado una quinzena de estudiantes con una formación práctica en el Proyecto. El SENAMHI colabora también estrechamente con el PHICAB, con el trabajo de sus especialistas en el campo de la climatología y la hidrología y con sus técnicos, en el trabajo de campo. Participan también, tres investigadores y un técnico de ORSTOM.

## CLIMATOLOGIA

Estudio de las distribuciones espaciales y temporales de los parámetros climatológicos

El estudio de las distribuciones espaciales y temporales de los parámetros climatológicos en Bolivia se lleva a cabo a través de la realización de mapas de isolíneas, permitiendo así evaluar en un lugar dado o en cualquier cuenca, los valores promedios.

Se cuenta actualmente, con mapas de las lluvias plurianuales para todas las cuencas de Bolivia, así como con un mapa pluviométrico de Bolivia entera y las zonas fronterizas. También se elaboraron mapas de temperaturas medias y de evapotranspiración en las mismas cuencas (Mariaca, García, Lozada, Espinoza, 1985; Abasto, Cruz, Herbas, 1987; Roche y Rocha, 1985).

Gracias a un programa informático, es posible actualmente dibujar sobre plotter - a partir de ficheros de datos - los mapas de las principales características, siendo así más sistemático el establecimiento de documentos a escala mensual. Esta zonificación climatológica sirve también para deducir otros parámetros, a través de la superposición y la combinación de mapas de diferentes parámetros. En este sentido, se han superpuesto los mapas de diferentes características, para un primer establecimiento de mapas de evapotranspiración.

La lluvia es un parámetro climatológico sobresaliente. Alimenta directamente las reservas hídricas superficiales y subterráneas, así como el escurrimiento. El procesamiento de estos datos, obtenidos en las estaciones de observación, permite obtener resultados de fundamental importancia para muchos sectores básicos del desarrollo regional. En primer lugar se ubica, por supuesto, la agricultura: los cultivos requieren imprescindiblemente las lluvias para su crecimiento. El estado de los pastizales depende también de ellas, de su distribución en el tiempo y en las zonas.

La lluvia representa uno de los tres términos de balance hídrico, puesto que el agua produce el escurrimiento después de haber sido, en parte, evapotranspirado. El balance permite, además de un ajuste de los tres términos, proporcionar un concimiento del conjunto de las cantidades de agua disponibles o pérdidas naturalmente.

Ya fue establecida, una primera evaluación de los balances hídricos de las grandes cuencas de Bolivia (Mariaca, García, Lozada, Espinoza, 1985; Abasto, Cruz, 1987; Roche y Fernández, 1987; Fernández et al., 1987).

Los resultados sobre las lluvias, sirven además para reconstituir el escurrimiento en estaciones de ríos, sobre la base de modelos matemáticos. Este método se basa igualmente en un balance hídrico a escala de tiempo menor y sistemas de transformación de la lluvia en escurrimiento, permitiendo deducir las formas, caudales máximos y volúmenes de las crecidas. En el marco del PHICAB ya fueron utilizados modelos para el estudio de crecidas en los

Ríos Ichilo y Piraí (Chavez, 1987, Carvajal 1988). El interés de tales modelos es poder seguir el funcionamiento de sistemas hidrológicos en casos excepcionales, que no hayan sido comunmente observados en la realidad, o sobre períodos de tiempos más largos que los que están disponibles. Se aplican sobre todo, para simular la oferta de agua a un embalse de presa, o para determinar la dimensión de obras públicas como represas o puentes. Por supuesto, los modelos integran en su programación, relaciones muy complejas con otros parametros estudiados también por el Proyecto: las condiciones bio-físicas de las cuencas, la evapotranspiración y las características climatológicas de las cuales depende la misma y los caudales. En efecto, este último término es primordial, siendo el mayor trabajo de este método el calibrar el modelo conforme a los datos de caudales existentes.

La evapotranspiración, es decir el agua evaporada hacia la atmósfera a través del suelo así como a partir del agua superficial y transpirada por la vegetación, es un fenómeno minuciosamente estudiado.

De los balances hídricos establecidos por el PHICAB en Bolivia, se deduce que la evapotranspiración real, equivalente a grandes escalas del déficit de escurrimiento (lluvia - escurrimiento), representa para la cuenca amazónica de Bolivia el 63 al 68% de las precipitaciones, el complemento siendo escurrido. Esta cuenca comprende cuencas semi-áridas e inmensos llanos inundados que favorecen altas evapotranspiraciones, pero también zonas de lluvias muy intensas. Finalmente, el valor global es compatible con los evaluados respectivamente a 49%, 48%, 72% y 70%, para las cuencas de los ríos Amazonas, Orinoco, Paraná y San Francisco. Sobre el conjunto de los continentes del planeta, los autores concuerdan en valores que oscilan entre el 60 y 65%.

Los valores precedentes son ejemplos que, entre otros, destacan la magnitud del fenómeno de evapotranspiración en el ciclo hidrológico y su importancia fundamental en los sistemas hidrológicos. Es por ello, que este fenómeno ocupa un primer lugar en las investigaciones del PHICAB.

Además de la zonificación climática a la cual contribuye, este fenómeno de evapotranspiración se convierte en un eslabón imprescindible para el estudio de las relaciones entre precipitaciones y escurrimiento, en la elaboración de balances hídricos y modelos matemáticos. El conocimiento de los valores de evapotranspiración sirven así a la realización de proyectos de aprovechamiento hidráulico en varios campos:

- agricultura : necesidades de agua de los cultivos, balance de agua de los suelos con la intervención de la reserva de agua disponible para la transpiración, planificación de riego, optimización de la producción de los cultivos.

- Ganadería : regulación de las inundaciones de los llanos a través de la evapotranspiración
- energía hidroeléctrica : término de los modelos hidrológicos de las cuencas, pérdidas de embalses.

Se han elaborado, en el PHICAB, programas informáticos para calcular los términos de balance de radiación, a partir de los cuales se evalúan - sobre la base de varias fórmulas - la evapotranspiración, en todas las zonas de Bolivia (Roche). Son utilizadas también, otras fórmulas más sencillas cuyos resultados se comparan con aquellos de las fórmulas anteriormente señaladas. Análisis y selección de los coeficientes de estas fórmulas, según los obtenidos en otras zonas del mundo, son necesarios para una adaptación a los tipos de situaciones que se presentan en Bolivia. Son también tomados en consideración, los coeficientes obtenidos a través de estudios específicos, realizados por los agrónomos de ORSTOM, en la zona del lago Titicaca.

La comparación entre los resultados de evapotranspiración y el déficit de escurrimiento es útil para ajustar los coeficientes de dichas fórmulas y para evaluar las discrepancias del cierre de los balances.

Estudio de las variaciones y anomalías climatológicas, en relación con las situaciones meteorológicas.

Una parte del estudio climatológico se focalizó especialmente en las variaciones y anomalías climatológicas que ocurren en Bolivia, en relación con diferentes situaciones meteorológicas que fueron identificadas por Ronchail (1985-1986). Estas situaciones fueron explicadas sobre la base de mapas de presión atmosférica de América del Sur, proporcionados por AASANA.

Al estudiar fenómenos pasados, a través del análisis de series de datos de lluvias y temperaturas, se entendieron, en cierta medida, las causas de las precipitaciones fuertes o sequías largas y de fríos y calores excepcionales en la zona amazónica sur y en el Altiplano. Causas que pueden provocar, en cualquier momento, las mismas consecuencias.

La oscilación anual de la Zona Intertropical de Convergencia (ZITC) y los movimientos asociados de los anticiclones atlántico y pacífico, así como el desplazamiento hacia el norte de masas de aire frío provenientes de latitudes altas (Surazos), son los elementos preponderantes que influyen en las situaciones meteorológicas de Bolivia (Roche, 1986; Ronchail, 1986). La influencia del Niño, es de frecuencia menor. El fenómeno de los frentes fríos en el país, por las masas de aire del Sur, con la aparición de frío y precipitación - especialmente en el Oriente - fue estudiado en su funcionamiento (Ronchail, 1986). Las consecuen-

cias del Niño, como las sequías de 1982 en el Altiplano y las fuertes lluvias en la Amazonia andina en 1983, deben ser aún precisadas en otros períodos anuales, por ser menos obvias.

A menudo, las situaciones meteorológicas se encadenan según procesos, actualmente más conocidos, de tal modo que la presencia de una situación atmosférica de un día puede permitir prever la situación del día posterior, obviamente con cierta probabilidad. Por ejemplo, conociendo el sistema de los Surazos, se puede prever en general la llegada, los efectos y la desaparición de un frente en un lugar de la Amazonia sur. La investigación en este sentido, puede por lo tanto permitir - en cierta medida - previsiones a varias escalas de tiempo, específicas de Bolivia, de algunos días, de frentes fríos o sobre varios meses en relación con el Niño o con las temperaturas de los océanos. Se puede ver aquí, el interés de continuar estos estudios, para los que queda aún mucho por hacer. Estas investigaciones, iniciadas por el PHICAB en Bolivia, intentan mejorar las previsiones climatológicas para el desarrollo de la agricultura fundamentalmente, la lucha contra las inundaciones y sequías, el manejo de cuencas, la construcción de obras públicas, y la protección civil.

## HIDROLOGIA

### Instalación de una red de estaciones para la observación de las alturas de agua y caudales en los ríos amazónicos

El PHICAB tomó a su cargo la instalación y/o mantenimiento de una red de estaciones hidrométricas a fin de observar las alturas de agua y caudales, en los grandes ríos amazónicos conforme al programa inicial (Roche, 1982; Roche y Canedo, 1984). Así, trece estaciones (a veces duplicadas) fueron observadas y aforadas con molinite, para la transformación de las alturas en caudales, gracias a misiones bimestrales en los ríos (Abasto et al., 1985; Bourges, 1987).

Se dispone actualmente de casi cinco años de observaciones, en zonas de las cuales no se tenía ninguna información, al inicio del Proyecto. Sin embargo, tres estaciones hidrométricas han sido observadas en un período de unos 15 a 20 años y los valores obtenidos, del conjunto de la cuenca, pueden ser ampliados a partir de series más largas sobre períodos interanuales (Roche et al., 1986; Roche y Fernandez, 1987; Bourges et al., 1987-1988). Las relaciones existentes entre caudales y lluvias son también un método utilizado para homogeneizar los resultados.

### Balances y regímenes hidrológicos

Los resultados ya obtenidos, permitieron elaborar una prime-

ra síntesis sobre los recursos hídricos disponibles en el conjunto de la cuenca amazónica de Bolivia, que constituye la mitad superior del río Madera, el afluente sur más importante del río Amazonas (Roche y Fernández, 1987). Los caudales y volúmenes fueron evaluados en 16 sitios de la cuenca, en el periodo 1968/70-1982. Las variaciones anuales fueron caracterizadas. El primer establecimiento de balances hídricos de estas grandes cuencas, fue realizado a través de relaciones entre los fenómenos precipitación y evapotranspiración, evaluados paralelamente. Los estudios continúan con series de observaciones más completas y un análisis detallado de los regímenes hidrológicos puede hallarse en (Bourges et al., 1988). Esto se hace más fácil, gracias a la utilización de nuevos programas informáticos, realizados por el PHICAB para sus tareas específicas o preparados por ORSTOM en el caso de la hidrometría.

De esta manera, los resultados obtenidos se aplican a varios sectores involucrados en el aprovechamiento regional. El conocimiento del funcionamiento hidrológico de la cuenca en su conjunto, es uno de los elementos mayores para establecer una estrategia de lucha o adaptación contra las inundaciones y sequías. Pueden servir para planificar la ampliación de las carreteras y el transporte fluvial.

Así mismo, el desarrollo urbano, como el de las ciudades del Oriente (Trinidad, Santa Cruz, etc...), necesita apoyarse en el conocimiento de los niveles de agua en los llanos. El proyecto PHICAB, mostró a su inicio por la selección de la ubicación de las estaciones hidrométricas de la red, su interés en la evaluación de las potencialidades hidroeléctricas de grandes sitios en las Amazonas. Tres sitios son así estudiados: Angosto del Bala, Cachuela Esperanza en el Beni y Abapó en el Río Grande. Los caudales y sus regímenes ya fueron estudiados en Cachuela Esperanza (Bourges et al., 1982), mientras la cuenca del Río Beni es objeto actualmente de un estudio climato-hidrológico detallado, orientado en este sentido para el sitio hidroeléctrico de Angosto del Bala, el segundo más poderoso del país.

Los resultados obtenidos pueden ser integrados también a la planificación de un aprovechamiento de los recursos alimenticios tan prometedores de los llanos, tales como:

- la ganadería, muy dependiente de las inundaciones,
- la agricultura, que debe contar con la protección contra las inundaciones pero también con la irrigación en periodo de sequía.
  
- la pesca, los recursos piscícolas siendo una gran riqueza en la cuenca amazónica con una biología y biomasa de los peces estrechamente ligada a la hidrología. Estos estudios hidrológicos fueron llevados a cabo en esta región por ORSTOM.

## FISICO-QUIMICA Y TRANSPORTES SOLIDOS

Cuantificar el escurrimiento, los recursos hídricos, en las cuencas de un país, puede ser insuficiente para un proyecto de aprovechamiento. Es necesario conocer además, la calidad físico-química de las aguas y los transportes de sedimentos que tienen lugar en los ríos.

Es por ello que el Proyecto PHICAB estudia las variaciones en el espacio y en el tiempo, de las principales características físico-químicas y transportes de suspensiones.

El muestreo se ha realizado ya en épocas hidrológicas remarquables, aguas altas, bajas y medias en la cuenca Amazónica y el Altiplano, así como en forma más continua por muestras periódicas, sobre varios años, en las estaciones de la red hidrométrica PHICAB. Se analizan la salinidad global (conductividad), los iones mayores, la sílica y, se miden la temperatura, el pH, la turbiedad.

Se establecieron mapas de salinidades, mostrando la distribución de los iones en el conjunto de la cuenca amazónica (Roche et al., 1986). El modo de variación temporal de las salinidades fue identificado en las estaciones y una primera evaluación de los transportes de materia disuelta fue realizada desde las cuencas andinas hasta el río Madera (Roche et al., 1986; Roche y Fernández, 1987; Guyot et al., 1986-1987). Se estimó también los transportes de sedimentos desde los Andes hasta los llanos amazónicos en las subcuencas del Río Beni (Guyot et al., 1988). Los estudios continúan para una mejor caracterización de los diferentes medios acuáticos de Bolivia y de los regímenes de las variaciones temporales.

La aplicación de los resultados interesa, en primer lugar, a los recursos piscícolas por la identificación de los diferentes ecosistemas acuáticos. Por otra parte, la evaluación de los transportes de sedimentos es de primera importancia a causa de la información que proporciona sobre los riesgos de colmatación de los embalses de presas proyectadas en Angosto del Bala, Cachuela Esperanza, donde ya se evaluaron las cantidades así como en Abapó. Se debe mencionar también la necesidad de conocer la calidad del agua para uso agrícola, el abastecimiento de poblaciones o de fábricas. Además, los análisis químicos mostraron la contaminación producida lejos río abajo por las grandes ciudades tales como La Paz y Cochabamba.

## FORMACION DE PERSONAL

Afin de contribuir en proporcionar medios humanos 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, hidrología y físicoquímica

del agua.

Varios hidrólogos bolivianos se beneficiaron con una beca de ORSTOM para una formación local. Dos de ellos pudieron continuar su formación en el ORSTOM de Montpellier con un curso sobre la Hidrología Aplicada al Desarrollo, beneficiados por becas del Ministerio francés de Relaciones Exteriores.

Nueve estudiantes egresados de la UMSA, becados de ORSTOM y seleccionados por el IHH, defendieron ya su tesis con estudios realizados en el PHICAB. Otras cinco tesis se están preparando actualmente.

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.

### CONCLUSION

El clima, las cantidades y calidades de las aguas son los temas centrales de los estudios del Proyecto PHICAB, el cual abarca entonces los factores entre los primordiales del desarrollo regional y nacional. Los resultados del Proyecto, estableciendo las relaciones entre estos factores se aplican a numerosos proyectos de aprovechamiento, principalmente en las áreas de la agricultura (cultivos, irrigación, ganadería), lucha contra las inundaciones y sequías, recursos piscícolas, recursos hidroeléctricos, construcción de carreteras y obras públicas, abastecimiento en agua de ciudades e industrias, navegación. Por otra parte, el PHICAB contribuye a la formación de personal en las especialidades del Programa permitiendo en particular la preparación de tesis de grado UMSA.

---

### BIBLIOGRAFIA

---

ABASTO, N., 1987 - Balance hídrico superficial de la cuenca del Río Madre de Dios, Amazonía, Bolivia, Perú. PHICAB : CONAPHI-IHH-ORSTOM, Tesis UMSA, 295 p.

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

ABASTO, N., HOORELBECKE, R., ROCHE, MA., RUBIN DE CELIS, L., 1985 - Alturas de agua y caudales, limnigramas e hidrogramas de la red hidrométrica PHICAB en la cuenca amazónica de Bolivia. PHICAB: ORSTOM-SENAMHI, 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: ORSTOM-SENAMHI, 21 p.

BOURGES, J., 1986 - La red hidrométrica del Phicab y los primeros resultados obtenidos. 1<sup>er</sup> Symposium de la recherche française en Bolivie, La Paz (sept. 1986) : 37-43.

BOURGES, J., 1987 - Aperçu sur les débits du Mamoré à Guayaramerin. PHICAB: ORSTOM-SENAMHI, 11 p., multigr.

BOURGES, J., 1987 - Projet de Cachuela Esperanza. Etude sommaire des apports. PHICAB, 20 p., multigr.

BOURGES, J., CORTES, J., HOORELBECKE, R., 1987 - Estudio de los caudales del Mamoré en Guayaramerín. ORSTOM-SENAMHI, 29 p.

BOURGES, J., CORTES, J., HOORELBECKE, R., 1987 - Etude des débits du Mamoré à Guayaramerín. ORSTOM-SENAMHI, 29 p.

CHAVEZ, GA., 1987 - Generación de crecidas en la cuenca del Río Ichilo en base al modelo matemático HUIG, Amazonía, Bolivia. PHICAB: CONAPHI-IHH-ORSTOM, Tesis UMSA, 276 p.

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

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

FERNANDEZ JAUREGUI, CA., ROCHE, MA., ALIAGA, A., PEÑA, J., 1987 - Los recursos hídricos en Bolivia. PHICAB: CONAPHI-IHH-ORSTOM, 20 p.

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

GOUZE, PH., FERHI, A., FONTES, JC., ROCHE, MA., 1987 - Composition isotopique (<sup>18</sup>O) de la matière organique des tourbières actuelles et holocènes en Bolivie. Résultats préliminaires et perspectives d'application en paléoclimatologie. Séminaire "Paléolacs-Paléoclimats", ORSTOM, Bondy, 29-30. Géodynamique 2(2). 113-116. ORSTOM.

GUYOT, JL., 1986 - Evolución en el espacio y el tiempo de las concentraciones de materia en solución y en suspensión de las aguas de la cuenca amazónica de Bolivia. 1<sup>er</sup> Symposium de la recherche française en Bolivie, La Paz (sept. 1986) : 48-53.

GUYOT, JL., CALLE, H., CALLE, M., QUINTANILLA, J., 1987 - Résultats d'une campagne d'échantillonnage en basses eaux en Amazonie bolivienne, en août-septembre 1986. PHICAB: IIQ-ORSTOM-SENAMHI.

GUYOT, JL., CALLE, H., QUINTANILLA, J., CALLICONDE, M., 1987 - Resultados de una campaña de muestreo en período de aguas bajas en la Amazonia Boliviana. Rev. Bol. Química, 7 (1): 36-50.

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 húmeda para series mensuales de 30 años). Flex 9 BASIC GOUPIL 8" ploter. PHICAB: IHH-ORSTOM-SENAMHI, 24 p.

HERBAS, C., 1987 - Climatología de la cuenca andina y amazónica del Río Grande, Bolivia. PHICAB: CONAPHI-IHH-ORSTOM, Tesis UMSA, 240 p.

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

MARIACA, JJ., 1985 - Balance hídrico superficial de la cuenca del Lago Poopó y los salares de Uyuni y Coipasa-Bolivia. PHICAB: IHH-ORSTOM-SENAMHI. 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: ORSTOM-SENAMHI, Folleto 4 p.

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

ROCHE, MA., 1986 - Distribuciones espacio-temporales de los parámetros climatológicos sobre Bolivia. 1<sup>er</sup> Symposium de la recherche française en Bolivie, La Paz (sept. 1986) : 29-32.

ROCHE, MA., 1986 - Presentación general del PHICAB. 1<sup>er</sup> Symposium de la recherche française en Bolivie, La Paz (sept. 1986) : 26-28.

ROCHE, MA., 1987 - Les bilans hydriques des Andes et de l'Amazonie-Bolivie - Géodynamique 2(2): 97-98. ORSTOM.

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

ROCHE, MA., FERNANDEZ JAUREGUI, C., 1986 - Los balances hídricos de Bolivia. 1<sup>er</sup> Symposium de la recherche française en Bolivie, La Paz (sept. 1986) : 44-47.

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

ROCHE, MA., FERNANDEZ JAUREGUI, C., RONCHAIL, J., BOURGES, J., GUYOT, JL., 1986 - Participación del PHICAB al simposio de la investigación francesa en Bolivia. PHICAB: AASANA-IFEA-IBTEN-IHH-ORSTOM-SENAMHI, 35 p.

ROCHE, MA., FERNANDEZ JAUREGUI, C., 1987 - Ressources hydriques, salinités et exportations salines des fleuves de l'Amazonie bolivienne. PHICAB: ORSTOM-IHH-CONAPHI, 30 p.

ROCHE, MA., FERNANDEZ JAUREGUI, C., 1987 - Water Resources, Salinity and Salt Exportations of the Rivers of the Bolivian Amazon. Submitted to Journal of Hydrology. Elsevier. Amsterdam. (PHICAB).

RONCHAIL, J., 1985 - Situations météorologiques et variations climatologiques en Bolivie (Situations météorologiques - Analyses de séries climatiques - Inventaire de saisons exceptionnelles). PHICAB: AASANA-IFEA-ORSTOM-SENAMHI, 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: AASANA-IFEA-ORSTOM-SENAMHI, 38 p.

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

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

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

RUBIN DE CELIS, L., ROCHE, MA., 1985 - Programas informáticos para el procesamiento de datos hidrométricos básicos PHICABHQ. Goupil 3 Flex 9 BASIC 8" ploter. PHICAB: ORSTOM-SENAMHI, 58 p.

---



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

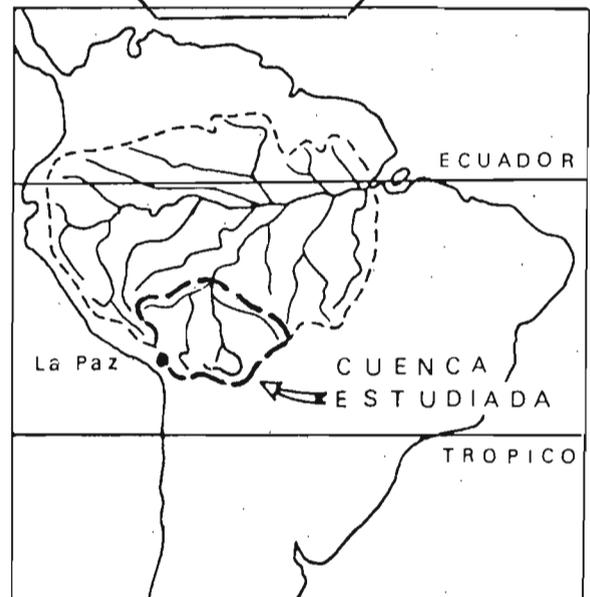
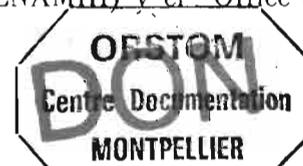
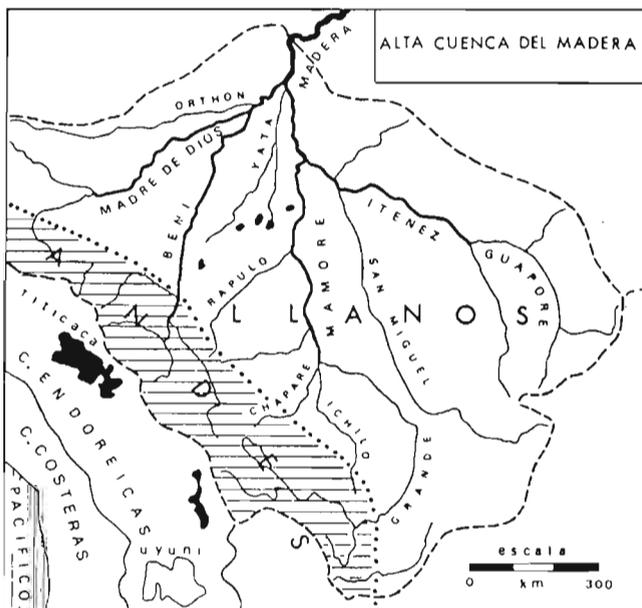
EL PHICAB es el Programa Climatológico e Hidrológico de la Cuenca Amazónica de Bolivia. Conforme a un acuerdo firmado en 1982 entre Bolivia y Francia, este programa está realizado conjuntamente por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y el "Office de la Recherche Scientifique et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



Fig. 2

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.

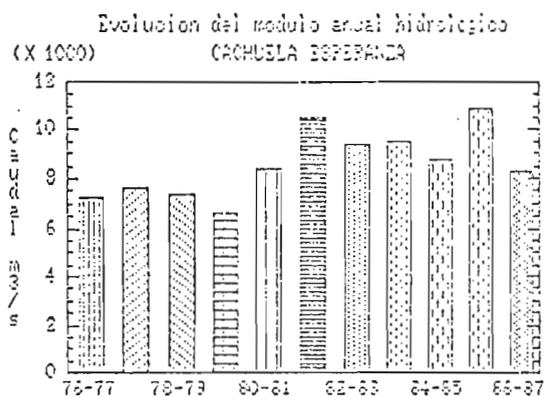


Fig. 3

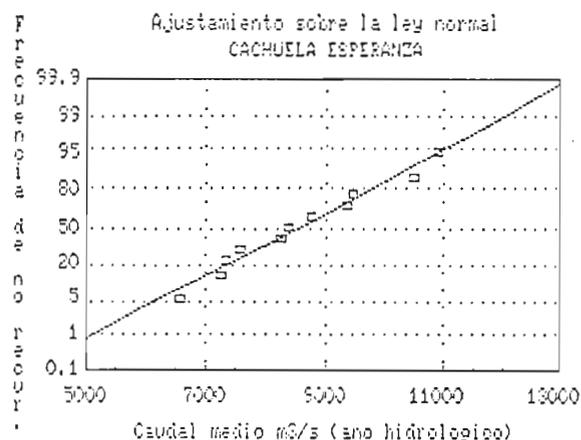


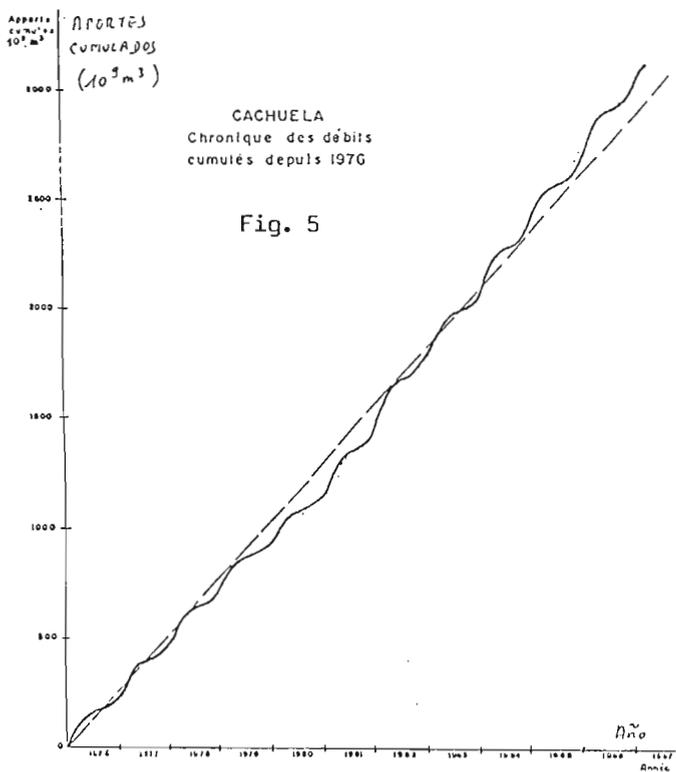
Fig. 4

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.

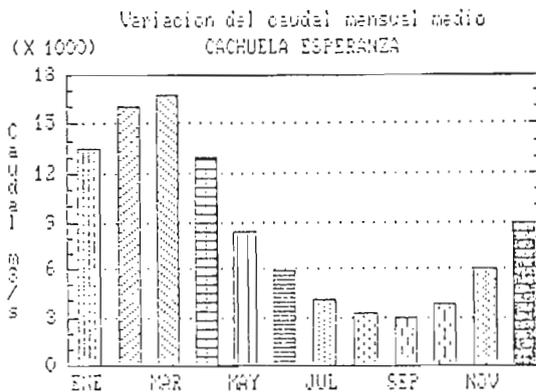


Fig. 6

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.

CARACTERIZACION FISICO-QUIMICA DE LOS RIOS Y LAGUNAS  
DE LA CUENCA AMAZONICA DE BOLIVIA

---

Jean Louis GUYOT Daniel CORBIN <sup>x</sup>  
Jorge QUINTANILLA Moises CALLICONDE <sup>xx</sup>  
Hector CALLE <sup>xxx</sup>

---

La caracterización físico-química de los ríos y lagunas de la cuenca amazónica de Bolivia (744000 Km<sup>2</sup>) es llevada a cabo por el programa PHICAB (Proyecto ORSTOM-SENAMHI-UMSA). Las variaciones espacio-temporales de los parámetros de la calidad de las aguas de los diversos ecosistemas de la Amazonía boliviana, fueron evaluadas a partir de las campañas de muestreo realizadas en diferentes épocas hidrológicas.

En campañas iniciadas en Marzo de 1986 a la fecha, se han recolectado aproximadamente 1600 muestras pertenecientes a ecosistemas muy variados, desde los glaciares andinos hasta los ríos y lagunas amazónicas (fig. 1); comprendiendo zonas con geología, climatología y cobertura vegetal muy diferentes, haciendo aproximadamente 20 000 análisis. Se concluirá la fase operacional en Marzo 1989.

Por los datos obtenidos, se observa que las muestras concernientes a estas aguas tienen valores muy contrastados en :

- temperatura de terreno, que varía de 0° C. a 36° C.
- conductividad, que oscila de 1 a 7300 uS/cm
- mineralización total, variable de 4 a 5000 mg/l
- materia en suspensión, que va desde 0 a 140 000 mg/l
- pH, que varía de 3.0 a 9.6 unidades pH

A lo largo de los grandes ríos como el Mamoré, es posible seguir la evolución espacial de los diferentes componentes de la calidad de las aguas. Los resultados obtenidos durante la campaña de aguas bajas de Agosto-Septiembre 1986 (Guyot J.L. et al., 1987), muestran que la mineralización, débil en altitud, aumenta progresivamente hasta llegar a su valor máximo a 2 500 m de altura (fig. 2). Posteriormente, se nota un decrecimiento muy rápido de la mineralización 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

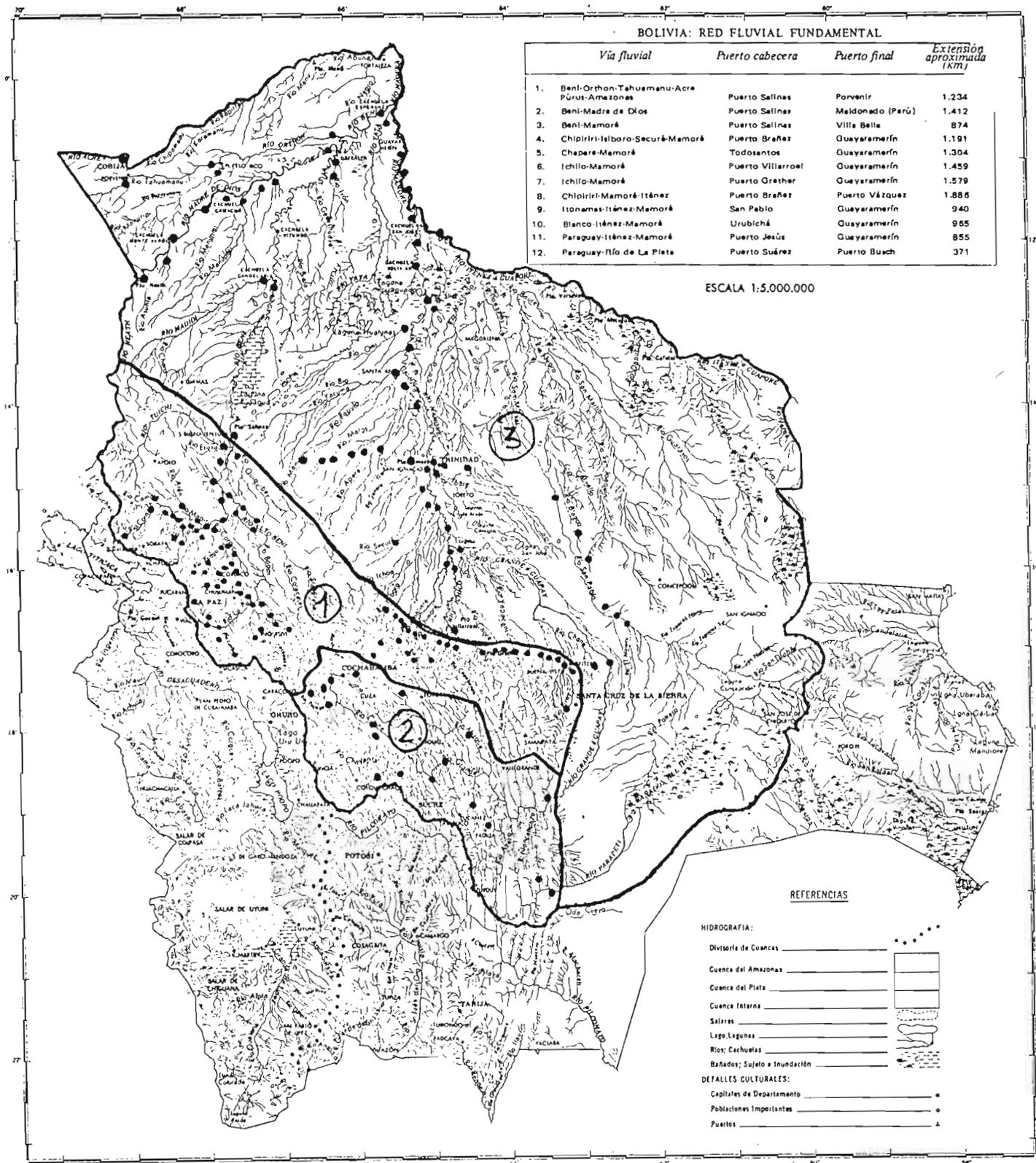
---

<sup>x</sup> ORSTOM, Casilla 8714, La Paz-Bolivia  
<sup>xx</sup> UMSA IIQ  
<sup>xxx</sup> SENAMHI



Fig. 1

# MAPA HIDROGRAFICO DE BOLIVIA



**BOLIVIA: RED FLUVIAL FUNDAMENTAL**

Vía fluvial	Puerto cabecera	Puerto final	Extensión aproximada (KM)
1. Beni-Orthon-Tahusmanu-Acre Púros-Amazonas	Puerto Salinas	Porvenir	1.234
2. Beni-Madre de Dios	Puerto Salinas	Maldonado (Perú)	1.412
3. Beni-Mamoré	Puerto Salinas	Villa Bella	874
4. Chipiriri-Isiboro-Securá-Mamoré	Puerto Brañez	Guayaramerín	1.191
5. Chaparé-Mamoré	Todosantos	Guayaramerín	1.304
6. Ichilo-Mamoré	Puerto Villarreal	Guayaramerín	1.459
7. Ichilo-Mamoré	Puerto Oresther	Guayaramerín	1.579
8. Chipiriri-Mamoré-Iténez	Puerto Brañez	Puerto Vázquez	1.888
9. Itonamas-Iténez-Mamoré	San Pablo	Guayaramerín	940
10. Blanco-Iténez-Mamoré	Urubichá	Guayaramerín	965
11. Paraguay-Iténez-Mamoré	Puerto Jesús	Guayaramerín	855
12. Paraguay-Río de La Plata	Puerto Suárez	Puerto Busch	371

ESCALA 1:5.000.000

**REFERENCIAS**

- HIDROGRAFIA:**
- Divisorio de Cuencas \_\_\_\_\_
  - Cuenca del Amazonas \_\_\_\_\_
  - Cuenca del Pieta \_\_\_\_\_
  - Cuenca Interna \_\_\_\_\_
  - Salinas \_\_\_\_\_
  - Lago, Lagunas \_\_\_\_\_
  - Rios: Cuchumias \_\_\_\_\_
  - Bañados; Sujeto a Inundación \_\_\_\_\_
- DETALLES CULTURALES:**
- Capitales de Departamento \_\_\_\_\_
  - Poblaciones Importantes \_\_\_\_\_
  - Portos \_\_\_\_\_

de los elementos mayores ( $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Na}$  y  $\text{K}$ ). El hierro se singulariza por su ausencia en los Andes y un aumento progresivo a lo largo de los llanos.

Las aguas en la planicie amazónica aparecen debilmente mineralizadas, pero con contenidos en hierro más elevados que en los Andes. Los otros elementos mayores sufren una dilución desde la Cordillera hasta los llanos orientales.

Es relativamente fácil describir la evolución de los diversos parámetros de la calidad de las aguas a lo largo de algunos grandes ríos, pero sucede lo contrario cuando el conjunto de la cuenca debe ser tratado. También, teniendo en cuenta el gran número de variables y de individuos (parámetros y muestreos); ha sido empleado un método de análisis factorial (ACP) para interpretar el conjunto de datos (GUYOT J.L. et al., 1987).

En el plano representado por los dos primeros ejes factoriales, que expresan más de 67 % de la variación, la distribución de los puntos variables (fig. 3) 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, sílice y en menor grado, en potasio.

Con la representación de los puntos individuales (fig. 3), estos están diferenciados en tres clases geográficas (fig. 4) :

- zona 1 - la cordillera propiamente dicha ; las aguas estan debilmente 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 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.

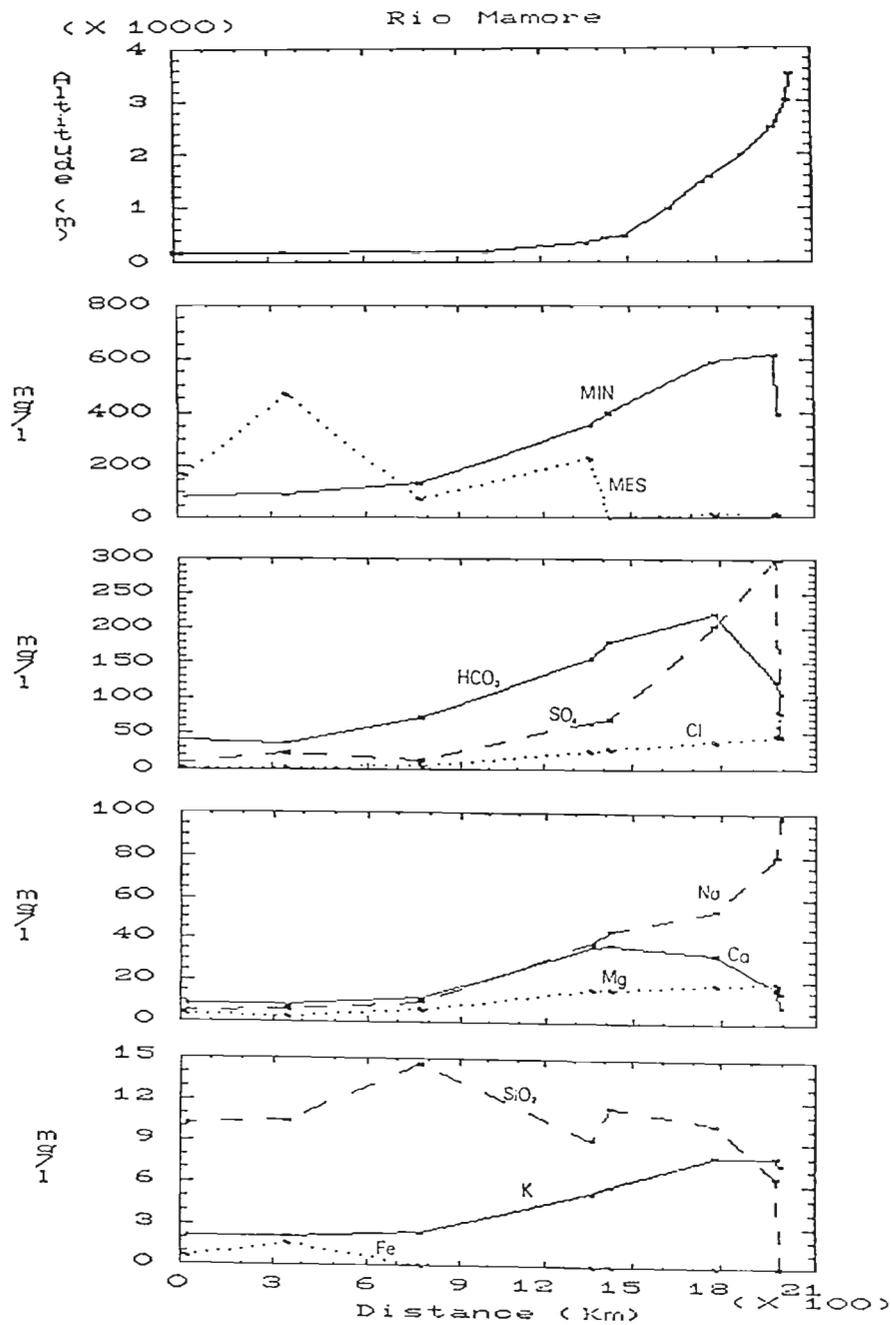


Fig. 2

Analyse en composantes principales

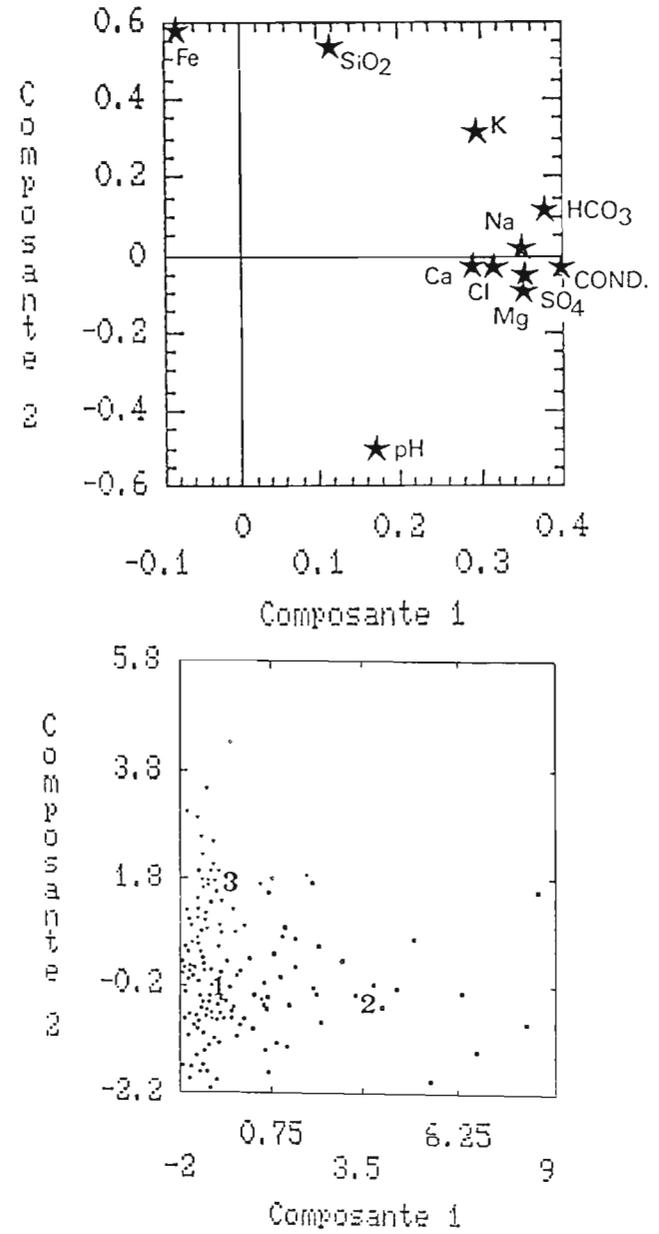
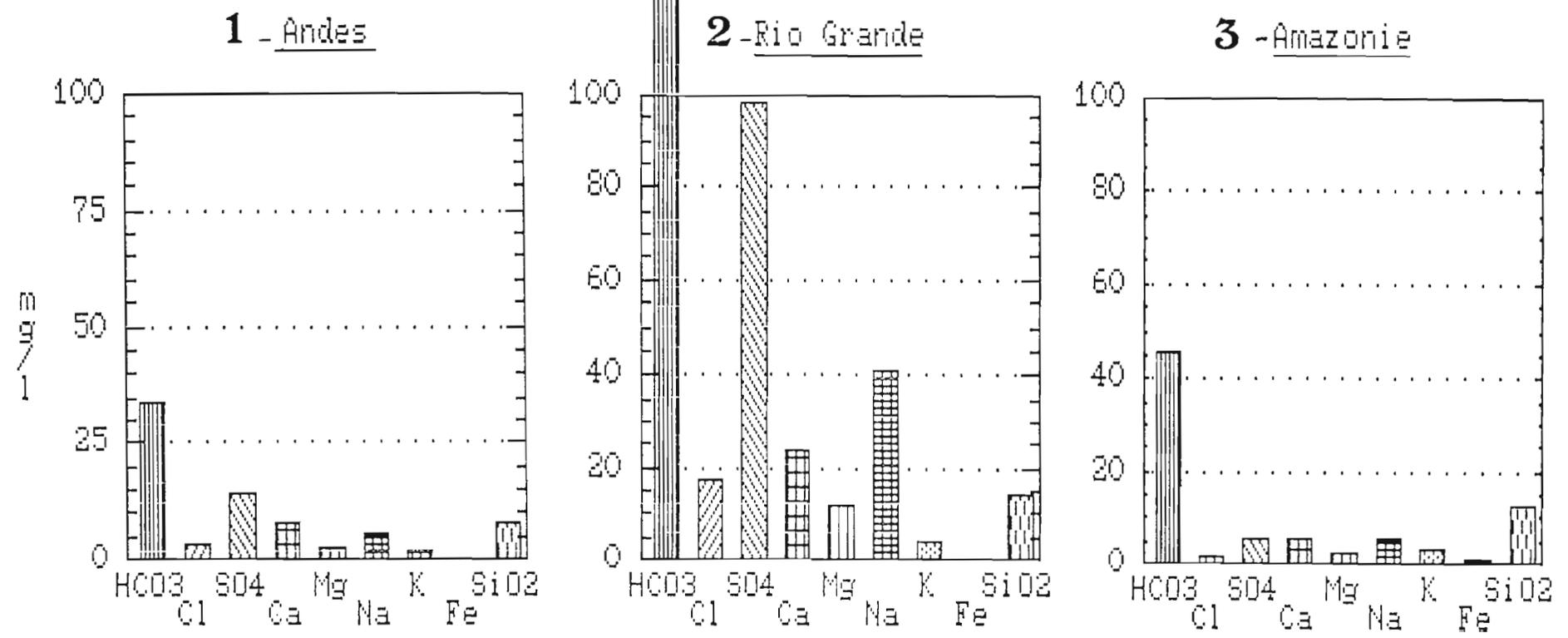


Fig. 3



- zona 3 - los llanos o la planicie amazónica, donde la altitud varía de 180 a 400 metros. Estas aguas están debilmente 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 elevado que el promedio.

La comparación e 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 ríos.

Como una aplicación práctica de los estudios realizados, tenemos el trabajo efectuado en el Mamoré central (región de Trinidad) en cooperación entre : UTB-CORDEBENI-ORSTOM-UMSA-IQQ, dentro del convenio piscícola, que tuvo como finalidad la evaluación del potencial piscícola de esta región.

Este estudio se realizó en diversos medios acuáticos de la planicie de inundación del Mamoré central (fig. 5) de Julio 1986 a Agosto 1987, con la finalidad de reunir datos físico-químicos que permitirán la interpretación de datos biológicos de las especies ictiológicas estudiadas en el marco de la convención piscícola (Corbin D. et al., 1988).

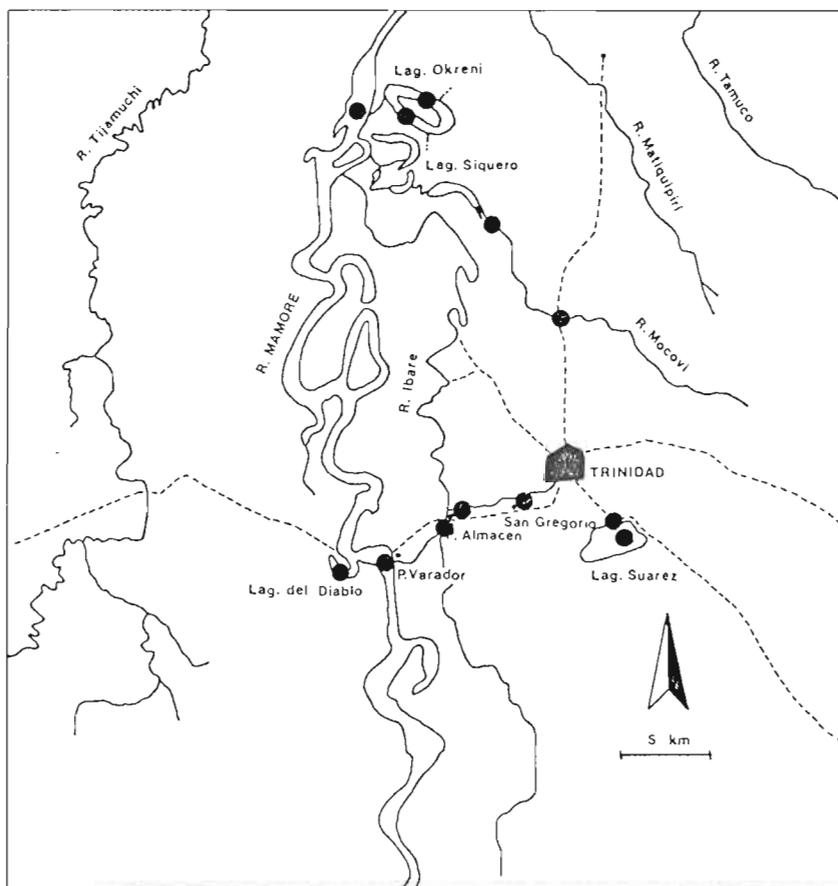
Se estudiarán 4 tipos de medios :

- ríos : Mamoré, Ibaré y Mocovi
- lagunas poco profundas : tres próximas del río Mamoré del sistema Siquero ; las lagunas Cokinoki, Tapada y d'Orbigny. Una alejada del río : la laguna Suarez.
- lagunas profundas : son antiguos meandros del río ; en general próximas al curso principal y de formación más reciente que las anteriores, son casi exclusivamente alimentadas por las aguas del río Mamoré : lagunas Okreni y del Diablo.
- charcos de inundación : son planos de agua que subsisten en el borde de la pista de Trinidad a Puerto Almacén, después del retiro de las aguas de inundación. Dos puntos han sido estudiados : San Gregorio y el canal de Puerto Almacén.

Estos diferentes medios acuáticos pueden ser clasificados en dos tipos de aguas estrechamente ligados a su origen :

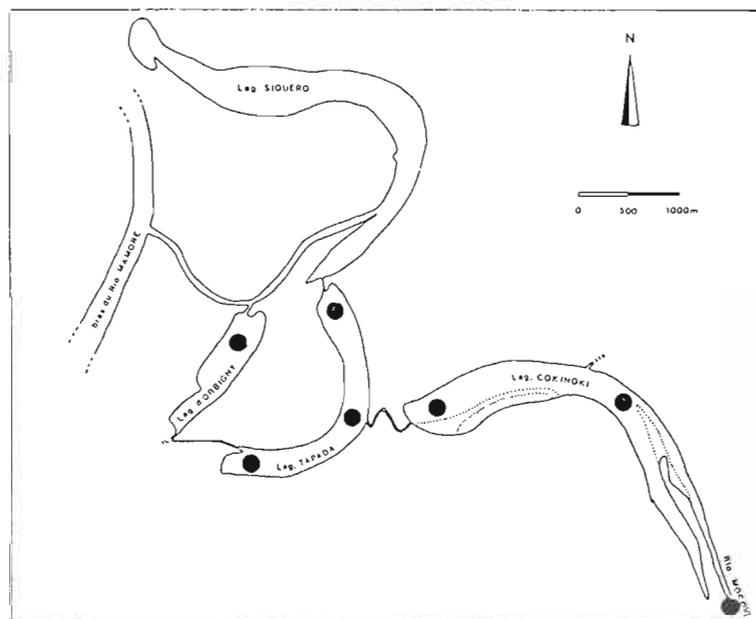
- las aguas de origen andino (el Mamoré y las lagunas que alimenta) son las más mineralizadas, de tipo bicarbonato-cálcico con fuertes tenores relativos en calcio, magnesio, sulfato y bicarbonatos, así como en sodio pero en menor proporción (fig 6).

- las aguas de los llanos (río Mocovi y lagunas poco profundas alejadas del Mamoré : Cokinoki y Suárez) son más debilmen-



Mapa de la región estudiada, posiciones de los puntos de muestreo.

Fig. 4



Mapa de las lagunas poco profundas del sistema Siquero. Posiciones de los puntos de muestreo.

Fig. 5

Fig. 6

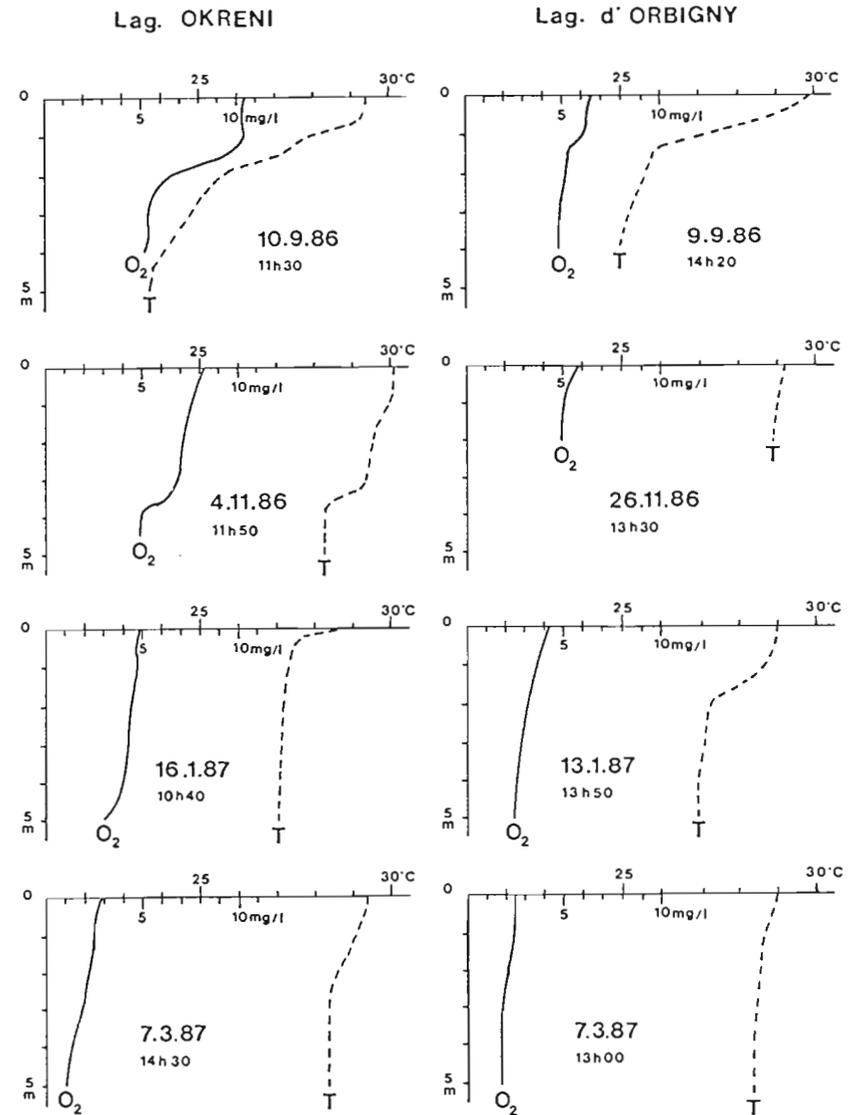
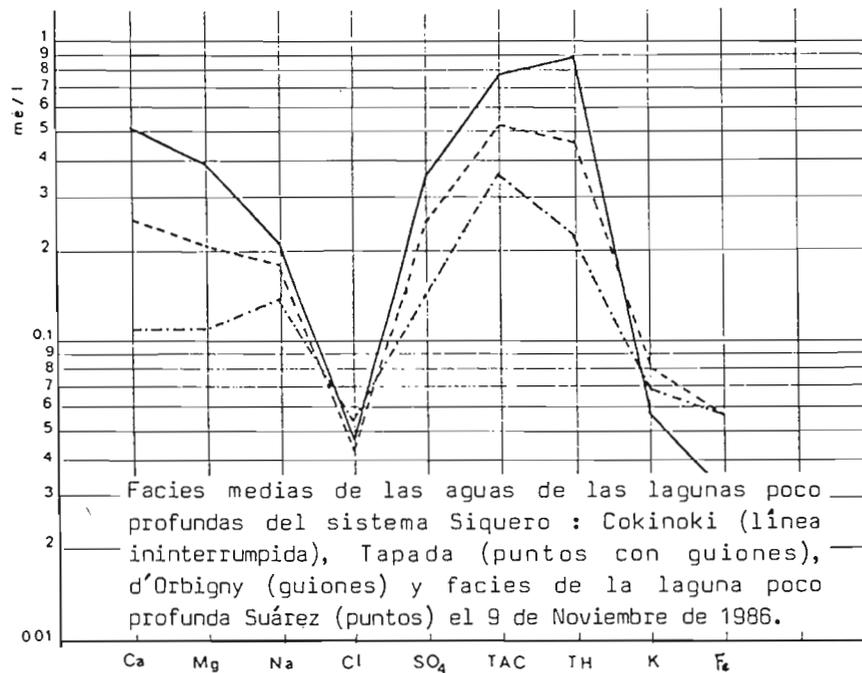
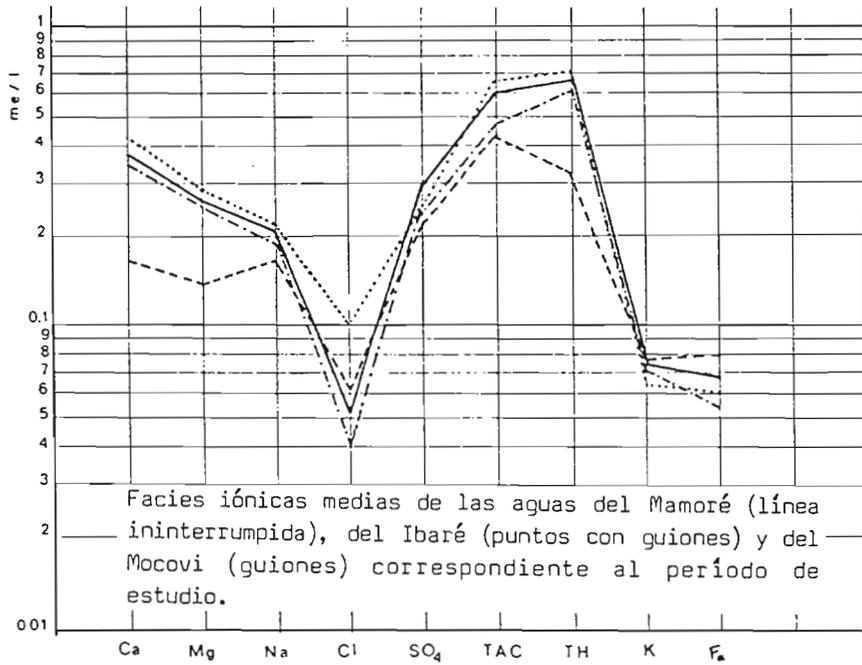


Fig. 7 : Evolución de la temperatura y del oxígeno en función de la profundidad en la laguna profunda Okreni y la laguna poco profunda d'Orbigny.

te mineralizadas de tipo bicarbonato-sódico con fuertes tenores relativos en hierro y potasio.

- tenemos también aguas intermedias, con el río Ibaré y las lagunas del sistema Siquero que, debido a su hidrología particular, están bajo la influencia por un lado del Mamoré y por otro del Mocovi, presentan características que cambian con la época de lluvias.

La evolución de la temperatura y del oxígeno disuelto en función de la profundidad ha podido ser estudiada en la laguna profunda Okreni y en la laguna poco profunda d'Orbugny en diferentes épocas hidrológicas. Estos datos de gran interés para la hidrología de estas lagunas, son presentados en la figura 7.

Finalmente este estudio ha dado resultados que permiten entender el comportamiento del ecosistema (biotopo) de la cuenca : para así poder desarrollar en forma racional y sostenida la piscicultura como una alternativa de nutrición y de orden social (fuentes de trabajo).

---

#### BIBLIOGRAFIA

BOURGES, J., CORTES, J., HOORELBECKE, R., 1987 - "Etude des débits du Mamoré à Guayaramerin". - Publ. PHICAB - 26 p.

CORBIN, D., GUYOT, JL., CALLE, H., QUINTANILLA, J., 1988 - "Datos físico-químicos de los medios acuáticos de la zona del Mamoré central (región de Trinidad - Amazonía boliviana)". Publ. ORSTOM Bolivie.

GARCIA, W., 1985 - "Balance hídrico superficial de la cuenca del Río Mamoré". - Tesis de grado, UMSA, La Paz - Publ. PHICAB - 110p.

GUYOT, JL., CALLE, H., QUINTANILLA, J., CALLICONDE, M., 1987 - "Resultados de una campana de muestreo en período de aguas bajas en la amazonía boliviana." - Revista Boliviana de Química 7 (1) - 36-50 p.

ROCHE, M.A., FERNANDEZ, C., APOTEKER, A., ABASTO, N., CALLE, H., TOLEDE, M., CORDIER, J.P. POINTILLART, C., 1986 - "Reconnaissance Hydrochimique et première évaluation des exportations hydriques et salines des fleuves de l'Amazonie bolivienne." - Publ. PHICAB - 256 p.

APORTACIONES DE SEDIMENTOS POR EL RIO BENI A  
LOS SITIOS POTENCIALES DE PRESAS

---

Jean Louis GUYOT <sup>x</sup>  
Héctor CALLE & José CORTES <sup>xx</sup>  
María C. BARRAGAN <sup>xxx</sup>

---

El Río Beni, con el Río Mamoré, forman el Río Madera, el más grande de los afluentes meridionales del Amazonas. En su confluencia con el Río Mamoré, después de Cachuela Esperanza, el Río Beni drena una cuenca vertiente de 282000 Km<sup>2</sup>, de los cuales 40% están situados en la Cordillera Oriental de los Andes bolivianos y peruanos.

El Río Beni ha sido, desde hace mucho tiempo, objeto de estudios de factibilidad, concernientes a proyectos de presas para la producción de electricidad. Hoy en día, los lugares de Angosto del Bala, a la salida de los Andes (ENDE, 1984) y , de Cachuela Esperanza, aguas arriba de la confluencia con el Río Mamoré (ENDE, 1985), han sido retenidos (fig. 1).

Además de los aspectos sobre las reservas hídricas (Bourges, j., 1987), es necesario tomar en cuenta los fenómenos de sedimentación de los materiales en suspensión transportados por estos cursos de agua. Cuando las cargas de sedimentos son importantes, existe un riesgo real de colmatación de todo o de una parte de lo retenido, reduciendo así el volumen útil de la reserva necesaria para el buen funcionamiento de la central hidroeléctrica.

Para esto, la evaluación de las cantidades de sedimentos en suspensión y la caracterización del régimen de transporte por el Río Beni, desde las cabeceras de la cuenca andina, hasta el Río Madera, han sido realizadas en Bolivia (Guyot, J.L. & al., 1988). El estudio ha sido dirigido por el PHICAB (Programa Hidrológico y Climatológico de Bolivia, proyecto ORSTOM-SENAMHI-UMSA). Las medidas hidrométricas y de cargas en suspensión provienen de ocho estaciones de la red del SENAMHI para la zona andina y de cinco estaciones de la red PHICAB para la llanura amazónica (cuadro 1).

---

x ORSTOM. Casilla 8714, La Paz-Bolivia.  
xx SENAMHI  
xxx UMSA IHH



506.139

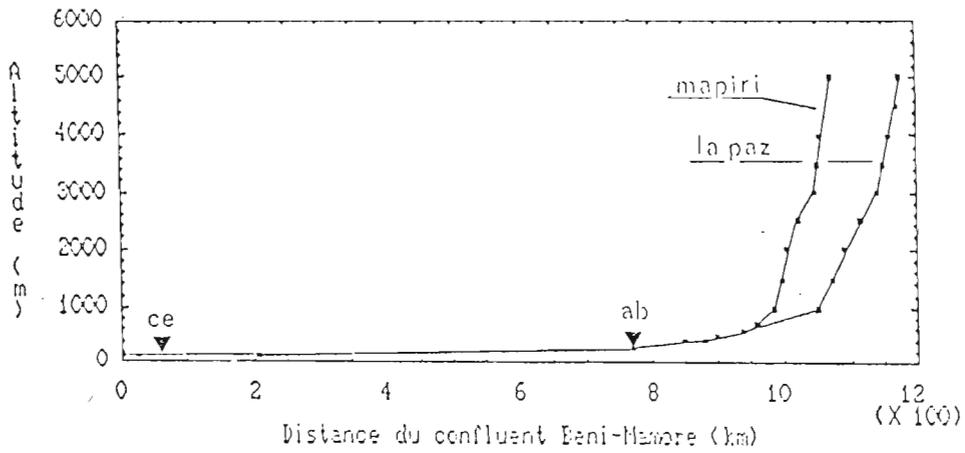
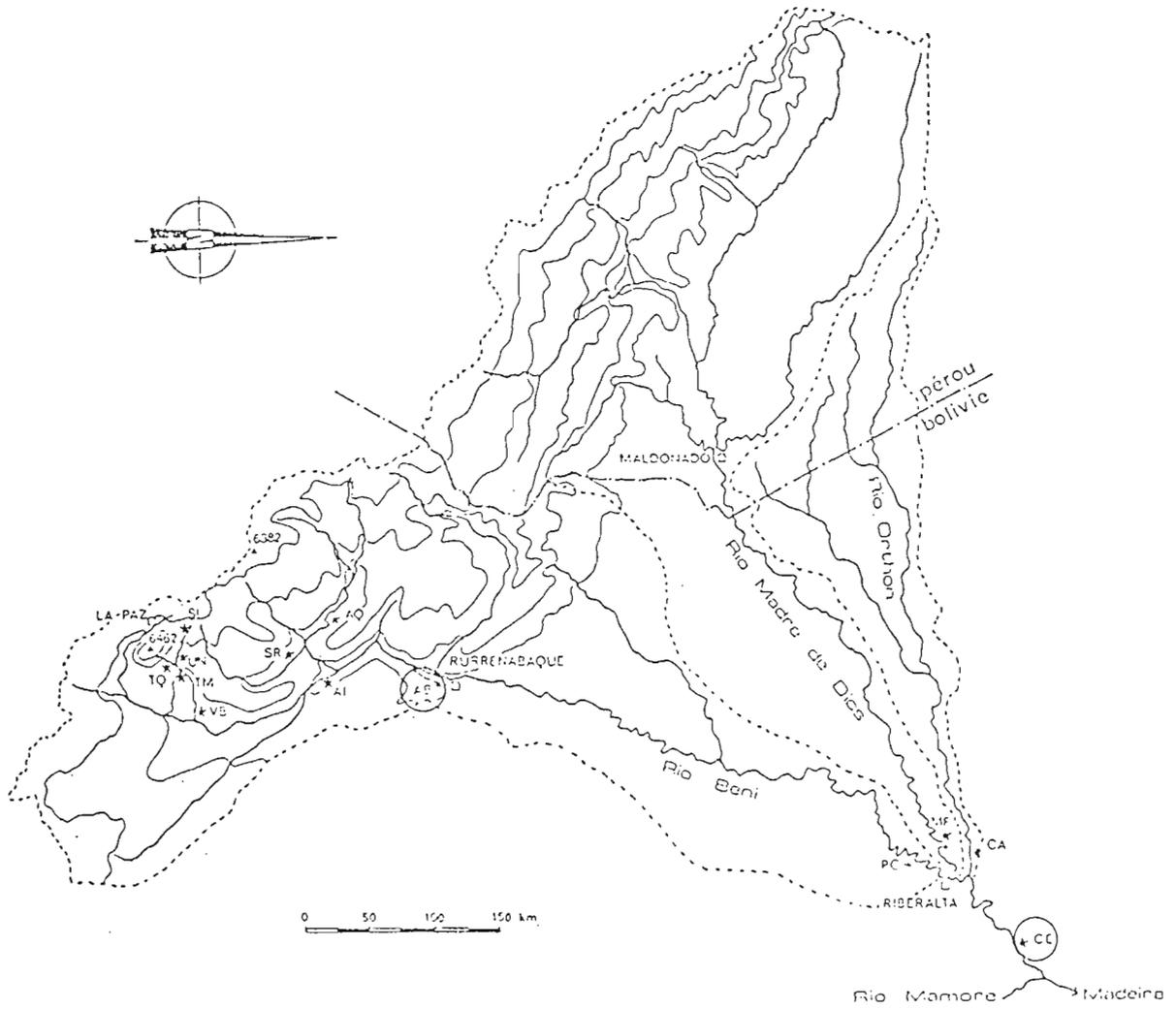


Fig. 1 - Localisacion de las estaciones y perfil longitudinal del Rio Beni.  
Codigo de las estaciones : ver tabl. 1

CUADRO 1 : Características de las estaciones

Código Estación	Estación	Río	Altura (m)	Superf. (Km <sup>2</sup> )	Org.	Período de obs.
SI	Sirupaya	Unduavi	1800	272	SENAMHI	83-86
UN	Puente Villa	Unduavi	1200	359	SENAMHI	83-85
TQ	Puente Villa	Taquesi	1200	595	SENAMHI	83-85
TM	Puente Villa	Tamampaya	1185	954	SENAMHI	75-85
VB	Villa Barrientos	Tamampaya	1050	1440	SENAMHI	75-84
AQ	Angosto Quercano	Mapiri	600	10560	SENAMHI	75-79
SR	Santa Rita B.A.	Coroico	435	4700	SENAMHI	76-77
AI	Angosto Inicua	Alto-Beni	420	29640	SENAMHI	75-84
AB	Angosto del Bala	Beni	284	67160	SEN.PHICAB	75-87
PC	Portachuelo	Beni	140	119040	PHICAB	83-87
MF	Miraflores	Madre Dios	140	124220	PHICAB	83-87
CA	Caracoles	Orthon	130	32270	PHICAB	83-87
CE	Cachuela.Esp.	Beni	124	282470	PHICAB	83-87

La evolución del contenido de materiales en suspensión sigue, aproximadamente, la evolución de los caudales. Los máximos caudales sólidos coinciden con los máximos hidrológicos. Los períodos de aguas altas suministran de esta manera, gran parte de los sedimentos (fig. 2). Es por lo tanto, entre Diciembre y Abril que pasa lo esencial del caudal sólido, con valores oscilantes de 86% (Río Tamampaya a Puente Villa) de 95% (río Coroico a Santa Rita) del volumen anual para los Andes, y de 70% (Río Orthon a Caracoles) de 93% (Río Beni a Portachuelo), para los llanos.

Los regímenes de sedimentos, diferentes en los llanos y en los Andes, presentan distribuciones de frecuencias características de cada sistema hidrológico (fig. 3).

Así, en los Andes, los ríos Unduavi (Sirupaya y Puente Villa) y Taquesi (Puente Villa) que forman el Río Tamampaya (Puente Villa y Villa Barrientos), presentan distribuciones muy distintas: unimodale con poca dispersión por el Río Taquesi, plurimodale con gran dispersión por el Río Unduavi y después el Río Tamampaya. Estas diferencias provocadas en gran medida por la diferente geología de sus cuencas, se observan también el el caso del Río Coroico (Santa Rita) y Mapiri (Angosto Quercano).

En los llanos, la sedimentación en el curso del Río Beni de una gran parte de los sedimentos, se manifiesta por una homogeneización de las concentraciones, dando así una distribución en Portachuelo que tiene mucho menos dispersión que en Angosto del Bala. Este fenómeno se agrava con los aportes de los ríos Madre de Dios (Miraflores) y Orthon (Caracoles) que tienen un régimen de sedimentos regular.

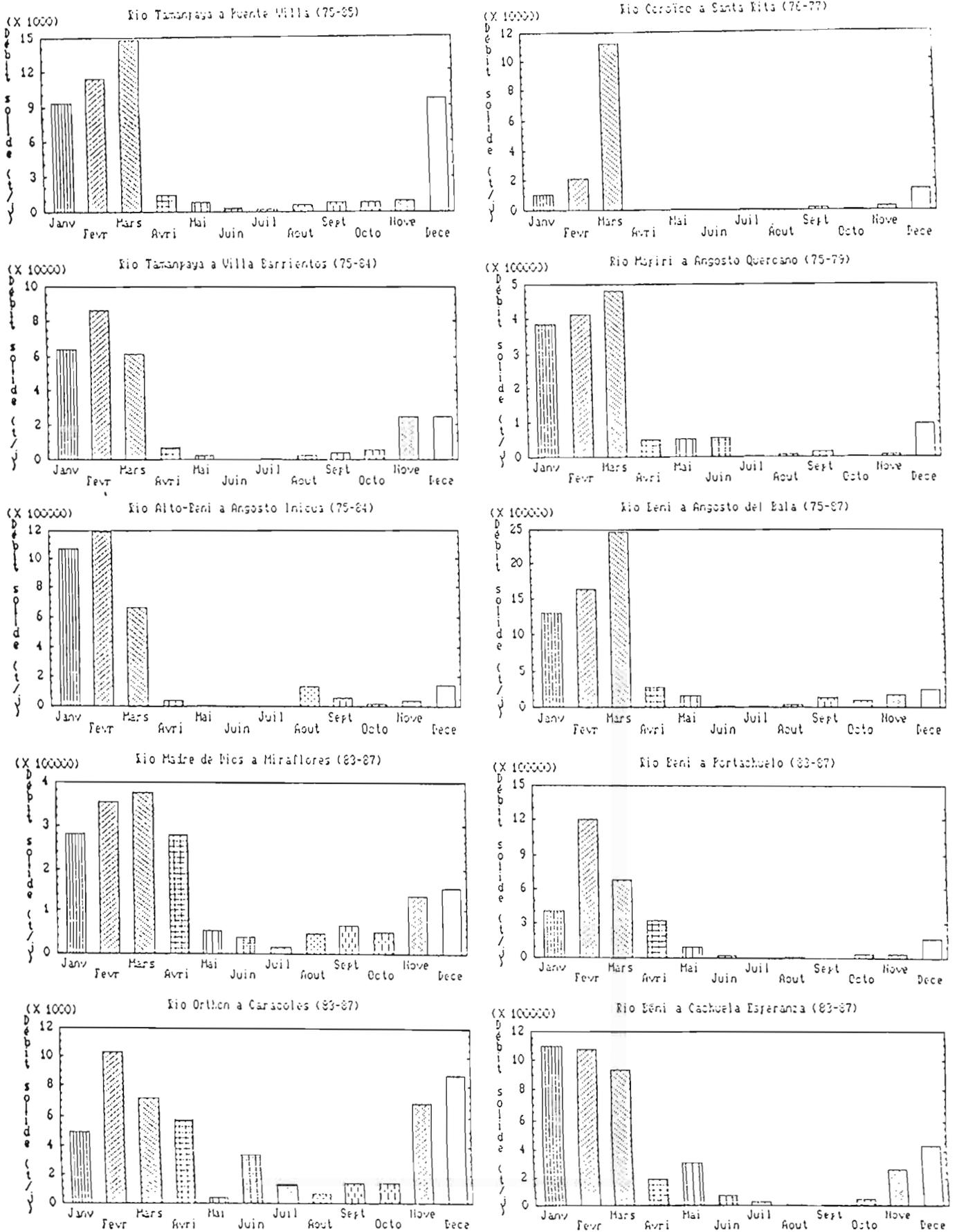


Fig. 2 - Regimen de los caudales solidos

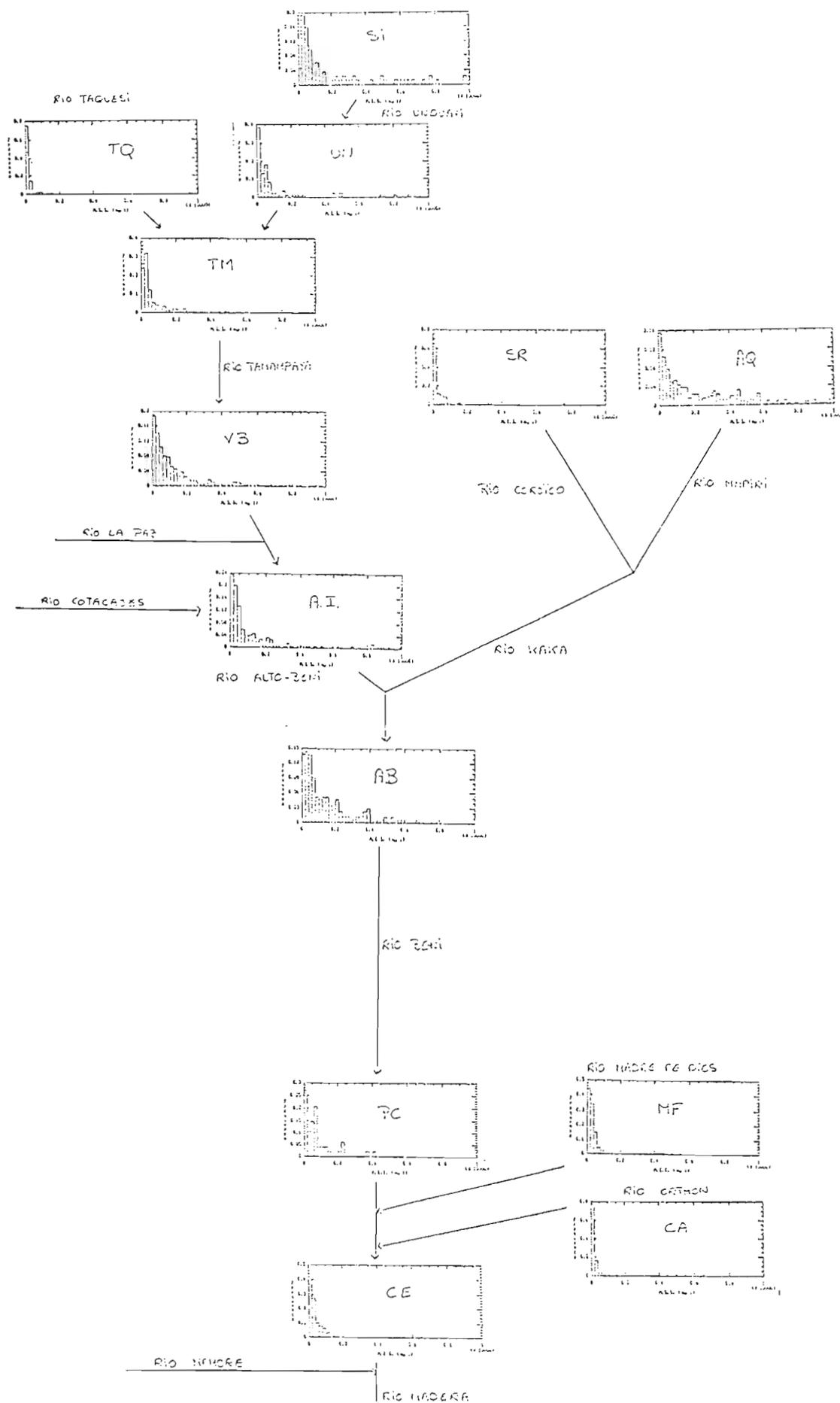


Fig. 3 - Distribuciones de los sedimentos

El flujo máximo de sedimentos es observado a la salida de los Andes (550000 t/día a Angosto del Bala), que representa una tasa de erosión macánica de la cordillera del orden de 3000 t/Km<sup>2</sup>.año.

Tasas superiores, hasta 6000 t/Km<sup>2</sup>.año son observadas en cuencas menos importantes como el Río Tamampaya, el Río Mapiri y el Río Alto-Beni, que están aguas arriba del sistema que corresponde a una zona de mayor pluviosidad, mayor pendiente y una cobertura vegetal reducida, de mayor erosión potencial (Cuadro 2).

En los llanos, estas tasas de erosión disminuyen bajo el doble efecto de la dilución por los afluentes de la selva y sobre todo por los fenómenos de sedimentación en los períodos de inundación. Así, después de un recorrido de 600 kilómetros en la llanura, el Río Beni a Portachuelo presenta un flujo de 250000 t/día de sedimentos, es decir únicamente el 46% del volumen evacuado por los Andes a Angosto del Bala. La tasa de sedimentación en los llanos puede ser estimada en 2100 t/Km<sup>2</sup>.año, aproximadamente.

Finalmente, en su confluencia con el Río Mamoré, el Río Beni y sus principales afluentes, el Madre de Dios y el Orthon, aportan al Río Madera 375000 t/día de sedimentos (Guyot, J.L. & al., 1988).

Cuadro 2 : Principales resultados del caudal sólido

Código Estación	Caudal medio (m <sup>3</sup> /s)	M.E.S. (mg/l)	Caudal sólido (ton./día)	Tasa de erosión (ton./Km <sup>2</sup> .año)
SI	(16)	2790	(3840)	(5180)
UN	(21)	1075	(1920)	(1980)
TQ	(35)	281	(822)	(521)
TM	56	801	4380	1660
VB	72	1950	23600	6000
AQ	475	1930	131000	4540
SR	250	589	14000	1090
AI	825	1920	281000	3460
AB	2365	1350	550000	2990
PC	2700	818	250000	768
MF	5460	281	154000	452
CA	501	131	4380	50
CA	9510	355	375000	485

x Los datos entre paréntesis son estimados

El proyecto de Angosto del Bala, proveera un potencial de 1600 MW, con una presa de arco de 205 metros de altura y 400 metros de longitud, con un volumen retenido de 118 Km<sup>3</sup> (ENDE, 1984).

El proyecto de Cachuela Esperanza con un caudal de reserva de 6000 m<sup>3</sup>/s, proveera un volumen retenido de 35 Km<sup>3</sup> (ENDE, 1985 & Bourges, J., 1987).

Con los flujos de sedimentos observados en las dos estaciones y, considerando la hipótesis pesimista que la totalidad de materia en suspensión sedimente, el tiempo de colmatación es respectivamente del orden de 600 años para Angosto del Bala y de 400 años para Cachuela Esperanza (Barragan, M.C., Inédito).

---

#### BIBLIOGRAFIA

---

ABASTO, N., 1987 - "Balance hídrico superficial de la cuenca del Río Madre de Dios." - Tesis de grado UMSA La Paz - Publ. PHICAB - 265 p.

ABASTO, N.; HOORELBECKE, R.; ROCHE, M.A.; RUBIN DE CELIS, L., 1985 - Alturas de agua y caudales, limnigramas e hidrogramas de la red hidrométrica Phicab en la cuenca amazónica de Bolivia. - Publ. PHICAB - 70 p.

BOURGES, J., 1986 - La red hidrométrica del Phicab y los primeros resultados obtenidos. - Primer Simposio de la Investigación Francesa en Bolivia, La Paz, Septiembre 1986 - p. 37-43.

BOURGES, J., 1987 - Projet de Cachuela Esperanza. Etude sommaire des débits. - Publ. PHICAB - 17 p.

E.N.O.E., 1984 - Plan director de desarrollo y aprovechamiento del Río Beni en el Angosto del Bala. - Publ. Empresa Nacional de Electricidad de Bolivia - 24 p.

E.N.O.E., 1985 - Proyecto hidroeléctrico de Cachuela Esperanza. Estudio de factibilidad hidrológica. - Publ. Empresa Nacional de Electricidad de Bolivia.

ESPINOZA, o., 1985 - Balance hídrico superficial de la cuenca del Río Beni (Amazonia, Bolivia). - Tesis de grado - UMSA, La Paz - Publ. PHICAB - 181 p.

GUYOT, J.L., 1986 - Evolución en el aspecto y el tiempo de las concentraciones de materia en solución y en suspensión, de las aguas de la cuenca amazónica de Bolivia. - Primer Simposio de la Investigación Francesa en Bolivia, La Paz, Septiembre 1986 - p. 48-53.

GUYOT, J.L.; CALLE, H.; QUINTANILLA, J.; CALLICONDE, M., 1987 - Resultados de una campaña de muestreo en período de aguas bajas en la Amazonia boliviana. - Revista Boliviana de Química 7(1) - p. 36-50.

GUYOT, J.L.; BARRAGAN, M.C.; BOURGES, J.; CALLE, H.; CORTES, J.; HOORELBECKE, R.; ROCHE, M.A., - (a salir) - Exportation de matières en suspension des Andes vers l'Amazonie par le Río Beni, Bolivie. - Sediment budgets, Porto Alegre, December 1988 - IAHS Publ.

ROCHE, M.A.; FERNANDEZ, C.; APOTEKER, A.; ABASTO, N.; CALLE, H.; TOLEDE, M.; CORDIER, J.P.; POINTILLARD, C., 1986 - Reconnaissance hydrochimique et première évaluation des exportations hydriques et salines des fleuves de l'Amazonie bolivienne. - Publ. PHICAB - 256 p.

LA HIDROQUIMICA DEL LAGO TITICACA Y SU RELACION  
CON EL PLANCTON

---

Lic. Jorge QUINTANILLA AGUIRRE <sup>x</sup>

---

El estudio Hidroquímico del Lago Titicaca y su cuenca, se basó en una estrategia que comprendió 3 etapas, a) Global, b) Analítica y c) Estadística ó de Aplicación; las mismas que estudiaron los diversos factores físico-químicos (Temperatura, pH, penetración de la luz, nutrientes, oxígeno disuelto, % de saturación, etc.) y la colonización viviente que está flotante en la región pelágica - (plancton); su interrelación, ya que existe una constante transferencia de materia y energía, producciones y bloqueos de sustancias nutritivas, resultando finalmente un equilibrio que permite caracterizar cierto tipo de lagos.

El conocimiento de estos factores y equilibrios en este importante medio lacustre de Bolivia nos permitirá también utilizarlo como una fuente de recursos animales (ícticos) y vegetales que pueden ser consumidos por el hombre en forma racional.

Finalmente, el conocimiento de los factores ambientales de este medio permitirá correlacionarlo con el Fito y Zoo plancton (siguiendo la cadena trófica), cuya cuantificación nos dará una idea del potencial de este cuerpo de agua para la implementación, introducción ó repoblamiento de especies ícticas.

I.- Régimen Térmico del lago Titicaca

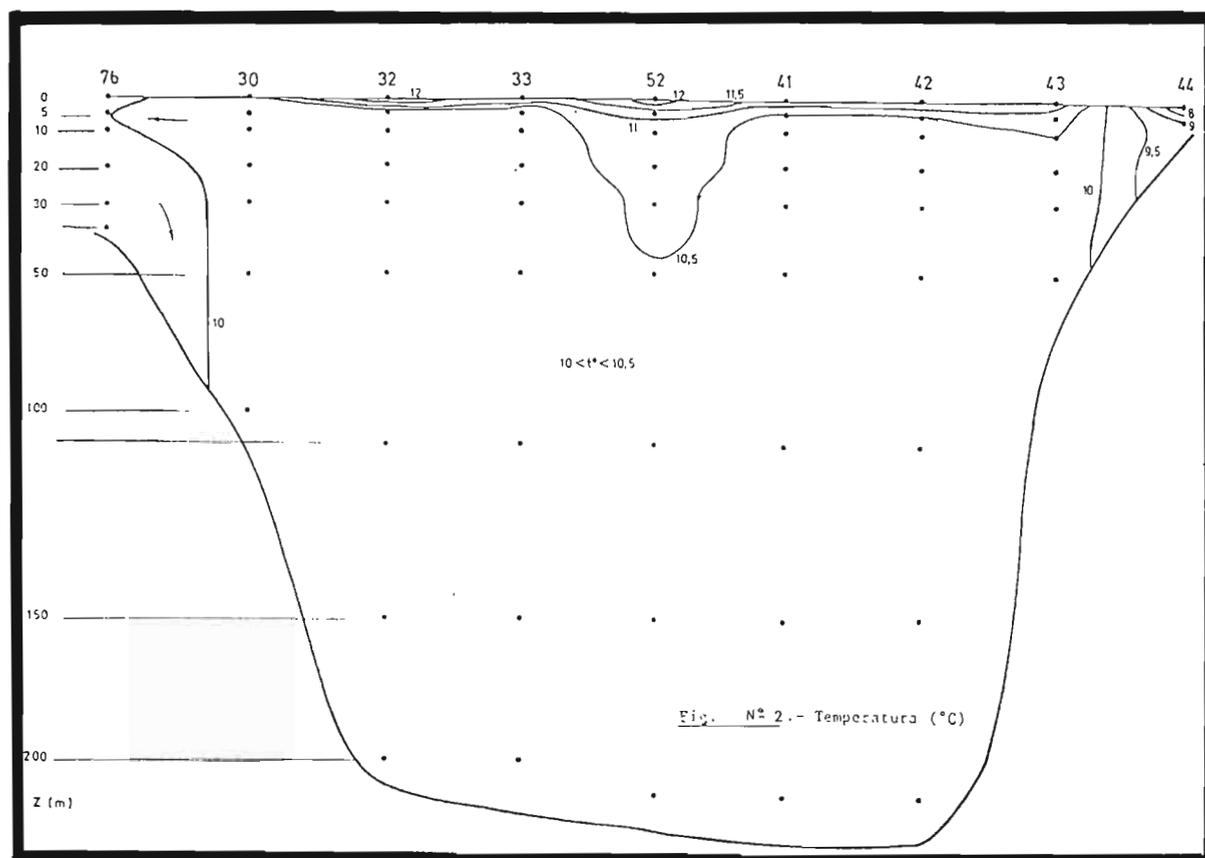
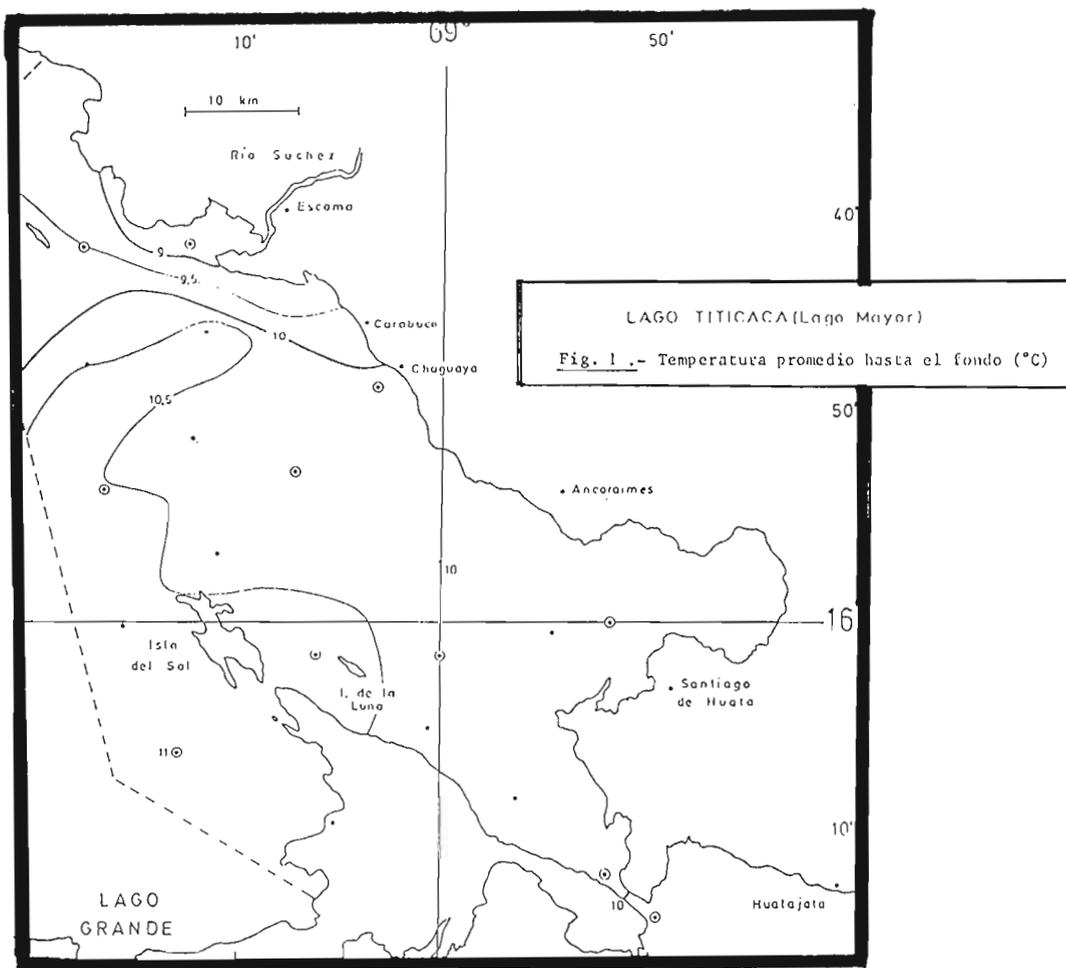
I.1.- Lago Menor ó Huiñaymarca

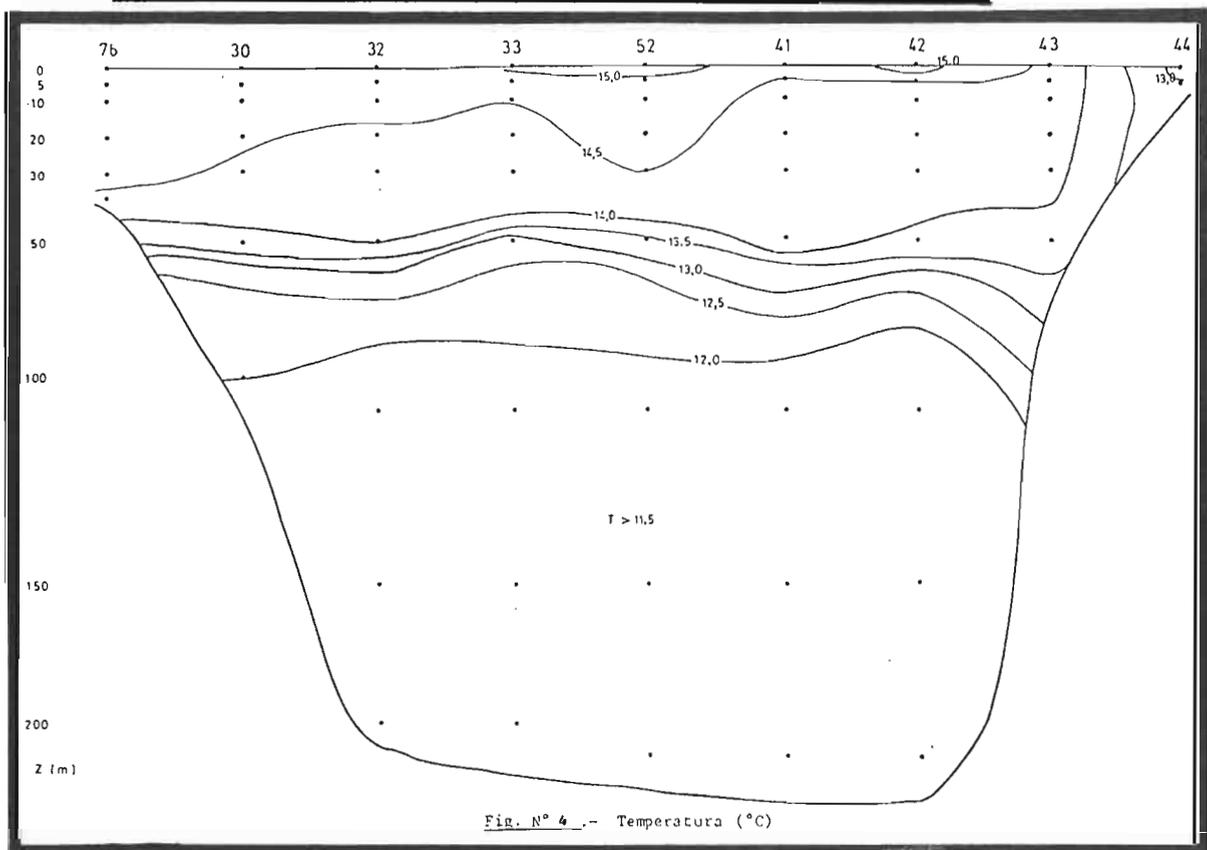
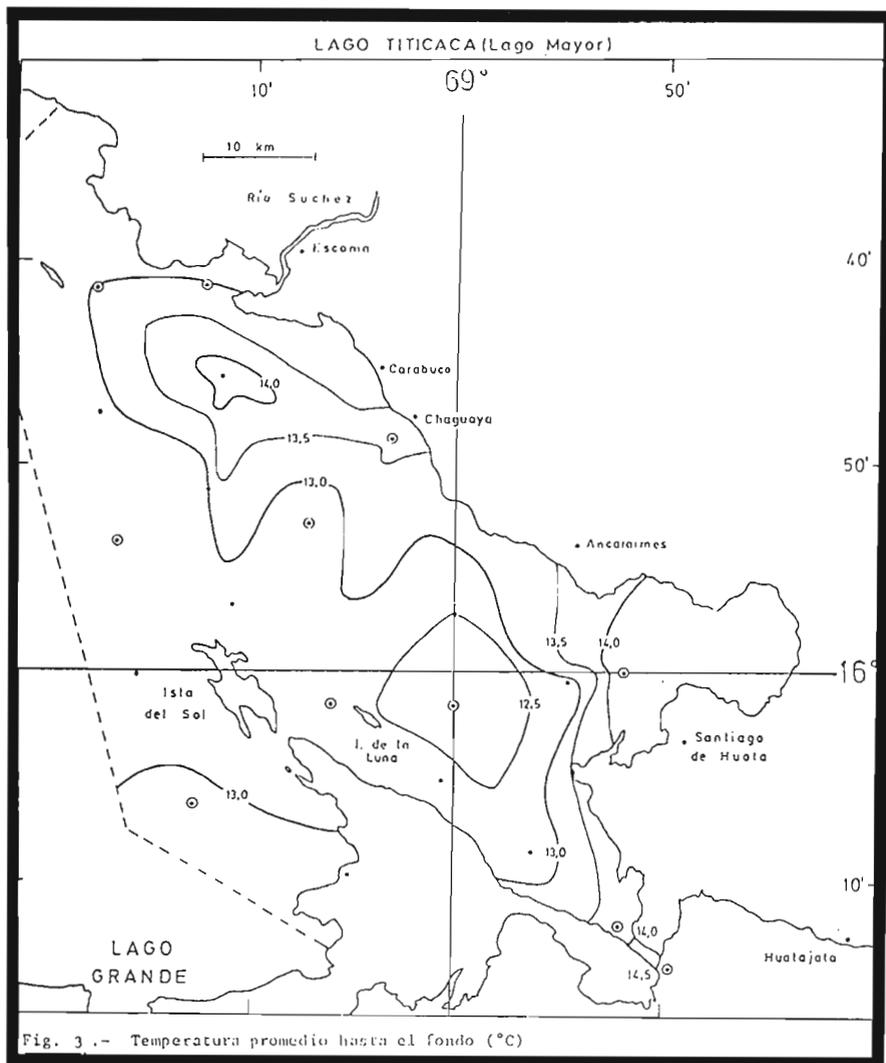
La amplitud térmica de las aguas del Lago Menor es baja: un período frío de Mayo a Octubre (temperaturas inferiores a 8<sup>o</sup> C en Julio) alterna con un período más caliente (temperaturas cercanas a 14<sup>o</sup> C de Diciembre a Febrero). La estabilidad térmica es débil sobre la mayor parte del Lago Menor, sólo la profundidad de la Fosa de Chúa (40 m) permite el desarrollo y mantenimiento de una termoclina.

Esta aparece a aproximadamente 20 metros en Noviembre,

---

<sup>x</sup> Instituto de Investigaciones Químicas  
Universidad Mayor de san Andrés  
Casilla 303, La Paz - Bolivia





alcanzando su máxima amplitud ( $3^{\circ}$  C) en Diciembre, después se sumerge progresivamente, para desaparecer completamente en Abril bajo la acción de la mezcla ocasionada por el enfriamiento. La homotermia se realiza en Mayo durante el incremento del régimen de vientos.

La fosa de Chúa, por su carácter Monomíctico, se distingue del resto del Lago Menor; que es Polimíctico caliente.

El 67% del volumen del Lago Menor corresponde a profundidades inferiores a 10 metros. Así, la mayor parte del Lago Menor está sometida a fluctuaciones de temperatura de la superficie al fondo, de tipo diario.

Sólo la fosa de Chúa presenta una alternancia de una estratificación estival de amplitud débil (inferior a  $2^{\circ}$  C) a profundidades que oscilan entre los 20 a 30 metros y de una homotermia invernal.

## I.2.- Lago Mayor

En Invierno, existe una ausencia de estratificación térmica estable y presencia de homogeneidad total en la columna de agua. Ocasionalmente, existen estratificaciones térmicas superficiales inestables (fig. 1 y 2).

En Verano, se forma una termoclina estable (entre 50 y 70 m) que resulta de una ausencia de vientos fuertes y del calentamiento de las aguas superficiales. Al final de la estación, se observa un ascenso de la termoclina hasta 30 m.

Existen tres capas bien diferenciadas; una superior con aguas superficiales calientes, una intermedia (termoclina) con la mayor variación de temperatura y por consiguiente el mayor gradiente  $0,15^{\circ}$  C/metro - y una inferior, que es la más importante en profundidad con las aguas más frías y con el menor gradiente de Temperatura:  $0,0067^{\circ}$  C/metro; es además la más homogénea (fig. 3 y 4).

En general, a lo largo de todo el año se nota que la zona norte de la región de estudio, es la más fría; por el aporte del río SÚchez, en aguas con temperaturas más bajas que el lago. En el caso del Lago Titicaca, se pueden diferenciar 4 estaciones: a) Invierno Seco (Junio, Julio, Agosto, época de mezcla de aguas) b) Primavera o de Transición (Septiembre, Octubre y Noviembre) c) Verano lluvioso (Diciembre, Enero, Febrero, Marzo) d) Otoño o de transición (Abril y Mayo).

## II.- Oxígeno disuelto y porcentaje de saturación (%)

### II.1.- En el Lago Menor

La concentración mediana en oxígeno disuelto a saturación es de 6,9 mg O<sub>2</sub>/l. Las aguas superficiales tienen concentraciones en oxígeno disuelto cercanas a las correspondientes al equilibrio con la presión atmosférica, a todo lo largo del año ( $\geq$  95% de saturación). Los valores mayores registrados en Invierno son el resultado, por una parte, del aumento de la solubilidad en oxígeno acompañado por la baja temperatura de las aguas. En Chúa, durante la estratificación de Verano, el Hipolimnion privado de intercambio con el Epilimnion oxigenado no contiene más de 1 a 2 mg O<sub>2</sub>/l. De Febrero a Abril, la anoxia se desarrolla a nivel del fondo.

### II.2.- Lago Mayor

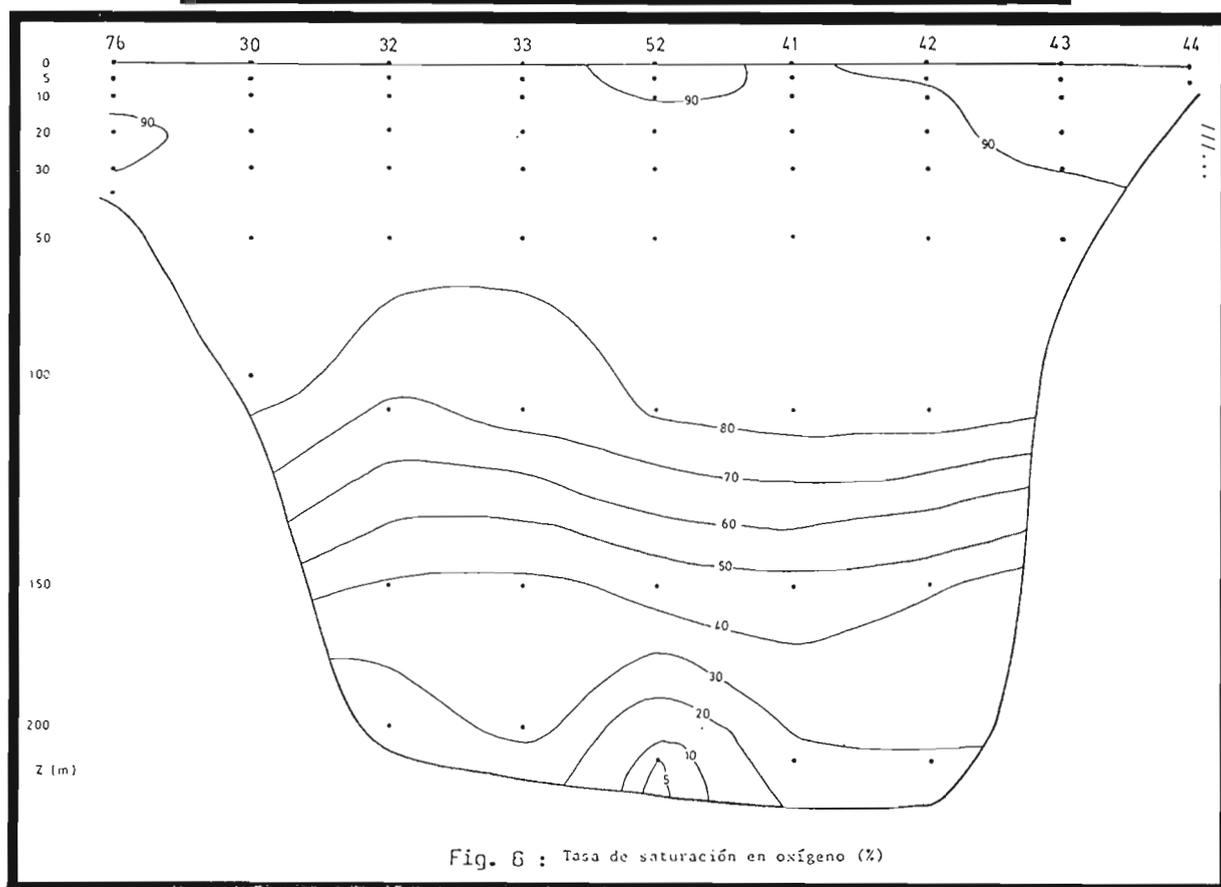
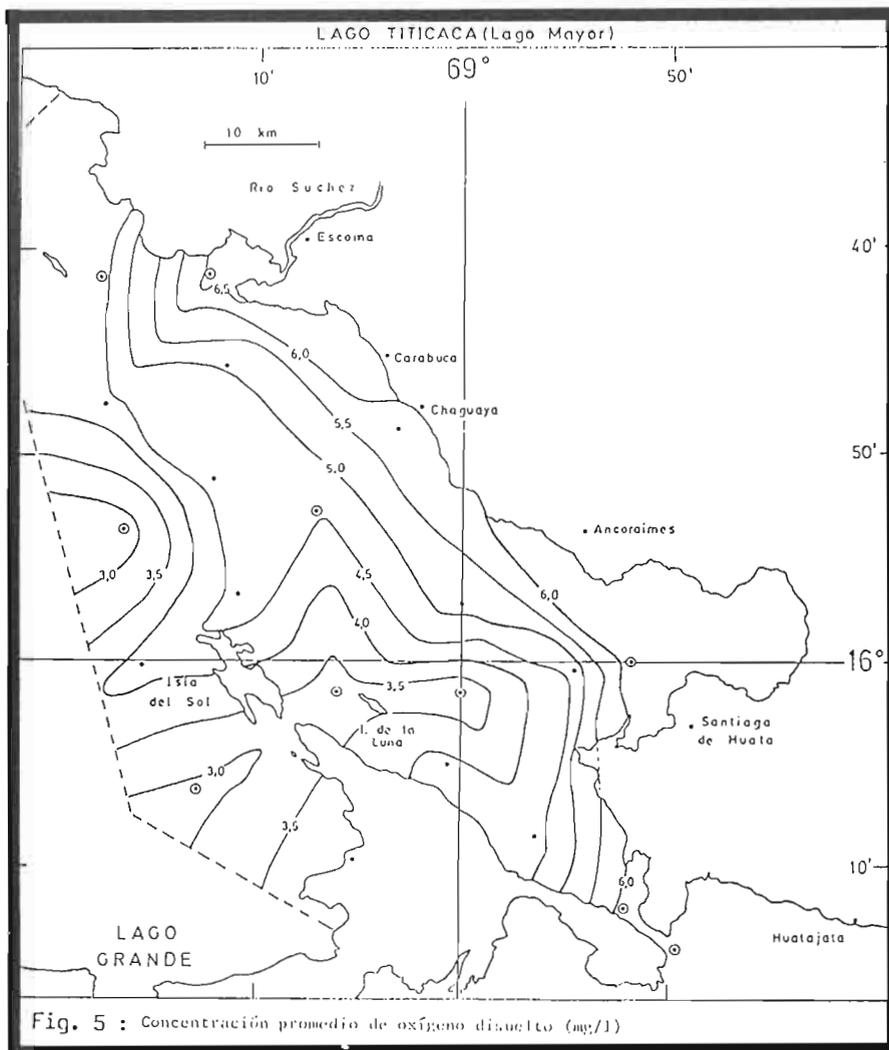
En Invierno se produce una distribución homogénea (disminución de la concentración) general desde la superficie hasta los 100 m., debida a la buena mezcla de las aguas por la acción de vientos y corrientes. Existe una región (al Norte de la zona de estudio) que está próxima a la saturación (90%) situada en la desembocadura del Río SÚchez, y otra zona insaturada (40-60%) ubicada al Oeste del lago, en la que están incluidas las islas del sol y de la luna (figs. 5 y 6). En Verano, la capa homogénea aumenta de espesor respecto a la Primavera (hasta 35 m), es decir que una vez más la estratificación comienza a bajar.

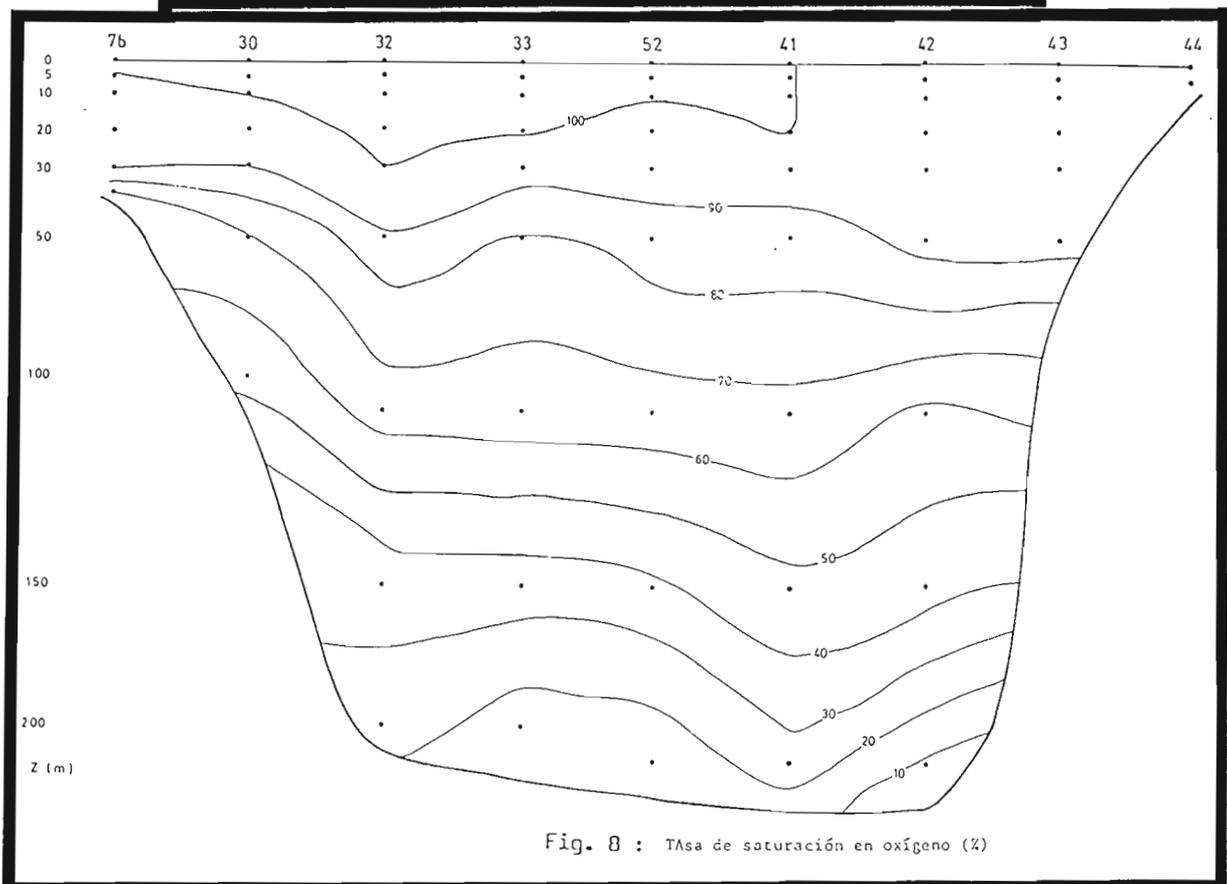
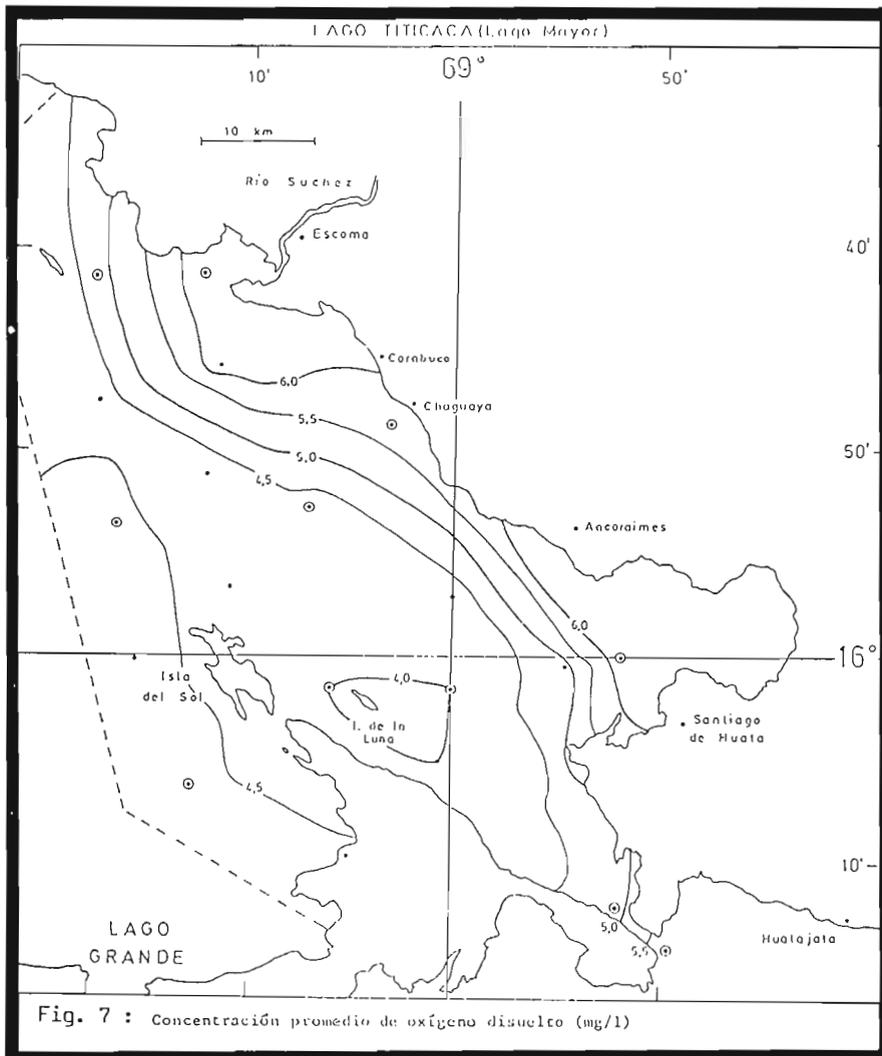
Existe una gran homogeneidad de valores (elevados) en las capas superficiales del lago. La capa superficial hasta los 30 m. de profundidad se halla saturada (100%), existiendo zonas de ligera sobresaturación (106%).

En la zona central y Oeste del lago, sus regiones profundas continúan insaturadas, aunque con valores mayores que los hallados para Invierno y Primavera (60-70 %), (figs. 7 y 8). En general, debido a la disminución en la concentración del oxígeno disuelto durante todo el año, desde la superficie hacia el fondo: el lago Titicaca (lago mayor y fosa de Chúa) tiene una distribución CLINOGRADA.

El máximo de sobresaturación que se tiene es de 106%. En cambio, en las capas profundas la anoxia es casi completa la mayor parte del año con apenas un 5%.

Las variaciones estacionales se producen en la capa de los primeros 100 metros. Por debajo de esta profundidad, las aguas (la tasa de renovación de las aguas del lago Titicaca es baja; 1,8% anual y el tiempo de permanencia de las aguas en el lago es bastante alto: 55,5 años en promedio) en su evolución no se pueden detectar por su lenta transformación.



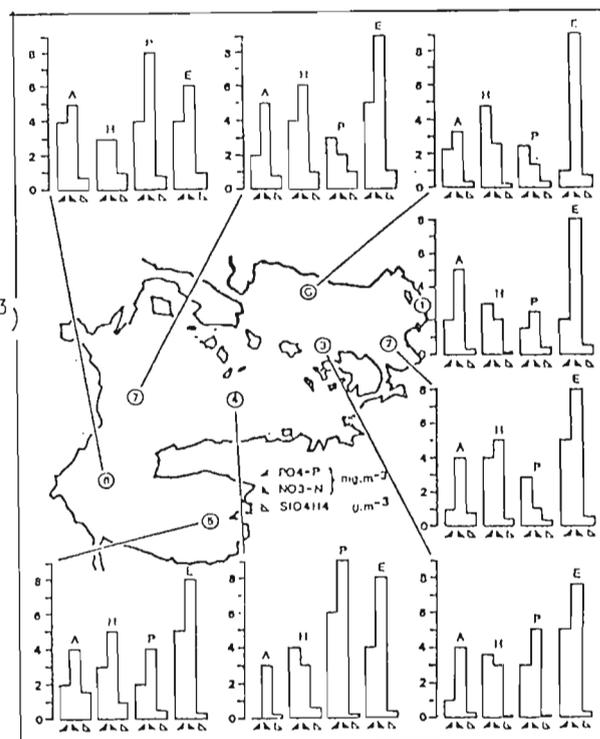


### III.- Relación de los factores físico-químicos con el plancton

#### III.1.- Lago Menor

Según los criterios definidos por LICKENS (1975) el Lago Menor (fosa de húa excluída), con biomazas fitoplanctónicas cercanas de  $100 \text{ mg C/m}^3$ , tenores en fosfatos y nitratos inferiores a  $5 \text{ ug/l}$  y  $250 \text{ ug/l}$  respectivamente, puede ser incluido entre los lagos OLIGOTROFOS (fig. 9).

Fig. 9 : Concentraciones de Fosfatos ( $\text{mg/m}^3$ ), Nitratos ( $\text{mg/m}^3$ ) y Sílice Disuelta ( $\text{g/m}^3$ ) en el lago Menor.

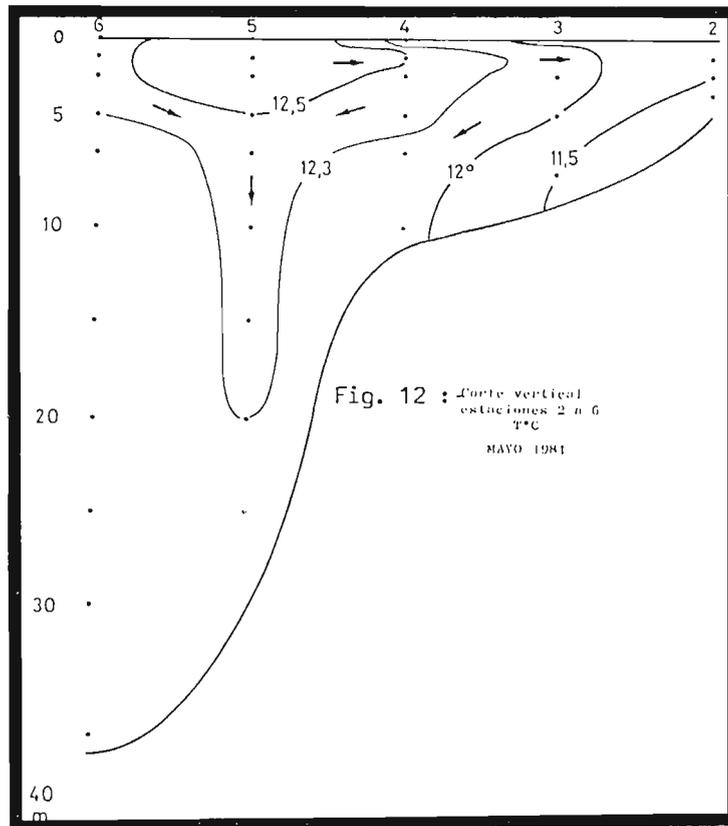


Los perfiles verticales de producción primaria en la Fosa de Chúa, presentan una fuerte inhibición de la actividad fotosintética en el primer metro de profundidad. La zona eufótica,  $Z_{eu}$ , limitada por definición por la profundidad donde llega solamente el 1% de la energía luminosa sub superficial, se extiende en promedio anual a más de 18 metros de profundidad, en Febrero-Marzo 1980,  $Z_{eu}$  varía de 17,5 a 18,5 metros. Durante este período la termoclina está bien desarrollada y la profundidad del máximo de gradiente de temperatura ( $z_{max}$ ) llega a 25 metros. Esa es una característica del lago oligotrofo de gran transparencia.

La profundidad  $Z_{opt}$ , donde la producción primaria es óptima,  $P_{opt}$ , se encuentra entre 5 y 8 metros en la estación de Chúa.

Sin embargo, hay que señalar que la producción del plancton límnic, es solamente una parte, probablemente relativamente débil, de la producción vegetal acuática del Lago Menor. En efecto, el 56% de la superficie de este medio acuoso está ocupado por una vegetación acuática constituida por macrofitas acuáticas (totoras), algas fijadas (herbarios a chara, en particular) y perifiton (no evaluado).

Por ejemplo, entre la Fosa de Chúa y la isla de Paco se nota una disminución de la abundancia del Zooplancton total, sin razón aparente; pero, mediante el perfil vertical de temperatura (fig. 12), se nota una región de convergencia de aguas frías y calientes. Las aguas calientes se sumergen, arrastrando consigo los nutrientes y el fitoplancton, por lo que el zooplancton, al no hallar su alimento, tiene que migrar a otras zonas más propicias.



### III.2.- Lago Mayor

En general, el lecho superficial de 5 a 10 m. presenta poblaciones más importantes de Fitoplancton, lo que indica que es el nivel óptimo para los fenómenos de fotosíntesis.

En profundidad, por debajo de 10 m., la cantidad de Fitoplancton se reduce por la falta de luz y el consumo relativo de sales es menor, por lo que se observan concentraciones superiores de sales a las halladas en la capa superior.

La zona Eufótica alcanza su máxima extensión en Primavera y Verano, con 27 m., para ir disminuyendo en Otoño a 25 m. y finalmente reducirse, en Invierno, a 12 metros.

La proporción de fósforo en el Fitoplancton es muy débil (4,0 ug p/l) respecto a la del fósforo orgánico soluble (24,0 ug p/l); (Salm, H., 1985).

Sólo las caraceas cubren el 32% de la superficie en agua del Lago Menor, a profundidades que se escalonan entre 3,0 y 4,5 metros. Su producción neta alcanza 0,10 a 1,19 cal/cm<sup>2</sup>.h (es decir, más o menos 8,4 a 14,4 g. c/m<sup>2</sup>.d) y representa el 60% de la producción global de las plantas acuáticas del Lago Menor (Collot, 1981).

La Fosa de Chúa, por su profundidad, la ausencia de producción vegetal béntica y su carácter monomíctico - a pesar de estar situada en el lago menor - presenta una producción primaria inferior a 1 gr. c/m<sup>2</sup>.d.

En lo que se refiere al Zooplancton, actualmente se están evaluando (concluyendo) los datos obtenidos, respecto a los perfiles geográficos de concentración (horizontales) y abundancia; a los perfiles verticales y a los gráficos de evolución anual de los parámetros físico-químicos estudiados. Se nota, en primera instancia, una clara correlación directa entre la abundancia del plancton Total y la temperatura (Figs. 10 y 11).

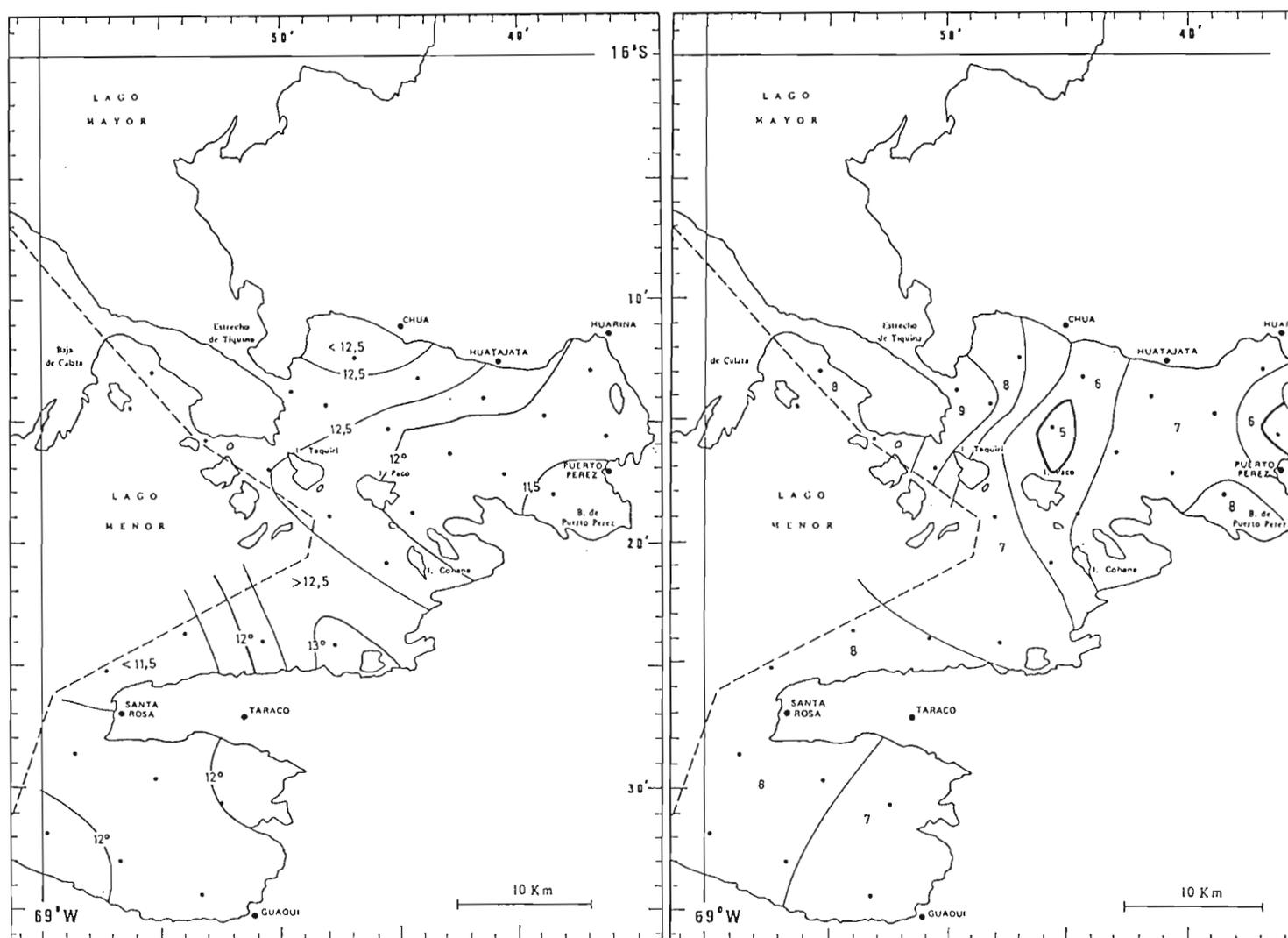


Fig. 10 : Distribución geográfica de Temperatura, en superficie.(°C). Fig. 11 : Distribución en clases de abundancia del Zooplancton Total.

Este fenómeno corrobora y explica en parte la falta de una correlación clara entre las distribuciones de abundancia del Fitoplacton y la distribución del Fósforo, ocurriendo algo similar con el Nitrógeno y la Sílice disuelta. Finalmente, por los contenidos relativamente bajos en biomasa fitoplanctónica, concentraciones mayores a 5 ug/l en fosfatos; concentraciones menores a 250 ug/l en nitratos y por su delicado equilibrio en aportes y pérdidas (hídricas e hidroquímicas) del Lago Titicaca, lago Mayor, éste se puede clasificar entre los lagos oligotróficos o ligeramente mesotróficos.

#### IV.- Conclusiones y/o recomendaciones

La estrategia utilizada para el estudio (limnológico) del sistema fluvio-lacustre del Altiplano se divide en 3 fases con objetivos a desarrollar en forma dinámica que se cumplieron en su mayoría con sus respectivas conclusiones y/o recomendaciones.

Durante el desarrollo de cada fase aparecieron factores o aspectos de investigación que deberán ser cuantificados en etapas futuras. Algunos de estos aspectos, son aquellos que conforman la segunda etapa del proyecto "Programa de Investigación y Desarrollo Pesquero del Lago Titicaca"; que complementarán aquellos aspectos del conocimiento que aún no fueron suficientemente definidos, como ser :

- Determinación de la biomasa de los recursos pesqueros del lago Titicaca en períodos de contraste (Verano lluvioso e Invierno seco).

- Determinar los parámetros poblacionales que rigen la dinámica poblacional de los recursos pesqueros del lago y su relación con las condiciones del ambiente.

- Establecer un sistema de monitoreo que permita un requerimiento oportuno de los recursos pesqueros para plantear las pautas de manejo que conlleven a una adecuada administración de los recursos.

- Determinar sistemas óptimos de extracción, procesamiento y comercialización de los recursos pesqueros, considerando las condiciones ambientales, económicas y socio-culturales de la región.

- Establecer un sistema de administración binacional versátil que permita una extracción sostenida de los recursos pesqueros.

- Efectuar un estudio limnológico exhaustivo de las cuencas de los ríos SÚchez (Bolivia) y Ramis (Perú), como modelos para determinar la incidencia de los ríos en la reproducción y reclutamiento de las especies que sustentan las principales pesquerías del lago.

- Ampliar los conocimientos sobre las relaciones recurso-ambiente y sus variaciones espacio-temporales, debido a causas naturales o a la influencia de la actividad humana (pesquerías y contaminación).

- Estudio de la pesquería como actividad socio-económica de las comunidades ribereñas y su relación con otras actividades productivas.

#### BIBLIOGRAFIA

-----

COLLOT D., 1981 - Les macrophytes de quelques lacs (lac Titicaca, lac Poopó, lacs des vallées d'Hichu-Khota et d'Ovejhujo).  
Convenio UMSA-ORSTOM. 115 p.

LICKENS, 1975 - Primary production in england aquatic ecosystems.  
Ecological studies, 14 : 185-202.

SALM H., 1985. Distribución de fósforo y nitrógeno en la materia orgánica del lago Titicaca y su cuenca. Part. I. Doc. de pesca 005.OLDE Pesca Convenio CAS/UMSA/IMARPE Lima Perú : 155-168.

-----



PRIMEROS DATOS PARA UNA TIPOLOGIA ECOLOGICA DE LOS RIOS DE ALTURA  
EN LA REGION DE LA PAZ

---

J.G. WASSON <sup>x</sup> R. MARIN <sup>xx</sup>

---

1. INTRODUCCION

La administración racional de los recursos hídricos requiere un buen conocimiento de las características y potencialidades de los medios acuáticos. Pero, para caracterizar los ríos y evaluar sus potencialidades, es necesario entender el funcionamiento del ecosistema. Sin embargo, muy pocos estudios han sido realizados en cursos de agua de montañas intertropicales, y no existe ningún sistema de referencias para las regiones andinas y subandinas. Por lo tanto, el objetivo final de las investigaciones iniciadas en junio de 1987 es sentar las bases de una tipología ecológica de los ríos en la región de La Paz, que presenta tipos de recursos muy contrastados.

Muchos trabajos se han centrado en la clasificación de aguas corrientes, más que todo en regiones templadas. Los principales sistemas han sido revisados por WASSON (1988). De este análisis sobresale que en las zonas intermedias (3 - 50 m de ancho), las condiciones regionales y locales son más importantes para explicar la naturaleza de las poblaciones y el funcionamiento ecológico de un tramo que la ubicación de este tramo en la red hidrográfica. En consecuencia, se deben buscar los elementos básicos de una tipología de los ríos dentro de las características de los valles (cf. HYNES, 1975), y dentro de una clasificación de las cuencas bajo criterios geológicos, geomorfológicos y climáticos (cf. LOTSPEICH, 1980) que condicionan los caracteres del régimen hidrológico y de la físico-química del agua.

Entre las regiones ecológicas definidas bajo esos criterios, los ríos pueden ser divididos en tramos homogéneos según sus bases morfológicas y dinámicas. Luego, estaciones representativas de los tramos más importantes son estudiadas de manera profunda durante un ciclo anual. Una aproximación por compartimientos (fig.1) permite obtener datos cuantitativos sobre las poblaciones

---

<sup>x</sup> ORSTOM, CP 8714, La Paz-Bolivia

<sup>xx</sup> Universidad Mayor de San Andrés, La Paz-Bolivia



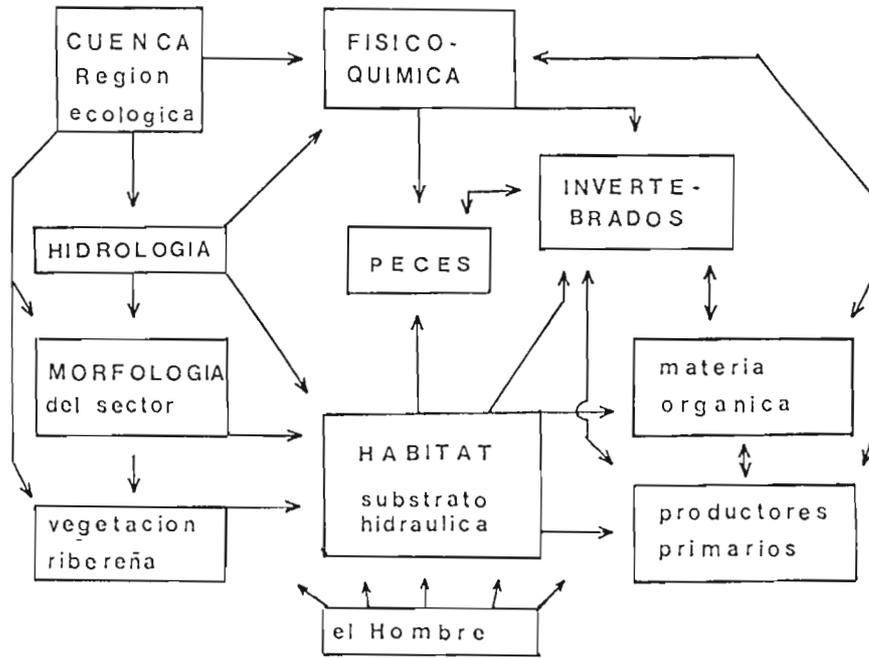


Figura 1

Los compartimientos del ecosistema aguas corrientes.

y los parámetros abióticos que pueden intervenir como "factor-clave" del funcionamiento ecológico. Dentro de una región ecológica, los resultados podrían ser ampliados a los tramos que presentan una morfología similar a aquella de la estación estudiada. La finalidad de esta tipología sería de servir como material de consulta para la administración de los recursos.

## 2. MATERIAL Y METODOS

La clasificación inicial de las cuencas ha sido realizada con mapas temáticos y prospección de campo. Los datos hidrológicos provienen de trabajos del PHICAB, con medidas complementarias; los análisis químicos son realizados también bajo la responsabilidad de este proyecto.

El hábitat acuático, o sea la combinación del substrato y de las condiciones hidráulicas, es descrito sobre las estaciones representativas usando los métodos desarrollados en el CEMAGREF (Francia). La descripción del substrato (según MALAVOI, 1986) incluye medidas de la granulometría superficial, y observaciones sobre la estructura. El protocolo para las medidas hidráulicas es una derivación de aquel de BOVEE (1982), adaptado por TROCHERIE *et al* (1987). Cada estación es descrita por un cierto número de transectos (8 a 15) sobre los cuales son observados la velocidad de la corriente, la altura del agua, el substrato, y otros parámetros de interés biológico. Estos datos, complementados por un levantamiento topográfico, son computarizados para describir (y cartografiar) la situación observada, y modelizar las condiciones hidráulicas para varios caudales; lo cual sirve para calcular el valor de hábitat para algunas especies de Salmónidos.

El muestreo de los invertebrados bénticos está diseñado para obtener una imagen cuantitativa de la población global de una estación. (cf. WASSON et al., 1981). Seis muestras son tomadas con una red SURBER (Área: 0,1 m<sup>2</sup>, malla : 0,250 mm) en los habitats más representados. El material es fijado en formol a 5%. Los invertebrados son separados usando tamices de 5 mm, 2,5 mm y 0,630 mm. Para cada tamis, los individuos son determinados, contados y agrupados por taxa, secados durante 4 horas a 95°C y pesados después de 24 hrs. en el desecador. Los datos de biomasa son corregidos en función a las variaciones de peso ocasionadas por la fijación en formol.

La materia orgánica béntica y la vegetación macroscópica recolectadas con las muestras de invertebrados son lavadas y recuperadas con tamices de 5 mm, 1 mm y 0,250 mm. Cada fracción es secada durante 4 horas a 55°C, pesada después de 24 horas en el desecador y carbonizada a 550°C para lograr un peso seco sin cenizas.

La clorofila béntica es muestreada únicamente en substratos favorables al desarrollo de micrófitos, o sea de tamaño superior a la grava fina. La dosificación de la Clorofila es efectuada por el Instituto de Química de la U.M.S.A., por espectrofometría a 663 micrometros, usando la fórmula de TALLING-DRIVER .

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Clasificación de las cuencas

En los alrededores de la ciudad de La Paz, se distinguen dos grandes conjuntos de rocas : la Cordillera Real y la depresión del Altiplano rellena de sedimentos . Los caracteres geomorfológicos y climáticos permiten subdividir estas zonas geológicas. (cf. fig.2).

Al Oeste de la Cordillera Real, el nivel de base de los ríos está constituido por el lago Titicaca a 3810 m.s.n.m. Los 11 valles glaciares que se suceden entre La Paz y el Illampu, presentan todos una misma secuencia de zonas, ilustrada por el ejemplo del valle de Hichu Khota (fig.3). Río arriba, barreras glaciares determinan un perfil en gradas; los fondos de valles están ocupados por lagos, inundaciones o zonas de pendiente muy débil donde los ríos desarrollan lechos muy sinuosos y anastomosados. Luego, los ríos atraviezan colinas morenicas, con lechos de pendiente promedio y poco sinuosos. Al nivel del Altiplano, las pendientes disminuyen y los lechos asumen una morfología sinuosa o trenzada en aluviones gruesos.

Al Este, los niveles de base se sitúan en las barreras subandinas, entre 1000 y 400 m.s.n.m. Los ríos de esta vertiente caen cerca de 4000 m en menos de 40 km. Los valles son profundamente disectados y los lechos poco sinuosos. A veces, se produce la formación de zonas trenzadas con sedimentos muy gruesos.

La Cordillera constituye también una barrera climática muy marcada, determinando volúmenes de precipitaciones mucho menores al Oeste que al Este. La parte superior de la cuenca Amazónica

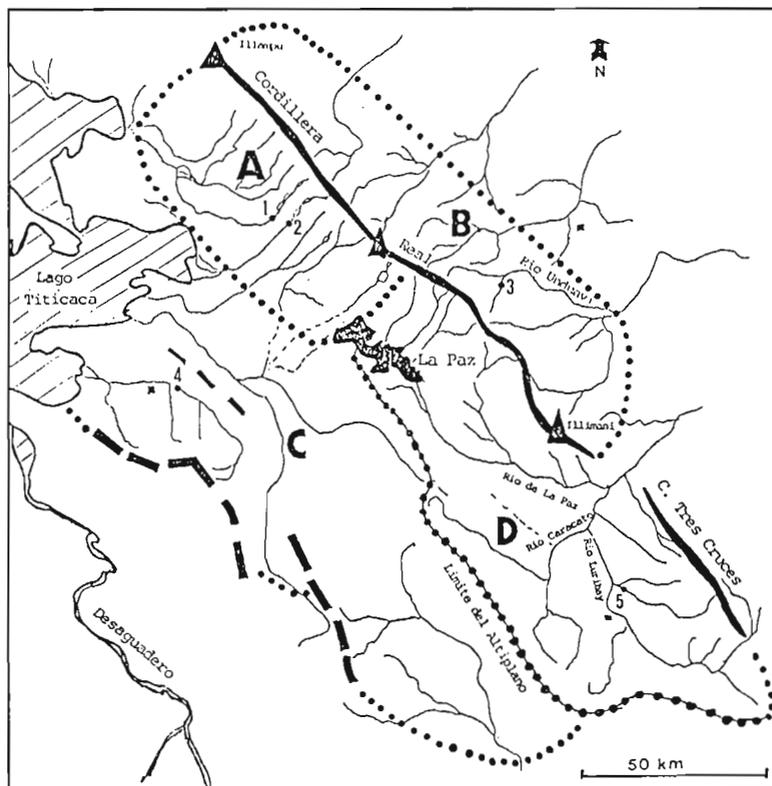


Figura 2

Mapa de la zona estudiada

recibe 4000 mm anuales, el Altiplano Norte 500 a 800 mm y los valles de La Paz y Luribay, 300 a 500 mm (ROCHE & ROCHA, 1985; ROCHE et al., 1986).

Entre el Illimani y la Cordillera Tres Cruces existe una brecha, con un paso cerca a 1700 m.s.n.m., por la cual desaguan hacia la Amazonía los ríos de la cuenca del río de La Paz. Estos ríos arrastran enormes cantidades de sedimentos. Los fondos de los valles están ocupados por lechos trenzados, extremadamente anchos (200 a más de 600 m), en los cuales corren cursos de pocos metros de ancho al estiaje.

En el Altiplano Norte, al Este del Desaguadero, los ríos se originan en serranías de alrededor de 4500-4700 m.s.n.m, y llegan rápidamente a la planicie con una pendiente muy débil. (cf. fig.3). Los lechos son sinuosos, pero relativamente estables, dentro de aluviones que contienen altas proporciones de arena y arcilla.

Finalmente se logra la distinción, en los alrededores de La Paz, de cuatro regiones ecológicas (cf. fig.2).

Región A: Cordillera Oeste .-

Región B: Cordillera Este .-

Región C: Altiplano Norte .-

Región D: Cuenca del río de La Paz .-

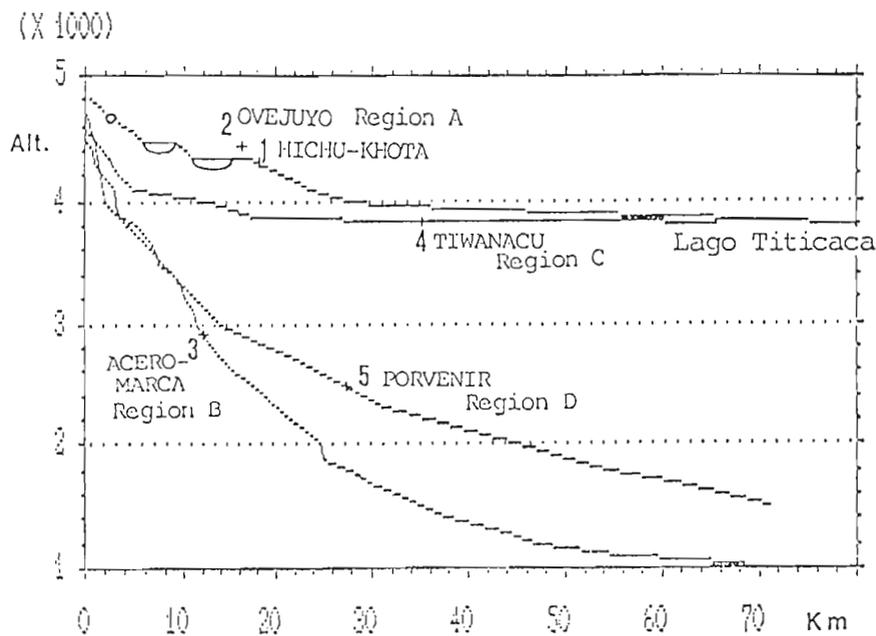


Figura 3

Perfiles de ríos representativos de las regiones ecológicas

### 3.2. Datos generales

#### 3.2.1. Hidrología

Un ejemplo de régimen hidrológico válido para toda la región B es proporcionado por la estación de Puente Villa, río abajo de Unduavi. El hidrograma diario revela un régimen torrencial característico, con crecidas sumamente rápidas. El reporte de los caudales entre aguas altas (Enero - Marzo) y bajas (Julio - Septiembre) es de alrededor de 10, y el caudal específico medido es de  $58 \text{ l/s/km}^2$  (GUYOT *et al.*, 1988). Para las otras regiones, aún cuando se observa la misma repartición anual entre las épocas húmedas y secas, los caudales no son conocidos. Los caudales específicos estimados son aproximadamente de 5 a  $10 \text{ l/s/km}^2$  para la región A,  $5 \text{ l/s/km}^2$  para la región C (LOZADA, 1985), y cerca de  $11 \text{ l/s/km}^2$  para la región D (ESPINOZA, 1985).

#### 3.2.2. Físico-química del agua

Los primeros datos, aún cuando muy parciales, revelan una distinción neta en la composición química de las aguas según la naturaleza geológica de los terrenos (cuadro N<sup>o</sup>1).

Las aguas de la Cordillera tienen una conductividad baja, un pH neutro o ligeramente ácido, con muy pocos bicarbonatos. Opuestamente, las aguas del Altiplano y de los valles son muy conductivas, ricas en carbonatos, bicarbonatos y sulfatos, con un pH básico (cf. ROCHE *et al.*, 1986).

Sin embargo, desde un punto de vista biológico, el parámetro de más importancia parece ser la tasa de M.E.S. durante la época de lluvia. Esas tasas se mantienen bastante bajas en las altas cuencas de la cordillera, se elevan en el Altiplano, y se hacen enormes en los valles: más de  $130 \text{ g/l}$  en inicio de crecida, después de una época seca en el río Sapahaqui (cuenca del río

Cuadro 1

Parámetros Físico-químicos  
Primeros Intervalos de las Tasas observadas (mg/l).

Región	A y B Cordillera	C y D Altiplano Valles
Conduct.( $\mu$ S)	20 - 53	373 - 4760
pH	5,5, - 7,8	7,1 - 8,6
HCO <sub>3</sub> -	11 - 35	99 - 432
CO <sub>3</sub> -	0	1,8 - 11,4
SO <sub>4</sub> --	2,1 - 5,2	110 - 276
Cl -	0,9 - 1,7	2,8 - 9,3
Ca ++	1,5 - 11	29 - 41,7
Mg ++	0,3 - 2	13,8 - 160
Na +	1,4 - 2,8	17 - 65,5
K +	0,3 - 2,7	3,5 - 13,5
M.E.S.	Maxi. 482	Maxi. 136 700

Cuadro 2

Características de las estaciones

Número Nombre y Código	Río Localización Altitud	Tipo morfológico Pendiente del sector Ancho del lecho promedio	Observaciones Perturbaciones	
A	est.1 Hichu-Khota HKH	Río Jacha Jahuira, río abajo Hichu Khota 4320 m.	Poco sinuoso 3,5% - 12 m.	Caudales influenciados por presas por uso agrícola. Crianza, pesca.
	est.2 Ovejuyo OVJ	Río Linco, río abajo Taypi Chaca 4260 m.	Muy sinuoso, anastomosado 0,5% - 20 m.	id.
B	est.3 Acero Marca ACM	Río Acero-Marca (afluente Unduavi) 3000 m.	Poco sinuoso 10% - 10 m.	Mina abandonada Población muy débil
C	est.4 Tiwanacu TWA	Río Tiwanacu 5 Km. antes de Tiwanacu.3838 m.	Sinuoso 0,8% - 35 m.	Zona rural bastante poblada. Cultivos, crianzas, pesca.
D	est.5 Porvenir PRV	Río Porvenir (Confluencia del río Chíncha) 2.500 m.	Fuertemente trenzado 4,5% - 250 m.	Ensanchamiento del lecho desde hace 30 años. Erosión enorme. Productos fitosanitarios. Riego.

### 3.3. Estudios sobre estaciones representativas

5 estaciones han sido escogidas para el estudio detallado de las condiciones de habitat y de las poblaciones. (cf. fig. 2, 3 y cuadro II). En la región A, las estaciones 1 y 2 representan respectivamente los sectores de colinas morenicas y los sectores de fondo de valle (cf. 3.1).

#### 3.3.1. Habitat acuático

El sustrato y la distribución de las velocidades son los factores más importantes para la repartición de los invertebrados. Para los peces, además de éstos, la altura del agua puede ser un factor crítico.

##### 3.3.1.1. Substratos (fig. 4)

-Estación 1 .- Cinco sustratos han sido identificados; los bloques constituyen generalmente los elementos más gruesos, las rocas estando más esparcidas; los más finos son grava fina. El sustrato N<sup>o</sup>5 tiene una granulometría apta para el desove de la trucha, pero se encuentra fuera del agua al estiaje. El conjunto del sustrato presenta una estructura de armadura, estable, con elementos lisos pero angulosos. La sub-capa está constituida por los mismos elementos, incluidos en una matriz de arena gruesa, relativamente permeable.

-Estación 2.- Los elementos más gruesos son los cascajos. El sustrato 1, depositado a granel en zonas con corriente, podría ser usado como un medio de fresa. El sustrato 2 está constituido por bancos más estables, con armadura. Un tercer sustrato está formado por una capa espesa de limo cuyo depósito es inducido por los macrófitos enraizados, muy desarrollados en esta zona. La sub-capa de arena y limo es compacta.

-Estación 3 .- El río Acero Marca ha sufrido en Noviembre de 1987 una crecida muy violenta que ha modificado profundamente el lecho de la estación, el cual parecía sin embargo muy estable. Los cinco sustratos identificados al inicio del trabajo no han podido ser muestraados, pero se puede presentar una imagen global de la granulometría del lecho anterior. Casi la mitad de los elementos tienen un diámetro superior a 25 cm y la grava gruesa es el elemento más fino. El conjunto del sustrato es de armadura, estable, con elementos rugosos y angulosos. La subcapa constituida de grava, cascajos y arena gruesa, tiene una porosidad elevada, aproximadamente del 20%. Un sustrato de cascajos depositado a granel detrás de algunas rocas podría constituir un lugar de desove.

-Estación 4.- Los cascajos son los elementos más gruesos. El sustrato 1 está localizado por encima de bancos estables e

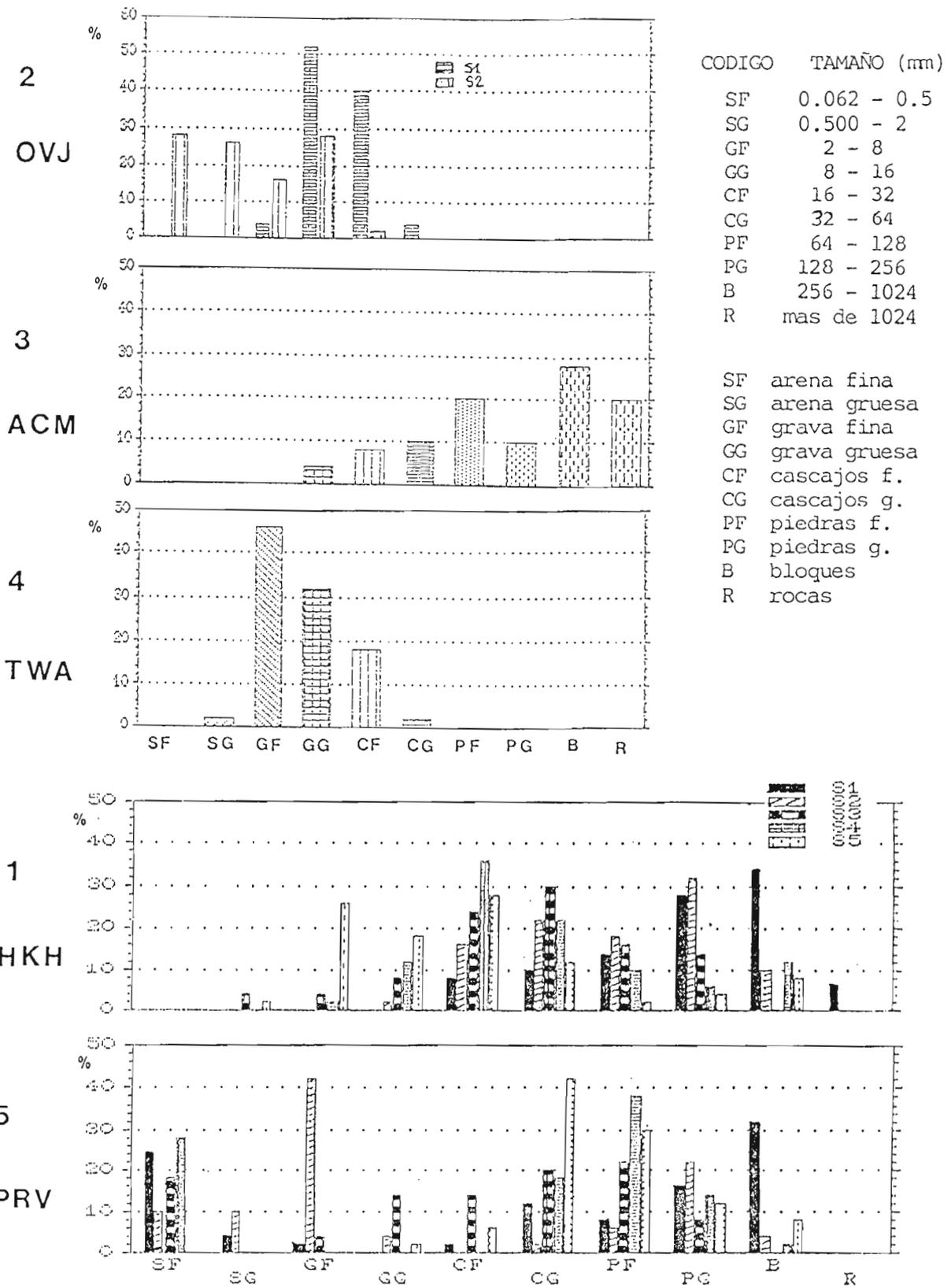


Figura 4

Granulometria superficial de los substratos.

inmersos sólo en aguas altas. El sustrato 2, con armadura y bastante estable, se encuentra en zonas con corriente y permite la fijación de algas. La arena fina, depositada en capas a veces espesas en las zonas calmas, constituye un tercer sustrato, muy extendido al estiaje. Esta arena, muy suelta, es arrastrada y transportada durante cada crecida. La subcapa de arena fina es muy poco porosa.

-Estación 5.- Los cuatro primeros sustratos ocupan el lecho promedio, repartidos en manchas depositadas al azar en los desplazamientos de los canales activos. Están constituidos por una mezcla heterogénea de piedras y cascajos, y tienen una proporción constantemente alta de arena fina. La subcapa tiene casi la misma composición, mas limo. El sustrato 5 fue descrito en el agua. Se distingue de los demás por su distribución unimodal, los elementos finos habiendo sido eliminados por la corriente. Este sustrato tiene una estructura de armadura bastante estable sobre una subcapa idéntica a las demás. Pero, en el momento que la corriente alcanza una fuerza suficiente para arrastrar los cascajos gruesos que forman el elemento dominante de la armadura, todo el sustrato se desestructura y se pone en movimiento. Este fenómeno ocurre a partir de las primeras crecidas, y probablemente a menudo durante la época de lluvias.

#### 3.3.1.2. Descripción y modelización de las condiciones morfodinámicas

Hasta la fecha, solamente se han procesado los datos de la estación de Hichu-Khota. Las medidas han sido realizadas en aguas bajas.

- Sustratos : Las asociaciones con predominancia de piedras son las más extendidas, pero una proporción importante del sustrato está cubierto con una fina capa de limo, cuyo efecto biológico es negativo.

- Velocidades : La gama de velocidades es bastante diversa, pues cada segmento presenta un canal de escurrimiento rápido ( $> 50$  cm/s) y zonas lentas ( $< 10$  cm/s); estas ocupan una fracción notable de la estación.

- Altura de agua : Las alturas son inferiores a 30 cm en casi toda la estación, con una neta predominancia de las zonas con menos de 15 cm.

Los valores del habitat para diferentes estadios de la trucha marron (Salmo trutta fario L.) han sido calculados. El habitat se presenta muy desfavorable para los adultos, (inferior a 4% para toda la estación), siendo la altura del agua un limitante para este estadio. Por el contrario, el valor es bastante alto para los alevinos y juveniles (cerca de 40%). Una primera

modelización para un caudal de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , revela que los valores globales de habitat para los adultos y juveniles casi no cambian.

Teniendo en cuenta en régimen hidrológico y el período de reproducción de la Trucha arcoiris en esta región (desove máximo en Junio), llegamos a la conclusión que la estación de Hichu-Khota representa una zona interesante para el desarrollo de los alevinos y juveniles de Trucha, que luego podrán migrar hacia las lagunas cercanas.

En lo que concierne al manejo de la represa de Hichu-Khota, parece que un incremento del caudal de estiaje hasta  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  no debería afectar negativamente el habitat de los salmónidos.

### 3.3.2. Datos biológicos

#### 3.3.2.1 Invertebrados

Los resultados que siguen deben ser reubicados en el contexto de una fauna acuática globalmente poco diversificada. (ROBACK et al., 1980; DEJOUX, 1988). 45 taxa, representando especies, géneros ó grupos más grandes, han sido encontrados durante las dos primeras campañas de muestreo correspondientes a la época seca (Agosto-Septiembre) y al inicio de las lluvias (Noviembre-Diciembre). Algunos grupos han sido determinados usando los primeros datos del catálogo de la fauna acuática del Altiplano. (DEJOUX, en prep.).

#### - Repartición faunística .- (cuadro N°3)

Algunos taxa ubicuos se encuentran en las cinco estaciones (Hydroptilidae TB21 o Elmidae CB1); Baetis? peruvianus es también muy común, salvo en el Porvenir. El Plecóptero PB2 y los Tricladida, son limitados en la Cordillera (Regiones A y B). Los Anfipodos AB3, Moluscos MB2 (Gasterópodo) y MB1 (Ancyliidae), y los Erpobdellidae paracen limitados en la zona A. Los Dípteros reofílicos, Blephariceridae y Simuliidae, y los Efemerópteros Baetodes sp., se encuentran únicamente en el Acero Marca y el Porvenir que tienen corrientes más rápidas. Además algunos Taxa se restringen a una sola estación en la cual son abundantes y parecen ser característicos, como los Tricópteros TB2 (?Goeridae), TB11 (Psychomiidae), junto a los Leptophlebiidae EB2 y EB12 en Hichu-Khota; Se encuentran igualmente característicos los Sphaeridae MB3 en Ovejuyo, el Hydroptilidae TB16 en el Acero Marca y los Dytiscidae en Tiwanacu. Otros Taxa propios de una sola estación, pero raros, son los Tricópteros TB15 (Glossomatidae) TB18 y TB19 (Rhyacophilidae) en Hichu-Khota, y en el Acero Marca los Tricópteros TB4 (Helicopsychidae) y TB5 (Psychomiidae), Heterelmis sp. y un Psychodidae reofílico muy similar al género Maruina.

Estacion	H K H		O V J		A C M		T W A		P R V	
	I	II								
Taxa										
Rhyacophilidae TB 18	2				1					
Rhyacophilidae TB 19 19	1									
? Psychomyidae TB 11	9	9								
Glossosomatidae TB 15	3									
Hydroptilidae TB 21	4	6	2	6	6	1		5	5	
? Goeridae TB 2	6	7								
Rhyacophilidae TB 12		3			2	1				
Hydroptilidae TB 22			3				7			
? Psychomyidae TB 5					2					
Hydroptilidae TB 16					8					
Helicopsychidae TB 4					2					
Baetis ? peruvianus EB 4	10	9	5	3	8	4	9	2		
Leptophlebiidae EB 1	6	8			7	4				
Leptophlebiidae EB 2	5									
Leptophlebiidae EB 12	5									
Baetodes sp.						4			11	5
Plecoptera PB 2	7	6	2	2	7	2				
Plecoptera PB 3					4					
Elmidae CB1	9	11	8	8	5	1	13	8	1	1
Elmidae CB 2	10	11	8	7			9	2	3	
Elmidae CB 9	8		6				7			
Heterelmis sp. CB 3					1					
Dytiscidae							6			
Notonecta sp.		1								
Corixidae HB 1	1	2					6	3		
Tanypodinae	7	6	7		3	3	9		5	1
Orthoclaudiinae	7	7	11	8	10	9	3		7	3
Chironomi	6		1				12			
Forcypomyinae					2					
Limoniidae	7									
Tabanidae	1		1							
Empididae	3		1		7	1				
Anthonyinae	2	3			2	1	5			
Tipulidae ? Limonia		7			1			1	4	2
Blephariceridae					9	1			1	
Psychodidae ? Maruina sp.					2					
Simuliidae					7	5			6	
Amphipoda AB 3	4	1	9	8						
Hydracarina	5								2	
Gastropoda MB 2	3	1	6	8						
Ancylidae MB 1	6		10	8						
Sphaeridae MB 3			6	8						
Oligocheta	10	9	11	8	6	3	9	9		
Erpobdellidae	8	7	7	8						
Tricladida	9	7	6		4					

Cuadro 3

Lista faunística por clases de abundancia por m<sup>2</sup>.

Intervalos de clases :

1: 0-4 ; 2: 4-8 ; 3: 8-16 ; 4: 16-32 ; 5: 32-64 ; 6: 64-128 ;  
 7: 128-256 ; 8: 256-512 ; 9: 512-1024 ; 10: 1024-2048 ; etc...

- Poblaciones por estación .-

Consideramos Taxa dominantes en abundancia y biomasa (fig.5) y los parámetros globales de las poblaciones de cada estación para ambas campañas (cuadro N°4).

Estación Campaña	H K H		O V J		A C M		T W A		P R V	
	I	II								
Numero de taxa	28	19	18	12	23	14	14	8	10	7
Indice de Shannon	3.5	3	2.8	3.2	3	1	2	1.4	0.7	-
Abundancia total por m2 (x 1000)	9.6	8.1	9.5	3.35	4.2	1.1	18.6	1.3	3.4	0.08
Biomasa total g/m2	4.4	3.6	2.6	2.4	1.2	0.3	3.7	0.17	0.21	0.01
% de biomasa tamis 0.63 mm	42.3	77.6	62.7	45.8	43.9	65.3	72.6	100	100	100
tamis 2.5 mm	33	21.7	29.4	53.6	24.7	33	15.2	-	-	-
tamis 5 mm	24.7	0.7	7.9	0.6	31.5	1.7	12.2	-	-	-

Cuadro 4  
Parametros globales de las poblaciones de Invertebrados.

- Estación 1 : El fenómeno más sobresaliente en Hichu-Khota es la predominancia en abundancia y biomasa para ambas campañas de los insectos Coleopteros (Elmidae), Tricópteros (Psychomiidae, (?Goeridae), Ephemerópteros (Baetidae) y Oligochetos. Los Irudineos y Tricladida son también dominantes en la primera campaña. Todos los parámetros biológicos revelan una población bastante rica y equilibrada.

Entre las dos campañas la abundancia y la biomasa total bajan ligeramente así como la diversidad, debido a una predominancia más marcada de los Elmidae y la desaparición de algunos taxa. Un cambio sobresaliente es la reducción de los invertebrados de talla grande (de 25% a 1% de tamaño > a 5 mm).

- Estación 2 : Los dominantes característicos de Ovejuyo son los Moluscos (Ancylidae y Sphaeridae) y los Anfípodos, acompañados por los Oligochetos, Orthocladinae y Elmidae. La diversidad y el número de taxa son más bajos que en Hichu-Khota, debido a un habitat menos diversificado. La biomasa es también más baja ( se requiere hacer un restado del 50% de la biomasa de los moluscos por el peso de las conchas).

En la segunda campaña, la disminución importante de la abundancia de los Oligochetos y Orthocladinae afecta poco a la biomasa. Aquí también se nota la desaparición de algunos grupos y la reducción del tamaño promedio de los individuos. La población

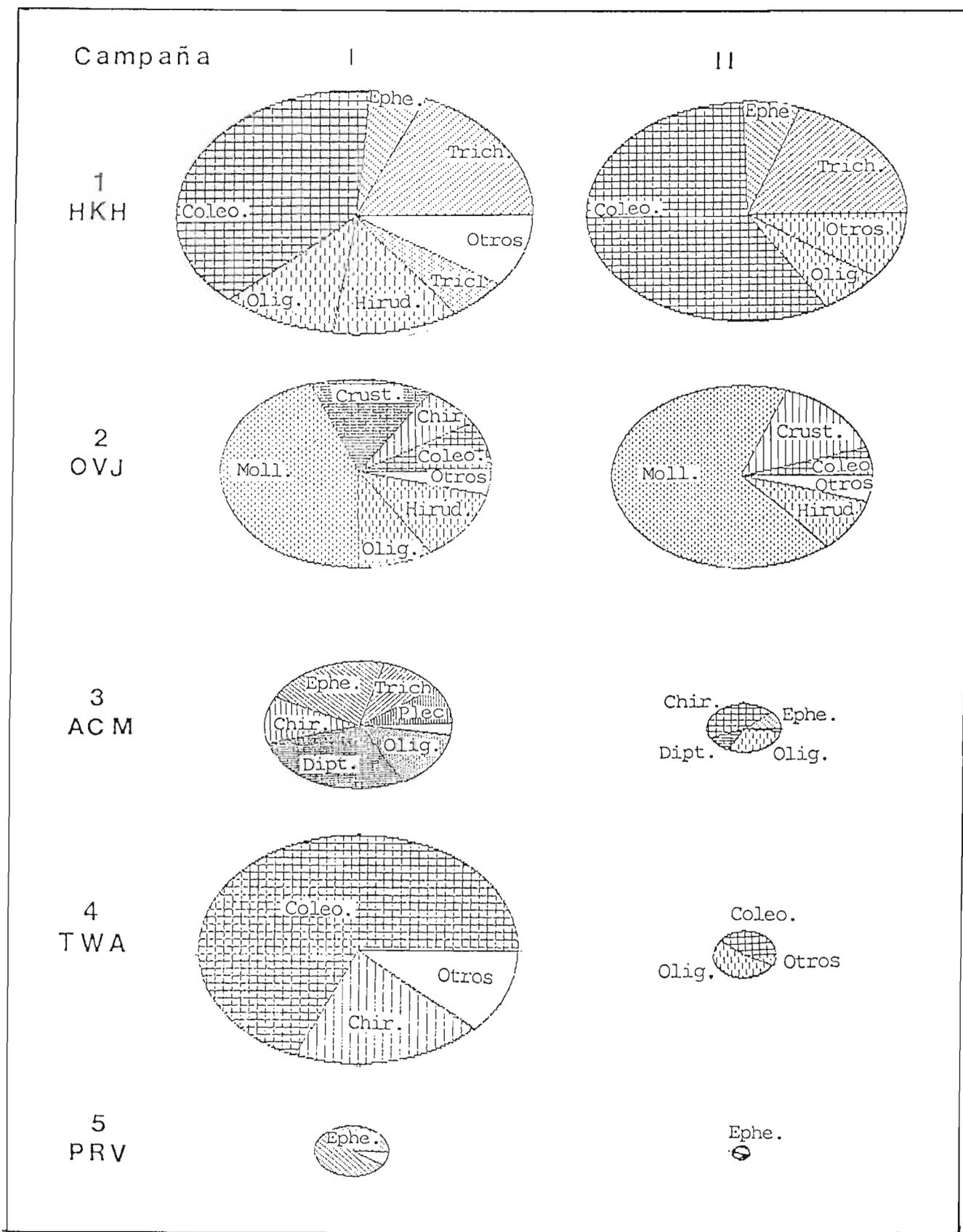


Figura 5

Invertebrados benticos - Repartición de la biomasa por grupos.

- Estación 3 : En la primera campaña, los dominantes son los insectos reofílicos (excepto Elmidae) y los Oligochetos, con una proporción importante de la biomasa, de tamaño superior a 2.5 mm; la fauna parece diversa y equilibrada.

En la segunda campaña, realizada cuatro semanas después de la crecida excepcional (cf. 3.3.2.1.), la población es muy reducida en abundancia, biomasa y densidad; la predominancia de los Orthocladinae es característica de una recolonización. Este fenómeno es actualmente observado y sólo se podrá lograr una evaluación definitiva del valor trófico de este río con los datos completos.

- Estación 4 : Los Elmidae y Chironomini dominan completamente la población al estiaje, logrando una biomasa bastante elevada pero con un 72,5% de talla inferior a 2,5 mm; la densidad y el número de taxa son relativamente bajos. Después de las primeras lluvias, la fauna se reduce a los Oligochetos, Elmidae, más 6 taxa poco abundantes, con una biomasa muy baja.

- Estación 5 : La fauna del río Porvenir es muy reducida, con sólo 10 taxa en la primera campaña; el género Baetodes sp. constituye el 91% de los 0,21 g/m<sup>2</sup> de biomasa. Desde el inicio de la época húmeda la población es casi nula.

Finalmente llegamos a constatar que cada estación tiene una fauna característica, con especies particulares, pero también a nivel taxonómico de las familias (excepto para el género Baetodes) con grupos dominantes diferentes. Los ríos de la región A parecen tener una población estable; las regiones C y D presentan, por el contrario, una fuerte reducción de su fauna al inicio de la época de lluvias. El caso es dudoso para la región B. La diferencia faunística debida únicamente a la morfología del sector es muy evidente en la comparación de las estaciones 1 y 2.

### 3.3.3.2 Parámetros tróficos (Cuadro 5).

Estación	H K H		O V J		A C M		T W A		P R V	
Campaña	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
0,25 mm	3.4	3.7	26.0	23.0	5.5	1.5	5.2	0.6	0.9	0.6
M.O.B.										
1 mm	2.6	3.0	9.2	8.5	4.6	1.8	1.5	1.0	0.4	2.7
5 mm	3.8	4.5	4.5	3.5	7.2	2.0	2.0	0.2	0.1	0.2
Clorofila	18.3	28.4	12.3	7.4	37.9	77.1	14.4	10.7	0.5	0.7
Feofitina	0.7	0.0	21.8	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.6	0.0

Cuadro 5

Materia Organica Bentica y Clorofila (g/m<sup>2</sup>).

### Materia Orgánica Béntica (M.O.B.) y macrófitos :

La estación de Ovejuyo está caracterizada por su abundancia de macrófitos, produciendo una cantidad importante de M.O.B finas pero que no parece ser bien utilizada por los invertebrados. En las estaciones 1 y 2 las cantidades de M.O.B. son constantes en en las dos campañas. La disminución de la M.O.B. en el Acero Marca es la consecuencia de la crecida señalada. En Tiwanacu, las algas como la M.O.B. desaparecen en la época de lluvias, y en el Porvenir las cantidades permanecen siempre muy bajas.

### Clorofila :

Las variaciones en los ríos de la Cordillera parecen estar ligadas a las condiciones morfodinámicas (Substratos y Velocidades). Las tasas altas en la segunda campaña del Acero Marca parecen indicar una recolonización muy activa del medio. El Porvenir se distingue, una vez más, por una capa biológica nula.

## 4. DISCUSION

Con esos primeros datos, aparecen los elementos sobresalientes de la Tipología de los ríos en la región de La Paz, y de sus potencialidades.

Las 4 regiones ecológicas definidas bajo los criterios geológicos, geomorfológicos y climáticos presentan ríos con diferentes tipos de funcionamiento ecológico. En la región A, ningún factor abiótico o trófico aparece como verdadero limitante; los lechos y substratos son estables aún en aguas altas, y la fauna béntica es bastante abundante y parece constante. La composición faunística y las potencialidades piscícolas son determinadas por la morfología de los tramos. El sector de Hichu-Khota simula ser bastante favorable para los juveniles de trucha.

En la región B, los factores tróficos parecen suficientes, pero las condiciones hidráulicas, muy drásticas, parecen limitar la biomasa; los datos son todavía insuficientes para definir las potencialidades.

En la región C, el medio parece bastante productivo al estiaje, pero la turbidez y el flujo de arena por encima de los substratos son factores muy limitantes para la fauna en aguas altas.

En la región D, las enormes tasas de M.E.S. durante las crecidas y la inestabilidad del substrato, son factores destructores que explican la casi ausencia de fauna. Las potencialidades piscícolas son, aparentemente en esos tramos, casi nulas.

### Agradecimientos

Agradecemos a todas las personas que nos ayudaron en este trabajo, y especialmente, en La Paz, a C. DEJOUX por su colaboración en la identificación de los invertebrados, a J.L. GUYOT por los análisis químicos y a J. QUINTANILLA por la dosificación de clorofila; en Lyon agradecemos particularmente a F. TROCHERIE, J.R. MALAVOI y L. FRAISSE por el procesamiento de datos.

## Bibliografia

BOVEE (K.D.), 1982. - A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. Instream Flow Information pap. 12, U.S.D.I. Fish & Wildlife Serv., Off. Biological Services, 248 p.

DEJOUX (C.), 1988. - Panorama de la fauna bentica de las aguas del Altiplano Boliviano. Actas del symposio Ibero-Americano y del Caribe sobre la Pesca y la Acuicultura, Isla de Margarita, Venezuela, 8-15 de Mayo 1988.

DEJOUX (C.) - Catalogo iconografico de los invertebrados benticos del Altiplano Boliviano. en preparacion.

ESPINOZA (O.F.), 1985. - Balance hidrico superficial de la cuenca del Rio Beni. PHICAB: SENHAMI-ORSTOM-IHH. Tesis Univ. Mayor San Andres, La Paz, Bolivia. 181 p.

GUYOT (J.L.), BOURGES (J.), HOORELBECKE (R.), CALLE (H.), CORTES (J.) & BARRAGAN (M.C.), 1988. - Exportation de matieres en suspension des Andes vers l'Amazonie par le Rio Beni, Bolivie. I.A.H.S. Symposium on Sediment Budget, Porto Alegre, Brazil. (Dec. 1988).

HYNES (H.B.N.), 1975. - The stream and its valley. Verh. Internat. Verein. Limnol., 19 : 1-15.

LOTSPEICH (F.B.), 1980. - Watersheds as the basic ecosystem : this conceptual framework provides a basis for a natural classification system. Water Resources Bull., 16(4) : 581-586.

LOZADA (G.A.), 1985. - Balance hidrico superficial de la cuenca del lago Titicaca. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM-IHH. Tesis, Univ. Mayor San Andres, La Paz, Bolivia, 158 p.

MALAVOI (J.R.), 1986. - Le substrat des rivières à fond graveleux : Approche descriptive. D.E.A., Univ. Lyon III. 50 p. + annexes.

ROBACK (S.S.), BERNER (L.), FLINT (O.S.Jr), NIESER (N.), SPANGLER (P.J.), 1980. - Results of the Catherwood Bolivian-Peruvian Altiplano expedition. Part I. Aquatic insects except Diptera. Proc. Acad. Nat. Sc. Philadelphia, 132 : 176-217.

ROCHE (M.A.) & ROCHA (N.), 1985. - Mapa pluviometrico de Bolivia y regiones vecinas. 1/4 000 000. PHICAB: SENHAMI-ORSTOM, 1 hoja offset.

ROCHE (M.A.), FERNANDEZ (C.), APOTEKER (A.), ABASTO (N.), CALLE (H.), TOLEDE (M.), CORDIER (J.P.) & POINTILLART (C.), 1986. - Reconnaissance hydrochimique et première évaluation des exportations hydriques et salines des fleuves de l'Amazonie Bolivienne. PHICAB: SENHAMI-ORSTOM-IHH-LHM. 257 p.

TROCHERIE (F.), SOUCHON (Y.) & WASSON (J.G.), 1987. - Eléments d'une démarche de détermination des débits réservés. CEMAGREF, Div. Qual. Eaux, Pêche et Piscicult., conv. DPN 85-15, rapport final, 30 p.

WASSON (J.G.), 1988. - Eléments pour une approche fonctionnelle de la typologie des Eaux courantes. 1 - Revue critique de quelques approches existantes. A paraître in : Bulletin d'Ecologie.

WASSON (J.G.), DUMONT (B.), TROCHERIE & coll., 1981. - Protocole de description des habitats aquatiques et de prélèvement des invertébrés benthiques dans les cours d'eau. CEMAGREF, Div. Qualité des Eaux, Pêche et Piscicult., étude No 1, 32 p.

LA RADIACION NETA Y LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (ETP)  
EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO

J. VACHER <sup>x</sup> O. ATTEIA <sup>x</sup> E. IMAÑA <sup>xx</sup>

con la colaboración técnica de

J. CHOQUEVILLCA <sup>xx</sup> R. MALDONADO <sup>xx</sup> A. MENDEZ <sup>xx</sup>

INTRODUCCION

Una de las características más importantes del clima del Altiplano es el riesgo de sequía durante la temporada agrícola. El estudio de este factor muy limitativo de la producción agrícola no sólo puede circunscribirse al análisis de las precipitaciones, sino también a un conocimiento preciso de las necesidades en agua para los cultivos. Estas necesidades de agua se determinan generalmente a partir de los datos de evapotranspiración potencial (ETP). La falta de mediciones directas de la ETP (por evapotranspirómetros de balanza, lisímetros de drenaje, aparatos tipo BEARN o SAMER) en el Altiplano Boliviano, conduce a una estimación indirecta a través de fórmulas empíricas haciendo uso de la información climática disponible. A pesar de haber utilizado numerosas fórmulas de estimación de la ETP para el Altiplano Boliviano, la precisión y la validez de las mismas casi nunca fueron verificadas. Esta ausencia de referencia precisa nos ha conducido a estimar la ETP para el Altiplano utilizando una fórmula con bases teóricas muy fuertes y presentando el mínimo de ajustes empíricos. La fórmula escogida es de tipo PENMAN, (1948). La validez y la precisión de esta fórmula fue recomendada y verificada por varios autores (PERRIER, 1975; SEGUIN, 1982). Ha sido demostrado teóricamente y experimentalmente (PERRIER, 1977; MONTHENY y al., 1981, 1986) que la evapotranspiración era, ante todo, un fenómeno energético en el cual la fuente era la radiación neta (Rn). Este factor principal de la ETP no fue nunca medido en el Altiplano pero, fue siempre estimado según fórmulas empíricas no verificadas. Por otra parte, en el estudio agroclimatológico de la zona andina, FRERE y al (1975) han señalado la influencia de la altura sobre las características del balance radiativo, teniendo como objetivo un conocimiento preciso de la ETP pues era necesario realizar un análisis del balance radiativo. Los resultados obtenidos permiten

<sup>x</sup> ORSTOM, CP 8714, La Paz-Bolivia

<sup>xx</sup> SENAMHI, CP 20996, La Paz-Bolivia



determinar una fórmula de estimación de la  $R_n$  y ajustar, para el Altiplano Boliviano, una fórmula precisa de la EIP que permita estudiar sus variaciones espacio temporales.

## I. ANÁLISIS DEL BALANCE RADIATIVO EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO

Para el estudio del balance radiativo se instalaron en abril 1987 dos estaciones meteorológicas automáticas con mediciones de radiación solar global ( $R_g$ ), radiación neta ( $R_n$ ) y de temperatura de la superficie del suelo para una estimación de la radiación terrestre ( $R_t$ ) según la fórmula de Stefan Boltzman. Las mediciones se registran en forma diaria y trihorarias. Estas estaciones se instalaron en dos zonas del Altiplano muy contrastadas, en base a sus condiciones climáticas. La primera, Viacha, corresponde al Altiplano lluvioso (promedio anual de precipitaciones  $P=630$  mm. con un riesgo de déficit hídrico marcado de los cultivos del orden del 30% (ATTEIA y al, 1988). La segunda, Patacamaya, representa el Altiplano seco ( $P=406$  mm. y riesgos de déficit hídrico del orden del 70%).

El balance radiativo se expresa mediante la relación  $R_n = (1-a) R_g - R_t + R_a$  (1) con  $R_a$  = radiación atmosférica;  $a$  : albedo. De acuerdo a la cobertura vegetal de cada lugar donde se instalaron las estaciones se eligió un albedo igual a 0.2.

### 1) Radiación solar global ( $R_g$ )

La radiación solar global en el Altiplano Boliviano es elevada; los promedios anuales son superiores a  $500 \text{ cal/cm}^2$  día (Cuadro 1, fig. 1 y 2). Los cocientes entre la  $R_g$  y la  $R_{go}$  (radiación solar global al tope de la atmósfera) están en el orden del 70%, traduciendo así, el menor espesor y la mayor transparencia de la atmósfera en el Altiplano a 4000 m. Una variación estacional es observada. Su amplitud, sin embargo, es reducida (30 a 40 %); el aumento de la  $R_{go}$  coincide con la época de lluvia donde existe mayor nebulosidad. Las diferencias de ocurrencia de las máximas y mínimas entre Viacha (septiembre, marzo) y Patacamaya (diciembre, junio) son debidas a sus diferentes regímenes de precipitaciones.

La radiación solar en el Altiplano es elevada, en particular, durante la temporada agrícola, lo que da lugar - sin otros factores limitantes - a una actividad fotosintética intensa y una importante producción vegetal.

### 2) Radiación neta ( $R_n$ )

Al contrario de la  $R_g$ , los valores de la  $R_n$  son particularmente bajos (cuadro 1), los promedios anuales son del orden del

CUADRO 1  
EVOLUCION DE RG Y RN (Cal.  $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ )

	VIACHA			PATACAMAYA		
	RG	RN	RN/RG	RG	RN	RN/RG
A	504	121	0,25	485	82	0,17
M	486	107	0,22	437	76	0,17
J	432	82	0,19	435	65	0,15
J	509	85	0,17	444	81	0,19
A	502	96	0,19	532	85	0,16
S	573	128	0,23	569	108	0,19
O	554	134	0,25	592	131	0,23
N	533	139	0,26	565	148	0,26
D	564	147	0,26	639	154	0,24
E	468	137	0,29	531	169	0,32
F	543	152	0,28	585	178	0,31
M	384	121	0,32	460	136	0,29
PA	504	121	0,24	525	111	0,21
PA : promedio anual				523	118	0,22

110 a 120 cal/cm<sup>2</sup> día. La RN en el Altiplano representa solamente 22% de la RG para Patacamaya y 24% de la RN para Viacha. En los países tropicales, al nivel del mar, estos valores son del orden del 40% a 60% (RIOU, 1974). Esta disminución de la Rn con la altura, señalada ya por FRERE (1974), indicaba, no obstante, una extrapolación de los datos de RN medidos según un gradiente de 0 a 3000 m., un cociente de 0,34 - 0,35, bastante superior a lo encontrado. Las variaciones de la RN son muy marcadas; las diferencias de RN son de 200% para Viacha y 300% para Patacamaya, con un mínimo en junio y un máximo en diciembre siguiendo a la evolución del RGo.

Estos primeros resultados sobre la RG y la RN en el Altiplano ponen en evidencia condiciones radiativas muy favorables para la agricultura. En efecto, a un RG elevado, factor de una fotosíntesis intensa corresponde una Rn baja, factor de una ETP reducida.

### 3) Balance radiativo de onda larga

La RN es el resultado del balance radiativo, sus valores bajos con una RG alta, deben corresponder entonces a un balance radiativo de onda larga (Rt-Ra) elevado, lo que se confirma de acuerdo a los valores encontrados (cuadro 2). Los promedios anuales son 137 W/m<sup>2</sup> para Viacha y 145 W/m<sup>2</sup> para Patacamaya. Las variaciones intraanuales siguen de una manera general, al nivel mensual, las variaciones de RG (fig. 1 y 2). Esta evolución sincrónica induce a una reducción de los valores y de la amplitud de las variaciones de Rn.

Las mediciones de la temperatura media de la superficie del suelo nos permiten hacer una estimación de la radiación terrestre según la fórmula de Stefan Boltzman siguiente:  $R_T = \epsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4$  (2)  $\epsilon$  = emisividad,  $\sigma$  = constante,  $T_s$  = temperatura del suelo en Kelvin. La radiación atmosférica es deducida de la relación del balance radiativo. Los valores obtenidos (cuadro 2) ponen en evidencia, en el Altiplano, una radiación atmosférica muy reducida y una radiación terrestre relativamente elevada; los promedios anuales de la Ra son de 263 W/m<sup>2</sup> para Viacha y 259 W/m<sup>2</sup> para Patacamaya. Esta característica de la Ra, se explica por el menor espesor de la atmósfera y su mayor transparencia debido principalmente a una presión de vapor de agua muy baja. Esta última, medida a 1,50 m. tiene un promedio de 6,5 mb para Viacha y 5,4 mb para Patacamaya, y sobre todo en base a los datos obtenidos por globos onda se observa una reducción de 40% de la presión de vapor de agua entre 4000 y 5000 m. y 60% entre 4000 y 6000 m.

La superficie terrestre al recibir una RG intensa ve su temperatura elevarse netamente y emite entonces una radiación de onda larga elevada, los valores de Rt son, en su mayoría, superiores a 400 W/m<sup>2</sup>.

FIG 1. EVOLUCION DE LAS RADIACIONES PARA VIACHA

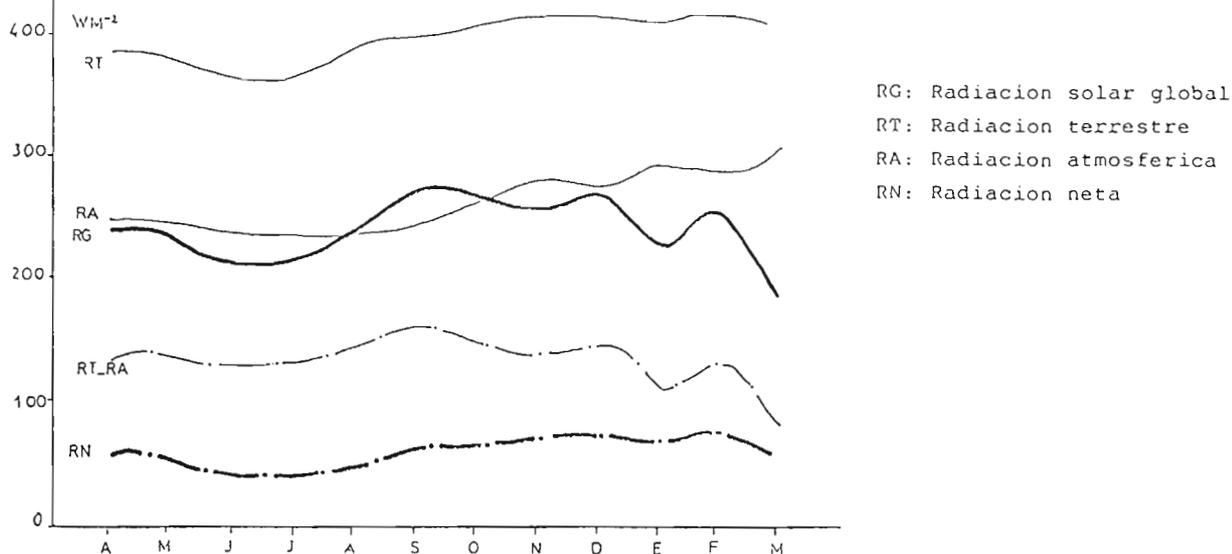


FIG 2. EVOLUCION DE LAS RADIACIONES PARA PATACAMAYA

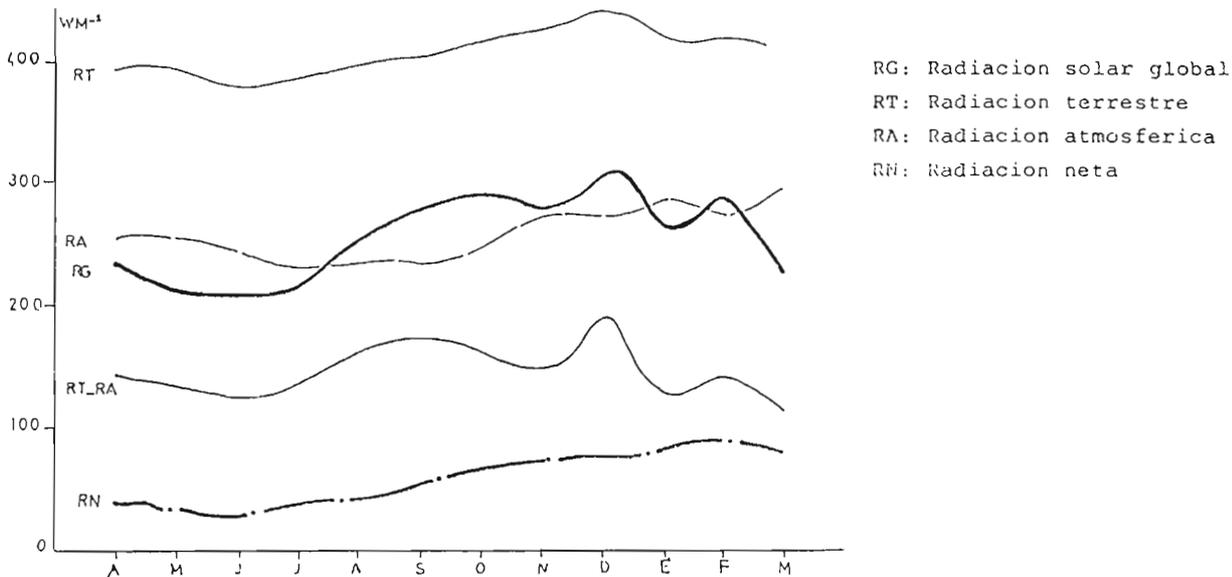
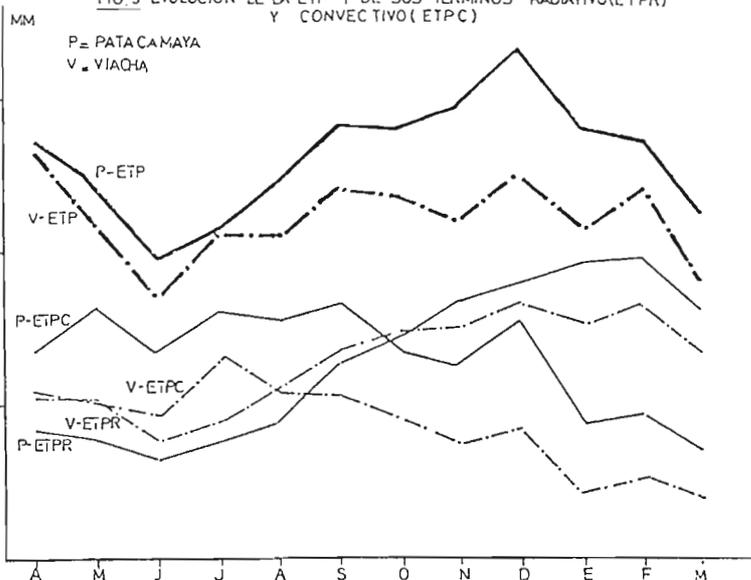


FIG:3 EVOLUCION DE LA ETP Y DE SUS TERMINOS RADIATIVO(ETPR) Y CONVECTIVO(ETPC)



CUADRO 2

EVOLUCION DE LA RADIACION DE ONDA LARGA ( $W.m^{-2}$ )

	VIACHA			PATACAMAYA		
	RT-RA	RT	RA	RT-RA	RT	RA
A	136	385	249	142	393	262
M	136	381	245	133	391	251
J	129	366	239	137	376	239
J	156	384	232	132	377	245
A	148	391	243	164	396	232
S	166	405	240	168	400	232
O	149	413	262	166	413	297
N	139	418	279	147	421	274
D	147	414	267	173	443	270
E	115	412	292	124	416	292
F	135	420	284	140	414	270
M	85	405	316	112	407	295
PA	137	400	263	145	404	259

PA : promedio anual

La concordancia de una RG elevada con las precipitaciones irregulares del Altiplano puede determinar, durante una época larga sin lluvia, una RG fuerte, con una Ra baja (aire seco) y una Rt alta; como durante una época precedida por lluvias intensas, una RG fuerte, con una Ra alta (aire muy húmedo) y una Rt baja (suelo húmedo). Eso impide la existencia de una relación lineal con un buen coeficiente de correlación entre RN - Ra y RG, propiedad sobre la cual se basan muchas fórmulas de estimación de la RN.

Los coeficientes de correlación son del orden de 0,8 a nivel mensual y anual pero, solo de 0,3 a nivel de diez días. Estos resultados subrayan la necesidad de determinar una fórmula de estimación de la RN en el Altiplano.

#### 4) Estimación de la RN en el Altiplano Boliviano

La RN y la RG no están medidas en todas las estaciones meteorológicas, por lo que se estima a partir de parámetros climáticos fácilmente disponibles.

La fórmula de estimación de la RG es de tipo Black y utiliza los datos de heliógrafo. Se escribe :

$$RG = RGo \left( a + b \frac{h_i}{N} \right) \quad (3) \quad \begin{array}{l} n = \text{horas sol} \\ N = \text{duración del día} \\ a \text{ y } b = \text{parámetros} \end{array}$$

La fórmula de estimación del balance radiativo de onda larga (Rt-Ra) es de tipo Brunt y se escribe :

$$Rt - Ra = Ta^4 \left( c + d \frac{e}{N} \right) (f - g \sqrt{e})^4 \quad \text{con } Ta = \text{temperatura media del aire a 1,50 m.} \\ c, d, f, g = \text{parámetros} \\ e = \text{presión de vapor de agua en n bar}$$

La comparación de las mediciones diarias de RG, RN y de los valores de Rt-Ra con los valores calculados a partir de las fórmulas nos dan los resultados siguientes :

$$RG = RGo \left( 0,28 + 0,57 \frac{h_i}{N} \right) \quad (5) \quad r = 0,95$$

$$Rt - Ra = Ta^4 \left( 0,23 + 0,67 \frac{e}{N} \right) (0,8 - 0,09 \sqrt{e}) \quad (6)$$

Esta última fórmula muestra, no obstante, una regular sobrestimación estival y una subestimación invernal. Estas desviaciones estacionales provienen del término correctivo  $(c + \frac{e}{N})$ . Por esto se ha determinado para cada estación las fórmulas siguientes :

$$\text{Octubre - Marzo} : R_t - R_a = \sigma T_a^4 (0,33 + 0,67 \frac{p}{N}) (0,8 - 0,09 \sqrt{e}) \quad (7)$$

$$\text{Abril - Septiembre} : R_t - R_a = \sigma T_a^4 (0,14 + 0,67 \frac{p}{N}) (0,8 - 0,09 \sqrt{e}) \quad (8)$$

La estimación de la RN es para todo el año :

$$RN = 0,8 RGo (0,28 + 0,57 \frac{p}{N}) - \sigma T_a^4 (0,23 + 0,67 \frac{p}{N}) (0,8 - 0,09 \sqrt{e}) \quad (9)$$

## II. La ETP en el Altiplano Boliviano

### 1) Estimación de la ETP

El objetivo principal de este estudio es determinar los valores más precisos de la ETP en el Altiplano Boliviano. La fórmula elegida es de tipo Penman :  $ETP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} RN + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a$  (10)

$\Delta$  : pendiente media de la curva de presión máxima de vapor de agua

$\gamma$  : constante psicrométrica

$E_a$  : término convectivo

- El término radiativo se estima según las fórmulas 7, 8 y 9 que hemos determinado.

- El término convectivo se estima según la fórmula de tipo Dalton propuesta por Penman (1948).

$$E_a = 0,26 (e_s - e) (1 + 0,54U) \quad (11)$$

U = velocidad del viento en m/s a 2 m -

$e_s$  = presión máxima de vapor de agua

La fórmula adaptada al Altiplano se escribe :

$$ETP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} 0,8 RGo (0,28 + 0,57 \frac{p}{N}) - \sigma T_a^4 (0,22 + 0,63 \frac{p}{N}) (0,08 - 0,09 \sqrt{e}) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} 0,26 (e_s - e) (1 + 0,54U) \quad (2)$$

(1): es importante tener en cuenta las variaciones de con la altura

(2): se precisan los valores de ETP utilizando las fórmulas 7 y 8

### 2) Variaciones espaciotemporales de la ETP en el Altiplano Boliviano

El estudio de las variaciones espaciotemporales de la ETP en el Altiplano Boliviano se basa en el análisis de los valores de la ETP calculadas a partir de los datos de las estaciones automáticas meteorológicas y a partir de la ETP calculada según los datos disponibles en el SENAMHI de 3 estaciones

climáticas (El Alto, Belén, y Patacamaya) para 5 años (de 1976 a 1980) con regímenes pluviométricos muy diferentes. Por la precisión y la fiabilidad de los datos de las estaciones automáticas, empezaremos con el análisis de la evolución de la ETP en Viacha y Patacamaya de abril 1987 a marzo 1988.

- Variaciones de la ETP en Viacha y Patacamaya de abril 1987 a marzo 1988

De acuerdo con los resultados obtenidos sobre la  $R_n$ , la ETP en Viacha y Patacamaya presenta valores muy bajos (cuadro 3). Los promedios anuales son respectivamente de 2,15 mm/día y 2,58 mm/día, o sea totales anuales de 770 mm y 953 mm. Los valores de los términos radiativo y convectivo de la ETP (cuadro 3) y las tendencias de las curvas representándolas (fig 3) conducen a las observaciones siguientes :

- Los valores bajos de la ETP en el Altiplano Boliviano son consecuencias de un doble fenómeno. El principal fenómeno se debe a los valores bajos de la  $R_n$  que inducen un término radiativo reducido. El segundo fenómeno es la evolución contraria del término convectivo y del término radiativo, resultado de un verano lluvioso.

- Los términos radiativos de Viacha y Patacamaya son muy similares de acuerdo a los valores de  $R_n$ .

Los términos convectivos muestran, al contrario, grandes diferencias (son del orden del 50%). Una presión de vapor de agua más baja (5,4 contra 6,5) y un viento más importante (3,2 m/s contra 2,4 m/s) en Patacamaya que en Viacha, explican estas divergencias del término convectivo. Este último aparece como el factor de las variaciones espaciales de la ETP en el Altiplano. Representa 50% de la ETP en Patacamaya y 40% en Viacha.

- La ETP muestra un máximo en diciembre y un mínimo en junio, siguiendo principalmente la evolución de la  $R_n$ . La amplitud de estas variaciones estacionales al nivel mensual son reducidas de 1,7 mm, 2,49 mm para Viacha y de 1,97 mm, 3,33 mm para Patacamaya. El máximo diario de la ETP en Viacha es de 3,73 mm y de 4,07 en Patacamaya. Es importante subrayar que casi con 800 datos diarios, hemos observado una sola ocurrencia de una ETP superior a 4 mm.

- Variaciones de la ETP para las estaciones de Belén, El Alto y Viacha de 1976 a 1980

Los resultados obtenidos confirman las conclusiones precedentes. Los promedios calculados sobre 5 años son de 2,89 mm para Patacamaya, 2,40 mm para Belén y 2,50 mm para Viacha. Las variaciones de la ETP durante este período de diez días son de

CUADRO 3

EVOLUCION DE LA ETP Y SUS TERMINOS  
radiativo y convectivo  
(mm/día)

	VIACHA			PATACAMAYA		
	ETP	Trad	Tcon	ETP	Trad	Tcon
A	2.26	1.20	1.06	2.16	0.87	1.29
M	2.18	1.09	1.09	2.46	0.79	1.67
J	1.71	.79	0.92	1.97	0.64	1.32
J	2.12	.79	1.32	2.14	0.78	1.36
A	2.12	1.01	1.11	2.42	0.88	1.54
S	2.40	1.35	1.05	2.82	1.16	1.66
O	2.37	1.45	0.92	2.80	1.44	1.36
N	2.23	1.50	0.73	2.94	1.70	1.24
D	2.49	1.66	0.83	3.33	1.80	1.53
E	1.96	1.52	0.44	2.80	1.92	0.88
F	2.21	1.69	0.52	2.90	2.00	0.92
M	1.78	1.32	0.46	2.25	1.60	0.65
PA	2.15	1.28	0.87	2.58	1.30	1.28

4,3 mm y 0,9 mm para Patacamaya, 3,6 mm y 0,8 mm para Belèn y 3,7 mm y 0,6 mm para El Alto. La ocurrencia de la máxima se produce siempre en diciembre y de la mínima en junio - julio. La ETP calculada a partir de la fórmula de Penman, no ajustada al Altiplano varía de 4 a 6 mm. Estas diferencias subrayan la importancia del error cometido. El aumento de la ETP según un gradiente norte-sur es confirmado por estos primeros resultados.

Para precisar nuestro análisis estudiaremos ahora, la influencia de algunos factores climáticos sobre las variaciones espacio-temporales de la ETP.

### CONCLUSION

Este estudio nos ha permitido determinar las características muy particulares del balance radiativo en el Altiplano Boliviano. A una radiación solar global intensa (por la latitud y la altura del Altiplano) corresponde una radiación neta muy baja, consecuencia de una radiación atmosférica reducida (menor espesor y mayor transparencia (aire seco) de la atmósfera) y de una radiación terrestre relativamente elevada. Las condiciones radiativas en el Altiplano se presentan muy favorables para la agricultura. Una RG elevada favorece una fotosíntesis intensa y una producción vegetal importante y además, una RN baja induce pocas necesidades en agua para los cultivos. Estas propiedades de las radiaciones nos han conducido a ajustar las fórmulas de estimación de la RN y a proponer una nueva fórmula tipo Penman de la ETP para el Altiplano Boliviano. La ETP calculada con las mediciones de  $R_n$  y con esta nueva fórmula, para varias estaciones y diferentes años, se caracteriza por valores muy bajos (promedios anuales inferiores a 3 mm y máximo diario inferior a 4,5 mm) y una amplitud de variación reducida debido a la influencia de la altura y de un verano lluvioso. Estos resultados son sumamente importantes para el desarrollo de la producción agrícola; la puesta en evidencia de una ETP baja replantea toda una estrategia de riego a bajo costo en el Altiplano Boliviano. Estos resultados se basan, no obstante, sobre un corto periodo (un año) de mediciones de las radiaciones, las cuales deberán ser necesariamente verificadas.

---

BIBLIOGRAFIA

- ATTEIA, O.; VACHER, J., 1988 - Estudio de los riesgos de sequia en el Altiplano Boliviano, utilizando un modelo sencillo de balance hidrico. Informe ORSTOM, 20 pa
- FRERE, M.; RIJKS, J.Q.; REA, J., 1974 - Estudio agroclimatológico de la zona andina. FAO/OMM, 297 p.
- MONTHENY, B.; HUMBERT, J.; LHOMME, J.P.; KALMS, J.M., 1981 - Le rayonnement net et l'estimation de l'évapotranspiration en Côte d'Ivoire. Agric. Met., 23 : 45-59.
- MONTHENY, B.; ZELLER, B.; HAINNAUX, G., 1986 - Estimation des besoins en eau de la Canne à sucre en région soudano sahelienne pour la conduite de l'irrigation. In les besoins en eau des cultures. Paris : 79-102.
- PENMAN, H.L., 1948 - Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. R. Soc. London, Ser. A, 193 : 120-145.
- PERRIER, A., 1975 - Etude physique de l'évapotranspiration dans les conditions naturelles. Ann. Agron., 26 : 1-18.
- PERRIER, A., 1977 - Projet de définitions concernant l'évapotranspiration en fonction de considérations théoriques et pratiques. Météorologie, 11 : 7-16.
- PRIESTLEY, G.H.B. and TAYLOR, R.J., 1972 - On the assesment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. Mons. Wheather Rev., 100 : 81-92.
- RIOU, C., 1974 - Determination pratique de l'évaporation, application à l'Afrique Centrale. Memo n° 80, ORSTOM Paris.
- SEGUIN, B., 1975 - Etude comparée des méthodes d'estimation d'ETP en climat méditerranéen du Sud de la France. Ann. Agro., 26 : 671-691.
- SEGUIN, B.; BRUNET, Y.; PERRIER, A., 1982 - Estimation of evaporation : a review of existing methods and recent developments In Meetings Simposium on evaporation. Leeds (G.B.). 23 p.
- STEWART, J.B., 1983 - A discussion of the relationships between the principal forms of the combination equation for estimating crop evaporation. Agric. Met., 30 : 111-127.
-

ESTUDIO "IN SITU" DEL CONSUMO DE AGUA Y DE LA PRODUCCION DE LA  
PAPA PARA 3 ESTACIONES DEL ALTIPLANO BOLIVIANO

J. VACHER <sup>x</sup> O. ATTEIA <sup>x</sup> E. IMAÑA <sup>xx</sup> E. BRASIER <sup>x</sup>

con la colaboración técnica de

J. CHOQUEVILLCA <sup>xx</sup> R. MALDONADO <sup>xx</sup> A. MENDEZ <sup>xx</sup>

INTRODUCCION

Los resultados del estudio de los riesgos de sequía en el Altiplano boliviano (ATTEIA y, al 1988) han subrayado la frecuencia y la intensidad del déficit hídrico de los cultivos durante todo el ciclo agrícola. La evidencia de una baja disponibilidad del agua hizo necesario precisar los procesos de alimentación hídrica de los principales cultivos del Altiplano con el fin de determinar los mejores métodos de lucha contra la sequía. Con este objetivo se realizó un estudio del consumo de agua y de la producción de la papa en tres estaciones contrastadas del Altiplano (en base a datos climáticos y edáficos). Nos proponemos con el conocimiento de las variables climáticas, de las características hídricas del suelo, de la evapotranspiración real y de la producción del cultivo, determinar los principales factores limitativos de la agricultura en el Altiplano boliviano.

MATERIAL Y METODOS

1) Los sitios escogidos para el estudio son : Viacha, Belén y Patacamaya.

Viacha es representativo del Altiplano lluvioso. Las precipitaciones son intensas y relativamente regulares (cuadro 1). El suelo se caracteriza por la presencia de un horizonte arcilloso muy compacto de 30 a 50 cm de profundidad (fig. 1).

Belén corresponde a un clima con precipitaciones más

-----  
<sup>x</sup> ORSTOM, CP 8714, La Paz-Bolivia

<sup>xx</sup> SENAMHI, CP 20996, La Paz-Bolivia



FIG 1. CARACTERISTICAS EDAFICAS DE LAS ESTACIONES

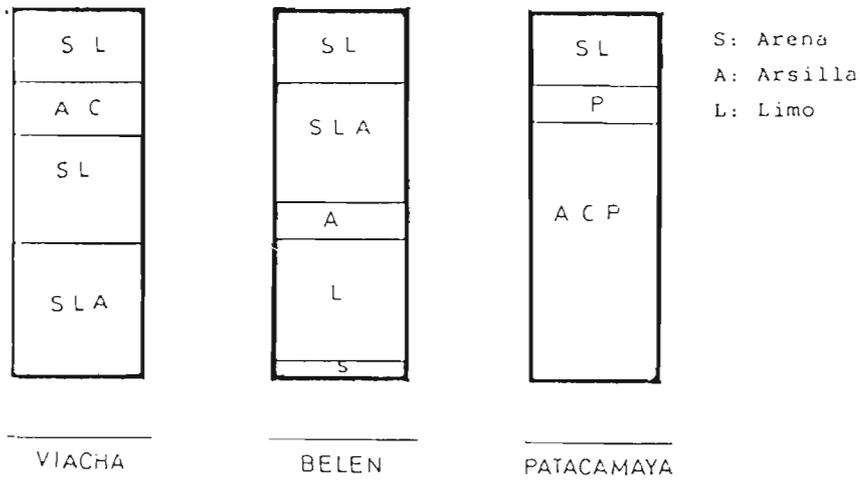
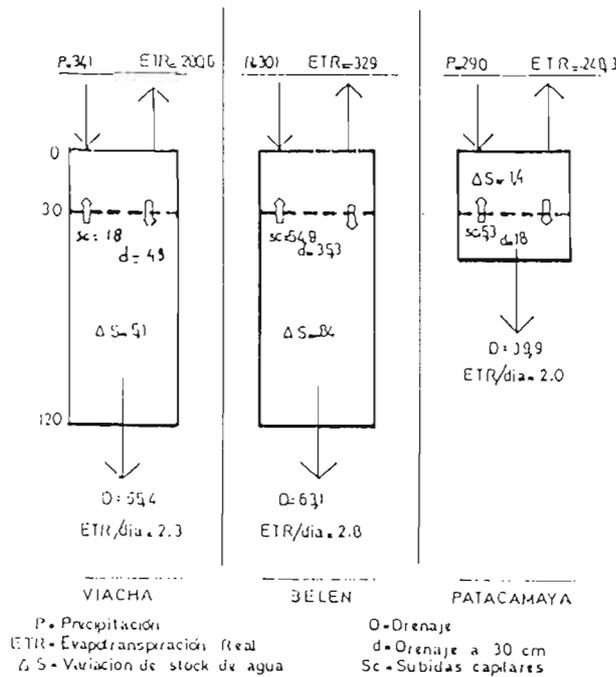


Fig. 2. BALANCE HIDRICO PARA LAS ESTACIONES DE VIACHA, BELEN Y PATACAMAYA



C1. BELEN: ev. del balance hídrico

Fecha	Lluvia	Δ S	ETR / d	
15.12				
21.12	36.0	-0.2	2.4	
27.01	51.8	12.2	2.3	
03.02	36.3	-7.6	2.1	
10.02	11.6	-17.6	2.4	
17.02	16.7	-18.2	2.6	
23.02	51.2	14.0	2.7	
01.03	32.0	-3.5	2.3	
08.03	5.7	-20.8	2.6	
14.03	31.0	-9.3	2.4	
21.03	23.0	-12	2.3	
27.03	7.04	-26.7	2.6	
03.04	16.04	7.0	-5.7	2.7
Totál	301	-84.2	2.6	

C2. VIACHA: ev. del balance hídrico

Fecha	Lluvia	Δ S	ETR / d
21.12			
27.01	31.0	13.7	2.0
03.02	46.1	15.1	2.0
10.02	25.9	13.5	2.1
17.02	27.7	-6.6	2.6
23.02	40.5	10.1	2.8
01.03	36.0	-4.3	2.7
08.03	30.0	0.3	2.1
14.03	30.5	-1.5	2.4
21.03	15.7	-5.8	2.2
27.03	21.3	-17.1	2.6
03.04	32.0	-2.3	2.3
Totál	341	5.1	2.3

C3. PATACAMAYA: ev del balance hídrico

Fecha	Lluvia	Δ S	ETR / d
15.12			
21.12	25.4	-0.4	2.1
27.01	21.2	5.9	1.9
03.02	30.9	5.5	2.3
10.02	44.0	5.4	2.9
17.02	23.6	-8.6	2.5
23.02	12.7	-13.2	2.7
01.03	19.0	-6.1	2.2
08.03	25.9	0.0	1.7
14.03	43.5	12.7	2.2
21.03	35.3	12.7	2.4
27.03	4.1	-6.1	1.4
03.04	2.3	-10.4	1.4
Totál	289.6	3.4	2.0

S: variación de cantidad de agua en el perfil ETR / d: Evapotranspiración Real por día

C1. Características climáticas de las Estaciones

	Llov.	L13/4	Deficit	
VIACHA	630	700	20	30 30
BELLEN	416	446	30	40 70
FATACAM.	406	420	70	70 85

Llov.: Total de lluvia por año en mm  
 L13/4: Total de lluvia alcanzado 3 año por 4  
 Deficit: Probabilidad de deficit hídrico por  
 3 épocas del cultivo (en %)

C2. Balance hídrico por el año 85-86

	Llov.	ΔS	dren.	ETR	ETP
BELLEN	301	-24	63	321	335
VIACHA	341	5	55	241	336
FATACAM.	290	1	40	269	362

ΔS: Variación de la cantidad total de agua en el suelo (en mm)  
 Dren.: Drenaje total en mm  
 ETR y ETP: totales anuales en mm

C3. Relacion entre rendimiento y ETR

	ETR	ESt	ETR1	Stob	ETR2	Plub
BELLEN	2.6	42	2.8	17	2.7	78
VIACHA	2.3	35	2.3	13	2.5	75
FATACAM.	2.0	29	1.9	12	1.8	55

ETR1 y ETR2: Evapotranspiración Real por día durante tuberización y crecimiento de tubérculos  
 ESt: Rendimiento en t/ha  
 Plub y Plub: Numero y peso (en gr) procedido de tubérculos por planta

C6. BELLEN: Balance hídrico por 30 cm de suelo

Fechas	drenaje	sub cap:	capas:
23.12			
2.01	6.8	0	1
13.01	19.3	0	2
23.01	4.2	2.0	3
3.02	0	6.0	5
12.02	5.0	0	6
24.02	0	1.0	3
5.03	0	6.0	3
18.03	0	6.3	2
26.03	0	6.5	11
7.04	0	14.4	12
16.04	0	8.9	12
Total	35.3	54.9	

sub cap. s.lilias: capilares

C7. VIACHA: Balance hídrico por 30 cm de suelo

Fechas	drenaje	sub cap:	capas:
3.01			
13.01	15.6	0	1
23.01	15.6	0	2
3.02	4.2	0	2
12.02	2.0	0	3
24.02	3.4	0	3
5.03	4.5	0	3
19.03	7.6	0	3
29.03	0	3.0	4
10.04	0	4.0	4
24.04	0	11.0	5
Total	49.1	18	

capas: capas de 10 cm de suelo que alimentan la planta

C8. FATACAMA: Balance hídrico por 30 cm de suelo

Fechas	drenaje	sub cap:	capas:
26.12			
5.01	2.3	0	1
15.01	0.6	0	2
27.01	16.3	0	2
6.02	1.6	0	3
17.02	0	1.4	3
27.02	0	0.1	3
11.03	2.4	0	3
20.03	1.2	0	3
27.03	0	1.3	4
9.04	0	1.5	4
Total	16	5.3	

escasas pero regulares durante los dos primeros tercios del ciclo del cultivo (ATTEIA y al, 1988). El suelo se compone de horizontes arenoso-arcillosos limosos y presenta excelentes condiciones agrohídricas.

Patacamaya es representativo del Altiplano central, las lluvias son escasas y muy irregulares. Los riesgos de déficit hídrico del cultivo son superiores a 70% durante todo el ciclo. Los suelos son muy superficiales, una capa pedregosa se presenta a los 40 cm.

El cultivo estudiado es la variedad de papa sani-imilla. El estudio ha sido realizado durante dos ciclos agrícolas (1985-86 y 86-87), los daños muy importantes causados por las numerosas heladas y granizadas en febrero y marzo de 1987, nos impiden utilizar los resultados obtenidos para este ciclo en sus valores absolutos pero si en sus tendencias.

2) El consumo de agua de la papa es evaluado por el método del balance hídrico de un compartimiento de suelo. La ecuación se escribe :

$$ETR = P - \Delta S - D \quad \text{con} \quad ETR = \text{evapotranspiración real}$$

$P$  = precipitaciones  
 $\Delta S$  = variación del contenido en agua del suelo  
 $D$  = drenaje

Las precipitaciones son medidas diariamente con un pluviómetro ubicado a menos de 100 m. de las parcelas. Las variaciones del contenido de agua en el suelo hasta una profundidad de 1,20 m. fueron estimadas con la comparación de las mediciones hechas con una sonda a neutrones. El ajuste de este aparato fue realizado para cada horizonte diferente del suelo, a partir de la comparación de los conteos neutrónicos con las mediciones de humedades ponderales y de la densidad aparente. Fueron instalados 3 tubos por cada parcela. La calidad de los datos de variación de "stock" determinado por sonda a neutrones fue verificada por varios autores (VAUCLIN, y al 1982, VACHAUD, y al 1983). El drenaje fue estimado según las relaciones entre la humedad ( $\theta$ ) y la presión de agua en el suelo ( $H$ ) y entre la humedad ( $\theta$ ) y la conductividad hidráulica ( $K$ ). Estas relaciones fueron establecidas en los laboratorios del ICW de Wageningen y precisadas por los tensiómetros instalados en 1987. La profundidad de las raíces y los componentes principales del rendimiento (número de tubérculos por planta, peso medio del tubérculo, rendimiento por hectárea) fueron medidos varias veces durante el ciclo agrícola.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores y la evolución de los diferentes componentes del

balance hídrico son reportados en los cuadros 1,2,3,4 y representados por la figura 2. Los datos subrayan los contrastes marcados en los tres sitios, tanto en los valores de la ETP como en las características generales de los flujos hídricos en el suelo. Sus análisis conducen a las observaciones siguientes :

- Las ETR de los tres lugares son muy diferentes y no siguen el orden de las precipitaciones. Las ETR de Belén, Viacha, y Patacamaya son de 323 mm, 281 mm y 249 mm para las respectivas precipitaciones de 301 mm, 341 mm y 280 mm. Las precipitaciones no aparecen entonces como el principal factor determinante de la ETR.

- Una ETR más importante para Belén corresponde a un uso mayor del agua contenido en el suelo, las variaciones de "stock" de agua son ampliamente negativas para Belén y casi nulas para Viacha y Patacamaya.

- El drenaje para el ciclo total del cultivo es parecido en las tres estaciones; se produce principalmente durante los meses de diciembre y enero, los meses más lluviosos.

Los datos sobre las principales componentes de la producción muestran una relación muy estrecha con la ETR (cuadro 5). El número de tubérculos por plantas, el peso medio de los tubérculos y la producción agrícola dependen directamente de la ETR, se ha encontrado en el Altiplano un promedio de 115 a 130 kg de tubérculos por mm de agua evaporada. La ocurrencia de un déficit hídrico durante la fase de tuberización (Viacha y Patacamaya) se manifiesta por un efecto negativo marcado sobre el rendimiento.

Estos resultados generales sobre el balance hídrico ponen en evidencia el papel preponderante de la eficiencia del suelo como reservorio de agua para las plantas sobre el rendimiento agrícola. Estudiaremos ahora la evolución de los componentes del balance hídrico para cada estación con el fin de precisar las modalidades de la alimentación hídrica de la papa.

#### BELEN

Para este sitio de mayor ETR y de producción, el consumo de agua para el cultivo de la papa sigue las principales fases siguientes :

- Durante las primeras semanas de crecimiento del cultivo, de diciembre a mediados de enero, la papa utiliza principalmente el agua de las precipitaciones y durante algunos días sin lluvia, el agua contenida en el volumen del suelo explorado por las raíces.

- En el inicio de una disminución de lluvias en febrero, la planta, que entra en la fase de tuberización muy sensible al déficit hídrico, utiliza el agua contenida en el suelo cerca de las raíces y de los horizontes inferiores. Los fenómenos de subidas capilares empiezan rápidamente y abarcan, durante los meses de marzo y abril, todo el perfil del suelo hasta 1,20 (cuadro 6), el saldo entre subidas capilares y drenaje a los 30 m es netamente positivo. Los flujos de agua hacia la superficie permiten una alimentación hídrica regular de las plantas y eliminan así los riesgos elevados de déficit hídrico, en particular durante la fase de crecimiento de los tubérculos.

#### VIACHA

La evolución de los diferentes componentes del balance hídrico (cuadro 2) permiten distinguir las fases de consumo de agua siguientes :

- De diciembre a mediados de febrero, el cultivo de papa se alimenta principalmente de las precipitaciones intensas en esta zona. El exceso de agua está eliminado por el drenaje, máximo en esta época a los 30 cm (cuadro 7).

- La irregularidad de las lluvias a fines de febrero y el aumento de las necesidades del cultivo se traducen rápidamente con la aparición de un déficit hídrico, en particular, durante la fase de tuberización. Las reservas de agua contenidas en los 35 primeros centímetros se acaban rápidamente, la presencia de un horizonte arcilloso compacto impide las subidas capilares lo que provoca una disminución importante de la ETR. Las fuertes lluvias a fines de marzo y el inicio de un flujo de agua que alcanza al máximo los 60 cm hacia la superficie, permiten un crecimiento regular de los tubérculos. La ETR, durante estas fases muy importantes para la producción de la papa, está totalmente determinada por el régimen de las precipitaciones.

#### PATACAMAYA

El consumo de agua para el cultivo de papa sigue las fases principales siguientes :

- Durante las primeras semanas de crecimiento vegetativo, el consumo de agua para el cultivo sigue las precipitaciones.

- A partir de los primeros días de febrero, las lluvias empiezan a ser muy escasas e irregulares. Las pequeñas reservas de agua contenidas en este suelo superficial son rápidamente utilizadas por una planta en pleno desarrollo y sometida a una demanda evaporativa relativamente elevada. Una disminución muy marcada de la ETR aparece y permanece hasta el final del ciclo

del cultivo. La ocurrencia de un déficit hídrico durante las fases de la tuberización y de crecimiento de los cultivos se traduce de manera muy negativa sobre el rendimiento.

La alimentación hídrica de un cultivo durante su ciclo está condicionada por los 3 factores principales siguientes: la regularidad y la cantidad de precipitaciones, la capacidad de almacenamiento y de redistribución del agua por el volumen de suelo explorado por las raíces y la contribución de las reservas hídricas profundas del suelo al balance hídrico del cultivo por subidas capilares. Los 3 ejemplos del consumo de agua por el cultivo de papa que acabamos de describir corresponden a diferentes contribuciones de estos 3 factores. La profundidad de las raíces de la papa fue siempre inferior a 40 cm en Belén y a 35 cm en Viacha y Patacamaya, las reservas en agua del suelo ocupado por las raíces son reducidas. Los papeles importantes en la producción agrícola, de las precipitaciones y de los flujos de agua hacia la superficie son amplificadas por la elección del cultivo de la papa.

Del análisis de la evolución de los componentes del balance hídrico del cultivo podemos distinguir 2 tipos de consumo de agua para los cultivos. El primero corresponde a Viacha y Patacamaya, y se caracteriza por una total dependencia de alimentación hídrica de los cultivos y de la producción hacia las precipitaciones. Solamente una regularidad de las lluvias en Viacha asegura un rendimiento más elevado. Un suelo superficial para Patacamaya y la existencia de una capa arcillosa compacta a los 30 cms en Viacha han inducido este papel muy determinante de las precipitaciones. En el caso de Patacamaya (representativo del Altiplano central) un aumento radical del rendimiento, en una zona que presenta riesgos de déficit hídrico del orden del 70% pasa necesariamente por un riego, sobre todo en los períodos sensibles de tuberización y de crecimiento de los tubérculos. Para Viacha, las condiciones más favorables de pluviosidad permiten alcanzar rendimientos mayores. Un aumento neto de la producción agrícola se podría obtener, sin embargo, con una labranza profunda (destruyendo la capa de arcilla compacta) y/o un riego de seguridad. Los resultados obtenidos sobre los valores bajos de la ETP nos permiten proponer un aporte de agua con riego.

El consumo de agua para el cultivo de papa y su producción en Belén se caracteriza por el papel determinante de las subidas capilares. La ETR y el rendimiento del cultivo no dependen solamente, en este caso, de las precipitaciones sino también del agua contenida en el suelo, en particular en las últimas fases de producción de tubérculos.

#### CONCLUSION

Los resultados obtenidos han establecido la importancia

fundamental de las características hídricas del suelo sobre la producción de la papa en el Altiplano boliviano. En una región agrícola que se caracteriza por riesgos de déficit hídrico del cultivo mayores a 30% durante todo el ciclo, y para un cultivo que presenta un aparato radicular reducido, la contribución de las reservas de agua de los horizontes inferiores a las raíces se convierte en un factor determinante de la ETR y del rendimiento. Varios autores han subrayado la importancia de los flujos de agua hacia la superficie en época de sequía (KATERJI y al, 1984, DAUDET y al, 1976). Una labranza más profunda en presencia de una capa arcillosa compacta cerca de la superficie y/o un riego mínimo por seguridad durante las fases de producción sensibles al déficit hídrico resultan, en varias zonas del Altiplano, indispensables para un aumento sensible del rendimiento de la papa.

---

#### BIBLIOGRAFIA

---

ATTEIA, O.; VACHER, J., 1988 - Estudio regional de los riesgos climáticos a partir de un modelo sencillo de balance hídrico. Informe ORSTOM. La Paz. 20 p.

DAUDET, F.A.; VALANCOGNE C., 1976 - Mesure des flux profonds de drainage et de remontées capillaires. Leur importance dans le bilan hydrique. Ann. Agron., 27: 165-182.

KATERJI, N.; DAUDET, F.; VALACOGNE, C., 1984 - Contribution de réserves profondes du bilan hydrique des cultures. Détermination et importance. Agronomie, 184, 4(8): 779-787.

VACHAUD, G.; VAUCLIN, M., 1979 - Méthodologie du bilan hydrique d'une culture à l'échelle de la parcelle. Colloque International physique des sols et irrigation.

VAUCLIN, M.; HAVERKAMP, R.; VACHAUD, G., 1982 - Analyse de variance sur la teneur en eau mesurée à l'humidimètre neutronique. Bull. Gr. Fr. Humidimètre neutronique, 12, 17.

---

LAS INVESTIGACIONES LLEVADAS A CABO EN COOPERACION POR  
INAN Y ORSTOM

---

Rosario ALURRALDE <sup>x</sup>

---

Las investigaciones ya señaladas en el Primer Simposio de la Investigación Francesa en Bolivia (1986), llevadas a cabo dentro del marco del convenio firmado en 1984 por ambos institutos, se prosiguieron con éxito durante estos dos últimos años, a pesar de varias dificultades materiales.

A la fecha, esta cooperación se ha visto plasmada en la reciente elaboración de dos libros, uno dedicado al campo bajo el título "Los campesinos y la crisis" de Joseph LAURE y colaboradores de INAN publicado en Febrero de este año, otro dedicado a la ciudad "Los migrantes del Alto de La Paz y sus estrategias alimentarias" de André FRANQUEVILLE, Gloria AGUILAR y colaboradores de INAN, a publicarse en estos días. Presentaremos a continuación y de manera breve, los principales resultados de ambas investigaciones.

El libro, "Los campesinos y la crisis", que abarca más de 300 páginas, es un estudio minucioso de cuatro comunidades rurales de Bolivia, situadas en cuatro zonas ecológicas diferentes: Bamburuta en el Altiplano Norte, Santa Rita en los llanos amazónicos, Tipajara en el Valle de Cochabamaba y Capirenda, en el Chaco. Todos los resultados muestran que en estas comunidades los modos de vida de los campesinos son precarios. Presentaremos a continuación, algunos de estos resultados.

En lo que se refiere a la salud, los niveles de vacunación son muy bajos, ya que el 50 al 84% de los niños menores de 5 años no se benefician de ninguna. Por otro lado, se observa una mortalidad muy elevada en menores de 5 años: 127 a 415%, lo que tiene una relación directa con el bajo índice de vacunación. El bocio afecta del 28 al 53% de la población, con porcentajes más elevados en las mujeres.

El autor encontró un índice elevado de desnutrición crónica en un 33 a 87% de los niños menores de 5 años y afirma que las condiciones de alimentación, salud e higiene no han mejorado desde la proclamación de la República (1825), como lo muestra la

---

<sup>x</sup> Directora Ejecutiva de INAN  
Instituto Nacional de Alimentación y Nutrición  
La Paz - Bolivia

estabilidad de la estatura de los adultos desde esa época.

En cuanto a la educación, se observa que los jóvenes de 10 a 19 años, el 60 al 100% sabe leer y escribir, lo que es positivo; sin embargo existe el riesgo de que este porcentaje disminuya por el reciente cierre de algunas escuelas y el deterioro de la enseñanza. Las encuestas revelan, por otra parte, que el quechua sigue siendo un idioma muy hablado, contrariamente al aymara que se pierde paulatinamente en beneficio del castellano, así como las lenguas de la Amazonia y el Chaco.

Frente a la crisis económica-social que azota al país, las estrategias de los campesinos se han centrado en intensificar su trabajo, reducir los intercambios de tipo comercial, utilizar en mayor proporción la ayuda familiar y comunitaria, aumentar el autoconsumo, migrar hacia otras zonas del país (Chapare, ciudades), temporal o definitivamente, así como al extranjero. Sin embargo, el autor destaca la grave falta de asistencia y asesoramiento de servicios agrícolas que agudiza el aislamiento de los campesinos y su sensación de abandono.

Otras observaciones, como la degradación de la dentición que es proporcional a la altura, plantean puntos de interrogación a los científicos. A menor altura, peor estado dental; habría que preguntarse por qué? Se observó también que las niñas, hasta los siete años, tienen mejor dentadura que los niños pero que, después de esta edad, los casos se invierten sin que se conozca la razón.

Como conclusión se destaca que es vano esperar un desarrollo en el área rural de Bolivia sin una política coherente que asegure a los habitantes un mínimo de servicios básicos tales como los de higiene, vivienda, nutrición, salud, educación y cultura, asistencia técnica agrícola y veterinaria; lo cual evitaría el éxodo rural que está produciéndose desde hace algunas décadas.

El segundo libro, elaborado por André FRANQUEVILLE, Gloria AGUILAR y colaboradores del INAN, trata la situación de los migrantes recientes a la ciudad de El Alto de La Paz, es decir otro de los problemas que enfrenta Bolivia, el del crecimiento urbano y las varias dificultades que plantea este fenómeno. En El Alto de La Paz, los migrantes conforman el 63% de la población y más de la mitad de ellos se establecieron hace ya aproximadamente diez años. El estudio llevado a cabo se centra en estos últimos.

Todos los indicadores socio-económicos revelan la pobreza de éstos. El 78,5% de las familias encuestadas viven en una sola habitación, generalmente una construcción elemental de adobes con piso de tierra, con equipamiento muy rudimentario. Sólo el 16% de las viviendas tienen agua potable, el 63,5% no tienen electricidad y el 88% no tienen servicios higiénicos.

El estudio investiga las estrategias alimentarias utilizadas por estos migrantes recientes, las cuales tienen el afán de incrementar los recursos monetarios, a la vez de disminuir los gastos. Es así que la mayor parte de los hogares cuentan con varias fuentes de ingresos y se observa que las actividades del sector informal (pequeño comercio, pequeña artesanía) son, en la mayoría de los hogares encuestados, desempeñadas por los jefes de familia y no solamente por las esposas y los hijos como se piensa generalmente: por lo tanto, tienen una importancia esencial y no secundaria para la sobrevivencia del hogar.

Las familias destinan, en promedio, el 70% de sus ingresos a la alimentación, lo que es mucho y varía desde el 35% para las de ingresos más altos hasta casi la totalidad para los más bajos, vale decir los que no alcanzan los 50 \$us al mes. Sin embargo, estas familias de migrantes recientes se abastecen, cada vez que pueden, directamente del campo. Más de la mitad (59%) utiliza esta estrategia, manteniendo relaciones continuas con su lugar de origen. Son, por lo general, familias que tienen tierras en su comunidad y traen productos de sus propios cultivos, de los cuales aseguran ellos mismos la siembra y cosecha. La mayoría de estos migrantes proceden del Altiplano, sobre todo de las provincias de Pacajes e Ingavi y los alimentos son los típicos de esta zona, es decir tubérculos, chuño, quinua, carne de cordero.

Sin embargo, la mayor parte de los alimentos se obtienen en la misma ciudad, sobre todo en el caso de los fideos, el pan y el arroz blanco. Una comparación entre los alimentos más consumidos y los menos consumidos muestra que la elección de los consumidores está guiada por una lógica de orden económico que va en detrimento de la calidad de la alimentación.

Así, refiriéndose a los niveles nutricionales de esta población de El Alto, se observa que el 73% de los hogares encuestados tienen deficiencia en la ingesta de calorías, siendo la ingesta promedio de 1396 Kcal/pers/día, osea el 61% de adecuación de los requerimientos. Asimismo, se observa una deficiencia en proteínas que afectan al 41% de los hogares con un promedio de adecuación de 87%. Se observa también deficiencia en otros nutrientes como el calcio, vitaminas - con excepción del hierro -; sin embargo, se debe realizar un análisis más profundo tomando en cuenta que la mayoría de estos se encuentran en los vegetales.

Las encuestas revelan que las dietas son muy monótonas, los alimentos de mayor consumo son el pan, la papa, la cebolla, la zanahoria, la carne de res, el arroz, el fideo, el té y el aceite vegetal.

El estudio presenta al final, algo muy positivo, algunas recomendaciones dirigidas a los diversos reponsables del lugar, sean gubernamentales, municipales o dirigentes de las varias organizaciones interesadas en el mejoramiento del bienestar de El

Alto. Además de acciones destinadas a mejorar los servicios básicos necesarios para El Alto (agua potable, electricidad, acantarillado, eliminación de basura, servicios de salud), se sugieren políticas destinadas a ayudar a las pequeñas actividades comerciales, dotándolas con equipamientos e infraestructuras que permitan la venta de productos en condiciones aceptables de higiene.

También se sugieren medidas aptas para mejorar el abastecimiento alimentario de los habitantes, facilitándoles la creación de huertos y la crianza doméstica de animales, así como el aprovechamiento de sus relaciones con el campo para el desarrollo del abastecimiento directo sin intermediarios.

Se podría además alentar la organización de comedores populares, de cooperativas de compra de alimentos al por mayor y facilitar, a través de una política de bajos precios, el consumo de productos nativos (quínua, tarhui, etc...) con el fin de elevar la calidad nutricional de la dieta y disminuir al mismo tiempo la dependencia alimentaria de la ciudad y del país.

Sin embargo, aproximándose al libro anterior, los autores concluyen que el problema de fondo es el del crecimiento urbano que afecta tanto a Bolivia como a muchos otros países del Tercer Mundo. Al respecto proponen la revalorización del espacio rural, del trabajo agrícola y la integración del mundo campesino al desarrollo del país.

Después de la realización de estos dos estudios de gran aporte para el desarrollo del país y, a pesar de la partida de uno de los investigadores franceses, la cooperación entre ambos institutos sigue en vigencia. El proyecto que se está desempeñando actualmente consiste en el estudio de la producción y distribución lechera en los alrededores de la ciudad de La Paz. Además, ORSTOM está prestando su ayuda en la capacitación sobre el Sistema de Vigilancia Alimentaria y Nutricional (SISVAN) que está siendo implementado en Bolivia bajo la responsabilidad del INAN.

---

EL CONCEPTO DE SEGURIDAD ALIMENTARIA  
Y LA REALIDAD BOLIVIANA

---

André FRANQUEVILLE - Rosario ALURRALDE <sup>x</sup>

---

En qué consiste la seguridad alimentaria ?

Aparentemente la respuesta es sencilla y racional : procurar a los habitantes del país alimentos suficientes para satisfacer sus requerimientos. En realidad, el concepto de seguridad alimentaria no es tan claro ya que varía con el tiempo y según los usuarios del mismo. El propósito de esta ponencia es presentar algunas reflexiones sobre el tema, resultante de los trabajos llevados a cabo por la unidad de Investigación de ORSTOM, precisamente llamada "Maîtrise de la Sécurité Alimentaire" (Dominio de la Seguridad Alimentaria).

El término apareció y se difundió a partir de la sesión de la Conferencia Mundial de la Alimentación, organizada por la FAO en 1974 y la consiguiente creación del Consejo Mundial de la Alimentación (CMA), encargado de promover y coordinar las acciones en materia de seguridad alimentaria. Al mismo tiempo comenzaron a difundirse también, las nociones vecinas de estrategias alimentarias, políticas alimentarias, sistema alimentario, autosuficiencia, dependencia e independencia alimentaria; igualmente ambiguas. En efecto, estos conceptos corren el riesgo de ser muy politizados por el uso cotidiano que se hace de los mismos, por la grave realidad actual que encubren, donde se enfrentan intereses contradictorios, haciendo que ésta no se perciba con claridad.

Esta breve ponencia pretende esclarecer algunas de las varias acepciones del término, así como las filosofías subyacentes a ellas y, luego, presentar algunas propuestas sobre lo que podría ser, para países como Bolivia, una seguridad alimentaria real.

1. LAS AMBIGUEDADES DE LA SEGURIDAD ALIMENTARIA

En el momento en que todos pretenden ponerse de acuerdo sobre la necesidad de asegurar la seguridad alimentaria tanto a

---

<sup>x</sup> I.N.A.N.  
Instituto Nacional de Alimentación y Nutrición



nivel mundial como a nivel nacional, surgen las discrepancias ya que se trata de saber en qué consiste, qué medidas hay que tomar para lograrla y cuáles son las causas de la inseguridad que se constata en muchos países del mundo. Cuáles son pues las opiniones en presencia ?

### 1.1. La FAO

Según la primera definición que dió la FAO en 1974, la seguridad alimentaria consiste en "asegurar en toda época un abastecimiento alimentario suficiente para cada persona". Esa definición implicaba dar prioridad a la producción agrícola con el fin de prevenir cualquier baja de la disponibilidad alimentaria debida a factores coyunturales como desastres naturales, desastres climáticos, guerras, etc.... Por esta razón, las preocupaciones de la FAO se centraban sobre todo en la fertilidad de los suelos, en el aumento del uso de fertilizantes, en el riego de los cultivos para regularizar y aumentar las cosechas, en la protección de los recursos fitogenéticos, etc... Sin embargo, es importante destacar que esas preocupaciones eran a nivel mundial, es decir que la producción agrícola era considerada globalmente como un conjunto a disposición de todos los países y habitantes del planeta. El mayor problema consistía por lo tanto en asegurar la fluidez de los intercambios mundiales para que los países exportadores pudieran encontrar salida para sus excedentes y los países pobres facilidades para aprovecharlos.

Así se entiende que la FAO haya preconizado la realización de acuerdos internacionales como en el caso del trigo, la creación de reservas alimentarias internacionales, el mejoramiento del transporte y comercio, compromisos por los cuales los países exportadores participen en la ayuda alimentaria, y el planteamiento de un sistema de información y alarma rápida en 1975. En esta concepción de la seguridad alimentaria se hacía énfasis en la oferta alimentaria, sea nacional o importada, dentro de un sistema de libre cambio indiscutible, dando la prioridad a aproximaciones sectoriales y sobre todo a los cereales y, a nivel del consumidor, dando importancia a la distribución de los alimentos y no a su consumo y nutrición.

A partir de 1983, el Director, SAOUMA, propuso una concepción más amplia de la seguridad alimentaria, en base a un análisis profundo del problema alimentario. Dijo por ejemplo : "Las crisis y hambrunas no tuvieron como causa única ni siquiera principal una caída catastrófica de la producción alimenticia, sino que se debían a una baja repentina del poder adquisitivo de algunos grupos poblacionales"; y también : "La seguridad alimentaria puede variar enormemente entre las diferentes regiones del mismo país, incluso en los países con abastecimiento alimentario global aparentemente satisfactorio a nivel nacional pueden existir situaciones de malnutrición eventual o crónica masiva". Igualmente el Director de la FAO aclaró : "El afán de la seguri-

dad alimentaria debe consistir en asegurar para todos y en todo tiempo el acceso material y económico a los alimentos básicos imprescindibles".

Estas cuantas declaraciones demuestran claramente que ahora para la FAO, la noción de seguridad alimentaria abarca todos los problemas de políticas generales de desarrollo agrícola y rural, de producción alimentaria, de distribución y comercio internacional; esto dentro de una visión espacial más fina, ya que se toma en cuenta el nivel local, las diferencias entre ciudades y campos, los fenómenos de enclave, etc....

Se considera que el crecimiento de la producción agrícola no sólo depende de las empresas agroindustriales sino también de los pequeños agricultores; que se debe dar prioridad no sólo a los cereales si no también a otros alimentos básicos de la dieta de los pueblos.

Es probable que esta evolución de las concepciones de la FAO se deba a algunas ideas desarrolladas dentro del Consejo Mundial de la Alimentación, así como a la idea de la necesidad de plantear estrategias alimentarias nacionales, y no sólo mundiales.

#### 1.2. CMA

En efecto, la idea central del CMA (Consejo Mundial de la Alimentación) creado en 1974, es que cada país debe concebir sus propias estrategias alimentarias. Pero qué es una estrategia alimentaria según el CMA? Es un "medio que permite a un país alcanzar un grado más alto de autosuficiencia alimentaria a raíz de un esfuerzo integrado para aumentar la producción de víveres, mejorar el consumo de alimentos y eliminar el hambre. Consiste en el examen de la situación alimentaria del país que sirva de base para elaborar un conjunto coherente de medidas, programas y proyectos con el afán de alcanzar los objetivos alimentarios del gobierno".

Parece así que los puntos principales de la concepción de la seguridad alimentaria según el CMA son los siguientes :

1. El objetivo que deben perseguir los países es el de la autosuficiencia alimentaria, no el de la integración al mercado internacional de los alimentos, la cual no puede asegurar a largo plazo la seguridad alimentaria. El CMA aconseja "un espíritu de autonomía colectiva entre países complementarios en vez de una mayor integración en la economía mundial".

2. Los países tienen la obligación de planificar, prever y organizar sus recursos nacionales y los que procuran las importaciones para tener políticas alimentarias a largo plazo; pues el Estado debe tener un papel central en la materia.

3. Las condiciones económicas, sociales y políticas influyen en la producción agroalimentaria mucho más que los diversos factores que influyen en la agricultura.

4. El aumento de la producción agrícola y los proyectos de mejoramiento nutricional no son suficientes para reducir el hambre y la malnutrición. No basta tener una política de producción alimentaria complementada por acciones hacia grupos vulnerables de la población.

Todo esto significa que, según el CMA, cualquier plan alimentario no será eficaz si se encuentra desmentido por otras medidas de política económica global del país. Es así que no sirve de nada aumentar la remuneración de los productores agrícolas si, por otro lado, las medidas fiscales confiscan este aumento o si se importan a bajo precio productos alimentarios. Además no existe una estrategia alimentaria única que pueda aplicarse a todos los países en desarrollo y en cualquier momento. Cada estrategia es específica en función de los problemas y potencialidades de cada país, y cada estrategia debe ser muy flexible y debe someterse a evaluaciones regulares, reajustes y reorientaciones.

### 1.3. EL UNRISD

El UNRISD, Instituto de Investigaciones de las Naciones Unidas para el Desarrollo Social, fue creado en 1963 con el fin de estudiar el aspecto social de los problemas de desarrollo y, en consecuencia, se preocupa del aspecto alimentario del desarrollo.

La tesis del UNRISD es que el problema alimentario no se limita a ser un problema técnico que tendría puras soluciones técnicas. Se deben considerar todos los elementos del problema y, con este fin, recurrir a las diversas disciplinas científicas y utilizar una aproximación sistemática. Vale decir que, dentro del sistema alimentario, se deben identificar los subsistemas sociales relacionados con la producción, la distribución y el consumo de alimentos y analizar las relaciones estructurales internas de estos sistemas.

El UNRISD sostiene que no existe una solución única para el problema alimentario, que el orden económico mundial condiciona en gran medida los problemas alimentarios, que dentro de los sistemas alimentarios las relaciones mayores son relaciones de poder entre fuerzas y categorías sociales de población ubicadas en varios puntos de la cadena alimentaria. Por eso, cualquier investigación en la materia debe tomar en cuenta el nivel local y nacional pero articulándolos con investigaciones temáticas a nivel internacional. Un estudio de este tipo fue llevado a cabo en 1984 por GARCIA en la región de Bajío en México.

#### 1.4. Las otras organizaciones.

A continuación nos limitaremos a mencionar algunas de las entidades que tienen influencia conocida en las ideas de moda o en las tomas de decisión referentes al campo alimentario tal como el IFPRI, el Banco Mundial, el Club de Roma.

- El IFPRI, Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias, fue creado en 1977 por las Fundaciones Ford y Rockefeller. Sostiene la tesis que la inseguridad alimentaria en los países en desarrollo se debe a la imposibilidad de un acceso confiable al abastecimiento externo, a la inestabilidad regular de los mercados mundiales que no ofrecen directrices confiables para planear las importaciones y establecer una política de producción interna de largo plazo. Muy ligado a los promotores de la famosa Revolución Verde y a los Centros Internacionales de Investigación Agronómica, el IFPRI se pregunta sobre todo cómo acelerar el cambio tecnológico de la agricultura en vista de aumentar los ingresos rurales. Da poca importancia a las relaciones que tiene el sector agrícola con otros sectores de la economía nacional, descuida el papel del mercado, nacional o internacional, de las fuerzas políticas y del Estado. Para el IFPRI el crecimiento acelerado de la producción es esencial para derrotar a la pobreza, de ahí que el cambio tecnológico debe desempeñar un papel central, a pesar de provocar importantes disparidades de ingreso entre regiones e individuos.

- Para el Banco Mundial, las causas del problema alimentario se refieren sobre todo a factores de orden económico y político tales como los precios, los niveles de ingreso, las inversiones en sectores relacionados a la alimentación, las reservas y pérdidas en alimentos, la distribución del suministro entre y dentro de los países. Las soluciones también parecen ser sobre todo de orden técnico, condicionadas por las cantidades de inversiones dedicadas a cada uno de estos problemas.

- Finalmente mencionaremos el enfoque de entidades tales como el Club de Roma o el Instituto Tecnológico de Massachussets. Sostienen que el problema alimentario está vinculado con el crecimiento demográfico y las modificaciones ambientales. Fieles a la antigua concepción de Malthus, afirman que el crecimiento poblacional es muy rápido mientras que la producción alimentaria se mantiene estancada en los países no industrializados que, por otro lado, tienen una expansión demográfica muy elevada. Afirman también que la tierra disponible para nuevos cultivos es insuficiente y cada vez menos productiva por efectos de la erosión. Por estas razones plantean un sistema de control y planificación poblacional: si no se puede incrementar más la producción alimentaria, es necesario disminuir el número de consumidores. Las últimas informaciones hacen pensar que esta concepción es también la del Banco Mundial quien está preconizando este tipo de remedio aún para un país poco poblado como Bolivia.

## 2. PAISES RICOS y PAISES POBRES

Otra línea de demarcación muy importante en lo que se refiere al concepto de seguridad alimentaria se encuentra entre países ricos y países pobres, aún cuando parecen estar de acuerdo en las varias conferencias internacionales en las que participan.

### 2.1. Los países ricos

Son países donde fue ganada la batalla de la productividad, sea agrícola o industrial, y donde el problema es ahora el de la sobreproducción. Las consecuencias de tal situación son la existencia de excedentes estructurales y el riesgo constante de un colapso del mercado y, luego, de los ingresos de los productores agrícolas.

Ahora bien, estos productores tienen organizaciones gremiales poderosas además de un peso electoral considerable que les permite influir de modo eficaz en las políticas de esos países. La orientación de su influencia consiste entonces en mantener sus ingresos, llevando al Estado a subvencionar exportaciones de sus productos agrícolas a todo costo en vez de encarar una revisión de su política de producción excedentaria. Este es el caso de los países de América del Norte como de los de Europa, razón por la cual entablan una guerra económica sin piedad. Además, a nivel de estos Estados, los excedentes alimentarios se utilizan en el marco de su influencia geopolítica para apoyar o desestabilizar a países que tienen problemas de escasez alimentaria. Es de conocimiento público, por ejemplo, "el arma del trigo".

Es así como, para los países ricos, también llamados del Norte aunque algunos se ubican en el sur del planeta, la inseguridad alimentaria se debe al riesgo de no poder deshacerse de los excedentes de su producción agrícola. Su política agroalimentaria consiste en asegurar el abastecimiento alimentario nacional y en saturar el mercado interno. Política que, a su vez, asegura los recursos de los agricultores nacionales gracias a las exportaciones, aún a costa de subvenciones que dañan el presupuesto del país. Es así como se puede entender porque las entidades internacionales, en las que estos países tienen un poder decisivo, consideran esencial el tema del libre cambio y comercio de alimentos. Esto sin citar a los organismos privados para los cuales esta preocupación es prioritaria.

Y aún hay más. Una de las metas de las organizaciones agrícolas de los países del Norte con respecto a los del Sur, es el disuadirlos de buscar cualquier autosuficiencia alimentaria. Tal es así que, en Junio del año pasado, la principal asociación gremial agrícola de Estados Unidos pidió a su gobierno suspender sus pagos a organizaciones internacionales, como el Banco Mundial, mientras éstas ayudaran al desarrollo de producciones

agrícolas en países del Tercer Mundo (Lettre de Solagral, N° 19, p.7).

## 2.2. Los países pobres

### 2.2.1. Enfoque general

Es obvio que, para los países desarrollados, el problema es completamente diferente, puesto que se trata de la alimentación e, incluso de la sobrevivencia de su población.

Con el afán de enfocar correctamente este problema, es necesario, tal vez, distinguir dos nociones a menudo confundidas. La noción de estrategia alimentaria y la de seguridad alimentaria. Las estrategias alimentarias son sólo medios para alcanzar un objetivo pero son, en sí, nociones neutras y, es este punto discrepamos con el CMA quien define la estrategia alimentaria como "un medio que permite a un país alcanzar mayor grado de autosuficiencia alimentaria". Para nosotros, estas estrategias son sólo medios utilizados por los diversos actores del sistema alimentario. Medios que pueden conducir al país y a sus consumidores tanto a la seguridad como a la inseguridad alimentaria, tanto a la autosuficiencia como a la dependencia alimentaria. Las estrategias están supeditadas a una filosofía, a un proyecto general sobre lo que debe ser la situación alimentaria del país.

Entre los países en vías de desarrollo existe un acuerdo casi unánime sobre la necesidad de alcanzar la seguridad alimentaria. Sin embargo, no hay que ser demasiado cándido en la materia : es un hecho que para algunos gobiernos de estos países, el tema se ha politizado y es un método para obtener donaciones o importaciones alimentarias a bajo costo, un medio para suplir la falta de una política agroalimentaria nacional y para mantenerse en el poder, sosegando el descontento del pueblo.

Dejando de lado este caso, se debe considerar que existen tres principales vías para alcanzar la seguridad alimentaria : la de la autosuficiencia, es decir que la producción agrícola nacional cubra todas las necesidades del país; la del aprovechamiento de las importaciones y asistencias procedentes de los países ricos, en desmedro de la producción nacional, y la de una ponderación de ambas fuentes de abastecimiento.

Para hacer una elección entre estas vías, se deben tomar en cuenta las particularidades propias del país y de su población. Una población no sólo está compuesta por consumidores sino también por productores agrícolas. Por ello, para un país como Bolivia donde más de la mitad de la población vive en el campo y donde alrededor del 60% de los alimentos consumidos son producidos por los campesinos, parece evidente que la seguridad alimentaria no puede basarse en las importaciones. Además, es importante destacar los peligros, ilusiones y la falta de fiabilidad de

una seguridad basada en el mercado internacional de alimentos, es decir en excedentes de países sobre los cuales no se tiene ningún tipo de control. Buscando mayores ganancias, estos excedentes pueden ser utilizados con otros propósitos por los países exportadores. Por ejemplo, en la producción de sustitutos del azúcar con cereales; en la producción de carburantes como el bioetanol, que puede producirse no solo a partir del azúcar sino también a partir de los cereales o, simplemente, para la alimentación de los animales...

Sin embargo, dados los requerimientos de consumo alimentario de las poblaciones, por diversas razones ya no es posible para un país, producir y abastecer el mercado interno con todo lo que conforma la demanda nacional. Excepto casos particulares como los de Albania o China Popular, con regímenes políticos autoritarios y cerrados, la seguridad alimentaria no puede implicar una autarcía alimentaria. Pero, los intercambios, es decir importaciones o donaciones alimentarias deben responder a una política general de aprovisionamiento definida con anterioridad y no sobrepasar su papel, vale decir el de complementar la producción agrícola interna en lo que ésta no puede procurar (por razones ecológicas, por ejemplo), o en lo que todavía no procura en cantidades suficientes. En este sentido, la seguridad alimentaria implica que el país produzca los alimentos básicos consumidos por su población (lo que supone una cierta adecuación entre lo que se consume y las potencialidades agrícolas del país), y que las importaciones alimentarias regulares sean sólo de alimentos no básicos de la dieta habitual de la población.

Otro aspecto importante del concepto de seguridad alimentaria para los países subdesarrollados es considerar los dos niveles de seguridad, el nacional y el individual, lo que ya recalca la definición de la FAO después de 1983. El aumento de la producción nacional, la suficiencia aparente a nivel global, a nivel de la contabilidad nacional, no significa que cada individuo tenga acceso seguro y regular a los alimentos que necesita. En este sentido el ejemplo de la India, donde la Revolución Verde determinó un crecimiento considerable de la producción agrícola permitiendo incluso las exportaciones, es elocuente: esta Revolución Verde, basada en el cambio tecnológico (el paquete tecnológico como se lo denomina) ha profundizado las disparidades entre regiones del país y, además, el consumo y la ingesta nutricional per capita han bajado ya que una gran parte de la población no tiene recursos suficientes para acceder a estos alimentos producidos a costo elevado con una tecnología avanzada. Así parece que las dos palabras claves e inseparables de la seguridad alimentaria son "Abastecimiento" y "Accesibilidad", en el caso en que se quiera tomar en cuenta no sólo el nivel del mercado nacional sino también el del consumidor individual.

Para concluir estas consideraciones sobre lo que se debe entender por seguridad alimentaria en países pobres, se puede

definir en qué consisten las estrategias que tendrían dicha meta.

Sus propósitos deberían ser :

1.- Aumentar la producción agrícola nacional básica para satisfacer, en gran medida, el consumo habitual. Estos productos básicos deben ser aquellos que se adapten a la ecología del país. En este sentido, el Plan-Alimentario-Nutricional ha elaborado para el Ministerio boliviano de Planeamiento y Coordinación un listado de productos a los cuales es imperativo añadir los nativos como la quínuva, el tarwi, la cañahua, la oca, la papaliza, etc...que ni siquiera aparecen (ILDIS, 1986, p.42). Aquí se puede concebir la idea de una protección de la agricultura a nivel regional y a nivel del conjunto de los países vecinos.

2.- Mejorar las condiciones para la distribución interna de los productos nacionales, es decir enfatizar la infraestructura vial y comercial y conformar cooperativas de comercialización para los productores.

3.- Crear stocks alimentarios en base a productos nacionales, tanto en los lugares de producción como en los de consumo.

4.- Hacer que los consumidores puedan acceder a productos básicos, lo que supone recursos suficientes y salarios adecuados.

5.- Preservar el potencial productivo del país: suelos, plantas, fuentes de energía, etc... lo que supone una agricultura adaptada a las potencialidades de la tierra; en Santa Cruz se abandonan cada año alrededor de 20 mil hectáreas de tierras cultivadas porque se han agotado y se pierden alrededor de 2 mil hectáreas por erosión eólica (ILDIS, op.cit., p.82). La riqueza agrícola no se debe explotar como una mina: preservar el potencial agrícola del país es compromiso con el futuro y con sus generaciones.

6.- Realizar importaciones que sólo abarquen de manera regular productos alimentarios no esenciales al consumo nacional, como los de lujo que luego pueden imponerse con aranceles elevados.

7.- Utilizar la asistencia internacional sólo en caso de graves e imprevisibles crisis coyunturales, tales como catástrofes naturales.

#### 2.2.2. El caso de Bolivia

En el caso particular de Bolivia, no existen muchos documentos que permitan tener una idea clara de lo que significa el concepto de seguridad alimentaria para las autoridades gubernamentales.

Según un informe del Ministerio de Planeamiento y Coordinación (1984), "La Seguridad Alimentaria es definida como el conjunto de acciones que garantice a la población en general un abastecimiento permanente y seguro de alimentos en cantidad, calidad y precios que satisfagan sus necesidades alimentario-nutricionales básicas por acciones en los sectores de la producción agropecuaria, transformación agroindustrial, almacenamiento, comercialización, reservas y consumo".

Aunque esta definición amalgame las nociones de estrategia alimentaria y seguridad alimentaria, resulta bastante amplia, abarcando a toda la cadena alimentaria y a los diversos sistemas involucrados. Es necesario recalcar también que esta definición considera el problema de los precios de los alimentos, vale decir el de la accesibilidad de los alimentos para los diversos grupos poblacionales. Sin embargo se debe destacar que esa concepción del tema no implica necesariamente una cierta independencia o, cuando menos, una parcial autosuficiencia del país: no precisa en qué medida la producción agropecuaria nacional o las importaciones y donaciones deben procurar este abastecimiento permanente y seguro y no plantea pautas al respecto.

Otro documento más reciente es una publicación del partido gubernamental actual, que tiene por objetivo el implantar la idea del "Agropoder". Presenta la siguiente definición de seguridad alimentaria: "Un proceso hacia el autoabastecimiento, el mejoramiento nutricional del pueblo y la generación de excedentes exportables". Y el documento añade sin ambigüedad: "La gran batalla anti-imperialista actual consiste en la liberación de la dependencia alimentaria".

Una de las características de esta definición es presentar la seguridad como un "proceso hacia", algo que debe ser progresivo pero que debe tender al autoabastecimiento para alcanzar la independencia alimentaria. Sin embargo, no toma en cuenta el problema de la accesibilidad para todos a los alimentos ofrecidos en el mercado. No es útil producir más si la población no tiene recursos suficientes para adquirir los alimentos producidos. Además, esta definición introduce una noción ajena a la problemática, la de excedentes exportables, que consiste en exportar productos agrícolas (probablemente en lugar de productos minerales) para crear divisas. Divisas que serían utilizadas en la compra de alimentos importados, lo que involucra al país en otra cadena de dependencia alimentaria opuesta a la seguridad alimentaria de la población nacional.

En la actualidad, citar estas definiciones puede ser algo cruel. En la realidad de los hechos, al estar abierta y desprotegida a todos los productos del mercado internacional, Bolivia no se encuentra en condiciones para poner en práctica dichas definiciones. Tal es así que el tema ya no está más de moda, y la seguridad alimentaria depende totalmente de las fuerzas del mer-

cado interno, a tal punto que se pudo escribir: "Lo que el comercio exterior deja, queda para el mercado interno" (ILDIS, op.cit., p. 77). En este aspecto, Bolivia puede ser considerada como un tema de estudio para los alumnos economistas. Lamentablemente se observa que las medidas económicas actuales, cuyo resultado consiste en dejar inundar el mercado nacional con productos alimenticios extranjeros, no asegura la seguridad ni del país ni la de los individuos, ya que el 60% de los niños menores de 5 años sufren de desnutrición y varios índices demuestran que esta situación ha empeorado en los últimos años.

## CONCLUSIONES

Una de las conclusiones de esta exposición podría ser insistir en el hecho de que la seguridad alimentaria debe integrarse a las prioridades del desarrollo en cualquier país del Tercer Mundo ya que se trata de su capital humano, a veces el único que se posee. Sin embargo, cada país debe elegir las estrategias más adecuadas para alcanzar la meta : no existe recetas universales.

Esto supone que el Estado debe tener un conocimiento bastante preciso de la situación agrícola y nutricional, de los requerimientos y recursos alimentarios nacionales; es decir que debe poseer un sistema de evaluación y vigilancia alimentaria que cubra todo el país. Esto supone también que, conocidos los recursos y potencialidades del país, se defina cuál debe ser el grado de autosuficiencia nacional, con qué tipo de alimentos básicos y qué tipo de alimentos pueden ser importados o rechazados. Además, la autosuficiencia no debe limitarse a la autoproducción de alimentos básicos sino que debe tomar en cuenta la dependencia generada por el uso de insumos importados y debe tender a reducirla a través de diferentes vías (producción nacional de fertilizantes, herramientas y maquinaria, desarrollo de una agricultura biológica, etc...).

Por último, y sobre todo en un país como Bolivia, se debe planificar cuidadosamente qué tipo de agricultura se debe fomentar: agricultura capitalista, que siempre tiene altos costos de funcionamiento o, agricultura campesina con menos rentabilidad por hectárea pero más empleo, más intensidad y rendimiento de trabajo? En la materia, no existen tampoco recetas universales: cada país tiene que seguir el camino que se adapte más a su realidad económica y social. Sin embargo, se debe desconfiar de todo tipo de posición ideológica rígida. En cualquier país, los modelos puros sólo pueden aplicarse en detrimento del bienestar del pueblo ya que no toman en cuenta la complejidad de la realidad. En materia de política alimentaria, la primera pauta debe ser la de la sabiduría, ya que se trata de la salud de la Nación, y sobre todo de la de los niños, es decir del futuro del país.

## BIBLIOGRAFIA

Conseil Mondial de l'Alimentation (C.M.A), 1982 - Les stratégies alimentaires nationales pour vaincre la faim. 51p. Rome.

COURADE, G., 1987 - Pélerinage aux sources: concepts et analyses de la question agro-alimentaire dans le système des Nations Unies. In: Terres, comptoirs et silos. Colloques et Séminaires, éd. de l'ORSTOM (33-74). Paris.

COURADE, G., 1987 - Le risque d'insécurité alimentaire. Supplément à La Lettre de Solagral, n°16, mai-juin, (5-9). Paris.

Instituto Latinoamericano de Investigaciones Sociales (ILDIS), 1986 - Seguridad Alimentaria. Debate Agrario, n°6, 124p. La Paz.

JANVRY, A., 1986 - Sécurité alimentaire et intégration de l'agriculture. Options et dilemmes. CERES, vol.19 n°1 (32-37).

KERMEL-TORRES, D., 1987 - Disponibilités et disparités alimentaires en Inde: l'Impact du "Public Distribution System". In: Terres, comptoirs et silos. Colloques et Séminaires, éd. de l'ORSTOM (235-256). Paris.

Ministerio de Planeamiento y Coordinación (MPC), 1984 - Sistema nacional de Seguridad Alimentaria. Informe. Seminario sobre el sistema nacional de seguridad alimentaria. 15-17 de Octubre. Comisión técnica interministerial. Mim.

PACHECO, A., 1986 - El Agropoder y el marco conceptual de la seguridad alimentaria. In: Alimentos para todos, Simposio sobre políticas de seguridad alimentaria, 26-28 de Febrero de 1986 (651-674). M.P.C.- UNICEF, La Paz. 706p.

PRUDENCIO, J., 1987 - La inseguridad alimentaria en América Latina: el caso del trigo y los cereales básicos. Propuesta de seminario-taller. CERES, 23p + anexos (no publicado). La Paz.

SCHEJTMAN, A., 1983 - Análisis integral del problema alimentario y nutricional en América Latina. Estudios Rurales Latinoamericanos, vol. 6, n°2-3 (141-180).

SCHEJTMAN, A., 1985 - Sistemas alimentarios y opciones de estrategia. Pensamiento Iberoamericano, Revista de Economía Política, n°8, Julio-Diciembre (37-68).

Supplément à la LETTRE de SOLAGRAL, 1987 - Crise de politiques agricoles et politiques agricoles de crise. Déc-Janv. (6-8).

VALDES, A., 1983 - La seguridad alimentaria, un problema de estabilización para los países en desarrollo. Comercio Exterior, vol.33 n°12 (1135-1141). México.

X., s.f.- Agropoder, nuevo estilo de desarrollo nacional. Coord. Nal. Com. Social - CONARAL - D III. La Paz.

## EL INSTITUTO FRANCÉS DE ESTUDIOS ANDINOS

( I F E A )

Yves SAINT-GEOURS x

La fundación del Instituto Francés de Estudios Andinos, en Lima, en 1948 (organismo dependiente del Ministerio francés de Asuntos Exteriores), fue el resultado de una larga tradición que había sido marcada por la primera misión geodésica del siglo XVIII, por Alcides d'Orbigny y, en el siglo XX, por Luis Baudin o Paul Rivet. Esta tradición explica el hecho de que el Instituto haya abarcado variadas disciplinas, de la arqueología a la paleontología, de la geología a la antropología...

Desde el principio, el propósito era de "realizar investigaciones en el campo y de ser un organismo de enlace entre los hombres de ciencia de América Latina y los medios científicos de Francia y de idioma francés interesados en temas andinos". Esta doble vocación inicial sigue siendo hoy la justificación de nuestra existencia.

Como primer director del Instituto, el profesor Jehan Vellard desarrolló estudios de etnografía y antropología en la zona del lago Titicaca, mientras que Robert Hoffsteter investigaba en el campo de la paleontología. Esta fue la primera acción del Instituto en Bolivia. Desde entonces, el Instituto que, recordémoslo, trabaja también en Ecuador, Colombia y Perú, no estuvo siempre presente en Bolivia, por lo menos hasta fines de la década del 60.

Con la llegada de Nathan Wachtel, cuyos trabajos sobre la "visión de los vencidos" y sobre los Urus son muy conocidos, se renovó la tradición de etnohistoria y de antropología. Después, Thierry Saignes emprendió una larga tarea de investigación sobre las poblaciones de la vertiente oriental de la cordillera a lo largo de cinco siglos de dominaciones distintas y de migraciones...

Por su lado, Gilles Rivière estudió las estructuras comunitarias en Sabaya y, Jean-Pierre Lavaud la sociología de los grupos de poder del país.

x Director del Instituto Francés de Estudios Andinos  
 Contralmirante Montero 141, Miraflores-Lima. CP 18-1217, Lima 18, PERU.  
 Edificio Alianza Francesa. Calle Ingavi. La Paz, BOLIVIA.

Como se puede notar, una de las características del IFEA es la de dar a investigadores aislados, a individuos de talento, una oportunidad de trabajar durante dos años al amparo de nuestra institución antes de regresar a Francia para incorporarse a entidades de trabajo permanente (Universidades, Centro Nacional de Investigación Científica, ORSTOM).

Además, el Instituto tiene también sus propios programas de investigación. En Bolivia, un hito de su actividad fue el programa que se desarrolló entre 1974 y 1980 en el marco del proyecto UNESCO: El Hombre y la Biosfera, en su punto 6 : Impacto del Hombre sobre los ecosistemas de sierra. En el marco de las Ciencias Sociales, el propósito era, en Ambana, provincia Camacho del departamento de La Paz, "tratar de comprender las modalidades de la explotación por un campesinado andino, de terrenos dispuestos entre 1600 y 4600 m, en un valle andino de la Cordillera Oriental en Bolivia, y de analizar las transformaciones de las sociedades locales". El proyecto fue multidisciplinario, cooperaron historiadores, agrónomos, sociólogos y se llevó a cabo gracias a un convenio con la Prefectura del Departamento de La Paz. Se elaboró también, un Programa de Desarrollo integrado involucrando tanto al IFEA como al Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios, al CICDA, a la Federación Departamental de Campesinos, al Programa Nacional de Desarrollo Rural Integrado...

Esto último refleja otra característica del Instituto : no hay investigación sin inserción en el medio científico nacional. Existe siempre un marco de cooperación y es en este marco que le corresponde al IFEA participar en la formación de investigadores nacionales y trabajar en favor de la revalorización de los patrimonios mal conocidos o mal utilizados, de acuerdo a las solicitudes que le son presentadas.

En los últimos años, el sociólogo Georges Pratlong hizo un estudio de campo sobre el individualismo en una sociedad comunitaria, la del pueblo de Condo, Departamento de Oruro. En colaboración con el INAR, Patrice Lecoq trabajó en la zona intersalar para elaborar un mapeo cabal de los sitios arqueológicos. Josyane Ronchail, mediante un acuerdo con ORSTOM, estudió los climas de Bolivia en el marco del programa PHICAB.

Actualmente, Catherine André analiza las estrategias de los grupos acomodados en un período de crisis e, Isabelle Combes, los ciclos festivos en el valle de Ingre. Finalmente, Xavier Bellanger está profundizando sus estudios en etnomusicología en la zona de norte-Potosí : este año debe editarse un disco laser de esta música, en coedición GREM-IFEA.

Por otro lado, el Instituto tiene la intención de publicar a la brevedad posible y en castellano, los resultados de sus investigaciones para ponerlos a disposición de los bolivianos. Esta es la razón de su política de coedición con CERES de Cochabamba,

el MUSEF de La Paz o HISBOL. En la colección TRAVAUX del IFEA, se publicó :

- AMBANA. Tierras y Hombres (coedición con el Comité Nacional de Bolivia del Programa del Hombre y la Biosfera, MAB).
- Diccionario y Maneras de hablar que se usan en las minas (coedición con el MUSEF).
- Diccionario de la Lengua Aymara, de Ludovico Bertonio (Facsímil, coedición con CERES y el MUSEF).
- Thierry Saignes : Los Andes Orientales, Historia de un olvido (coedición con CERES).
- Thérèse Bouysse-Cassagne : Identidad Aymara. Aproximación histórica (Siglo XV, Siglo XVI). (Coedición con HISBOL).

Para un futuro próximo se planea publicar dos libros más, uno sobre la Confederación Charca Caracara de Thérèse Bouysse-Cassagne, Olivia Harris, Tristan Platt y Thierry Saignes y otro sobre Sabaya de Gilles Rivière.

Dada su dimensión reducida y sus recursos limitados, el IFEA no ambiciona ser un centro de desarrollo, sino, básicamente, un centro de investigación que destaca a científicos de alta calidad para que investiguen y participen en la formación y capacitación de jóvenes especialistas y, también, para que entren en diálogo - de igual a igual - con los científicos nacionales. Y, como un reto para el porvenir, el Instituto Francés de Estudios Andinos, que trabaja en los otros países del área, debe ser un instrumento de integración regional y que sirva para poner en contacto a científicos que, a menudo, se encuentran aislados.

---

CICLOS FESTIVOS EN EL VALLE DEL INGRE

---

Isabelle COMBES <sup>x</sup>

---

Intentaré, en esta breve comunicación, exponer los primeros resultados de una investigación de campo entre los guaraníes chiriguanos, iniciada el mes de Enero de 1988. La zona de estudio es el valle del Ingre (provincia Hernando Siles, departamento de Chuquisaca), y fue escogida por dos razones principales: en primer lugar porque, aunque corazón de la "Chiriguanía", esta región es casi ignorada por los antropólogos que concentran más sus esfuerzos en los guaraníes izoceños del departamento de Santa Cruz; en segundo lugar porque, teatro de la rebelión del cacique Cumbay a fines del siglo XVIII - zona dominada hoy por varias familias de hacendados - el valle del Ingre plantea abiertamente el problema de la "des-chiriguанизación" a través de lo que la antropóloga Branka Susnik ha llamado "el conflicto maíz/vaca" (Chiriguanos I: dimensiones etno-sociales, Asunción, 1968): es decir el conflicto, permanente en la historia de los guaraníes de Bolivia, entre la civilización chiriguana (caracterizada como "civilización del maíz" por B. Susnik), y los colonizadores españoles, más tarde nacionales. Más que por el ejército o las armas, los chiriguanos fueron reducidos por la implantación de la hacienda y la estancia, por la "civilización de la vaca".

Después de haber realizado estudios etno-históricos sobre la formación de la sociedad chiriguana en el siglo XVI (migraciones desde Paraguay y Brasil, mestizaje con los chanes, etc), escogí como tema principal de mis investigaciones el de la definición de su propia identidad por los chiriguanos de hoy. Ahora, después de varios meses de trabajo de campo, me parece posible y muy provechoso estudiar este tema a través del ciclo (mejor dicho de los ciclos) de las fiestas en el Ingre: en breve, poner en evidencia la existencia de dos ciclos de fiestas, el uno más "tradicional" y el otro más "cristiano" ("cristiano" siendo la denominación de los bolivianos "criollos" de la zona por los guaraníes, cuando hablan castellano; la palabra correspondiente en guaraní es Karai). Ciclos que reproducen, a su modo, el antiguo conflicto "maíz/vaca".

Encontramos, en primer lugar, el Carnaval, la fiesta más

---

<sup>x</sup> I.F.E.A  
Instituto Francés de Estudios Andinos

famosa de los chiriguanos y objeto de numerosos estudios de calidad (Newbery, Palavecino,...). Analizada por todos como la fiesta donde se expresan más y mejor la cultura y la identidad chiriguanas. El Carnaval lleva de hecho el nombre de Arete- o sea el "tiempo verdadero", la fiesta sin lugar a dudas.

Este nombre era, en particular, el de las antiguas fiestas de victoria de guerra: hoy en día se observa el uso del angoa (un pequeño tambor) y de la flauta, ambos instrumentos de música de guerra. Se observa también que los enmascarados persiguen a los jóvenes menores, golpeándoles como antiguamente se tenía que golpear a los jóvenes guerreros (queremba) para iniciarlos. En la actualidad la pelea existe todavía, es la que opone la máscara yagua (jaguar), y la máscara del toro. No es difícil descubrir en este combate y en la victoria sistemática del jaguar, la figuración simbólica de una victoria de los chiriguanos sobre los blancos; sobre el toro, la vaca - sueño de un mundo imposible, de un mundo al revés (al mismo tiempo, durante la pelea de las dos máscaras, algunos hombres se disfrazan de mujeres, algunas mujeres de hombres, como para apoyar esta idea de inversión de la realidad) - un mundo que es realidad durante una fiesta, el Carnaval. Que esta victoria, la del "maíz" chiriguano contra la "vaca" blanca, sea cierta, puede demostrarse a través de varios datos: la flor emblema del Carnaval, adorno de la cruz de la fiesta, es el Iaperigua, de color amarillo y cuya forma es similar a la del choclo; aticu, término que designa la víspera del Carnaval, es una raíz lingüística que se encuentra en palabras como aticúi: harina de maíz, o aticuencue: hez de chicha. Finalmente y sobre todo es necesario decir que, la duración y la intensidad de la fiesta dependen únicamente de un sólo factor: la cantidad de chicha.

Otro aspecto de la fiesta: la llegada de los muertos sobre la tierra, figurados por las máscaras (aña-aña: aña es el alma de los muertos). Esto permite relacionar el Carnaval con otra fiesta, Todos Santos; donde llegan también los muertos, donde se tocan también el angoa y la flauta. Quisiera insistir sobre la necesidad de estudiar juntas todas las fiestas del ciclo anual, para poder elaborar una verdadera visión general del sistema.

A estas fiestas "tradicionales" se oponen las fiestas cristianas. En esta zona tenemos, en primer lugar, la fiesta de la Virgen del Rosario del Ingre (del 6 al 10 de octubre). En ella, los "cristianos" disfrazados se apromesan a la Virgen, y sobre todo figuran la pelea de los soldados de la fé contra los salvajes y paganos; contra los Tobas, los Matacos, y los Chiriguanos y, es bastante divertido notar que para los guaraníes mismos de la zona, "chiriguano" es sinónimo de "cristiano disfrazado de salvaje"... De hecho, los guaraníes se dicen Mbya ("hombre"), y se sabe que la palabra "chiriguano" nunca fue su auto-denominación.

Si bien la fiesta de la Virgen es muy apreciada por los guaraníes (es "la fiesta", como lo es el Carnaval - Arete en guaraní - dentro de las fiestas tradicionales), cabe recalcar que ellos nunca participan. Vienen para mirar; "fiesta de cristianos no más". Podemos agregar que esta fiesta es la única ocasión, en todo el año, en la que se cuenta con la presencia del Obispo de Cuevo; la única en la que la cinta de la Virgen (la bandera boliviana, o sea "cristiana") se opone claramente a las dos banderas del Carnaval - amarilla y verde -; nunca roja, por temor a la sangre. Recalcar finalmente y sobre todo, que la salida de la imagen de Santiago montado a caballo (Santiago, patrón de la conquista española, cuya fiesta se celebraba hasta los años 1940 en el Ingre), las corridas de toros, ponen esta fiesta bajo el signo del Toro, de la "vaca".

Lo mismo se puede decir de la fiesta de San Juan, el 24 de Junio, cuando se marca el ganado vacuno (perteneciente a los hacendados y a los peones guaraníes). Podemos citar también la de la Pascua y la fiesta de la Cruz (3 de Mayo), cuando "se saca el chivo". "Chivo", "toro" o "vaca", "caballo", son las palabras castellanas que emplean los guaraníes para evocar una realidad afueraña. Otra característica común a todas estas fiestas es que en vez de tocar de angoa se toca el bombo (se dice "bombo" en guaraní); en vez de la flauta de Carnaval otra clase de flauta...en vez de las ruedas de Carnaval se bailan las cuecas bolivianas; se escuchan casetes y radio.

Para concluir diré que es bastante evidente la existencia de dos ciclos de fiestas en el Ingre (Carnaval-Todos Santos/Virgen-Pascua-Cruz-San Juan) que reproducen el antiguo maíz/vaca. Sin embargo, quisiera agregar que en este conjunto de fiestas dos: Todos Santos y la Pascua, juegan un papel de transición. Todos Santos porque, a pesar de ser la primera fiesta del ciclo "tradicional", es la más "cristiana" de estas fiestas: fecha oficial en el calendario católico de la celebración de los muertos (notemos a este respecto que el Carnaval no sigue el calendario religioso: empieza siempre el domingo antes del miércoles de Ceniza, y puede durar sin ningún problema hasta el tiempo de Cuaresma, si hay bastante chicha). Todos Santos no tiene traducción en guaraní, los indios emplean el término castellano como para Pascua, la Cruz, la San Juan; otro argumento, se ofrecen masitas de harina de maíz a los muertos en los cementerios ("pantéon en guaraní...: el término es él impuesto por los evangelizadores): costumbre que no sólo caracteriza a los guaraníes, sino que es compartida por toda la gente "criolla" de la zona.

Por otro lado, la Pascua - primera fiesta "cristiana" del año - se relaciona sin embargo con el Carnaval: la flor de Pascua (Pascuática) es amarilla como el Iaperigua. Entre Febrero (Carnaval) y Marzo-Abril (Pascua) florece una tercera flor amarilla, llamada en guaraní Iaperiguaray (ray: chico) y

relacionada por lo tanto con el Carnaval... la misma flor es llamada "Pascuatica" cuando los guaraníes hablan castellano. Del mismo modo, Pascua es la única fiesta "cristiana" donde se bailan las ruedas típicas del Carnaval, a parte de las cuecas bolivianas. Es una costumbre bailar en ruedas con la música del violín. Finalmente, podemos decir que "Pascua" es una fiesta de transición porque la última chicha del Carnaval se toma "en tiempo de Pascua" : o sea, cuando "se bota el Carnaval" todavía resta chicha. Se la tomará despues de la botada del Carnaval, y "ya es la Pascua" dicen los guaraníes, ya que se toca otra clase de música, ya que se cantan los aleluyas de Pascua; aunque la chicha que se toma fue elaborada para el Arete.

Así el Carnaval, que es y con razón, para todos los investigadores, la más alta expresión de la cultura y de la identidad chiriguanas, se relaciona con dos fiestas "de transición", "mixtas"... Tal vez esto significa, y concluiré con esta hipótesis, que el Arete de hoy es el reflejo de la búsqueda de una identidad chiriguana ... "mixta y en transición". Una identidad que, sin perder su originalidad, se adapte a la realidad actual. Realidad en la que el maíz y la vaca puedan convivir.

---

LAS ULTIMAS EXPLORACIONES ESPELEOLOGICAS EN BOLIVIA  
EL POTENCIAL TURISTICO DE LA REGION DE TORO-TORO

Olivier MARCANTONI Arnaud APOTEKER Jean Louis GUYOT <sup>x</sup>

Bolivia ha sido considerado, durante mucho tiempo, como un país con muy pocas cuevas y lo poco que actualmente se conoce, se debe esencialmente a la obra de los espeleólogos franceses. Este hecho no es una simple casualidad. En efecto, la Federación Francesa de Espeleología, que agrupa a 5000 miembros, es la más antigua y la más importante del mundo. Esta federación está articulada en diferentes comisiones: una de ellas, la comisión de las grandes expediciones, patrocina cada año una veintena de expediciones por todo el mundo.

En Bolivia, la exploración espeleológica se inició en 1967, con la expedición del Club Alpino Francés en toro-toro, con la participación del Profesor Branisa de Geobol, que reveló la existencia de enormes posibilidades en esta región, sobre todo en la famosa gruta de Umajalanta. Se estableció el primer levantamiento topográfico, a lo largo de 1600 metros. Fue así como esta cueva se convirtió en la primera y verdadera cueva de Bolivia, en comparación con las pequeñas grutas hasta entonces conocidas, como la de San Pedro, en Sorata.

Además de la exploración realizada, los miembros llevaron a Francia un ejemplar de pez cavernícola que había sido descubierto. Los análisis realizados en el laboratorio subterráneo del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (Moulis, Francia) prueban que se trata de una nueva especie, de gran interés científico (fig. 1).

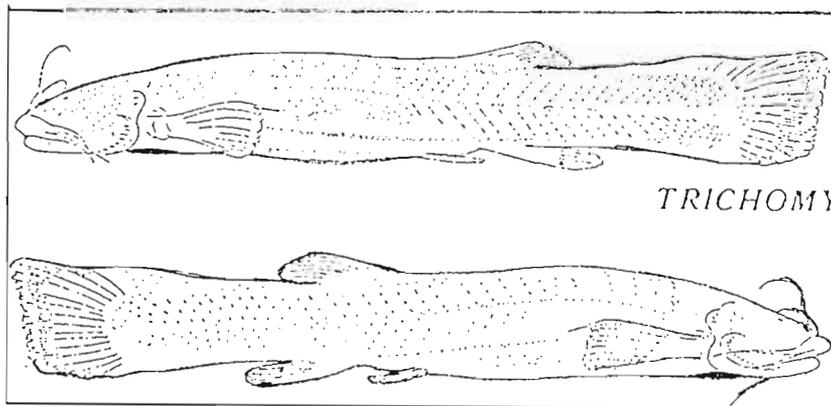


Fig. 1 :

*TRICHOMYCTERUS CHABERTI* SP. N.,

<sup>x</sup> Federación Francesa de Espeleología



Después de la partida de esta expedición, un grupo de espeleólogos bolivianos, dirigido por el Dr. Saavedra Coca, exploró algunas cuevas. Actualmente es imposible encontrar rastros de sus trabajos.

A partir de 1986, gracias a la presencia en La Paz de un espeleólogo del grupo Bagnols Marcoule, la exploración de las cuevas bolivianas continúa. Se ha establecido una topografía precisa de las grutas del departamento de La Paz, en particular de las grutas de hielo de Chacaltaya (5300 m.), de Zongo (4800 m.) y de la gruta de yeso de San Pedro (fig. 2 & 3).

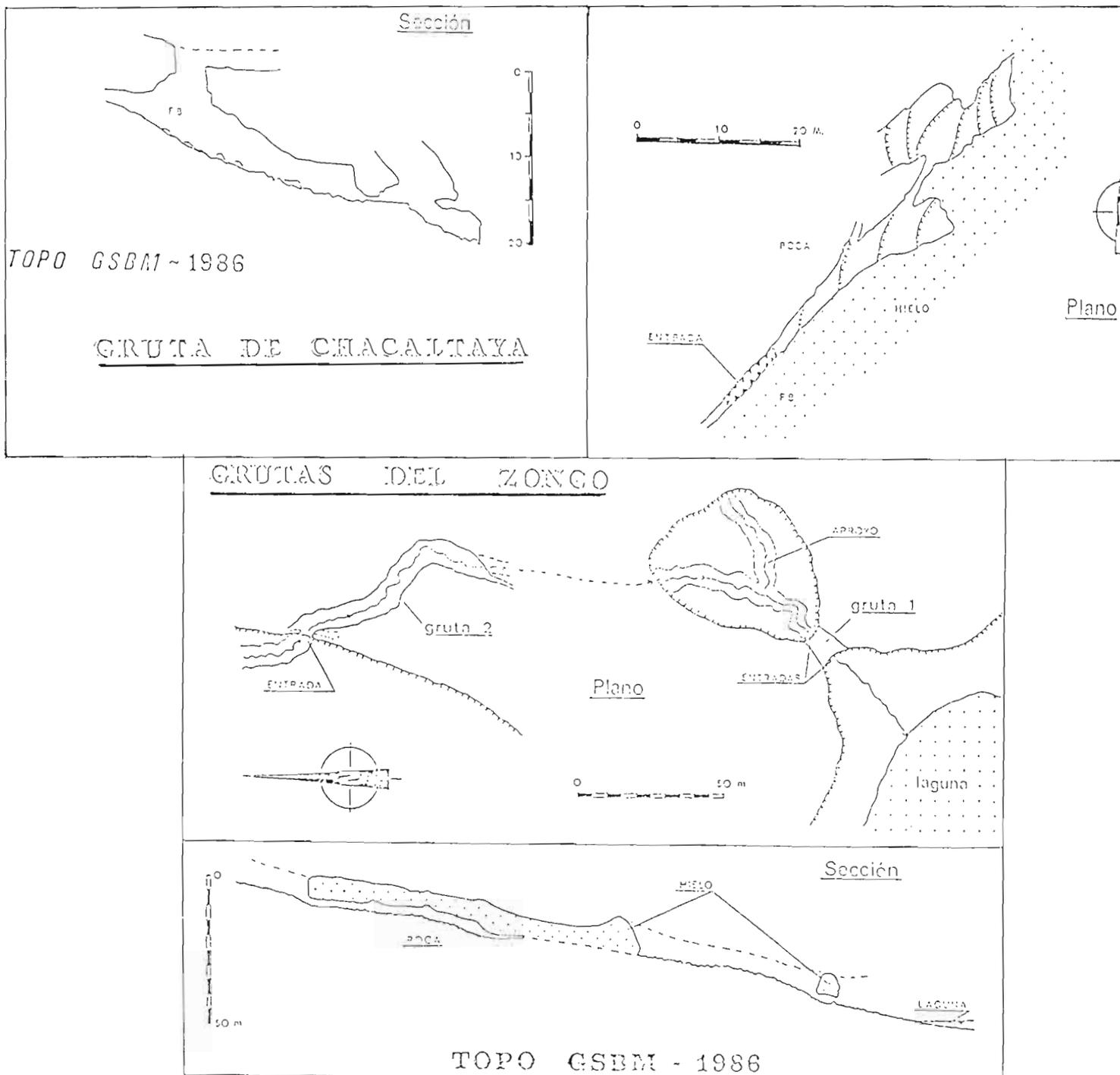


Fig. 2

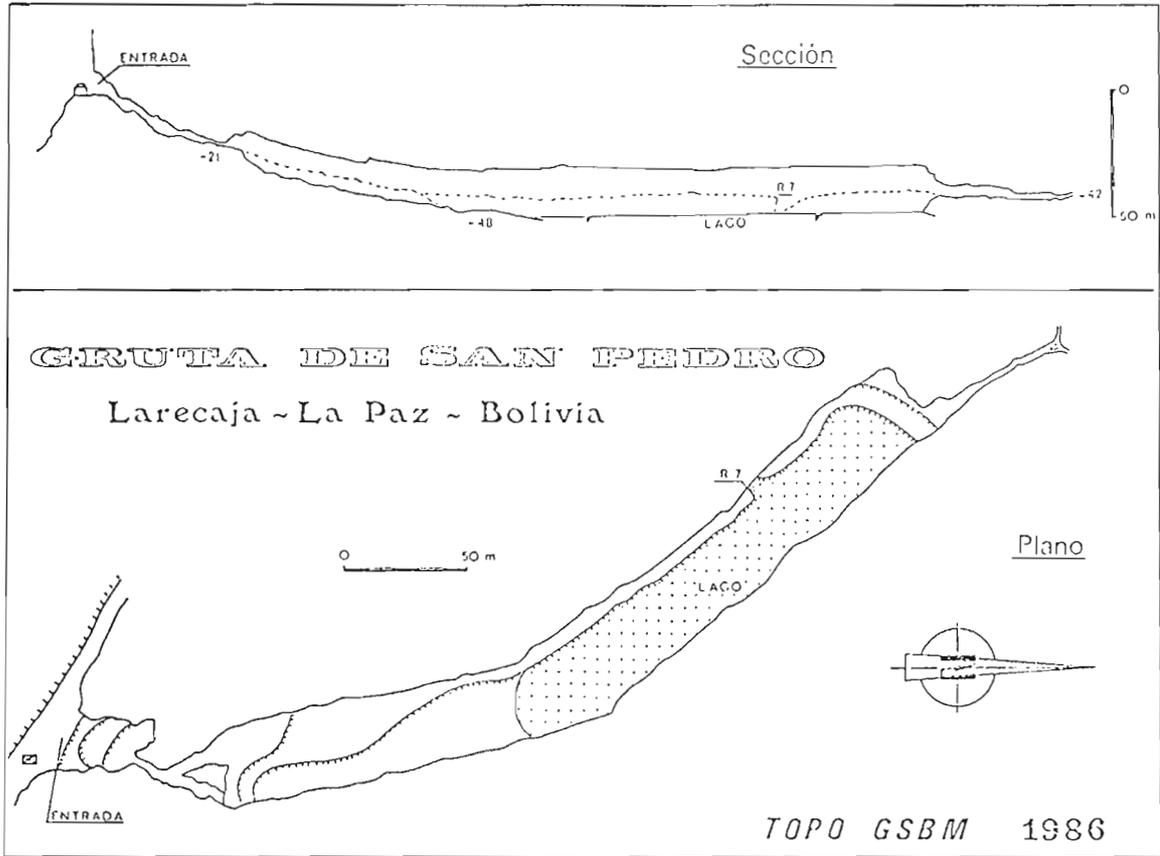


Fig. 3

En 1987, con la ayuda de otros miembros del Grupo de Bagnols Marcoule, y contando con el valioso apoyo de la población local, se ha realizado la exploración de la región de Toro-toro (fig. 4).

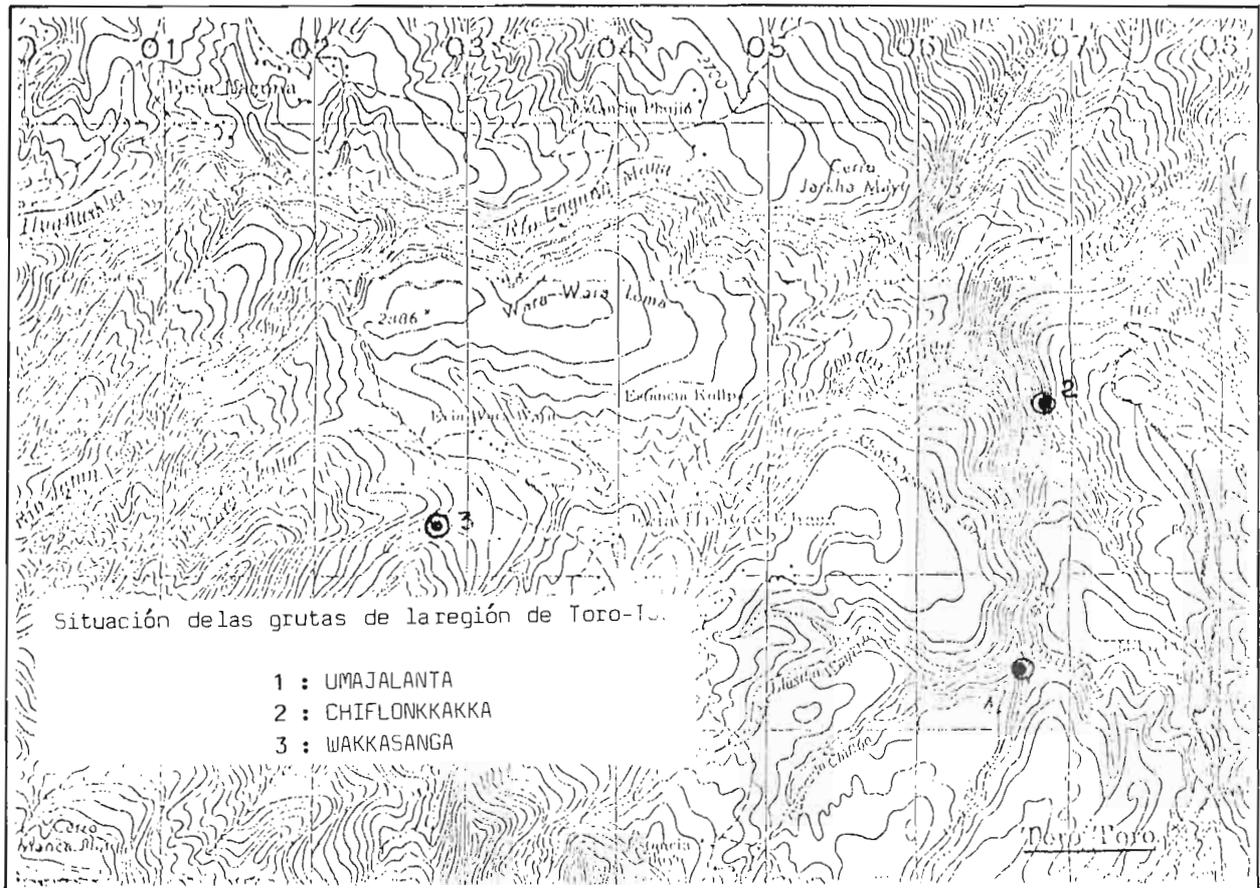


Fig. 4

Esto permitió :

1) Continuar realizando la exploración de la gruta de Umajalanta, que es una pérdida del Río Umajalanta. La red de galería alcanza actualmente 2500 metros para una profundidad de 130 metros. Esta exploración aún no ha concluido (fig. 5).

2) El descubrimiento y la exploración de dos cuevas grutas ; Chiflonkkakka (o Caída de agua) y Wakkasanga (o El Vergel), situadas en el cañon del Río Toro-Toro (fig. 6). En la primera, se ha descubierto un hermoso río subterráneo que se puede seguir sobre más de 700 metros. En la segunda, a pesar de presentar una resurgencia considerable, sólo han sido explorados 30 metros, ya que ésta presentaba un sifón.

3) La localización de nuevas entradas. Una gruta situada frente al pueblo, donde una pequeña represa provee el agua potable. Una exploración rápida permitió constatar que no hay muchas posibilidades. También se descubrió una pérdida del Río Tarakhollu cerca de Umajalanta, donde las posibilidades parecen ser enormes.

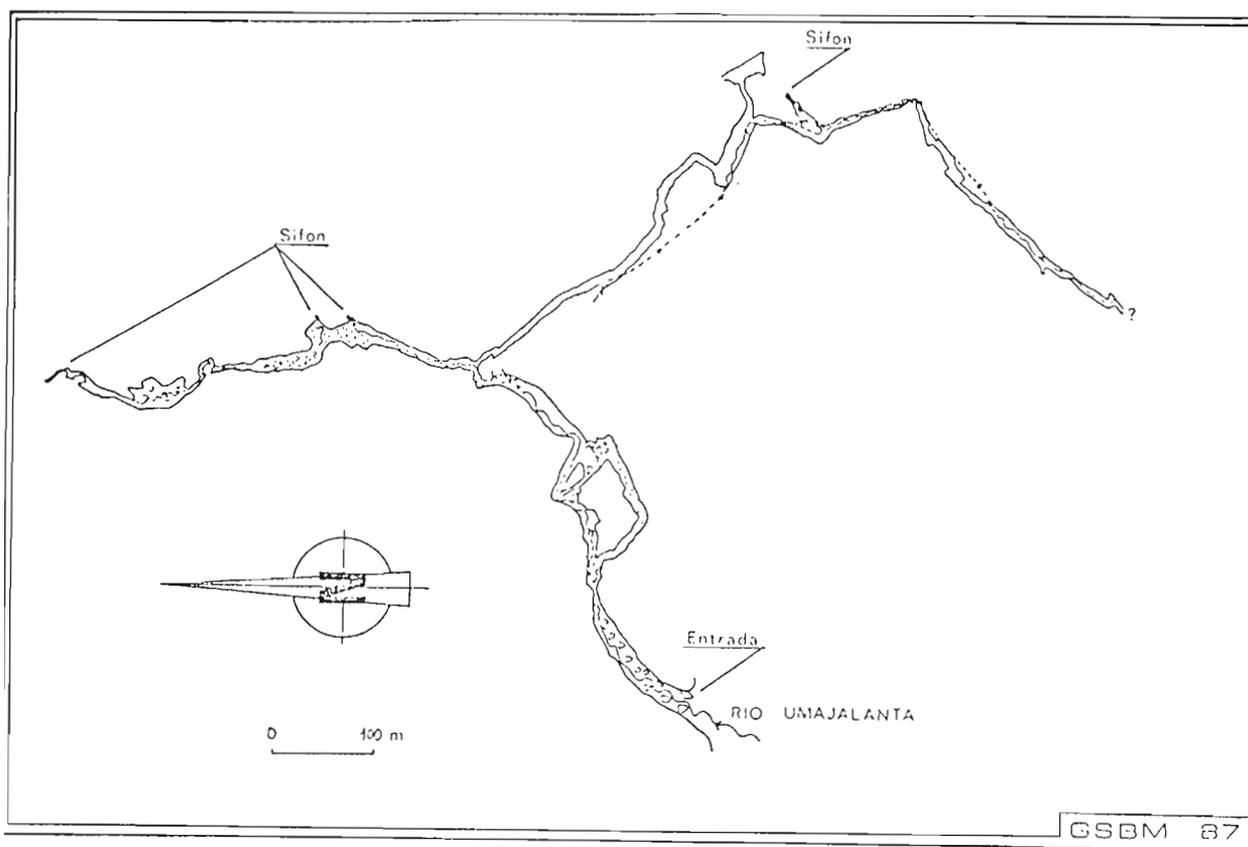
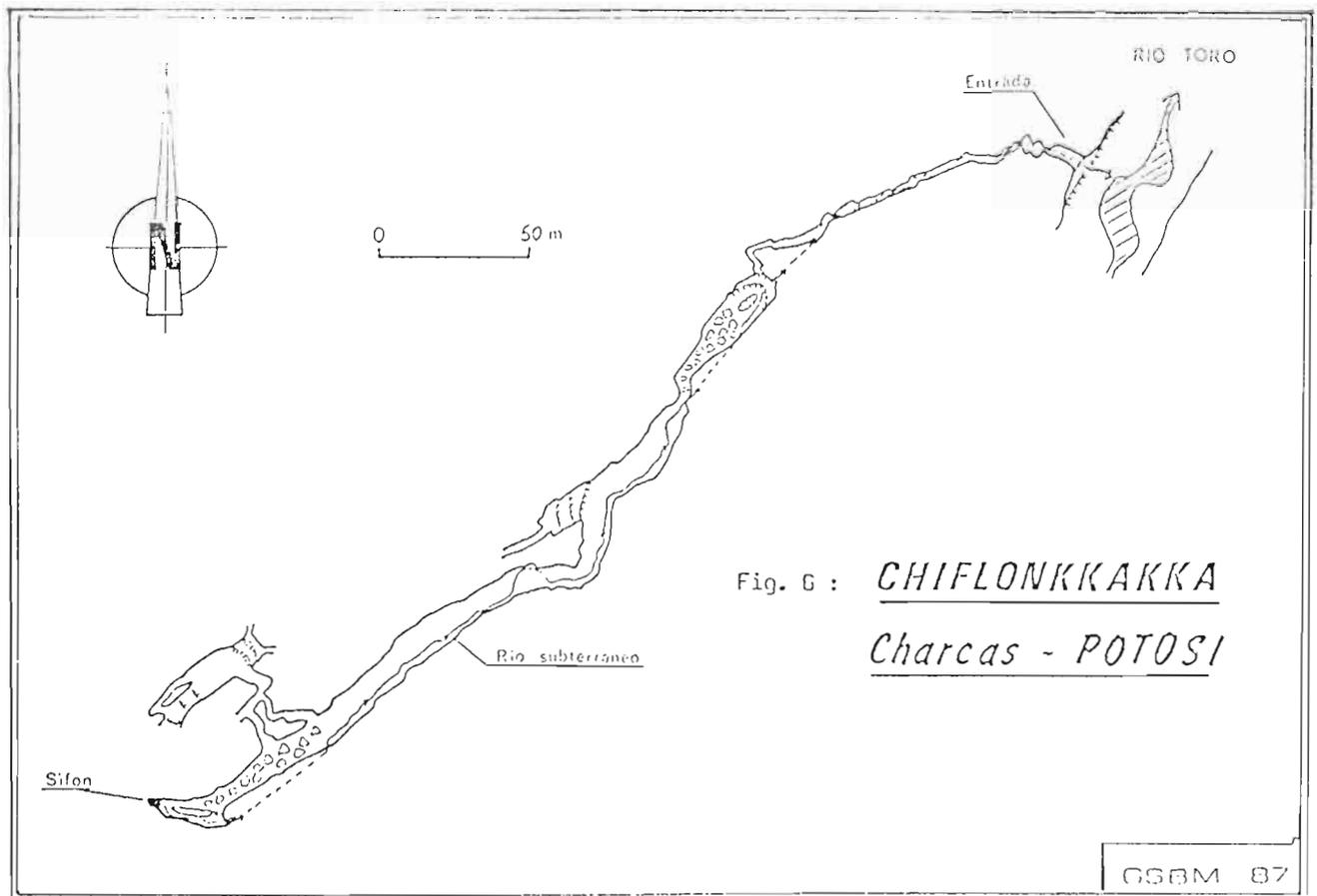


Fig. 5 : CAVERNA DE UMAJALANTA  
Charcas - POTOSI



En consecuencia, las próximas expediciones tienen los siguientes objetivos :

- Continuar con la elaboración de la topografía de Umajalanta.
- la exploración de la nuevas grutas
- la prospección del macizo para encontrar nuevas entradas
- la coloración de los ríos subterranos para reconocimiento de las circulaciones de las aguas. Así, se podría desarrollar la captación de estas aguas para el abastecimiento en agua potable de los pueblos, y también para irrigación en tiempo seco.

En conclusión, la región de Toro-Toro representa un potencial espeleológico considerable, por su geología, su potencial espeleológico y porque existen muy pocas personas que se dedican a esta ciencia deportiva.

Si se contara con algunos arreglos, especialmente el camino que une a Cochabamba, estas cuevas podrían permitir un flujo turístico considerable. Muchas personas del pueblo luchan hace tiempo para conseguir estas mejoras.

Además, las cuevas no son el único atractivo del pueblo y de la región. El clima es muy agradable, de tipo mediterráneo, como también la vegetación, a una altura ideal (2600 metros). Durante mucho tiempo Toro-Toro se destacó por sus viñedos, sus olivos y sus durazneros.

Por otra parte, en los alrededores, se hallan sobre las calizas restos de huellas de dinosaurios. Paleontólogos del mundo entero están interesados en Toro-Toro y ya han encontrado nueve especies diferentes.

Finalmente, se pueden observar pinturas rupestres en el cañón del Río Toro-Toro.

Toro-Toro, un país por descubrir!

---

#### BIBLIOGRAFIA

---

ACHA, R., BERDEJA, I., PEREZ, A., SALAZAR, A., SALAZAR, I., 1981 - "Hacia Toro-Toro". - Andinismo y Excursión (1(3/4)) - p. 20-23.

CHABERT, J., 1967 - "Les grottes de Toro-Toro (Bolivie)". - Grottes & Gouffres 39 - p. 25-27.

CHABERT, J., 1969 - "Naissance de la spéléologie bolivienne" - Spelunca 4 - p. 323-324.

DURAND, JP., 1968 - "Etude des poissons recoltés dans la grotte de Umajalanta (Bolivie). *Trichomycterus chaberti* sp. n." - Annales de Spéléologie 23(2) - p. 243-353.

GUYOT, JL., CLAVEL, C., 1987 - "Les grottes de Toro-Toro en Bolivie" - Spelunca 28.

GUYOT, JL., JEANBOURQUIN, JM., 1986 - "Bolivie. Spéléologie du département de La Paz". - Spelunca 23 - p. 21-22.

MONTANO, M., 1978 - "Espeleología y pintura rupestre". - in Enciclopedia Bolivia Mágica, Boero Rojo H. - p. 362-368.

SPELEO CLUB DE PARIS., 1967 - "La grotte de Toro-Toro (Bolivie)". Spelunca 3 - p. 238.

VALDIVIA, M., 1968 - "Estudio geológico regional de Toro-Toro y sus alrededores". - Tesis de grado - UMSA GEOBOL La Paz - 101 p.

ZAPATA, L., 1980 - "La cueva de San Pedro (Sorata)". - Andinismo y Excursión 1(2) - p. 14-17.

---

