

**CIRCULACIÓN DE MATERIA (AGUA-SALES DISUELTAS)
ATRAVÉS DEL SISTEMA FLUVIO-LACUSTRE DEL ALTIPLANO :
LA REGULACIÓN HIDRICA É HIDROQUÍMICA
DE LOS LAGOS TITICACA Y POOPÓ**

Jean-Pierre CARMOUZE*, G. ARZE** y J. QUINTANILLA**

* *Mission O.R.S.T.O.M., cajón postal 3714, La Paz, Bolivia*

** *Instituto de Investigaciones Químicas de la Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia*

RESUMEN

La circulación media anual de la materia (agua, sales disueltas) através del sistema fluvio-lacustre del Altiplano, que comprende los lagos Titicaca y Poopó ha sido determinada, permitiendonos precisar las regulaciones hídricas (aportes y pérdidas fluviales en agua, evaporación, lluvias, infiltración) é hidroquímicas (aportes y pérdidas fluviales en sales disueltas) de los dos lagos y de compender la evolución de la composición química de las aguas através de este sistema.

RÉSUMÉ

L'écoulement moyen annuel de la matière (eau-sels dissous) à travers le système fluvio-lacustre de l'Altiplano, qui comprend les lacs Titicaca et Poopó, a été déterminé, ce qui a permis de préciser les régulations hydriques (apports et pertes fluviales en eau, évaporation, pluies, infiltration) et hydrochimiques (apports et pertes fluviales en sels dissous, infiltration et sédimentations chimiques) des deux lacs et de comprendre l'évolution de la composition chimique des eaux à travers ce système.

CIRCULATION OF MATERIAL (WATER-DISSOLVED SALTS) ACROSS THE ALTIPLANO FLUVIOLACUSTRINE SYSTEM:
HYDRIC AND HYDROCHEMICAL REGULATION OF TITICACA AND POOPÓ LAKES

ABSTRACT

Mean anual fluxes of water and dissolved salts through the Altiplano system, including the lakes Titicaca and Poopó, have been determined, which enabled one to precise the hydric regulations (water river inputs and outputs, evaporation, rainfall and infiltration) and the hydrochemical regulations (dissolved salt, river inputs and outputs, infiltration and chemical sedimentation) of the two lakes and to understand the chemical evolution of waters through this system.

ЦИРКУЛЯЦИЯ ВЕЩЕСТВА (ВОДА-РАСТВОРЕННЫЕ СОЛИ) ЧЕРЕЗ ОЗЁРНОРЕЧНУЮ СИСТЕМУ АЛЬТИПЛАНО : ВОДНАЯ И ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ РЕГУЛЯЦИЯ ОЗЁР ТИТИКАКА И ПООПО

РЕЗЮМЕ

Был определен средний годовой сток вещества (вода-растворенные соли) через озёрно-речную систему Альтиплано, включающую озёра Титикака и Поопо, что позволило выяснить водные (речные привносы и потери воды, испарение, дожди, просачивание) и гидрохимические регуляции (речные привносы и потери растворенных солей, просачивание и химические седиментации) обоих озёр, и понять развитие химического состава вод в этой системе.

INTRODUCCIÓN

El sistema fluvio-lacustre del Altiplano es una cuenca cerrada de 190 000 km², localizada entre los 14°25' y los 22°50' de latitud sur y los 71° y los 67° de longitud oeste. Tiene la forma de una franja alargada de 200 km² de longitud media, extendiéndose sobre aproximadamente 1 000 km. Su relieve está caracterizado por una vasta planicie central que presenta una ligera depresión a nivel del paralelo 20. Esta planicie encaramada entre los 3 000 y 4 000 m de altura, está rodeada por las imponentes cordilleras Oriental y Occidental, cuyos picos bordean los 6 500 m.

Se halla realizada al norte por los Andes de Garabaya y al sur por la Cordillera de los Lipez (fig. 1). El régimen pluvial disminuye progresivamente de norte a sur : de 1 800 mm/año pasa a 300 mm/año a nivel del paralelo 19 ; a partir del cual, las lluvias son cada vez más raras.

Debido a esta doble gradiente topográfica y climática se tiene una circulación general de las aguas del norte hacia el centro de la cuenca, cargada de sales disueltas y de material sólido en suspensión.

Las aguas convergen en un principio, hacia una depresión profunda del sistema : el lago Titicaca. Luego, la circulación de superficie continúa en dirección de una zona del altiplano, ligeramente hundida : el lago Poopó, que es su punto terminal.

Es esta circulación de materia, limitada a las aguas y a su carga en sales disueltas, la que vamos a definir, y la que nos va a permitir comprender la regulación hidroquímica de los dos medios lacustres.

Para describir la circulación de materia en un lago, se debe identificar y cuantificar, en un tiempo dado, los diferentes transportes de agua y de sales disueltas,

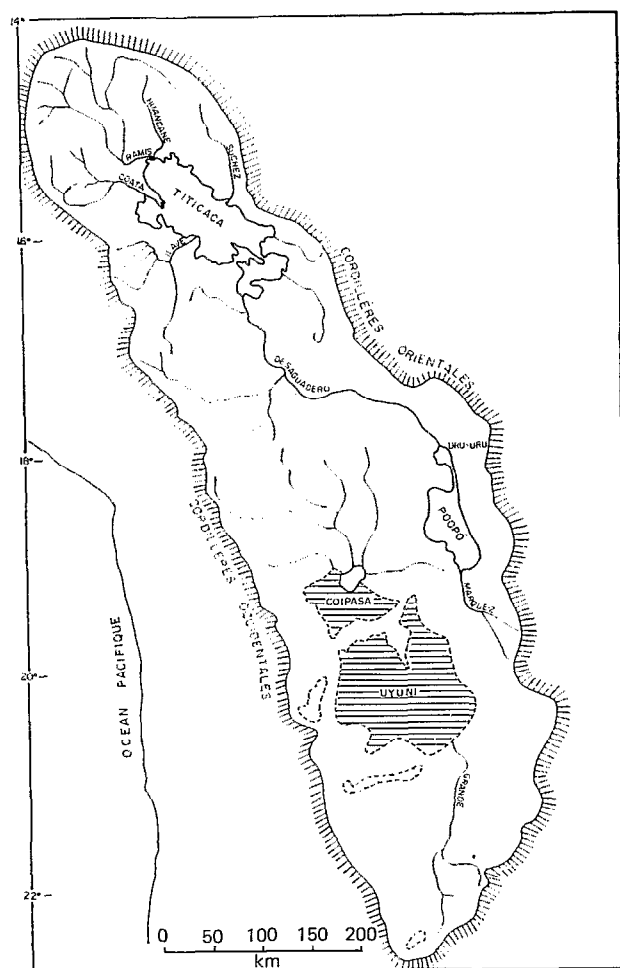


Fig. 1. — El sistema fluvio-lacustre del Altiplano.
Le système fluvio-lacustre de l'Altiplano.

así como la tasa de renovación del volúmen de agua y de la reserva de sales disueltas almacenada en el medio lacustre.

La circulación es irregular y está sometida a fluctuaciones estacionales y anuales, por lo que es recomendable definir inicialmente una circulación medio anual, que depende evidentemente del período considerado.

En general, la elección de un largo período presenta una doble ventaja. En efecto, mientras mayor sea el período considerado, mayor será la posibilidad de extrapolar la circulación media en el tiempo, y su asimilación al de un régimen permanente será justificable en mayor grado.

Esta última ventaja permite describir la circulación de las aguas y de las sales disueltas mediante equilibrios dinámicos que controlan el volúmen del lago y sus reservas de sales.

Los datos hidrológicos disponibles relativos a la cuenca del Titicaca cubren el período de 1956 a 1973, por lo que es el que va a ser considerado.

CIRCULACIÓN MEDIA DE LAS AGUAS DEL LAGO TITICACA

La circulación de las aguas através del Titicaca está esencialmente regulada por una parte, por los aportes fluviales y meteóricos y por otra, por las pérdidas por el Desaguadero (único efluente), por infiltración y por evaporación*.

Estos diversos transportes de agua van a ser sucesivamente cuantificados en valores medios anuales para el período 1956-1973. Una vez caracterizada la circulación de agua através del lago, será comparada al volumen mismo para establecer la renovación de esta última.

Aportes de los afluentes

La cuenca del Titicaca, que se extiende de acuerdo a un eje noroeste-sur-este de 14°5' a 17°5' de latitud sur y de 68°5' a 71°5' de longitud oeste, ocupa 58 000 km² aproximadamente. Situado en la parte suroeste de la cuenca, el lago es esencialmente alimentado por las cuencas de las regiones septentrionales y occidentales, esto de acuerdo a las precipitaciones que aumentan de sur a norte. La red hidrográfica comprende cinco ríos principales : Ramis, Coata, Ilave, Huancané y Suchez.

MONHEIM (1956) dá una descripción detallada de los mismos (fig. 2). Estos ríos son objeto de levantamientos hidrológicos desde 1956.

Los resultados de los primeros diez años han sido publicados (KOESSLER y MONHEIM 1968, BAZOBERRY 1968). Los resultados recientes comprendidos entre 1966 y 1973, nos han sido amablemente proporcionados por los servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales del Perú y de Bolivia**.

De estos datos se ha deducido, para cada uno de los ríos y de sus anexos, los aportes medios anuales

TABLA I

Aportes medios anuales en agua de los principales afluentes del Titicaca y de sus anexos durante el período 1956-1973

Ramis.....	2,25 × 10 ⁹ m ³ /año
Anexos del Ramis.....	0,03 × 10 ⁹ m ³ /año
Ilave.....	0,90 × 10 ⁹ m ³ /año
Anexos del Ilave.....	0,34 × 10 ⁹ m ³ /año
Coata.....	1,01 × 10 ⁹ m ³ /año
Anexos del Coata.....	0,33 × 10 ⁹ m ³ /año
Huancané.....	0,50 × 10 ⁹ m ³ /año
Anexos del Huancané.....	0,29 × 10 ⁹ m ³ /año
Suchez + Kcka + anexos.....	0,78 × 10 ⁹ m ³ /año
Recibido por el lago Pequeño..	0,32 × 10 ⁹ m ³ /año
<hr/>	
Aporte fluvial total.....	6,75 × 10 ⁹ m ³ /año

Lo esencial de los aportes proviene del norte y del noroeste de la cuenca. El Ramis, el Huancané, el Coata y sus anexos proporcionan el 65,5 % del total.

Aportes meteóricos

Los datos más completos que disponemos provienen de una carta de pluviosidad del lago establecida por KOESSLER y MONHEIM (1968) para el período 1957-1961, los que han sido extrapolados al período 1956-1973. Suponemos que el error cometido en la extrapolación no es importante. En efecto, en la medida en la que existe una relación entre los aportes meteóricos y fluviales, se puede notar que los aportes medios anuales de 1957-1961, son aproximadamente iguales a los de 1956-1973.

Así, según esta carta (fig. 3), la altura del agua que cae en promedio es de 0,895 m/año : esto representa un volúmen de 7,50 × 10⁹ m³/año, ya que la superficie del lago ha sido estimada en 8 375 km².

* Las resurgencias no han sido consideradas : representan el 1,5 % de los aportes en el caso del lago Pequeño (WALGENWITZ F. comunicación personal) ; en el lago Mayor la tasa debe ser más o menos la misma.

** Le agradecemos al Ing. Juan Aquize jefe de SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología y de Hidrología del Perú, en Puno).

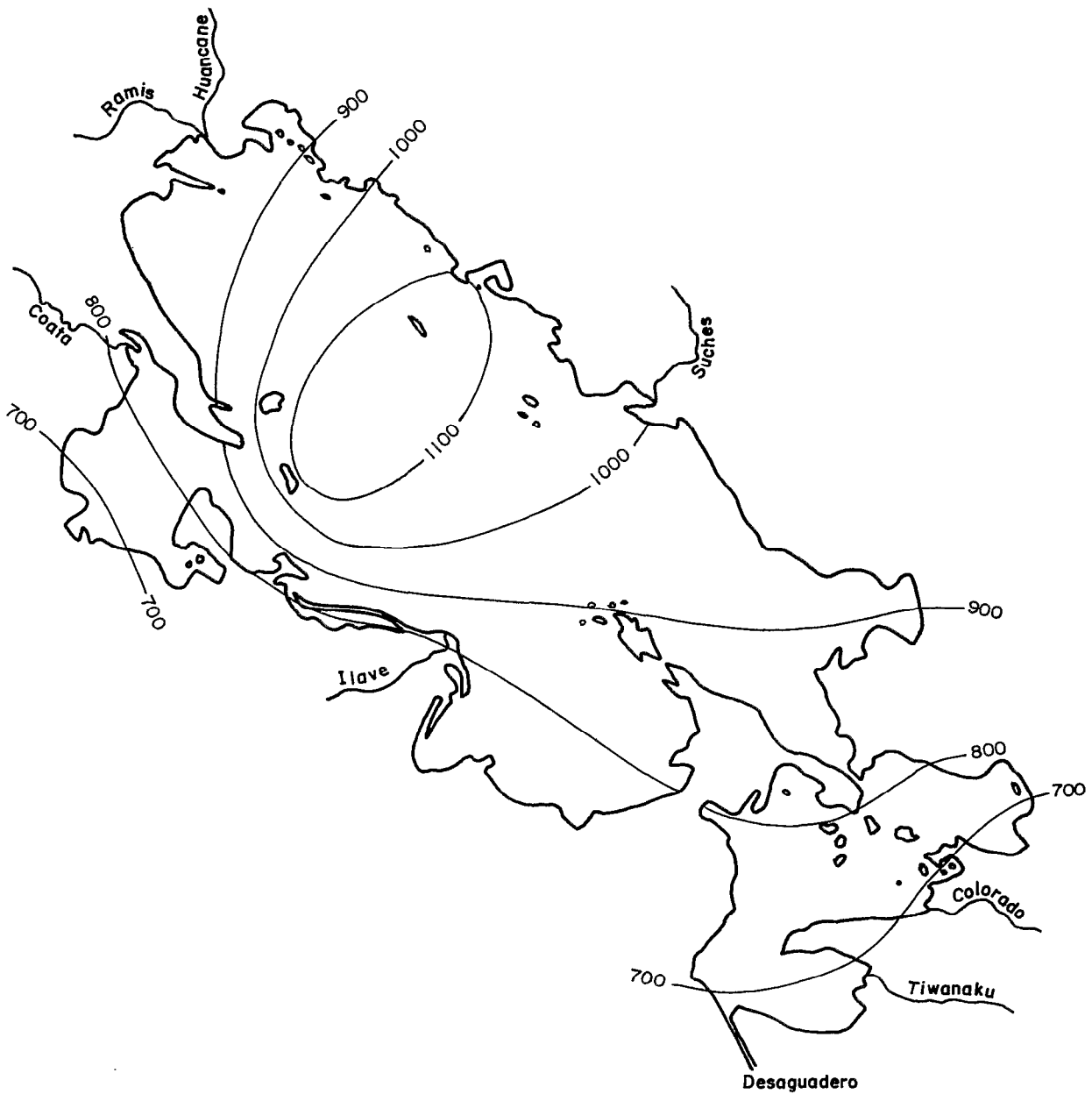


Fig. 3. — Isohietes del lago Titicaca en mm.
 Isohiètes du lac Titicaca en mm.

— la concentración en cloruros de las aguas que se infiltran es igual a la concentración media de

cloruros en las aguas lacustres. Los valores que entran en el cálculo son valores medios anuales :

aporte fluvial en Cl⁻ = aporte fluvial en agua × concentración en Cl⁻ de esas aguas

$$\frac{(\overline{\text{Cl}^-})_{\text{af}}^*}{(\overline{\text{Cl}^-})_{\text{af}}^*} = \frac{(\overline{\text{V}})_{\text{af}}}{6,75 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{año}} \times \frac{[\text{Cl}^-]_{\text{af}}^*}{1,46 \text{ moles/m}^3}$$

$$\boxed{(\overline{\text{Cl}^-})_{\text{af}}^* = 9,855 \times 10^9 \text{ moles/año.}}$$

Pérdida en Cl⁻ por el Desaguadero = Pérdida en agua por el Desaguadero × concentración en Cl⁻ de esas aguas

$$\frac{(\overline{\text{Cl}^-})_{\text{ef}}^*}{(\overline{\text{Cl}^-})_{\text{ef}}^*} = \frac{(\overline{\text{V}})_{\text{ef}}}{0,665 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{año}} \times \frac{[\text{Cl}^-]_{\text{ef}}^*}{7,95 \text{ moles/m}^3}$$

$$\boxed{(\overline{\text{Cl}^-})_{\text{ef}}^* = 5,285 \times 10^9 \text{ moles/año.}}$$

Cantidad de Cl⁻ que se infiltra = Aporte fluvial en Cl⁻ — pérdida en Cl⁻ por el Desaguadero

$$\frac{(\overline{\text{Cl}^-})_{\text{in}}}{(\overline{\text{Cl}^-})_{\text{in}}} = \frac{(\overline{\text{Cl}^-})_{\text{af}}}{9,855 \times 10^9 \text{ moles/año}} - \frac{(\overline{\text{Cl}^-})_{\text{ef}}}{5,285 \times 10^9 \text{ moles/año}}$$

$$\boxed{(\overline{\text{Cl}^-})_{\text{in}} = 4,570 \times 10^9 \text{ moles/año.}}$$

De donde el volumen de agua que se infiltra :

Volumen de agua que se infiltra = Cantidad de Cl⁻ que se infiltra / concentración media en Cl⁻ de las aguas de infiltración

$$\frac{(\overline{\text{V}})_{\text{in}}}{(\overline{\text{V}})_{\text{in}}} = \frac{(\overline{\text{Cl}^-})_{\text{in}}}{4,570 \times 10^9 \text{ moles/año}} / \frac{[\text{Cl}^-]_{\text{L}}^*}{7,185 \text{ moles/m}^3}$$

$$\boxed{(\overline{\text{V}})_{\text{in}} = 0,635 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{año.}}$$

Pérdidas por evaporación

Sobre el período considerado (17 años), es razonable admitir que en promedio anual, los aportes de los

afuentes $(\overline{\text{V}})_{\text{af}}$ y las lluvias $(\overline{\text{V}})_{\text{ll}}$ son contrabalanceados por las pérdidas por infiltración $(\overline{\text{V}})_{\text{in}}$, por el efluente $(\overline{\text{V}})_{\text{ef}}$ y por la evaporación $(\overline{\text{V}})_{\text{ev}}$:

Pérdida en agua por evaporación = Aporte de los afluentes en agua + aportes meteoricos — pérdida de agua por infiltración — pérdida de agua por el efluente

$$\frac{(\overline{\text{V}})_{\text{ev}}}{(\overline{\text{V}})_{\text{ev}}} = \frac{(\overline{\text{V}})_{\text{af}}}{6,75 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{año}} + \frac{(\overline{\text{V}})_{\text{ll}}}{7,50 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{año}} - \frac{(\overline{\text{V}})_{\text{in}}}{0,635 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{año}} - \frac{(\overline{\text{V}})_{\text{ef}}}{0,665 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{año}}$$

$$\boxed{(\overline{\text{V}})_{\text{ev}} = 12,95 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{año.}}$$

* Está dado en la página 61.

** y ** están dados respectivamente en las páginas 61 y 63.

El volumen perdido corresponde a una altura de agua de 1,55 m/año, si se considera que la superficie del lago es de 8 375 km².

Notemos que KOESSLER (1970), luego RICHESON *et al.* (1977) han estimado la evaporación a partir de dos métodos, el primero basado en el balance térmico, el segundo en el balance hídrico, con estos métodos tomados en ese orden, Koessler obtuvo 1 714 y 1 480 mm/año, Richerson obtuvo 1 900 y 1 334 mm/año.

Renovación de las aguas del Titicaca

Una vez definidos los transportes de agua, podemos calcular el volumen del lago para conocer la importancia de la renovación anual de las aguas lacustres.

El nivel del agua durante el período 1956-1973 ha oscilado alrededor de la cota 3 808,5; según los datos reportados por MONHEIM (1956), KOESSLER (1970),

BAZOBERRY (1968), así como aquellos que nos han sido proporcionados por el SENAMHI para el reciente período.

El borde del lago que hemos utilizado es aquel que ha sido trazado por BOULANGÉ y RODRIGO recientemente (comunicación personal), en base a imágenes por satélite.

El borde citado corresponde a una cota del nivel de agua ligeramente superior al considerado. La batimetría está basada en los datos de NEVEU-LEMAIRE (1906), completados por GILSON (1964) y por aquellos que hemos obtenido, en total 250 medidas repartidas más ó menos uniformemente sobre el conjunto del lago (fig. 4).

La Tabla II agrupa las principales características morfométricas del lago. Recordemos aquí que el volumen del lago es de 893×10^3 m³. La renovación media anual de las aguas lacustres, \bar{Z} , puede entonces calcularse :

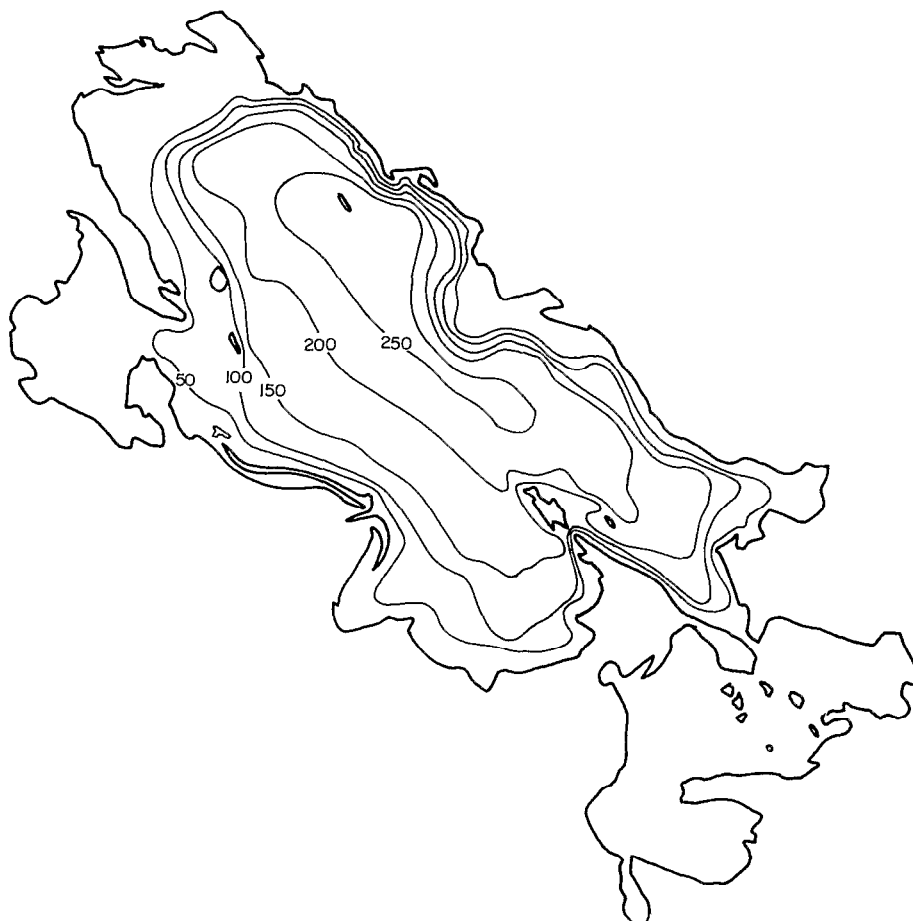


Fig. 4. — La batimetría del lago Titicaca.
La bathymétrie du lac Titicaca.

$$\begin{aligned} \text{Renovación anual de las aguas lacustres} &= \frac{\text{Aportes medios anuales en agua}}{\text{Volumen medio del lago}} = \\ \bar{\zeta}_{\text{agua}} &= \frac{\text{Pérdidas medias anuales en agua}}{\text{Volumen medio del lago}} = \\ \bar{\zeta}_{\text{agua}} &= \frac{14,25 \times 10^9 \text{ m}^3}{893 \times 10^9 \text{ m}^3} \times 100 \\ \boxed{\bar{\zeta}_{\text{agua}} = 1,6 \% \text{ anual}} \end{aligned}$$

Otra forma de dar cuenta de la importancia de los intercambios de aguas en promedio anual con relación al volumen del lago ; es estimando el tiempo necesario para llenar el lago por los aportes solamente ó

también para vaciarlo considerando unicamente las pérdidas. Este tiempo T_{agua} , puede ser asimilado al de residencia media de las aguas en el medio lacustre.

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de residencia media de las aguas en el medio lacustre} &= \frac{\text{Volumen medio del lago}}{\text{Aportes medios anuales en agua}} = \frac{\text{Volumen medio del lago}}{\text{Pérdidas medias anuales en agua}} \\ T_{\text{agua}} &= \frac{893 \times 10^9 \text{ m}^3}{14,25 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{año}} \\ \boxed{T_{\text{agua}} = 62,6 \text{ años}} \end{aligned}$$

KOESSLER y MONHEIM (1968) y RICHESON *et al* (1977) dan un tiempo de residencia de 70 años.

Equilibrio hidrico medio anual del lago Titicaca

El flujo medio anual de las aguas atravez del lago Titicaca para el período 1956-1973 está ilustrado en la figura 5. El mismo representa tres particularidades :

— La renovación anual de las aguas lacustres es muy débil : 1,6 %.

— Los aportes meteóricos ($7,50 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{año}$) son ligeramente superiores a los aportes fluviales ($6,75 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{año}$).

— Las pérdidas por evaporación son predominantes (90 % de las perdidas totales). Las pérdidas por el Desaguadero, por el contrario, no alcanzan el 4,5 % de las pérdidas totales. El lago Titicaca es en primera aproximación asimilable a un lago cerrado.

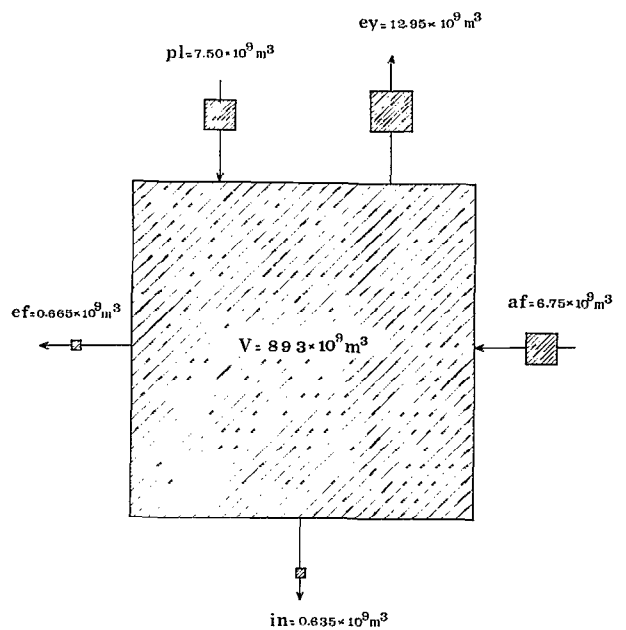


Fig. 5. — El equilibrio hidrico medio anual del lago Titicaca. *L'équilibre hydrique moyen annuel du lac Titicaca.*

pl=pluies; ev=evaporation; in=infiltration; af=apports fluviatiles; ef=perdes fluviatiles; V=volume du lac.

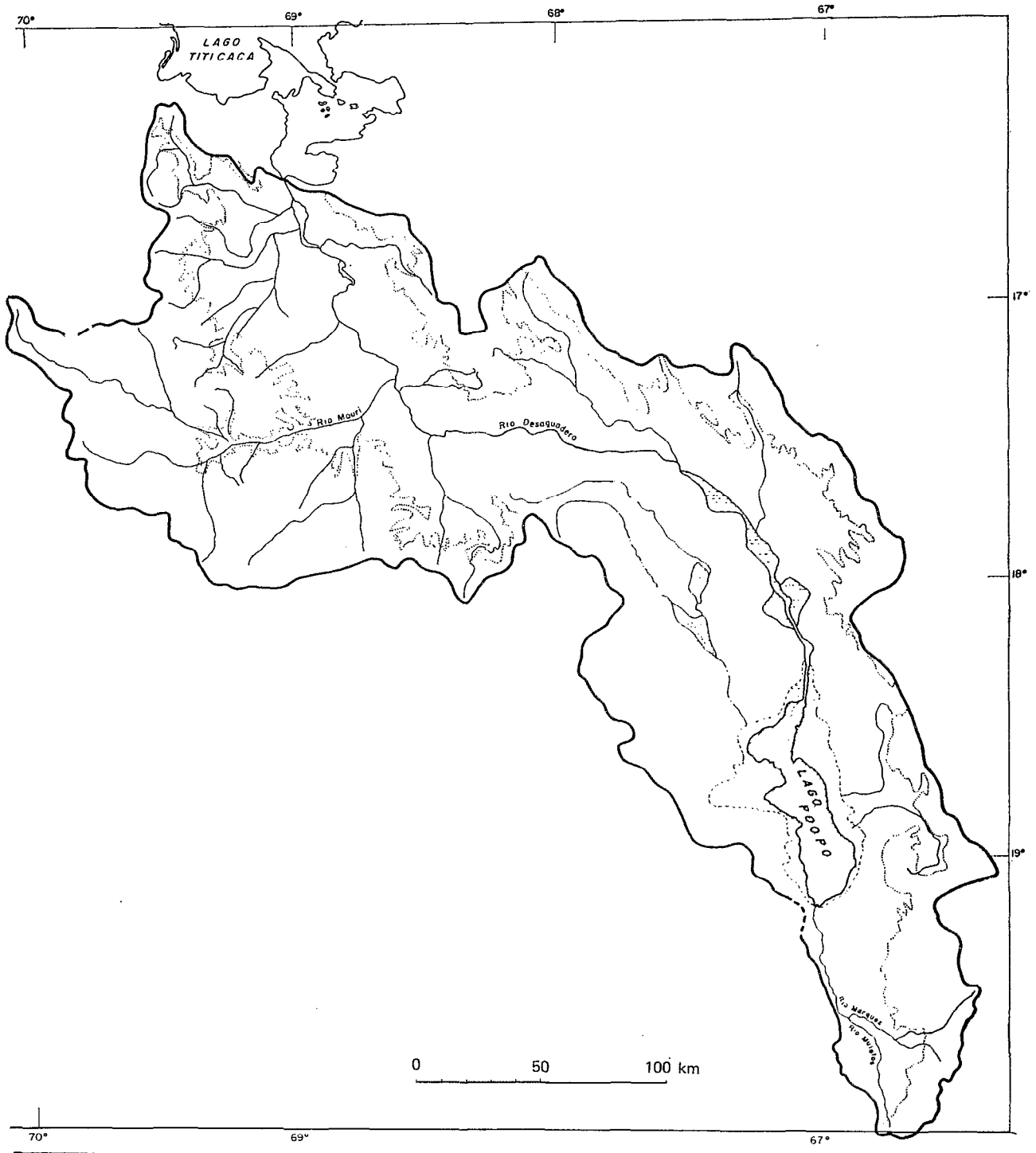


Fig. 6. — La cuenca del lago Poopó.
Le bassin versant du lac Poopó.

CIRCULACIÓN MEDIA DE LAS AGUAS EN EL LAGO POOPÓ (tentativo)

El lago Poopó es un medio cerrado ya que no posee efluentes. Las pérdidas de agua, que contrabalancean los aportes de los afluentes (el Desaguadero principalmente) y de las lluvias, no están aseguradas mas que por la evaporación y las infiltraciones (fig. 6).

Los datos relativos al balance hídrico del sistema son extremadamente reducidos. Sin embargo, vamos a tratar de definir la magnitud de los transportes de agua que se realizan en el lago Poopó.

Pérdidas por evaporación

No hay medidas directas disponibles. Tampoco es posible hacer estimaciones por balance térmico ó hidrológico. Los únicos puntos de referencia que disponemos son los datos de temperatura y de pluviosidad.

Estos datos comparados con aquellos que corresponden al Titicaca indican que por una parte las temperaturas del aire y del agua son en promedio más bajas en el Poopó de 2-3 °C, y por otra la insolación es más grande (debido a la baja nebulosidad) y la humedad relativa más débil.

El primer factor juega en favor de una disminución de la evaporación, los dos últimos, por el contrario, en favor de un aumento*.

A causa de este antagonismo, vamos a admitir que

1er Tiempo

Aporte fluvial en agua = pérdidas por evaporación — aportes por las lluvias

$$\begin{aligned} (\bar{V})_{af,1} &= (\bar{V})_{ev} - (\bar{V})_{ll} \\ (\bar{V})_{af,1} &= 3,10 \times 10^9 \text{ m}^3 - 0,60 \times 10^9 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$(\bar{V})_{af,1}$	$=$	$2,50 \times 10^9 \text{ m}^3$
--------------------	-----	--------------------------------

Aporte fluvial en Cl⁻ = aporte fluvial en agua × concentración de Cl⁻ de esas aguas

$$\begin{aligned} (Cl^-)_{af,1} &= (\bar{V})_{af,1} \times [Cl^-]_{af} \\ (Cl^-)_{af,1} &= 2,50 \times 10^9 \text{ m}^3 \times 9,61 \text{ moles/m}^3 \end{aligned}$$

$(Cl^-)_{af,1}$	$=$	$24,02 \times 10^9 \text{ moles}$
-----------------	-----	-----------------------------------

la evaporación del Poopó es de la misma magnitud que la del Titicaca, es decir 1,55 m/año.

Como la superficie media del lago es de 2 000 km², el volumen de agua que se evapora es de $3,10 \times 10^9 \text{ m}^3$.

Aportes meteóricos

Los datos que disponemos sobre la pluviosidad de la región del lago Poopó no son muy numerosos. Según la carta de isohietes establecida por BAZO-BERRY (1968), la pluviosidad media puede ser estimada a 300 mm/año ; lo que representa una cantidad de agua igual a $0,60 \times 10^9 \text{ m}^3$, que cae anualmente sobre el lago.

Pérdidas por infiltración y aportes fluviales

Para calcular las infiltraciones vamos a seguir el mismo método utilizado en el caso del lago Titicaca. En primer lugar debemos conocer el aporte en cloruros, es decir, el volumen anual de las aguas fluviales que entran en el lago y su concentración en cloruros. Como el volumen mencionado no es conocido, vamos a proceder por iteración, es decir, que vamos a admitir en principio, que los aportes fluviales equilibran únicamente las pérdidas para obtener un primer valor de los aportes en cloruros y luego una estimación de las infiltraciones. En segundo lugar, vamos a rectificar el volumen de los aportes fluviales tomando en cuenta las infiltraciones y calcular un nuevo valor de los aportes en cloruros, que nos va a llevar a una estimación mas precisa de las infiltraciones**.

* Demostrado por un cálculo de simulación de la evaporación (Turc in, CARMOUZE J. P., ARZE G. y QUINTANILLA J., en preparación).

** Las resurgencias no se han tomado en cuenta. En realidad el Poopó sería alimentado por una napa subterránea en el borde nor-oeste (RISACHER, comunicación personal), lo que disminuiría los aportes de los ríos.

$$\text{Volumen de infiltración} = \frac{\text{cantidad de Cl}^- \text{ que se infiltra}}{\text{concentración media de las aguas de infiltración}^*}$$

$$(\bar{V})_{in.1} = \frac{(\bar{Cl}^-)_{af.1}}{[Cl^-]_{in}^*}$$

$$(V)_{in.1} = \frac{24,02 \times 10^9 \text{ moles}}{395 \text{ moles/m}^3}$$

$$(V)_{in.1} = 0,061 \times 10^9 \text{ m}^3.$$

2º Tiempo

Aporte fluvial en agua = pérdida por evaporación + pérdida por infiltración — aporte de las lluvias

$$(\bar{V})_{af.2} = (\bar{V})_{ev} + (V)_{in.1} - (V)_{ll}$$

$$(\bar{V})_{af.2} = 2,56 \times 10^9 \text{ m}^3.$$

Aporte fluvial en Cl⁻ = aporte fluvial en agua × concentración de Cl⁻ de esas aguas

$$(\bar{Cl}^-)_{af.2} = (\bar{V})_{af.2} \times [Cl^-]_{af}$$

$$(\bar{Cl}^-)_{af.2} = 24,6 \times 10^9 \text{ m}^3.$$

Volumen de infiltración :

$$(\bar{V})_{in.2} = (\bar{Cl}^-)_{af.2} / [Cl^-]_{in}$$

$$(\bar{V})_{in.2} = 0,062 \times 10^9 \text{ m}^3.$$

En efecto, la corrección hecha tanto para el aporte fluvial en agua como para la pérdida por infiltración es débil, ya que ésta última interviene poco en el balance hídrico.

En resumen, los valores siguientes han sido adoptados :

$$(\bar{V}_{af}) = 2,56 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ y } (\bar{V})_{in} = 0,062 \times 10^9 \text{ m}^3$$

Renovación de las aguas del Poopó

Una vez realizada la estimación de los transportes de agua, vamos a calcular el volumen del lago. La cuenca lacustre es muy plana; sus orillas pueden desplazarse sobre grandes distancias en función de la irregularidad de los aportes.

De acuerdo a las cartas é imágenes por satélite que disponemos y a las medidas de profundidad

realizadas (más ó menos 50), podemos distinguir :

— una zona central de 1 500 km² con profundidades comprendidas entre 0,50 y 2,50 metros; 1,40 metros como promedio.

— una zona periférica, de caracter temporal, que puede alcanzar 1 000 km², con profundidades generalmente inferiores a los 0,50 m.

De donde el volumen aproximado :

* Se admite que las aguas de infiltración tienen una misma concentración química que las aguas lacustres, en los lugares de infiltraciones que deben hallarse en el borde sur-oeste (RISACHER, comunicación personal).

$$1\,500\text{ km}^2 \times 1,40\text{ m} - 500\text{ km}^2 \times 0,25\text{ m} = 2,225 \times 10^9\text{ m}^3^*$$

La renovación media anual de las aguas lacustres,

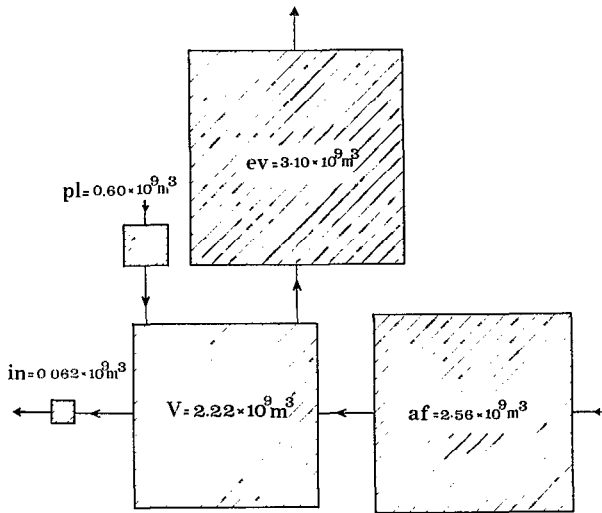
$$\bar{z}_{\text{agua}} = \frac{3,25 \times 10^9}{2,22 \times 10^9} = 1,46 \Rightarrow \pm 46\% ; T_{\text{agua}} = \frac{1}{\bar{z}_{\text{agua}}} = 0,68\text{ años} = 8\text{ meses}$$

Equilibrio hídrico medio anual

Este equilibrio resumido por la figura 7, se caracteriza principalmente por una renovación anual muy elevada de las aguas, cerca de 100 veces más alto que la del Titicaca.

La circulación de agua representa el paso de un volumen 1,5 veces superior al volumen de agua mantenido en el lago.

Los aportes están asegurados principalmente por los afluentes (82 % del total); las pérdidas por evaporación son predominantes (9 % del total). Los aportes meteoricos débiles, así como el volumen pequeño de las infiltraciones y la ausencia de un efluente hacen del Poopó una cuenca de fuerte concentración de salinidad de las aguas de origen fluvial.



pl= pluies; ev= evaporation; in= infiltration; af= apports fluviaux
 ef= pertes fluviales; V= volume du lac.

Fig. 7. — El equilibrio hídrico medio anual del lago Poopó.
 L'équilibre hydrique moyen annuel du lac Poopó.

\bar{z}_{agua} y el tiempo de residencia de las aguas en el lago, T_{agua} , tienen los valores siguientes :

CIRCULACIÓN MEDIA DE LAS SALES DISUELTAS EN EL LAGO TITICACA

La circulación de las sales disueltas a través del Titicaca está controlada por los aportes de los afluentes y las pérdidas por el Desaguadero, las infiltraciones y las sedimentaciones geoquímicas en el seno del lago. Para caracterizar esta circulación, se debe cuantificar las transferencias de las principales sales disueltas (Cl^- , $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{--}$, SO_4^{--} , por los aniones y Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} por los cationes y finalmente la sílice disuelta) y sus reservas respectivas en el lago.

La composición química de las aguas fluviales, ha sido determinada durante el período 1976-1977, observándose que en general varía muy poco de un año al otro, por lo que admitiremos que los valores obtenidos, son vecinos de los valores medios que caracterizan al periodo comprendido entre 1956-1973. Igualmente admitiremos que las reservas medias lacustres de sales disueltas relativas al periodo en cuestión son iguales a aquellas que han sido estimadas para el año 1976-1977, lo que justificaremos cuando constatemos que las renovaciones anuales de las reservas (con excepción de la sílice) son muy débiles para que estas últimas sean modificadas por la irregularidad de los aportes y de las pérdidas anuales. Además, los datos sobre la composición química de las aguas lacustres efectuadas en diferentes épocas desde el comienzo del siglo y reagrupadas por RICHÉSON (1977) no permiten comprender una evolución química de las aguas en función del tiempo.

Aportes de los afluentes

Los aportes en sales disueltas están dados por el producto del volumen de agua que circula en el lago y sus concentraciones en sales disueltas. Las concentraciones difieren de un río a otro, de una estación a otra. En estas condiciones los ríos han sido considerados separadamente ; sus composiciones químicas

* Un cálculo más preciso dá un volumen máximo de $2,65 \cdot 10^9\text{ m}^3$ y univolumen mínimo de $1,41 \cdot 10^9\text{ m}^3$ (BOULANGÉ, comunicación personal).

medias anuales han sido determinadas a partir de las medidas efectuadas a lo largo del año 1976-1977,

teniendo en cuenta las variaciones de la afluencia de acuerdo a las estaciones.

TABLA III

Agrupar los datos sobre la composición química media de los principales afluentes del Titicaca

Nombre de los ríos	HCO ₃ ⁻ mM/l*	SO ₄ ⁻² mM/l	Cl ⁻ mM/l	Na ⁺ mM/l	K ⁺ mM/l	Ca ⁺⁺ mM/l	Mg ⁺⁺ mM/l	SiO ₂ H ₄ ** mg/l
Ramis.....	1,435	0,765	0,80	1,225	0,07	0,95	0,290	8,0
Coala.....	0,875	0,390	2,50	2,500	0,123	0,635	0,175	11,0
Ilave.....	1,125	0,505	1,25	1,190	0,095	0,800	0,240	16,5
Huancané.....	1,780	1,260	3,40	3,370	0,095	1,580	0,484	4,5
Suchez.....	0,615	0,240	0,15	0,170	0,030	0,350	0,240	3,0
Afluentes del lago pequeño.	1,500	1,250	1,50	0,900	0,075	1,890	0,375	18,0
Promedio*** ponderado...	1,210	0,660	1,460	1,540	0,083	0,900	0,280	9,65

Las composiciones químicas de los diferentes ríos pequeños no han sido determinados, aunque están generalmente ligados al sistema fluvial de un gran río, por lo que se les atribuye la misma composición que al río en cuestión.

Una aproximación mayor a sido hecha, sin embar-

go, el error arrastrado sobre la evaluación total de los aportes en sales es despreciable.

En estas condiciones los aportes medios anuales, de las diferentes sales disueltas, al lago, han sido calculadas a partir de los datos de las tablas I y III.

TABLA IV

Aportes medios anuales al Titicaca en sales disueltas

HCO ₃ ⁻ M × 10 ⁹	SO ₄ ⁻² M × 10 ⁹	Cl ⁻ M × 10 ⁹	Na ⁺ M × 10 ⁹	K ⁺ M × 10 ⁹	Ca ⁺⁺ M × 10 ⁹	Mg ⁺⁺ M × 10 ⁹	SiO ₂ H ₄ g × 10 ⁹
8,165	4,45	9,85	10,39	0,56	6,075	1,89	65,00

Los aportes en HCO₃⁻ y Cl⁻ por una parte y en Na⁺ y Ca⁺⁺ por otra son predominantes.

aguas que salen del Titicaca han sido efectuadas a lo largo del año. los resultados figuran en la tabla V.

Pérdidas por el río Desaguadero

Las medidas sobre la composición química de las

TABLA V

Composición química media anual del Desaguadero

HCO ₃ ⁻ mM/l	SO ₄ ⁻² mM/l	Cl ⁻ mM/l	Na ⁺ mM/l	K ⁺ mM/l	Ca ⁺⁺ mM/l	Mg ⁺⁺ mM/l	SiO ₂ H ₄ mg/l
1,90	2,65	7,95	8,40	0,445	1,525	1,50	0,75

* mM = milimoles y M = moles.

** Los resultados de sílice disuelta son expresados en miligramos de SiO₂.

*** El promedio ponderado ha sido obtenido tomando en cuenta el aporte de cada uno de los ríos (tabla I).

Las pérdidas en sales disueltas están calculadas a partir de estos datos y del volumen de las aguas

que lleva el Desaguadero en promedio cada año : $0,665 \times 10^9 \text{ m}^3$ (tabla VI).

TABLA VI
Pérdidas medias anuales por el Desaguadero en sales disueltas

$\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{--}$ $\text{M} \times 10^9$	SO_4^{--} $\text{M} \times 10^9$	Cl^- $\text{M} \times 10^9$	Na^+ $\text{M} \times 10^9$	K^+ $\text{M} \times 10^9$	Ca^{++} $\text{M} \times 10^9$	Mg^{++} $\text{M} \times 10^9$	SiO_2H_4 $\text{g} \times 10^9$
1,265	1,76	5,28	5,585	0,295	1,015	1,00	0,50

Pérdidas por infiltración

Admitimos que en promedio, la composición química de las aguas que se infiltran es semejante a la de las aguas lacustres. El volumen de las infiltra-

ciones ha sido estimado en 2,4 y la composición química de las aguas lacustres está dada en la tabla IX, de donde las pérdidas de sales disueltas por infiltración son las que figuran en la tabla VII.

TABLA VII
Pérdidas medias anuales en sales disueltas por infiltración

$\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{--}$ $\text{M} \times 10^9$	SO_4^{--} $\text{M} \times 10^9$	Cl^- $\text{M} \times 10^9$	Na^+ $\text{M} \times 10^9$	K^+ $\text{M} \times 10^9$	Ca^{++} $\text{M} \times 10^9$	Mg^{++} $\text{M} \times 10^9$	SiO_2H_4 $\text{g} \times 10^9$
1,30	1,54	4,565	4,81	0,245	1,00	0,865	0,635

Pérdidas por sedimentación química

Las pérdidas de sales disueltas por sedimentación química son obtenidas por diferencia, estimando que

las pérdidas contrabalancean en promedio los aportes, durante el periodo considerado.

$$\text{Pérdidas por sedimentación} = \text{aportes fluviales} - \text{pérdidas por el Desaguadero} - \text{pérdidas por infiltración}$$

Los resultados figuran en la tabla VIII.

TABLA VIII
Pérdidas medias anuales en sales disueltas por sedimentación química

$\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{--}$ $\text{M} \times 10^9$	SO_4^{--} $\text{M} \times 10^9$	Cl^- $\text{M} \times 10^9$	Na^+ $\text{M} \times 10^9$	K^+ $\text{M} \times 10^9$	Ca^{++} $\text{M} \times 10^9$	Mg^{++} $\text{M} \times 10^9$	SiO_2H_4 $\text{g} \times 10^9$
5,60	1,15	0,00	0,00	0,025	4,06	0,025	63,85

Los iones que sedimentan esencialmente en el medio son : $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{--}$, SO_4^{--} y Ca^{++} . La sílice precipita casi totalmente.

sales disueltas del lago, lo mismo que para las aguas está definida por : Z_i y T_i , i es el elemento disuelto considerado.

Renovación de sales disueltas en el lago Titicaca

La renovación media anual de las reservas de

$$\bar{z}_i = \frac{\text{aporte medio anual en } i}{\text{reserva de } i \text{ en el lago}} = \frac{\text{pérdidas medias anuales de } i}{\text{reserva de } i \text{ en el lago}} =$$

$$T_i = \frac{1}{\bar{z}_i}$$

Como el volumen del lago es conocido (893×10^9) m³, solo nos queda determinar la composición química media de las aguas lacustres para calcular las diferentes reservas de sales. La composición

química de las aguas ha sido establecida a partir de 200 muestras recogidas en tres campañas sobre el conjunto del lago en 1976-1977 (tabla IX).

TABLA IX
Composición química media de las aguas lacustres

HCO ₃ ⁻ /CO ₃ ²⁻ mM/l	SO ₄ ⁻ mM/l	Cl ⁻ mM/l	Na ⁺ mM/l	K ⁺ mM/l	Ca ⁺⁺ mM/l	Mg ⁺⁺ mM/l	SiO ₄ H ₄ mg/l
2,05	2,425	7,185	7,58	0,385	1,575	1,36	1,00

Las diferentes reservas lacustres de sales disueltas figuran en la tabla X.

TABLA X
Reservas medias de sales disueltas en el lago

HCO ₃ ⁻ /CO ₃ ²⁻ M × 10 ⁹	SO ₄ ²⁻ M × 10 ⁹	Cl ⁻ M × 10 ⁹	Na ⁺ M × 10 ⁹	K ⁺ M × 10 ⁹	Ca ⁺⁺ M × 10 ⁹	Mg ⁺⁺ M × 10 ⁹	SiO ₄ H ₄ g × 10 ⁹
1830	2165	6416	6769	344,5	1406	1217	893

De donde se puede obtener la tasa de renovación de las reservas en sales disueltas y el tiempo de resi-

dencia de las sales en el lago, los que figuran en la tabla XI.

\bar{z}_i TABLA XI

Renovación media de las reservas de sales disueltas, y tiempo de residencia media, T_i, de las sales en el promedio lacustre.

	HCO ₃ /CO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SiO ₄ H ₄
\bar{z}_i (% anual).....	0,446	0,205	0,153	0,153	0,163	0,432	0,155	7,28
T _i (años).....	244	486	651	653	614	231	644	13,7

Equilibrio medio anual de sales disueltas del Titicaca

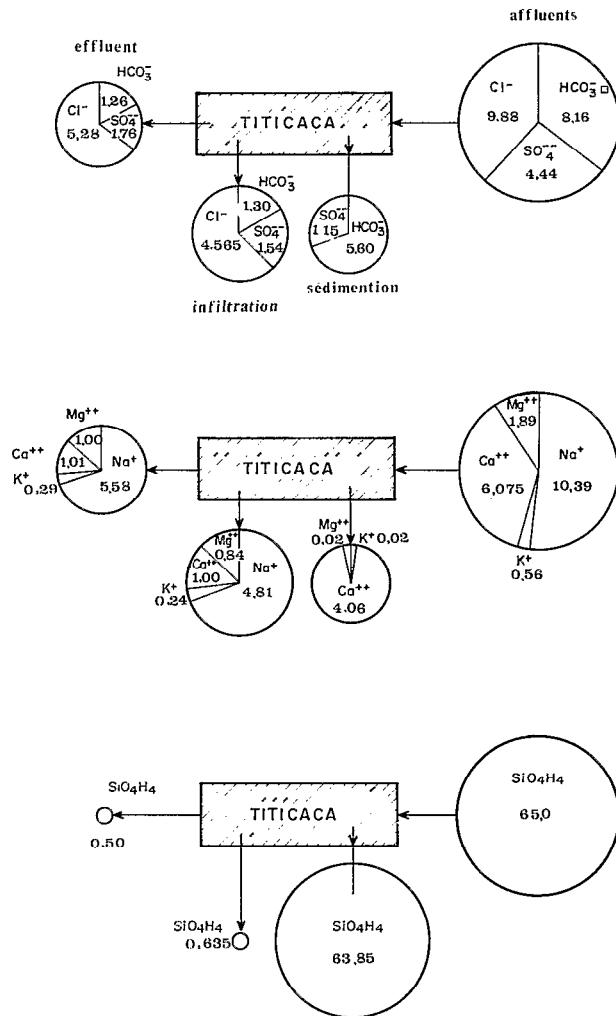
La figura 8 contiene las características de los equilibrios dinámicos de las diferentes sales disueltas, de las que se desprenden las líneas generales siguientes :

— los iones Na⁺, Mg⁺⁺, SO₄²⁻ y Cl⁻ son eliminados en gran parte por infiltración y por el Desaguadero, en partes sensiblemente iguales. Por el contrario, lo esencial de los aportes en silice disuelta sedimenta en el mismo medio (98 %);

— las sedimentaciones de Ca⁺⁺ y HCO₃⁻ / CO₃²⁻ son igualmente importantes : representan respectivamente 66,8 % y 68,6 % de sus aportes.

— la renovación anual de las reservas de Na⁺, K⁺, Mg⁺⁺ y Cl⁻, está comprendida entre 0,153 y 0,163 % donde todavía el tiempo de residencia de estos elementos disueltos se aproxima e incluso sobrepasa los seis siglos. Esto representa un ritmo de renovación diez veces superior al del volumen de agua lacustre.

En el caso de los elementos que sedimentan la



□ exprime tous les ions carbonatés
résultats exprimés en moles × 10⁹ pour les ions, en g × 10⁹ pour SiO₄H₄.

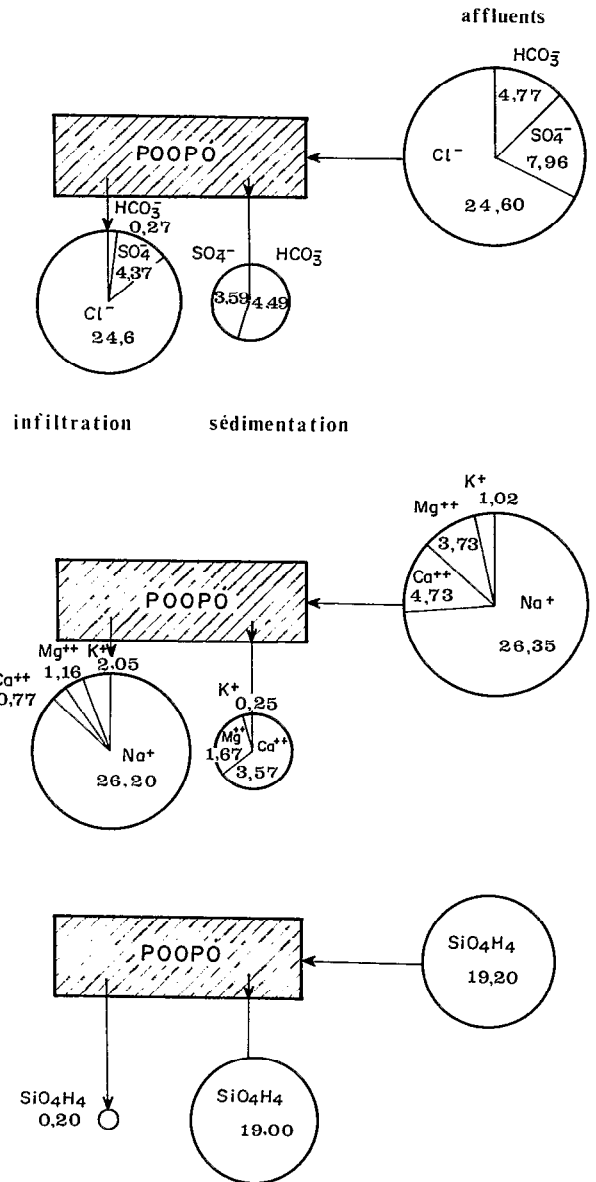
Fig. 8. — El equilibrio medio anual de sales disueltas del lago Titicaca.

L'équilibre moyen annuel de sels dissous du lac Titicaca.

renovación de las reservas es acelerada por la sedimentación misma. Así la renovación de las reservas de sílice disuelta, de Ca⁺⁺ y de HCO₃⁻ / CO₃⁻ son cada año iguales al orden de 7,3 % ; 0,43 % ; 0,45 % respectivamente.

CIRCULACIÓN MEDIA DE SALES DISUELTAS EN EL LAGO POOPÓ (TENTATIVO)

La circulación de las sales disueltas através del Poopó está regulada por los aportes fluviales (el Desaguadero es alimentado por el río Mauri y en menor proporción por el río Márquez) y las pérdidas por infiltración y por sedimentación biogeoquímica.



résultats exprimés

en moles × 10⁹ pour les ions, en g × 10⁹ pour SiO₄H₄

Fig. 9. — El equilibrio medio anual de sales disueltas del lago Poopó.

L'équilibre moyen annuel des sels dissous du lac Poopó.

La composición química de las aguas lacustres y de las aguas fluviales ha sido determinada durante 1976-1977.

Es probable que los valores hallados no estén muy alejados de los relativos a una circulación media, pero en realidad la transferencia de sales disueltas que va a ser establecida estará llena de aproxima-

ciones hechas sobre el transporte de aguas del que dependen algunos de ellos.

Aportes de los afluentes

El afluente principal es el Desaguadero. La composición química de las aguas de este río, que entra en el lago Uru-Uru, « antecámara » del lago Poopó, ha sido regularmente medida durante el año 1976-1977 (tabla XII). El Poopó es además alimentado, cada estación, por pequeños ríos. Únicamente el río Márquez, que circula en la parte meridional del lago, proporciona un aporte que debe representar

5 a 10 % del aporte fluvial total. Es más débilmente mineralizado que el Desaguadero (tabla XII).

Aunque no disponemos de medidas directas, vamos a admitir que 92,5 % de las aguas fluviales recibidas por el Poopó provienen del Desaguadero y 7,5 % del río Márquez; el aporte de los demás ríos no es tomado en cuenta por ser demasiado pequeño. Como la contribución del río Márquez es pequeña, un error relativo importante sobre su volumen afecta poco el volumen global y, en consecuencia, los aportes en sales disueltas.

La composición química media, calculada, de las aguas del río, figura en la tabla XII.

TABLA XII

Composición química de las aguas del Desaguadero a la entrada del Poopó y del río Márquez; composición química media de las aguas fluviales

	HCO ₃ ⁻ /CO ₃ ²⁻ mM/l	SO ₄ ²⁻ mM/l	Cl ⁻ mM/l	Na ⁺ mM/l	K ⁺ mM/l	Ca ⁺⁺ mM/l	Mg ⁺⁺ mM/l	SiO ₂ H ₄ mg/l
Desaguadero.....	1,80	3,30	10,0	10,6	0,40	1,95	1,55	5,70
Marquez.....	2,85	0,875	5,0	7,0	0,447	0,785	0,39	30,90
Promedio ponderado..	1,865	3,11	9,61	10,3	0,40	1,85	1,46	7,50

Los aportes medios anuales al Poopó en sales disueltas pueden ser calculadas (tabla XIII) uti-

lizando un volumen de agua fluvial igual a 2,56 × 10⁹ m³.

TABLA XIII

Aportes medios anuales al lago Poopó en sales disueltas

HCO ₃ ⁻ /CO ₃ ²⁻ M × 10 ⁹	SO ₄ ²⁻ M × 10 ⁹	Cl ⁻ M × 10 ⁹	Na ⁺ M × 10 ⁹	K ⁺ M × 10 ⁹	Ca ⁺⁺ M × 10 ⁹	Mg ⁺⁺ M × 10 ⁹	SiO ₂ H ₄ g × 10 ⁹
4,77	7,96	24,60	26,35	1,025	4,735	3,73	19,2

Pérdidas por infiltración

Admitimos que, en promedio, la composición química de las aguas que se infiltran es próxima a

la de las aguas lacustres que se hallan en la parte sur-oeste del lago (tabla XIV).

TABLA XIV

Composición media de las aguas del borde sur-oeste del lago

HCO ₃ ⁻ /CO ₃ ²⁻ mM/l	SO ₄ ²⁻ mM/l	Cl ⁻ mM/l	Na ⁺ mM/l	K ⁺ mM/l	Ca ⁺⁺ mM/l	Mg ⁺⁺ mM/l	SiO ₂ H ₄ mg/l
4,46	70,5	395	422	12,50	18,75	33,12	3,5

De donde la pérdida de sales disueltas por infiltración, tomando como volumen de agua que se

infiltra 0,062 × 10⁹ m³, figura en la tabla XV.

TABLA XV

Pérdidas medias anuales en sales disueltas por infiltración

$\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{--}$ $\text{M} \times 10^9$	SO_4^{--} $\text{M} \times 10^9$	Cl^- $\text{M} \times 10^9$	Na^+ $\text{M} \times 10^9$	K^+ $\text{M} \times 10^9$	Ca^{++} $\text{M} \times 10^9$	Mg^{++} $\text{M} \times 10^9$	SiO_2H_4 $\text{g} \times 10^9$
0,276	4,37	24,61	26,15	0,775	1,162	2,055	0,215

Pérdidas por sedimentación química

Las pérdidas de sales disueltas por sedimentación química son obtenidas por diferencia, suponiendo que las pérdidas contrabalancean en promedio los aportes.

Pérdidas por sedimentación = aportes fluviales — pérdidas por infiltración. De donde obtenemos los resultados que figuran en la tabla XVI.

TABLA XVI

Pérdidas medias anuales en sales disueltas por sedimentación

$\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{--}$ $\text{M} \times 10^9$	CO_4^{--} $\text{M} \times 10^9$	Cl^- $\text{M} \times 10^9$	Na^+ $\text{M} \times 10^9$	K^+ $\text{M} \times 10^9$	Ca^{++} $\text{M} \times 10^9$	Mg^{++} $\text{M} \times 10^9$	SiO_2H_4 $\text{g} \times 10^9$
4,49	3,59	0,0	0,15	0,25	3,57	1,675	19,0

Se puede observar que la sílice es casi totalmente eliminada por sedimentación; una fracción importante de CO_3^{--} , SO_4^{--} , Ca^{++} , Mg^{++} sedimentan igualmente. Al contrario, se puede considerar que Na^+ no sedimenta y que la de K^+ es muy débil.

Renovación de sales disueltas en el lago Poopó

La composición química de las aguas del Poopó ha sido establecida a partir de 50 muestras recogidas en cuatro campañas sobre el conjunto del lago en 1976-1977. La tabla XVII agrupa los datos de la composición química media de las aguas lacustres.

TABLA XVII

Composición química media de las aguas lacustres

$\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{--}$ mM/l	SO_4^{--} mM/l	Cl^- mM/l	Na^+ mM/l	K^+ mM/l	Ca^{++} mM/l	Mg^{++} mM/l	SiO_2H_4 mg/l
3,60	54	294	315	8,85	15,0	25,0	2,0

Tomando el volumen del lago igual a $2,225 \times 10^9 \text{ m}^3$, se deduce las diferentes reservas de sales

disueltas (tabla XVIII).

TABLA XVIII

Reservas medias de sales disueltas en el lago

$\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{--}$ $\text{M} \times 10^9$	SO_4^{--} $\text{M} \times 10^9$	Cl^- $\text{M} \times 10^9$	Na^+ $\text{M} \times 10^9$	K^+ $\text{M} \times 10^9$	Ca^{++} $\text{M} \times 10^9$	Mg^{++} $\text{M} \times 10^9$	SiO_2H_4 $\text{g} \times 10^9$
8,01	120,1	654,1	700	19,7	33,4	55,6	4,45

De donde la tasa de renovación de las reservas de sales disueltas y el tiempo de residencia de las sales

en el lago son las que figuran en la tabla XIX.

TABLA XIX

Renovación media de las reservas de sales disueltas \bar{C}_i y tiempo de residencia media, T_i , de las sales en el medio lacustre

	$\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{--}$	SO_4^{--}	Cl^-	Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	SiO_2H_4
\bar{C}_i (% anual).....	59,6	6,0	3,75	3,75	5,2	14,1	6,7	431
T_i (años).....	1,68	16,5	26,6	26,5	19,2	7,0	14,9	0,23

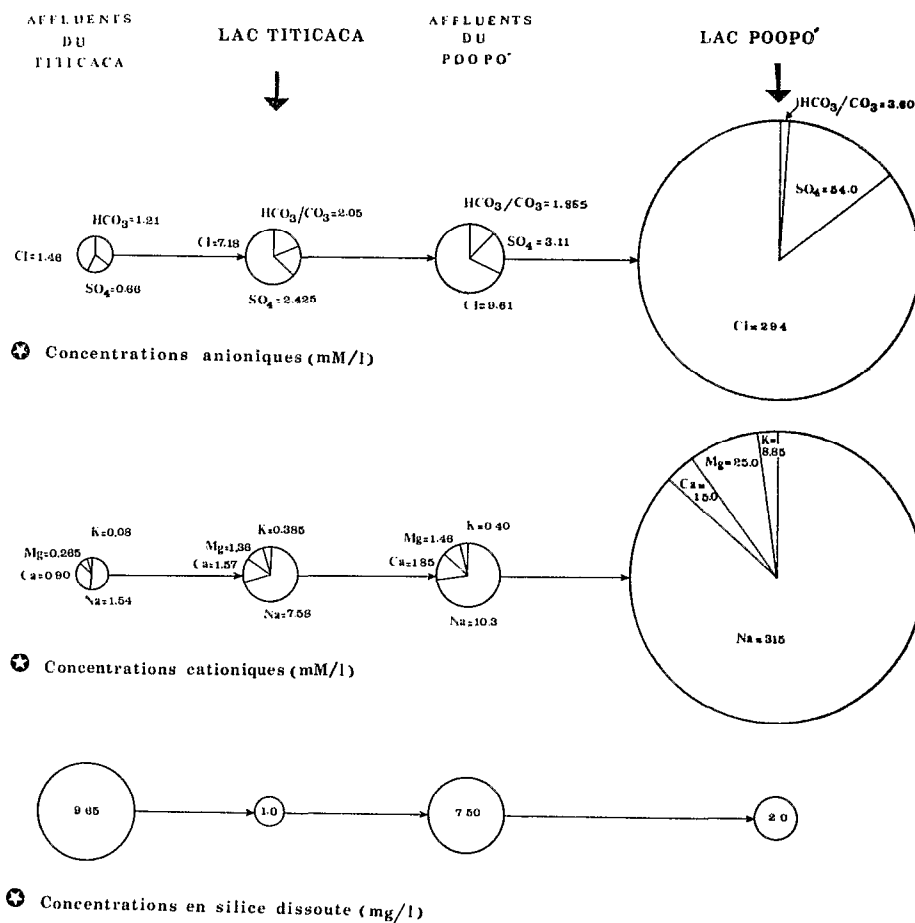


Fig. 10. — Evolución de la composición química de las aguas en el sistema fluvio-lacustre del Altiplano.
Évolution de la composition chimique des eaux dans le système fluvio-lacustre de l'Altiplano.

Equilibrio medio anual de sales disueltas del lago Poopó

La figura 9 resume las características de los equilibrios dinámicos de las diferentes sales disueltas. Se pueden desprender las siguientes líneas :

— los iones Na^+ y Cl^- son eliminados por infiltración. Por el contrario casi todos los aportes en sílice disuelta y en carbonatos sedimentan en el mismo medio (respectivamente 99 % y 94 %).

— las sedimentaciones de Ca^{++} , Mg^{++} y SO_4^{--} son igualmente importantes (respectivamente 75 %, 0,45 % y 0,45 % de sus aportes anuales).

... como las reservas en sales del lago son débiles, la renovación anual de los elementos disueltos está bastante elevada, especialmente para los que sedimentan en parte en el lago. Así el tiempo de residencia de Na^+ y Cl^- es de 26,5 años, el de sílice disuelta de una semana.

CONCLUSIÓN : LA EVOLUCIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS EN TODO EL SISTEMA

La evolución de la composición química de las aguas que entran en el Titicaca y las que entran en el Poopó resulta de la combinación de las diferentes transferencias de aguas y sales que han sido determinadas al nivel de los dos lagos.

En primer lugar, la evolución química está controlada por las transferencias de aguas en el medio considerado (CARMOUZE y PEDRO, 1977). Así, el Titicaca según la combinación de las transferencias (lluvias < evaporación) es un medio de concentración salina con un factor de 4,9; el Poopó es un medio de mayor concentración con un factor de 30,5.

Estos factores conciernen a los elementos que no sedimentan en los lagos. Para los demás estos factores disminuyen según la importancia de la sedimentación. En el caso de la sílice disuelta el

efecto de « desalinización » por sedimentación sobrepasa el efecto de concentración por evaporación de las aguas.

La figura 10, resume la evolución de las aguas. La salinidad de las aguas que entran en el Titicaca (280 mg/l) contienen en partes sensiblemente iguales CO_3H^- , Cl^- y SO_4^{2-} .

Los cationes dominantes son Na^+ y Ca^{++} . En el lago la salinidad aumenta (850-900 mg/l), pero de una manera diferencial; según la importancia de las sedimentaciones. Así Na^+ y Cl^- se vuelven dominantes : representan en peso el 53 % del total.

En el Poopó la salinidad media llega a 26 g/l; la suma de Na^+ y Cl^- representa el 75 % del total. Así las aguas evolucionan hacia un espectro químico de Cloruro Sódico.

*Manuscrit reçu au Service des Publications de l'O.R.S.T.O.M.
le 5 mai 1978.*

BIBLIOGRAPHIE

- BAZOBERRY (Q.), 1968. — Balance hídrico del Lago Titicaca. *Informe interno de la dirección de irrigación*. Ministerio de Fomento. Lima.
- CARMOUZE (J. P.), 1976. — La régulation hydrochimique du lac Tchad. *Trav. et Doc. de l'O.R.S.T.O.M.*, n° 58, O.R.S.T.O.M., Paris.
- CARMOUZE (J. P.) et PEDRO (G.), 1977. — Contribution des facteurs géographiques à la régulation hydrochimique des milieux lacustres. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, vol. XI, n° 3 : 231-237.
- GILSON (H. C.), 1964. — Lake Titicaca. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, n° 15 : 112-127.
- KOESLLER (A.), 1970. — Über den paliresgang der potentiellen Verdunstung in Titicacabecken. *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B.*, n° 18 : 239-252.
- KOESLLER (A.) and MONHEIM (F.), 1968. — Der Wasserschalt Titicaca sees March Meneren Messergebrissen. *Erdkunde*, n° 22 : 275-283.
- MONHEIM (F.), 1956. — Beiträge zur klimatologie und hydrologie des Titicacabeckens. *Selbstvel. d. Geographi. Int. de Univ. Heidelberg*, 152 p.
- NEUVEU-LEMAIRE (M.), 1906. — Les lacs des hauts plateaux de l'Amérique du Sud. *Imprimerie Nationale, Paris*, 197 p.
- RICHERSON (P. J.), WIDMER (C.) and KITTEL (T.), 1977. — The limnology of Lake Titicaca (Peru-Bolivia). *Institute of Ecology, Publication, n° 14*. University of California, Davis.