

III.2 Los paisajes lacustres antiguos según el análisis palinológico

JEAN-PIERRE YBERT

Los estudios efectuados en los dos testigos TD y TD1 del lago Huinamarca (cf. cap. III.1) hacen resaltar grandes variaciones en el contenido palinológico de los sedimentos y revelan la presencia, en los niveles inferiores, de importantes cantidades de *Isoetes*, helecho acuático actualmente desconocido en el lago Titicaca pero abundante en los valles altos de Bolivia, entre 4.250 y 4.750 m de altitud (COLLOT, 1980).

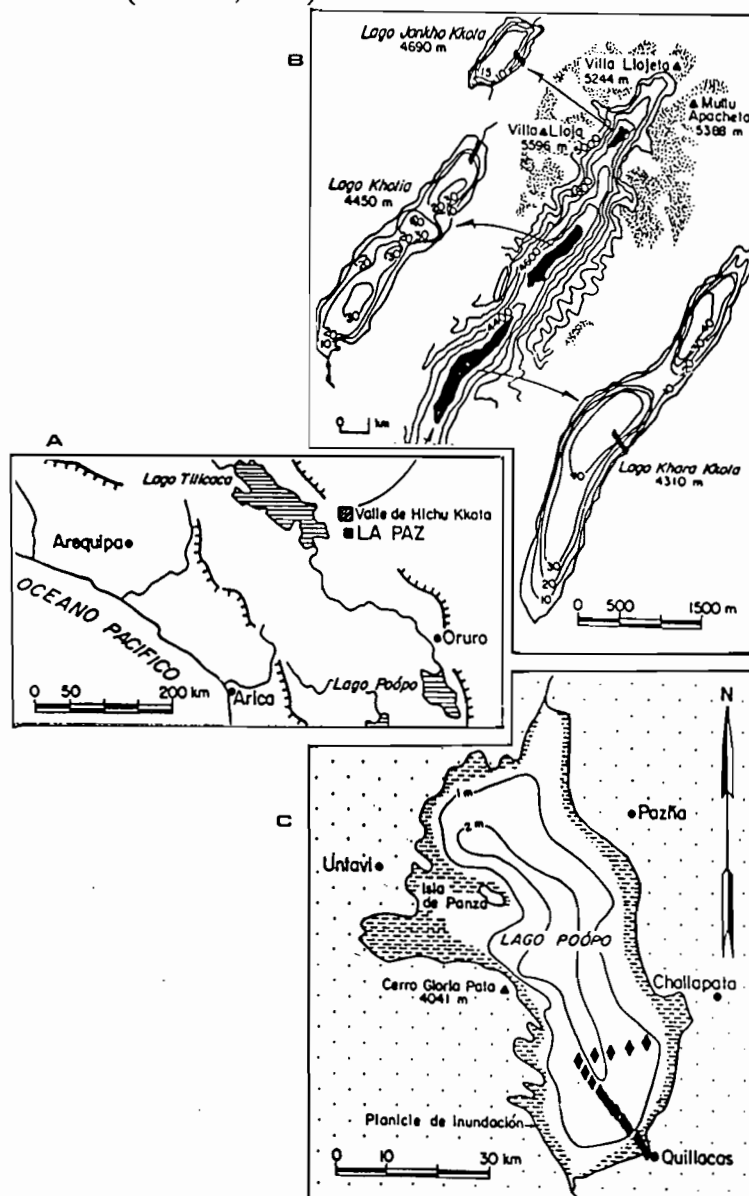


Fig. 1. - Mapa de localización de los lagos estudiados.

ORSTOM Fonds Documentaire

N° 36609, ex 2

Cote A

Para interpretar los espectros fósiles desde el punto de vista de la paleoclimatología, se reveló necesario conocer la sedimentación palinológica actual en lagos cuyo medio ambiente parecía corresponder más a aquéllos que el Titicaca había conocido en el pasado. Los lagos escogidos para este estudio son, por una parte, los del valle de Hichu Kkota, cerca del lago Titicaca y situados en un ambiente botánico de altitud (fig. 1 A y B), y por otra parte, el lago Poopó caracterizado por una flora halófila (fig. 1 A y C).

Las interpretaciones paleobotimétricas resultan de la comparación con los espectros actuales obtenidos por el análisis de muestras de superficie colectadas a lo largo de transectas radiales efectuadas en estos lagos, así como en el lago Titicaca (figs. 1 y 2).

Las muestras fósiles analizadas fueron sacadas siguiendo una malla de 10 cm, en los testigos TD y TDI y luego tratados según las siguientes etapas : ataque por HCl 10 %, por KOH 15 % con ebullición, acetólisis, separación densimétrica por el bromoformo a $D = 2$, montaje en gelatina glicerizada.

Los palinomorfos identificados en el curso de los análisis fueron agrupados en 4 grandes conjuntos en función de su origen ecológico dominante : medios terrestres, medios húmedos (pantanos, turberas, zonas de inundación bordeando los lagos), o de su origen biológico : macrofitas acuáticas o elementos planctónicos.

Los taxones que componen estos conjuntos están indicados en la leyenda de los diagramas palinológicos.

Localización de las transectas de colección de muestras actuales y medios ambientes correspondientes

El valle de Hichu Kkota, situado al este del lago Titicaca, pertenece a la región de puna, provincia alto-andina o "Puna Brava" que se caracteriza por una vegetación muy escasa con dominancia de gramíneas en matas. La temperatura anual media es de 5,4°C a 4.310 m de altitud, el gradiente térmico es del orden de 0,53°C para 100 metros (OSTRIA, 1987). Las precipitaciones anuales, centradas en enero-febrero, son en promedio de 834 mm.

C. OSTRIA (1987) y D. COLLOT (1980) estudiaron la vegetación de este valle y establecieron la repartición altitudinal de las diferentes especies de plantas. Entre los taxones reconocidos en las preparaciones palinológicas podemos citar :

- Nototriche violacea*, encontrada por encima de 4.900 m ;
- Valeriana*, presente entre 4.650 y 4.750 m en las zonas secas ;
- Las Cariofiláceas y las compuestas ligulifloras, sobre todo abundantes a más de 4.500 m ;
- Gentiana*, presente entre 4.300 y 4.800 m, pero más abundante cerca de 4.500 m ;
- Las Juncáceas que forman lo esencial de la vegetación de las turberas (o bofedales) más allá de 4.550 m, donde están asociadas a numerosos musgos y hepáticos ;
- Plantago*, abundante debajo de 4.500 m en los fondos de valles húmedos ;
- Elodea*, *Myriophyllum* y *Lilaeopsis*, *Ruppia*, *Schoenoplectus tatora*, cuyos límites superiores de desarrollo son respectivamente 4.700, 4.500, 4.400 y 4.300 m ;
- Isoetes*, presente en todos los lagos entre 4.250 y 4.750 m.

El fitoplancton (ILTIS, 1984) está representado por *Botryococcus braunii*, *Spirogyra*, *Zygnema*, *Staurastrum*, *Mougeotia* y *Pediastrum*, para citar solamente los taxones reconocidos en nuestras preparaciones. Sin embargo, hay que notar que *Pediastrum* es ausente del lago más alto, Jankho Kkota.

Una transecta fue estudiada para cada uno de los 3 principales lagos del valle (fig. 1) : Khara Kkota (4.310 m), Khotia (4.450 m) y Jankho Kkota (4.690 m), lagos que presentan temperaturas medias del agua de respectivamente 9,6°C, 8,8°C y 7°C (ILTIS, 1988).

El lago Titicaca está situado en la provincia de puna *sensu stricto*, a una altitud media de 3.810 m; queda sometido a un clima de tipo frío y semi-árido con una temperatura anual media de 8°C y

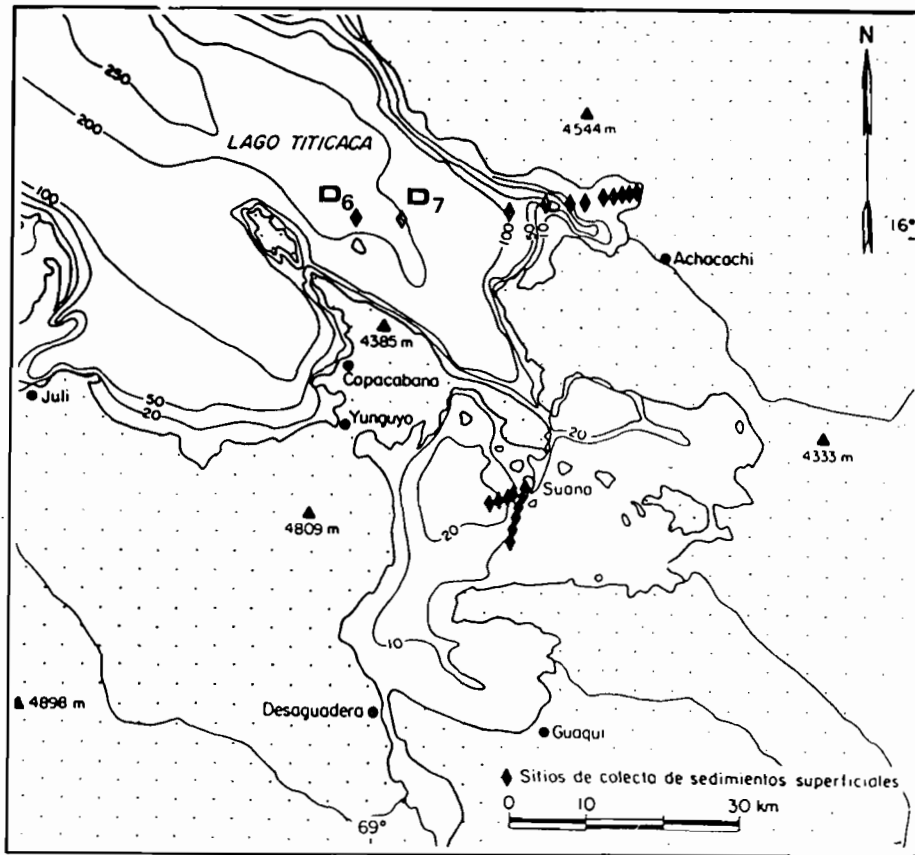


Fig. 2. - Plan de localización de las transectas en el lago Titicaca.

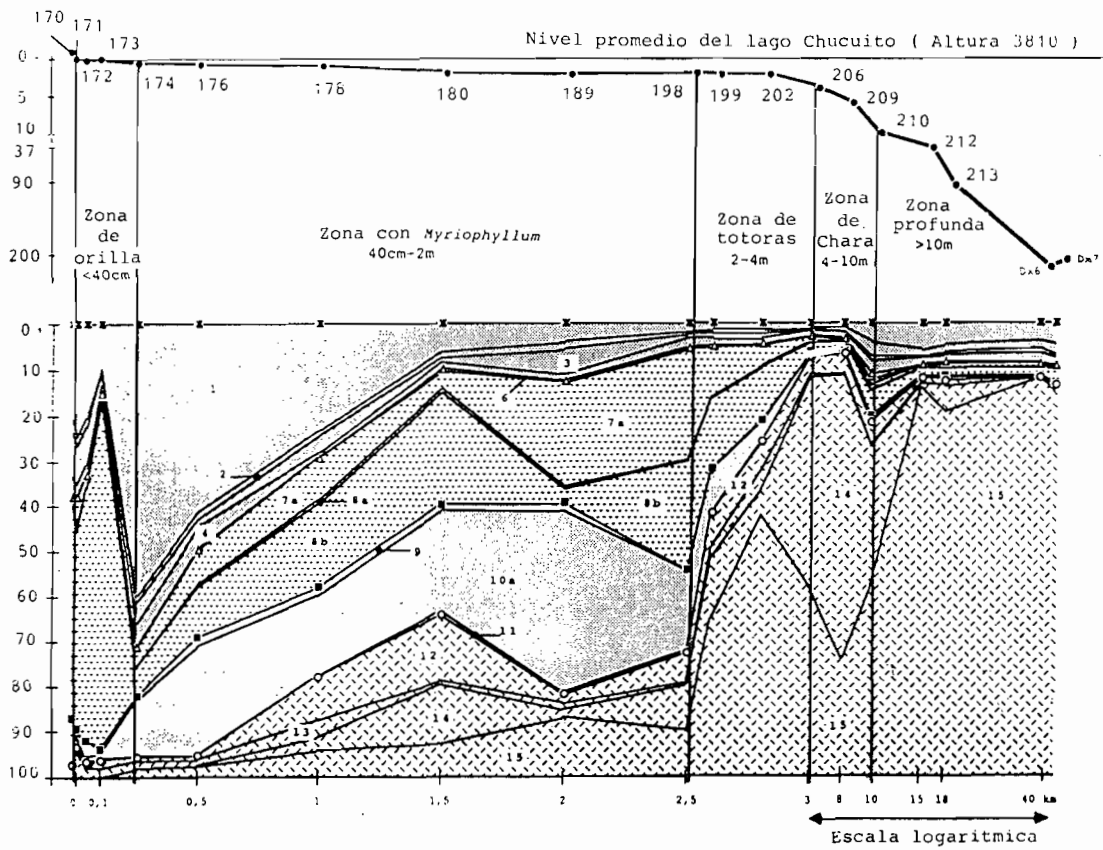


Fig. 3. - Diagrama palinológico sintético de la transecta del lago Chucuito.

con precipitaciones comprendidas entre 790 y 950 mm por año. La vegetación, de tipo herbácea, está dominada por las gramíneas, pero las compuestas y las chenopodiáceas están también bien representadas. Los árboles son poco numerosos; se trata esencialmente de *Polylepis tomentella*, *Buddleia incana*, *Cantua dependens* y *Eucalyptus sp.* introducido en el último siglo.

Las macrofitas acuáticas reconocidas en nuestras preparaciones son *Lilaeopsis*, *Hydrocotyle*, *Myriophyllum*, *Elodea*, *Schoenoplectus tatora*, *Potamogeton* y algunas *Ruppia*. Cabe notar que *Lilaeopsis* que florece regularmente en los lagos Khara Kkota y Khotia, no ha sido nunca encontrada en floración en el Titicaca.

El fitoplancton se compone esencialmente, según nuestras preparaciones, por *Botryococcus braunii*, *Pediastrum*, *Ankistrodesmus*, *Spirogyra*, *Mougeotia*, *Zygnema* y *Staurastrum*.

La temperatura media del agua de superficie es de 12 a 14°C para el Chucuito y de 10 a 16°C para el Huiñaimarca (ILTIS, 1987).

Tres transectas han sido estudiadas (fig. 2), la primera en el Chucuito desde la bahía de Achacachi en dirección de la isla del Sol; las dos otras en el Huiñaimarca, desde la isla Suana, en dirección del sud y del sudoeste respectivamente. Las muestras más profundas, Dx6 y Dx7 fueron obtenidas con ayuda de una draga de tipo Züllig (figs. 2 y 3).

El lago Poopó, situado a 3.690 m de altitud, pertenece igualmente a la provincia de puna *sensu stricto*, pero se sitúa en una zona de clima más frío y más seco que el lago Titicaca. La temperatura media anual es de 6 a 8°C, las precipitaciones están comprendidas entre 300 y 400 mm por año.

La vegetación de orilla es una estepa de montaña dominada por las gramíneas y las compuestas, los cactus siendo frecuentes en los lugares rocosos. Debido a la salinidad del suelo, las praderas alrededor del lago están ocupadas esencialmente por las chenopodiáceas.

Las aguas son habitualmente saladas (hasta 50 g/l), por lo que *Myriophyllum* y *Schoenoplectus* son raros. La planta acuática más abundante es *Ruppia*, que llega a cubrir más del 60 % de la superficie.

El fitoplancton está dominado por los géneros *Nodularia*, *Oscillatoria*, *Dictyosphaerium*, *Peridinium* y *Cyclotella* (ILTIS *et al.*, 1990).

Una transecta fue estudiada en la parte sur del lago, desde Quillacas en dirección noroeste (fig. 1).

Repartición actual de los palinomorfos en función de la batimetría y del medio ambiente

El análisis de las muestras de superficie (YBERT, en preparación) ha permitido evidenciar una relación directa entre la repartición de los grupos de palinomorfos y la zonación de las macrofitas acuáticas, la cual está ligada a la batimetría (COLLOT, 1980).

Los rasgos mayores de esta repartición, bien marcados en la transecta del lago Chucuito (fig. 3), pueden resumirse de la siguiente manera :

- los taxones de medio terrestre en su conjunto son abundantes (15 a 35 %) de la orilla hasta 1 m de profundidad, con un máximo de 60 a 80 % hacia los 40 cm. Su proporción disminuye después rápidamente hasta 5 a 15 % entre 1 y 2 m, luego se mantiene alrededor de 5 % hasta 8 a 10 m de profundidad. Después de 10 m aumenta nuevamente (10 %) debido al aporte de elementos alóctonos y de taxones transportados por el viento ;

- los taxones de medios húmedos son muy abundantes en la zona costera donde las esporas de hongos dominan. Se mantienen abundantes (15 a 35 %) de 40 cm hasta 2 m de profundidad, estando constituidos sobre todo de esporas de hongos y de polenes de ciperáceas. Luego disminuyen rápidamente hasta representar solamente 2 a 5 % del espectro palinológico a partir de 4 m ;

- las macrofitas acuáticas están presentes en menos de 4 % de la zona costera (entre 0 y 40 cm de profundidad), aumentan hasta 15 a 40 % en la zona de *Myriophyllum* (entre 40 cm y 2 m), y luego disminuyen rápidamente para desaparecer casi totalmente a partir de 4 m de profundidad ;

- las algas están débilmente representadas hasta 40 cm de profundidad (5 %) donde se encuentra esencialmente *Spirogyra*. Los *Botryococcus* aparecen entre 0 y 20 cm, aumentan levemente (3 a 10 %) hasta 2 m y luego se vuelven dominantes (80 a 90 %) después de 10 m. Los *Pediastrum* aparecen alrededor de los 60 cm, se mantienen en índices comprendidos entre 2 y 10 % hasta los 4 m, se vuelven dominantes entre 4 y 10 m (50 a 70 %) y disminuyen después (< 5 %). Los *Ankistrodesmus* son importantes (10 a 15 %) en la zona de *Myriophyllum* y poco abundantes en otros lugares.

Esta repartición se encuentra globalmente casi idéntica en todas las transectas estudiadas; sin embargo, la composición de los 4 grandes conjuntos de palinomorfos varía en función del medio ambiente y caracteriza algunos factores abióticos.

Así, el factor altitudinal (fig. 4) se caracteriza por :

- porcentajes de *Valeriana* netamente más elevados en Jankho Kkota (2 %) que en Khotia (< 0,2 %);
- porcentajes que aumentan progresivamente del lago Titicaca hasta el lago Jankho Kkota para las amarantáceas-cariofiláceas (0,1 a 0,4 %), las compuestas ligulifloras (< 0,1 a 1 %) y las juncáceas;
- la ausencia de *Valeriana*, *Gentiana* y juncáceas en los sedimentos superficiales del lago Titicaca;
- índices de 2 a 4 % de *Gentiana* en Khotia, inferiores a 1 % en Jankho Kkota y Khara Kkota;
- porcentajes elevados de *Isoëtes* en Khara Kkota (21 % en promedio para el conjunto de los espectros, 80 % entre 0,1 y 3,5 m de profundidad) más bajos en Khotia y Jankho Kkota (respectivamente 2 y 10 %) y más bajos en el Titicaca (< 0,2 %);

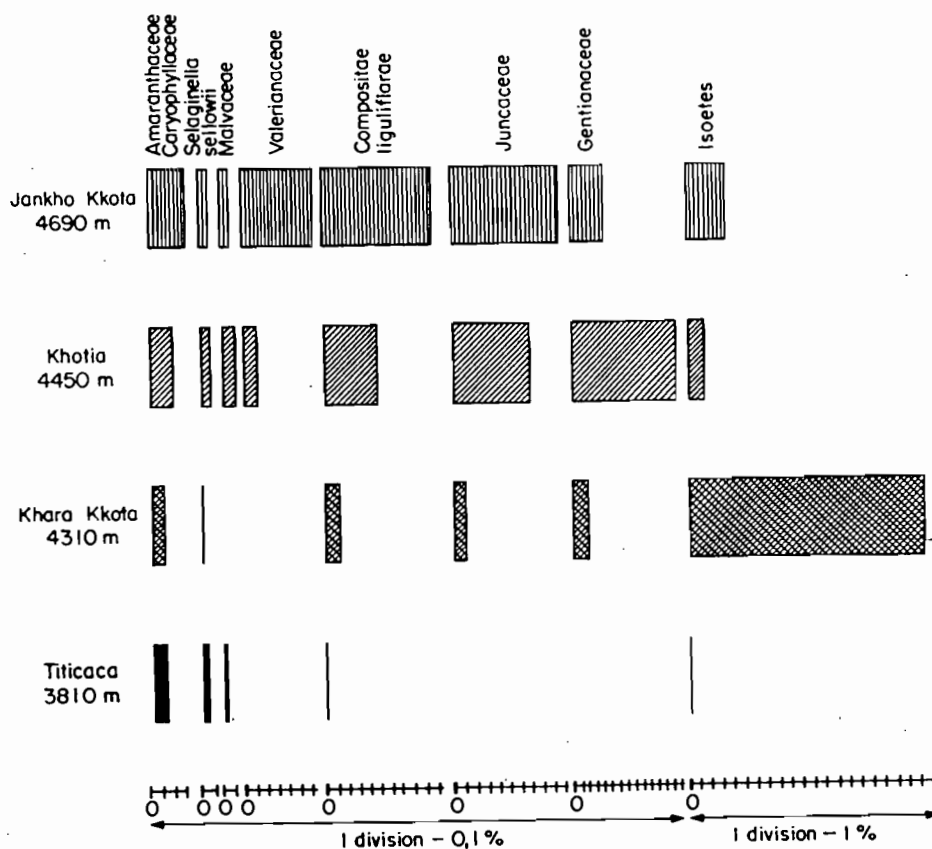


Fig. 4. - Histograma de los palinomorfos de altitud.

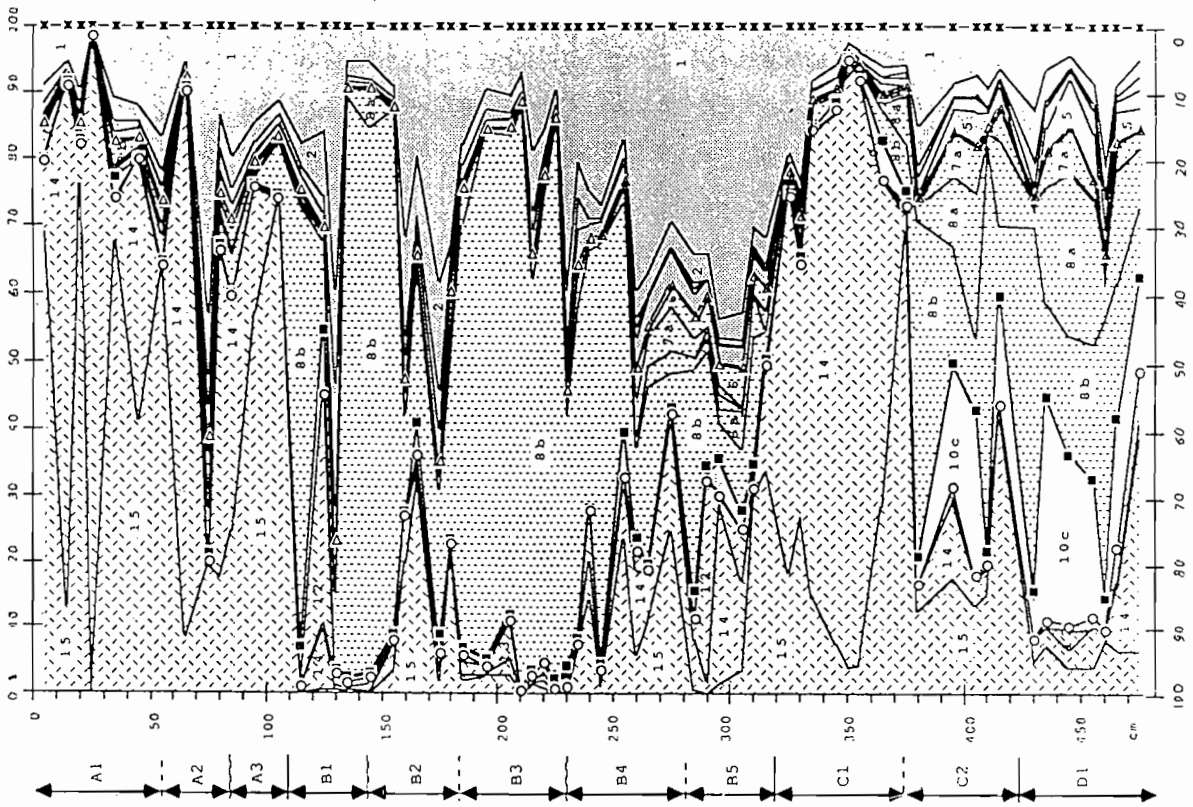


Fig. 5. - Diagrama palinológico sintético del testigo TD.

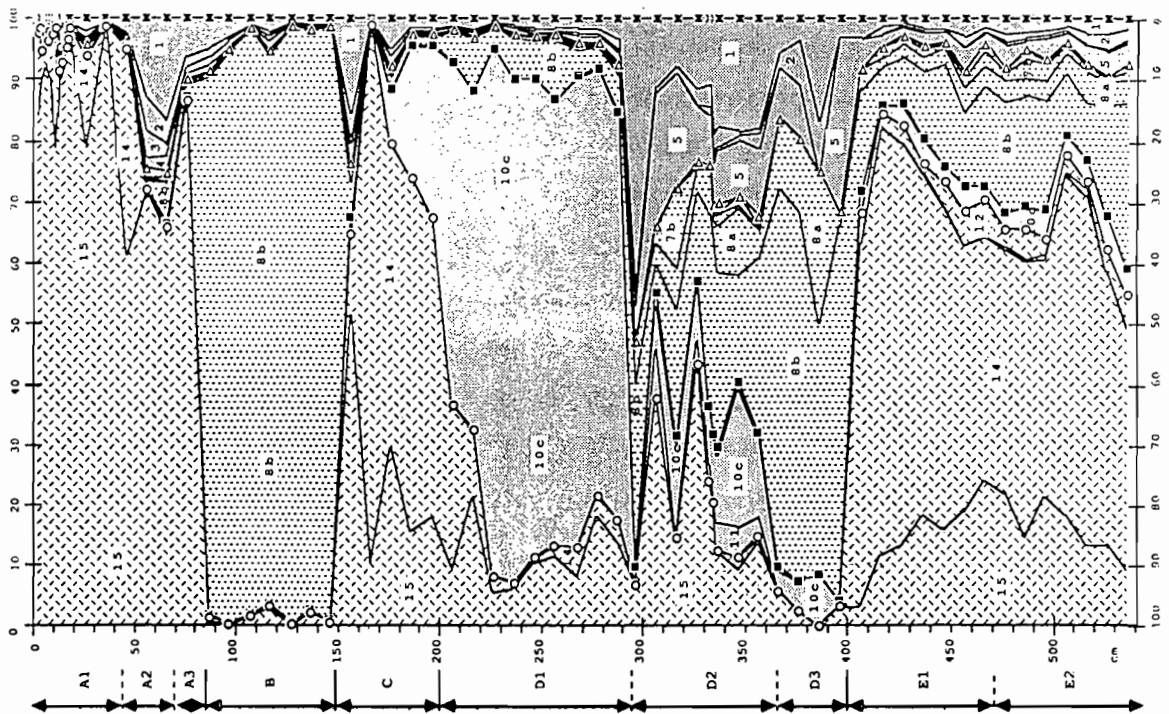


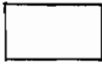
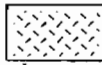


Fig. 6. - Diagrama palinológico sintético del testigo TD1.

Leyenda de los diagramas palinológicos

o	— 170	Muestras analizadas
x		Curva de los elementos terrestres
△		Curva de los elementos de medios húmedos
■		Curva de las macrofitas acuáticas
o		Curva de las algas
		Polenes de plantas terrestres
1		Gramineas
2		Compuestas
3		Periporados (Chenopodiáceas, Cariofiláceas, Amarantáceas)
4		Terrestres de altitud (<i>Nototriche</i> , <i>Valeriana</i> , <i>Gentiana</i>)
5		Terrestres diversos (familias presentes episódicamente y polenes de plantas alóctonas : <i>Alnus</i> , <i>Podocarpus</i> ...)
		Polenes y esporas de plantas de medios húmedos
6		<i>Plantago</i>
7a		Ciperáceas (incluido la Totora)
7b		Juncáceas
8a		Pteridófitas (excepto <i>Isoëtes</i>), Musgos, Hepáticas <i>Fungi</i> , <i>Incertae sedis</i>
		Polenes y esporas de plantas acuáticas
9		Umbelíferas
10a		<i>Myriophyllum</i>
10b		<i>Ruppia</i>
10c		<i>Isoëtes</i>
11		Acuáticas diversas (<i>Ranunculus</i> , <i>Potamogeton</i> , <i>Elodea</i> : ...)
		Algas
12		Algas diversas (<i>Ankistrodesmus</i> , <i>Zygnema</i> , <i>Mougeotia</i> ...)
13		<i>Spirogyra</i>
14		<i>Pediastrum</i>
15		<i>Botryococcus</i>

- porcentajes elevados de *Plantago* en las muestras poco profundas de Khara Kkota (33 %) y de Khotia (20 %), más bajos en Jankho Kkota (< 1 %) y en el Titicaca (< 2 %);
- porcentajes elevados (> 25 %) de ciperáceas entre 1,8 y 4 m de profundidad en el Titicaca, inferiores a 5 % en Khara Kkota y Khotia y a 1 % en Jankho Kkota;
- la ausencia de *Pediastrum* en Jankho Kkota, con porcentajes inferiores a 3 % en Khotia y Khara Kkota y superiores a 20 % en el Titicaca.

El factor salinidad se caracteriza por :

- porcentajes elevados de *Ruppia* en el lago Poopó (10 a 20 %), inferiores a 0,2 % en el Titicaca y nulos en los lagos de altitud;
- porcentajes elevados de chenopodiáceas en el lago Poopó (hasta 70 %), cerca de 10 % en el Titicaca e inferiores a 2 % en el valle de Hichu Kkota;
- porcentajes de *Myriophyllum* sobrepasando 40 % en la bahía de Achacachi (Titicaca), inferiores a 0,2 % en el lago Poopó;
- porcentajes de *Pediastrum* inferiores a 0,6 % en el Poopó, pudiendo exceder 60 % en el Titicaca.

Deducciones respecto al medio ambiente del lago Titicaca en el curso de los últimos 20 milenarios

La interpretación de los diagramas palinológicos de los testigos TD y TD1 (figs. 5 y 6), por comparación a los datos actuales que acaban de ser resumidos, permite proponer la siguiente sucesión de paisajes en la depresión centro-oeste del lago Huiñaimarca :

Zona palinológica E, base del testigo TD1, antes de 21.000 BP

La presencia de *Valeriana*, *Gentiana*, *Isoëtes* y juncáceas, atestiguan un medio de puna brava, con una temperatura semejante a la que reina actualmente a los 4.500 m de altitud, o sea inferior a la actual de 3 a 5°C.

El lago era entonces poco profundo y las zonas húmedas de sus orillas probablemente ocupadas por "bofedales"* idénticos a los que se encuentran en el valle de Hichu Kkota sobre 4.500 m. Las aguas estaban pobladas de *Isoëtes* y no de totoras como sucede actualmente (fotos 1 y 2).

Zona palinológica D, base del testigo TD, 400-200 cm de TD1, entre 21.000 y 17.500 años BP aproximadamente

El paisaje es globalmente el mismo, pero se observa primeramente un descenso del nivel del lago (sub-zona D3), luego un aumento progresivo de 3 a 15 metros.

La presencia de *Valeriana* y de juncáceas, al mismo tiempo que una ausencia total de *Pediastrum* en la sub-zona D2, indican un medio ambiente comparable al del lago Jankho Kkota. La temperatura era entonces inferior a la actual de 5 a 7°C, luego de 2 a 5°C en D1 ;

Zona palinológica C, 425-320 cm para TD, 200-150 cm para TD1, entre 17.500 y 11.000 años BP aproximadamente

Los *Isoëtes* son aún numerosos en la sub-zona C2 pero se nota la presencia de *Pediastrum* y de *Plantago* así como la desaparición de *Valeriana* y de juncáceas. Esta asociación corresponde a la de los sedimentos superficiales del lago Khara Kkota. La temperatura aumenta levemente para

* Son zonas de débil pendiente, de vegetación inundada y con aspecto de turbera.

alcanzar valores cercanos a los actuales, al mismo tiempo que el lago sube sensiblemente de 2 a 10 m debajo del nivel actual. En el contorno, los "bofedales" de Juncáceas desaparecen y son reemplazados por praderas de *Plantago*.

En el curso del período correspondiente a la sub-zona C1, se observa la desaparición completa de *Isoëtes*, el aumento de *Pediastrum* y la desaparición casi total de los elementos de medios húmedos. El paisaje lacustre se vuelve comparable al actual, con temperaturas equivalentes o ligeramente superiores y un nivel de las aguas más elevado de aproximadamente 5 metros.

Luego se nota un principio de descenso de temperatura y de nivel lacustre a partir de 12.000 o 11.500 años BP (correspondiente a la cima de la zona C).

Zona palinológica B, 320–110 cm para TD, 150–85 cm para TD1, entre 11.000 y 4.100 años BP aproximadamente

El descenso del nivel iniciado en C1 se acentúa y, a partir de 10.500 años BP aproximadamente, la profundidad del lago disminuye rápidamente hasta no ser más que del orden de 2 a 5 m. Esta profundidad disminuye aún posteriormente y oscila entre 0 y 1 m, los niveles más bajos situándose entre 7.700 y 6.500 BP aproximadamente, luego alrededor de 4.500 años BP.

La temperatura era entonces inferior a la actual de 1 a 3°C durante el período correspondiente a la sub-zona B5 (11.000–9.500 años BP aproximadamente), temperatura semejante de la que conocemos entre 9.500 y 5.500 años BP, con leves enfriamientos hacia los 8.700 y 6.500 años BP, luego nuevamente más fría de 1 a 2°C a partir de 5.000 años BP aproximadamente.

La importancia de las esporas de hongos, de *Spirogyra* y de polenes de chenopodiáceas, la presencia de *Ruppia* así como la rareza de *Myriophyllum* y de *Pediastrum* indican un medio salado comparable al del lago Poopó.

Zona palinológica A, cima de TD y de TD1, a partir de 4.100 años BP aproximadamente

Esta zona está marcada por un aumento rápido de los porcentajes de algas y la desaparición casi total de los palinomorfos de medios húmedos, lo que indica un aumento sensible del nivel lacustre.

El plano de agua se situaba 10 a 15 m por debajo del nivel actual entre 3.000 y 2.000 años BP aproximadamente, luego al mismo nivel a partir de 2.000 a 1.500 años BP. Se nota una disminución bien marcada a los 2.500 años BP así como oscilaciones de una amplitud de alrededor de 5 m marcadas por aumentos bruscos de los porcentajes de *Pediastrum*.

Las temperaturas son vecinas de las actuales pero enfriamientos de baja amplitud debieron producirse a los 3.000, 1.200 y 600 años BP.

La ausencia de *Pediastrum* durante la primera mitad del período correspondiente a la sub-zona A3 (antes de 3.600 años BP) indica que las aguas eran aún saladas. Los índices de ciperáceas aumentan luego a comienzos de la sub-zona A2 y es solamente a partir de esta época, 3.000 años BP aproximadamente, que las totoras han debido desarrollarse, dando al lago Titicaca el aspecto que conocemos hoy día.

Referencias

- BARTON (C.E.), BURDEN (F.R.), 1979. – Modification to the Mackereth corer. *Limnol. Oceanogr.*, 24 : 977–983.
- COLLOT (D.), 1980. – Les macrophytes de quelques lacs andins (lac Titicaca, lac Poopo, lacs des vallées d'Hichu Kkota et d'Ovejhujo). ORSTOM, La Paz : 115 p., multigr.
- HASTENRATH (S.), KUTZBACH (J.), 1985. – Late Pleistocene climate and water budget of the South American Altiplano. *Quat. Res.*, 24 : 249–256.
- ILTIS (A.), 1984. – Algues du lac Titicaca et des lacs de la vallée d'Hichu Kkota (Bolivie). *Cryptogamie, Algologie*, 5 (2–3) : 85–108.
- ILTIS (A.), 1987. – Datos sobre la temperatura, el pH, la conductibilidad eléctrica y la transparencia de las aguas de superficie del lago Titicaca boliviano (1985–1986). UMSA. ORSTOM, La Paz, Informe 3 : 19 p., multigr.
- ILTIS (A.), 1988. – Datos sobre las lagunas de altura de la región de La Paz (Bolivia). UMSA. ORSTOM, La Paz, Informe 4 : 50 p., multigr.
- ILTIS (A.), DEJOUX (C.), WASSON (J.G.), 1990. – Datos hidrobiológicos referentes al lago Poopó (Bolivia). UMSA. ORSTOM, La Paz, Informe 21 : 19 p., multigr.
- KESSLER (A.), 1985. – Zur Rekonstruktion von spätglazialem Klima und Wasserhaushalt auf dem peruanisch-bolivianischen Altiplano. *Zeitsch. für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 21 : 107–114.
- LAVENU (A.), FORNARI (M.), SEBRIER (M.), 1984. – Existence de deux nouveaux épisodes lacustres dans l'Altiplano péruano-bolivien. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, 14 (1) : 103–114.
- MOURGULART (P.), 1987. – Les Ostracodes lacustres de l'Altiplano bolivien. Le polymorphisme, son intérêt dans les reconstitutions paléohydrologiques et paléoclimatiques de l'Holocène. Thèse Univ. Bordeaux 1, 263 p.
- OLIVEIRA ALMEIDA (L.F. de), 1986. – Estudio sedimentológico de testigos del lago Titicaca. Implicaciones paleoclimáticas. Tesis UMSA, La Paz : 136 p.
- OSTRIA (C.), 1987. – Phytoécologie et paléoécologie de la vallée alto-andine de Hichu Kkota (Cordillère orientale, Bolivie). Thèse Univ. Paris 6, 180 p.
- RAMOS GAVILAN (Fray A.), 1621 (1976). – Historia de Nuestra Señora de Copacabana. La Paz, Academia Boliviana de la Historia.
- SERVANT (M.), 1977. – Le cadre stratigraphique du Plio-Quaternaire de l'Altiplano des Andes tropicales en Bolivie. *Suppl. Bull. AFEQ*, 1, 50 : 323–327.
- SERVANT (M.), FONTES (J.C.), 1978. – Les lacs quaternaires des hauts plateaux des Andes boliviennes. Premières interprétations paléoclimatiques. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, 10 (1) : 9–23.
- SERVANT (M.), FONTES (J.C.), 1984. – Les basses terrasses fluviales du Quaternaire récent des Andes boliviennes. Datations par le ^{14}C . Interprétation paléoclimatique. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, 14 (1) : 15–28.
- VARGAS (C.), 1982. – La sédimentation subactuelle d'un bassin intramontagneux : le lac Titicaca (Partie lac Huiñaimarca, Bolivie). Thèse Univ. Bordeaux 1, 91 p.
- WIRRMANN (D.), 1982. – Primeros resultados sobre el estudio de los testigos del lago Huiñaimarca. ORSTOM, La Paz : 34 p., multigr.
- WIRRMANN (D.), 1987. – El lago Titicaca : sedimentología y paleohidrología durante el Holoceno (10.000 años B.P. – Actual). UMSA. ORSTOM, La Paz, Informe 6 : 61 p.
- WIRRMANN (D.), 1990. – The Lake Titicaca. Bolivia–Peru. In : "Global Geological Record of Lake Basins" Kelts and Gierlowski – Kordesch eds., Cambridge Univ. Press, Cambridge (in press).
- WIRRMANN (D.), MOURGULART (P.), OLIVEIRA ALMEIDA (L.F. de), 1988. – Holocene sedimentology and ostracodes repartition in Lake Titicaca. Paleohydrological interpretations. In : Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, Rabassa ed., A.A. Balkema, 6 : 89–127.

- YBERT (J.P.), 1988. – Apports de la palynologie à la connaissance de l'histoire du lac Titicaca (Bolivie-Pérou) au cours du Quaternaire récent. *Inst. fr. Pondichery, Trav. sec. sci. techn.*, 25 : 139-150.
- YBERT (J.P.) – Sédimentation palynologique actuelle dans les lacs d'altitude de Bolivie. Relations avec la bathymétrie et avec l'altitude. (en préparation).
- YBERT (J.P.) – Evolution bathymétrique du lac Titicaca au cours des vingt derniers millénaires d'après les données palynologiques (en préparation).