

## 9. EVOLUCION DEL LAGO TITICACA DESDE 25 000 AÑOS BP

*Philippe MOURGUIART<sup>1</sup>, Jaime ARGOLLO<sup>2</sup> & Denis WIRRMANN<sup>3</sup>*

### Resumen

Un sondeo realizado en el lago Huiñaimarca ha proporcionado un registro de cerca de 25 000 años. El análisis de los pólenes y de los ostrácodos contenidos en los sedimentos permitió precisar la historia paleohidrológica de esta parte del lago Titicaca. Los principales resultados adquiridos son los siguientes: (1) de ≈25 000 a ≈14 000 años BP, el lago experimenta una fase de recesión que con seguridad terminó en un desecamiento; (2) entre ≈14 000 y 8000 años BP, el nivel del lago subió primero fuertemente para luego secarse de nuevo; (3) de 8000 a 3900 años BP, los niveles permanecen muy bajos; (4) hacia los 3900 años BP el nivel del lago vuelve a subir rápidamente para estabilizarse a una altura de 3804-3805 m (4-5 m bajo del nivel actual) con excepción de verdaderos eventos secos; (5) el lago Titicaca apenas alcanzó su nivel actual recientemente.

### 1. INTRODUCCION

Varias regiones del Altiplano andino fueron objeto de numerosos reconocimientos geológicos y geomorfológicos. Citaremos como información los trabajos pioneros de Agassiz (1875), Musters (1877), Minchin (1882), Steinmann *et al.* (1906), Pompecki (1905), Bowman (1909, 1914 y 1916), Ogilvie (1922), Troll (1927), Moon (1939) y más recientemente los de Ahlfed (1946), Newell (1949) y Ahlfed & Branisa (1960). Estos autores descubrieron y describieron depósitos sedimentarios que cubren importantes superficies en el Altiplano. Estos depósitos fueron asociados a grandes lagos que inundaron una buena parte de las cuencas intramontañosas y se les atribuyó una edad cuaternaria. Sin embargo, hubo que esperar los trabajos de Servant (1977), Servant & Fontes (1978, 1984) y Lavenu *et al.* (1984) para que la sucesión de los diferentes episodios lacustres fuera conocida con relativa precisión. Lavenu *et al.* (*op. cit.*) dieron una síntesis de las informaciones recogidas sobre el trabajo. Estos autores establecen, a partir de las alturas de las diferentes terrazas reconocidas en los alrededores del actual lago Titicaca, la sucesión siguiente:

paleolago Mataro	3950 m,
paleolago Cabana	3900 m,
paleolago Ballivián	3860 m,
paleolago Minchín	3825 m,
paleolago Tauca	3815 m,
lago Titicaca (actual)	3809 m.

Las 3 primeras entidades lacustres (las más elevadas) son atribuidas al Cuaternario antiguo (o al final del Plioceno) o medio, sin no obstante apoyarse en

<sup>1</sup> Programme AIMPACT, UR12, Misión ORSTOM, CP 9214, La Paz, Bolivia.

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Geológicas, Universidad Mayor de San Andrés, CP 11192, La Paz, Bolivia.

<sup>3</sup> Programme AIMPACT, UR12, Centre ORSTOM, BP 1857, Yaoundé, Cameroun.

controles cronológicos precisos (*cf.* Clapperton, 1993). Los episodios Minchín y Tauca son fechados de >27 000 años BP y 13 000-10 000 años BP por Servant & Fontes (1978). Más recientemente nuevas dataciones permitieron precisar la edad de estas fases lacustres (Servant *et al.*, 1995; Argollo & Mourguiart, este volumen).

En cambio, pocos estudios trataron sobre los episodios interlacustres. Algunas informaciones esporádicas que en su mayoría se basan en escurrimientos superficiales, son proporcionados por Servant & Fontes (1984). Hubo que esperar los trabajos de Wirmann & Oliveira Almeida (1987), Wirmann *et al.* (1988, 1991) e Ybert (1988, 1991) para que la historia climática de los últimos milenios en el Altiplano fuera conocida con bastante precisión. Estas nuevas informaciones fueron obtenidas a partir de los datos proporcionados por los sedimentos del lago Titicaca. En este artículo nos proponemos hacer el punto sobre los paleomedioambientes del lago Titicaca, tal como es posible reconstruirlos a partir de datos proporcionados por la palinología y las faunas de ostrácodos.

## 2. CONTEXTO REGIONAL

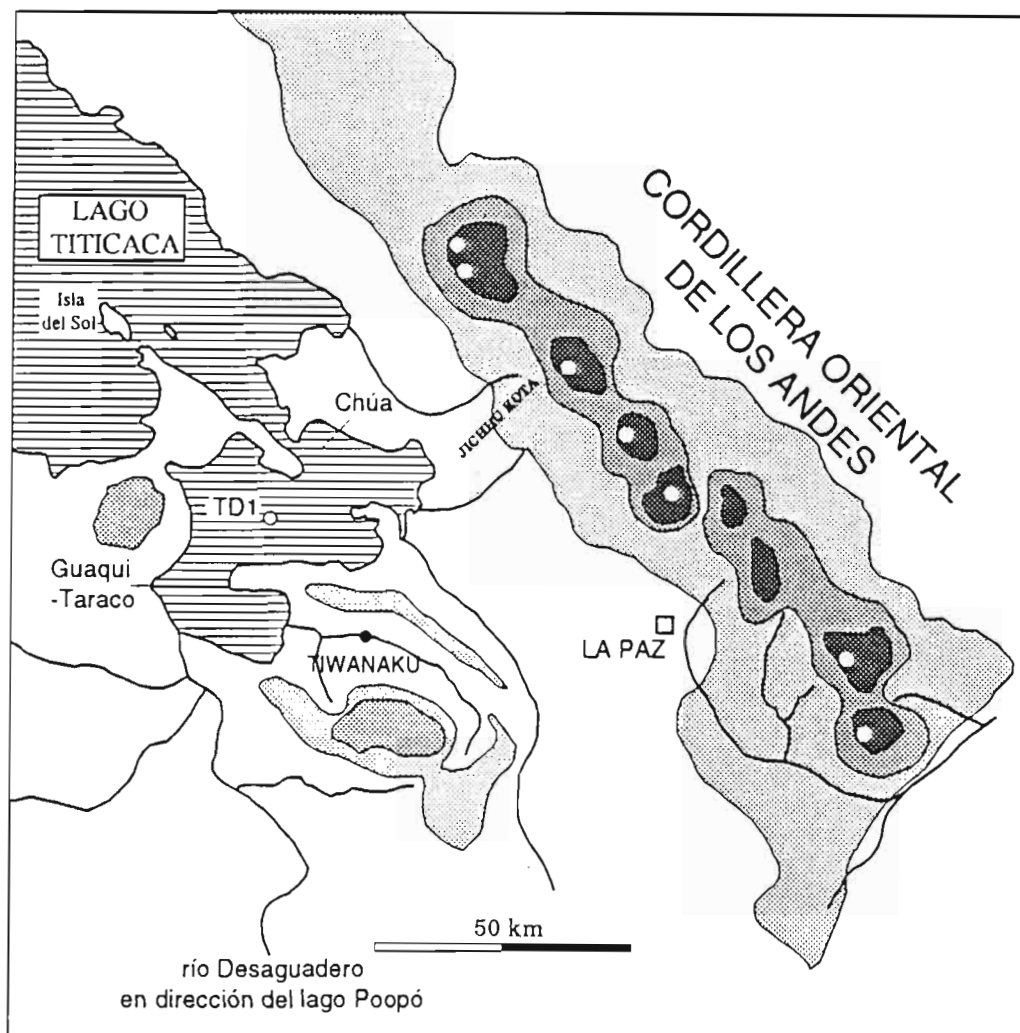
El lago Titicaca está situado al norte de una vasta cuenca endorreica, el Altiplano. Este inmenso lago es el centro de una sedimentación continua desde el Plioceno (Lavenue, 1991; Dejoux, 1994). El lago mismo se sitúa a una altura de 3809 ( $\pm$  3m); cimas a más de 6000 m jalonan su cuenca de drenaje constituida por la parte central de la cadena de los Andes (cordilleras occidental y oriental del Perú y de Bolivia). Alrededor del lago, las precipitaciones son del orden de 800-1000 mm año<sup>-1</sup> pero disminuyen muy rápidamente a medida que uno se aleja en dirección al sur o al oeste (Roche *et al.*, 1991).

El lago Titicaca actual tiene una superficie del orden de 8500 km<sup>2</sup> y una profundidad máxima de 285 m. Está clásicamente dividido en 3 grandes entidades: la parte más profunda y la más extendida: el lago Chucuito, la bahía de Puno (Perú) al noroeste y el lago Huiñaimarca (la mayor parte situada en Bolivia) al sur. Mirando más de cerca, es posible dividir el lago Huiñaimarca en 2 partes (Fig. 9.1): una zona al este, la fosa de Chúa (aproximadamente 40 m de profundidad máxima) y una zona al oeste, la bahía de Guaqui-Taraco (un poco más de 20 m de profundidad máxima). En la parte oeste se realizó un sondeo a 19 m de altura de agua (Fig. 9.1) con ayuda de un saca-testigos Mackereth (Barton & Burden, 1979).

## 3. METODO

Los datos de base que sirvieron para la reconstrucción de la evolución paleohidrológica del lago Titicaca fueron obtenidos por medio del análisis de

sedimentos superficiales reunidos en una vasta gama de medios acuáticos representativos del Altiplano boliviano.



**Figura 9.1.** El Altiplano norte con el lago Titicaca y la cordillera Oriental. Ubicación del sondeo TD1 en el lago Huiñaimarca.

Esto va desde los lagos y charcos oligohalinos de grandes alturas (hasta 5000 m; Fig. 9.2) hasta las lagunas hiperhalinas del Sud Lípez, pasando por los lagos Titicaca y Poopó. La gran mayoría de las extracciones fue realizada con ayuda de un extractor de testigos Kajak (Danielopol *et al.*, 1990). Se determinaron ostrácodos y pólenes.

### 3.1. Datos palinológicos

Los palinomorfos contenidos en los sedimentos fueron reagrupados en 4 entidades que corresponden a su pertenencia ecológica (Ybert, 1991).

"Los Terrestres" corresponden mayormente a las plantas típicas de la puna y son en particular Gramineae, Compositae, Chenopodiaceae, Amaranthaceae, etc.

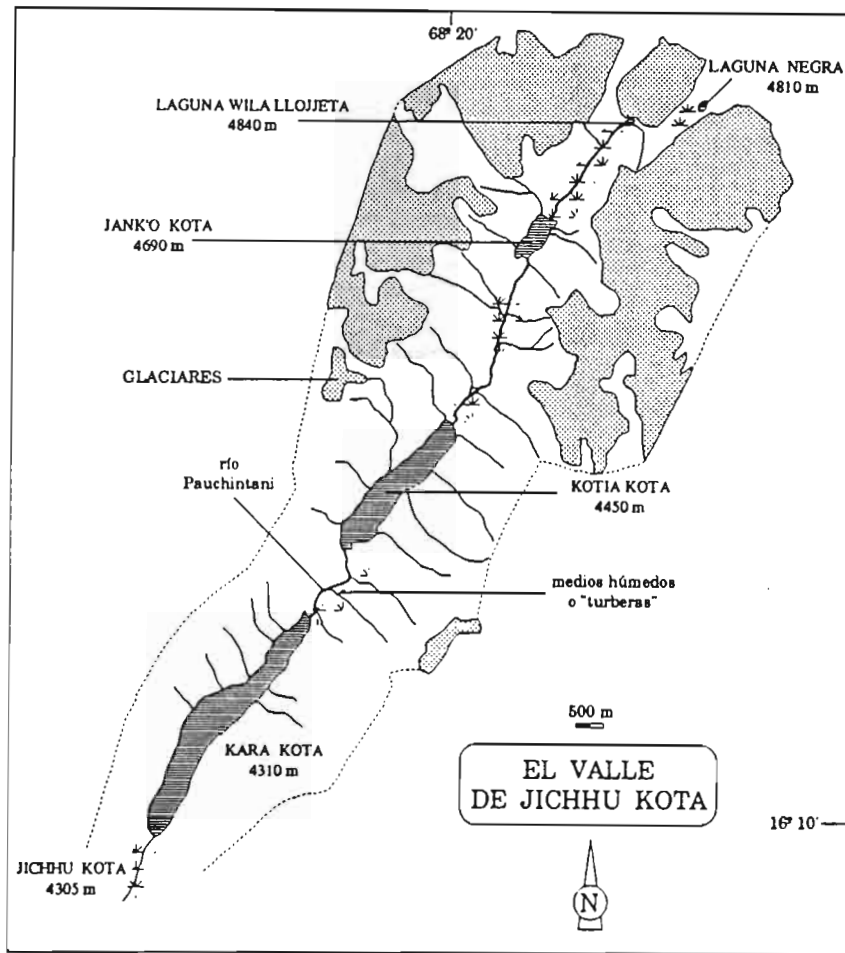


Figura 9.2. El valle Jichhu Kota con sus principales medios acuáticos.

"Los Medios Húmedos" provienen de las zonas de inundación de los lagos y de las turberas de altura. Estos comprenden los Cyperaceae, Juncaceae, *Plántago* y las esporas de Pteridofitas, musgos, hepáticas y hongos.

"Los Acuáticos" comprenden todos los macrofitos: Umbelliferae, *Myriophyllum*, *Ruppia*, *Ranunculus*, *Potamogeton*, *Elodea* e *Isoëtes*.

"Las Algas" incluyen los taxones siguientes: *Spyrogyna*, *Ankistrodesmus*, *Pediastrum* y *Botryococcus*.

El análisis de los espectros palinológicos hace resaltar 2 elementos importantes en la distribución de los diferentes taxones:

- una relación pólenes/altura,
- una relación pólenes/profundidad de agua.

La relación pólenes/altura es particularmente clara para algunos taxones, ya que su abundancia relativa varía de manera muy significativa entre los 3810 m de altura y los 4690 m (Fig. 9.3).

Analizando la distribución de los pólenes en cada sistema lacustre, aparece también una relación con la altura de agua. A modo ilustrativo, se dio un transecto

efectuado en el lago Chucuito entre 0 y 90 m de profundidad (Fig. 9.4). Esta repartición se explica por la presencia de franjas vegetales, que están vinculadas a la profundidad de agua (Collot *et al.*, 1983).

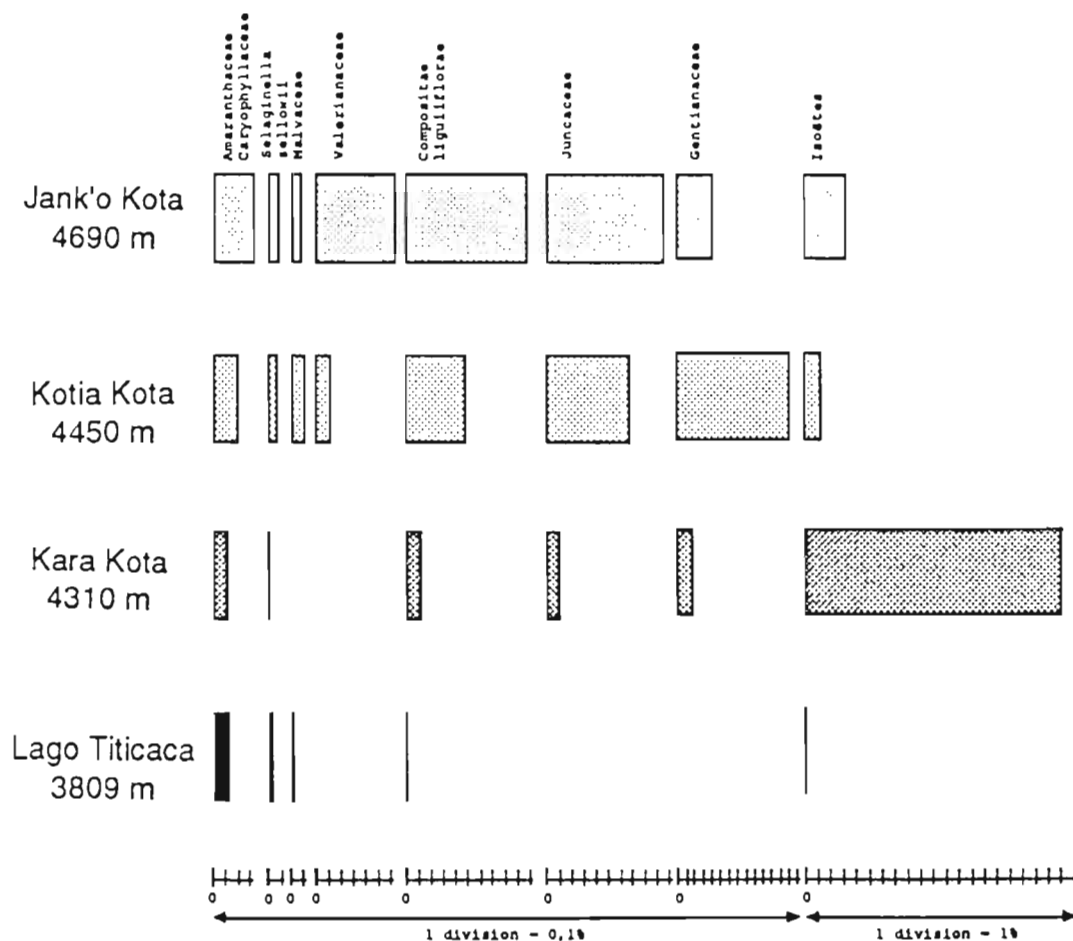


Figura 9.3. Relación de algunos palinomorfos con la altura (según Ybert, 1991).

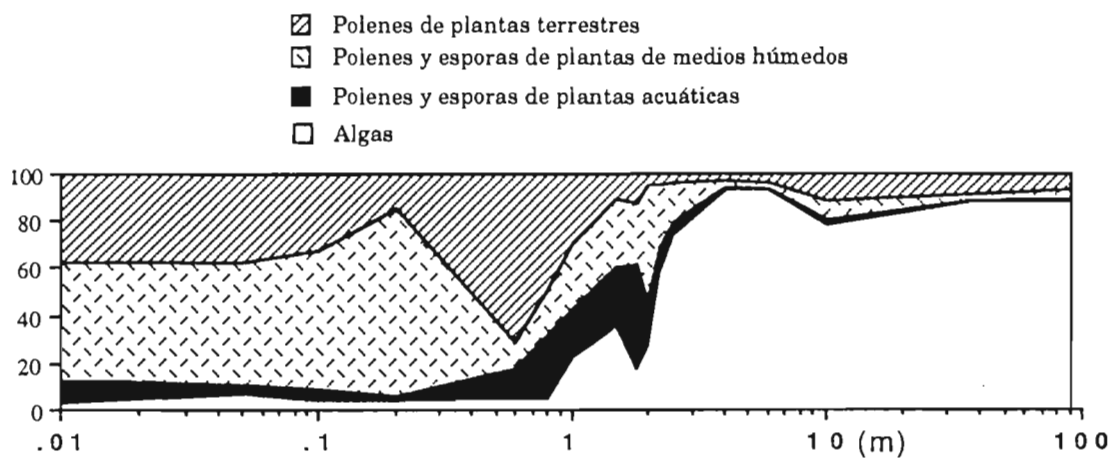


Figura 9.4. Relación palinomorfos con la profundidad de agua en el lago Chucuito (según Ybert, 1991).

### 3.2. Datos proporcionados por los ostrácodos

El análisis de las faunas de ostrácodos muestra que su repartición está ligada al parámetro altura de agua, y esto en los grandes sistemas lacustres como el lago Titicaca (Fig. 9.5) y el lago Poopó (Mourguiart, 1987a y b). Las lagunas poco profundas y los medios temporales se caracterizan por asociaciones faunicas particulares (Mourguiart & Roux, 1990). A partir de estas constataciones cualitativas, se desarrollaron funciones de transferencia haciendo intervenir los ostrácodos y algunas características físico-químicas del medio de extracción (Mourguiart & Roux, *op cit.*; Mourguiart *et al.*, 1992; Mourguiart & Carbonel, 1994; Mourguiart *et al.*, este volumen). Se deduce que los mejores resultados obtenidos lo son a partir de la regresión efectuada en el parámetro profundidad de agua. Las paleopropiedades reconstruidas a partir de esta función de transferencia serán proporcionadas con un error standard de 0,82 m; el coeficiente de correlación siendo igual a 0,98 (Mourguiart & Carbonel, 1994).

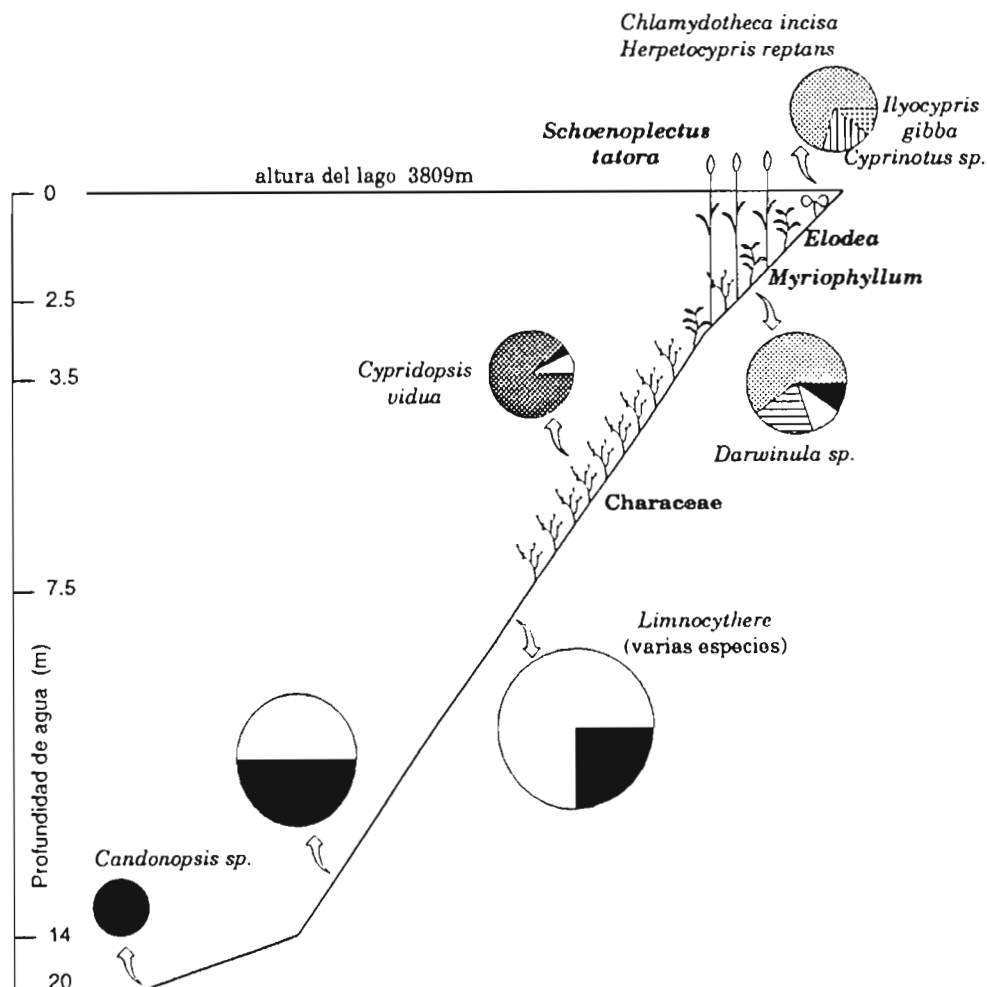


Figura 9.5. Repartición de los ostrácodos en el lago Titicaca en función de la profundidad de agua y de la vegetación macrofital (según Mourguiart & Carbonel, 1994).

## 4. RESULTADOS

En mayo de 1983, 17 testigos fueron extraídos en el lago Titicaca y los lagos del valle de Jichhu Kota con ayuda de un extractor Mackereth. El detalle de las secuencias litológicas es proporcionado en otra fuente (Wirrmann, 1987; Wirrmann & Oliveira Almeida, 1987; Wirrmann *et al.*, 1988). Sólo un testigo fue objeto de un estudio conjunto de los ostrácodos y los pólenes. Se trata del testigo TD1 (Fig. 9.1) extraído a una profundidad de 19 m de altura de agua en la parte oeste del lago Huiñaimarca. Tiene una longitud de 537,5 cm. La secuencia litológica es proporcionada en la figura 10.7 (Mourguiart *et al.*, este volumen).

### 4.1. Estratigrafía

La edad de los sedimentos pudo ser determinada a partir de 7 fechados  $^{14}\text{C}$  (Mourguiart *et al.*, este volumen). Entre 2 fechados, las edades son calculadas por interpolación lineal (Mourguiart *et al.*, 1992; Fig. 9.6). Las edades de la base y el tope de la columna sedimentaria son obtenidas por extrapolación lineal. Varios puntos merecen ser subrayados:

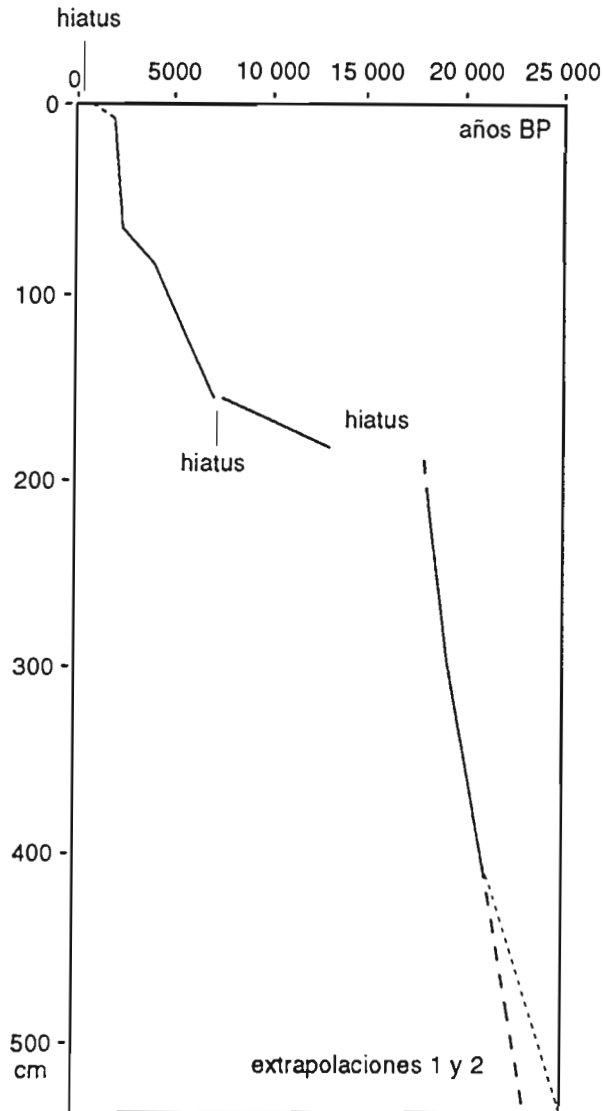
1. Tres hiatus son evidenciados. El más importante, entre ~ 18 000 y ~ 14 000 (ó 15 000) años BP, corresponde a una fase de emersión tal vez asociada a un proceso erosivo. El segundo se sitúa alrededor de los 8000 años BP; corresponde a un desecamiento de esta parte del lago Titicaca atestiguado por un depósito de yeso (Wirrmann & Mourguiart, 1995). El tercero está situado en el tope del testigo; su origen está relacionado con el sistema de extracción mismo: cuando el testigo penetra en el sedimento, tiene una tendencia a expulsar los sedimentos superficiales fluidos (Mourguiart *et al.*, 1992).

2. A fin de determinar con mayor precisión la edad de los depósitos de los últimos 80 cm, se utilizaron varios fechados obtenidos de otros testigos (Mourguiart *et al.*, 1992). Efectivamente, las velocidades de sedimentación en el lago Titicaca varían mucho en función de la altura de agua (Pourchet *et al.*, 1994).

3. Dada esta última constatación, es razonable pensar que el índice de sedimentación aplicado a la base del testigo y obtenido por extrapolación del índice de la secuencia anterior (Fig. 9.6; extrapolación 1) sólo refleja la realidad. Veremos más adelante que esta secuencia de la base del testigo corresponde a un medio más profundo que la secuencia superior. El índice que hemos determinado es tal vez sobreestimado, de tal manera que la edad de la base del testigo TD1 es probablemente más antiguo que 23 400 años BP, más próximo a los 25 000 años BP (Fig. 9.6, extrapolación 2).

4. Sólo hemos podido calcular para el intervalo 181-155 cm una velocidad media de sedimentación. Esta es la más baja de la serie (Fig. 9.6). Al interior de esta secuencia, la velocidad ha fluctuado con seguridad en grandes proporciones ya que la

base corresponde a un alto nivel lacustre, mientras que el tope corresponde a una emersión (*cf. infra*).



**Figura 9.6.** Variaciones de las tasas de sedimentación en el testigo TD1. Estas tasas son calculadas por interpolación (línea continua) y por extrapolación (líneas discontinuas) lineales. La extrapolación 1 corresponde a la línea gruesa, la extrapolación 2 a la línea delgada (ver texto para mayor explicación).

#### 4.2. Reconstituciones paleomedioambientales

El análisis de los palinomorfos del testigo TD1 permitió definir 5 periodos mayores de la evolución paleobaumétrica del lago Huiñaimarca desde los 25 000 años BP (o 23 400 años BP) y precisar para algunos de ellos las paleotemperaturas (Ybert, 1991). Por su parte, la función de transferencia ostrácodos/profundidad de agua permitió reconstruir con precisión la evolución del plano de agua desde aproximadamente 8000 años BP; únicamente los 155 cm superiores del testigo



encierran valvas de ostrácodos (Mourguiart & Roux, 1990; Mourguiart *et al.*, 1992; este volumen). Son diferenciadas cinco zonas .

#### 4.2.1. Los pólenes

Las cinco secciones palinológicas son descritas a continuación.

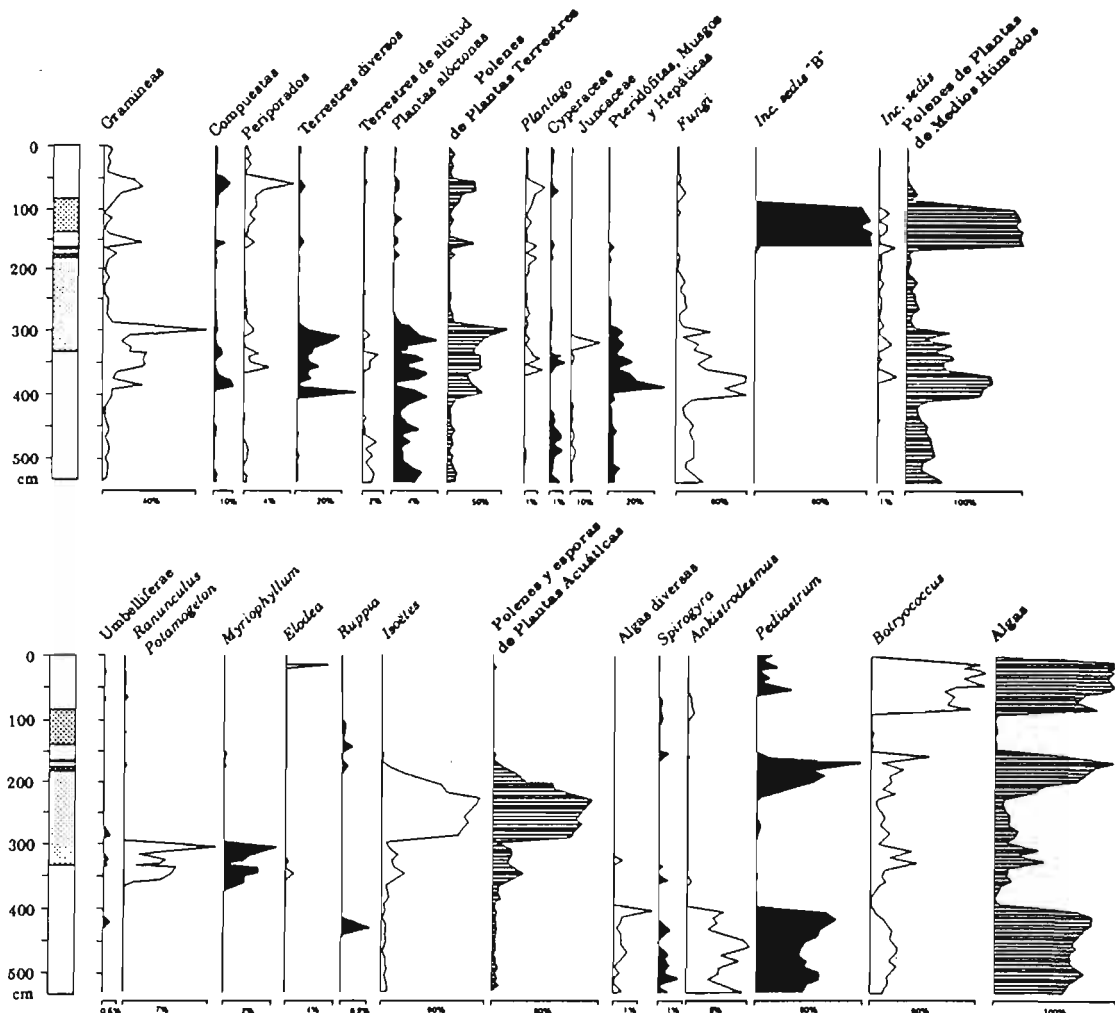


Figura 9.7. Diagrama palinológico resumido del testigo TD1 (según Ybert, 1988).

De la base del testigo (537,5 cm) al nivel 400 cm, el espectro palinológico es dominado por las algas (esencialmente *Pediastrum*) y por las plantas de medios húmedos (Fig. 9.7). Esto corresponde a un medio poco profundo de borde de lago (máximo 4 m). Además, la presencia de algunos taxones como *Isoëtes*, *Valeriana* o incluso *Gentiana* indica un clima más frío que el actual de unos 3 a 5 °C.

De 400 a 200 cm, los espectros son dominados por las plantas terrestres y medios acuáticos muy poco profundos. Las algas han retrocedido mucho (Fig. 9.7). Este es el riesgo de un nivel lacustre muy bajo. En este caso todavía, están presentes los

mismos indicadores de un enfriamiento climático, en particular entre 365 y 295 cm donde habría podido alcanzar valores 5 a 7 °C inferiores a los actuales (Ybert, 1992).

De 200 a 150 cm, las algas (sobre todo *Pediastrum*) son nuevamente mayoritarias (Fig. 9.7), signo de un alto nivel lacustre. La regresión de *Isoëtes* en particular indica una elevación de la temperatura hasta valores cercanos a los actuales en el límite superior de la zona.

De 150 cm a 85 cm, las floras son comparables a las del lago Poopó actual, medio muy poco profundo con salinidad variable. Se observará especialmente la gran abundancia de *Incertae sedis* y la presencia de *Ruppia* (Fig. 9.7). La aparición de *Valeriana* y de *Isoëtes* entre 100 y 80 cm indica un ligero enfriamiento del clima durante este lapso de tiempo (del orden de 2 °C).

De 85 cm al tope, los espectros son dominados por las algas y sobre todo por *Botryococcus*, marca evidente de altos niveles lacustres. Señalemos alrededor de 15 cm la presencia de *Gentiana* e *Isoëtes*, marcadores de un deterioro pasajero del clima.

#### 4.2.2. Los ostrácodos

Aparecen claramente cinco cortes en función de la composición de la fauna (Fig. 9.8).

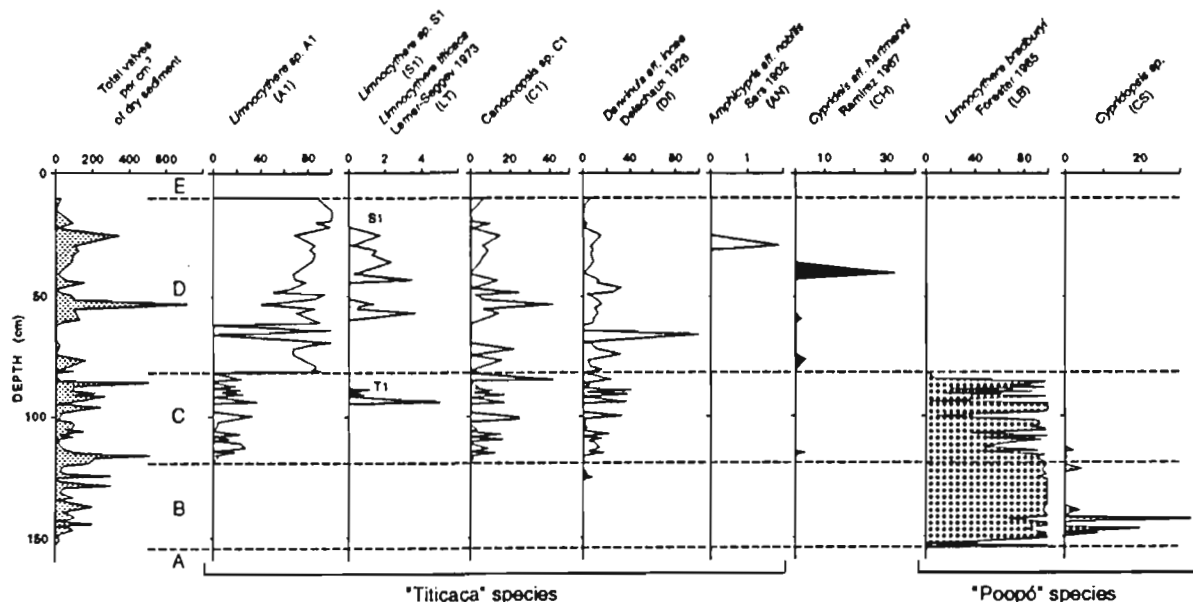


Figura 9.8. Repartición de los ostrácodos en el sondeo TD1 (según Wirmann & Mourguiart, 1995).

De la base a 155 cm, (sección A), no hay ostrácodos. Esto no tiene nada de sorprendente ya que los medios están cerca de una turbera de altura, o de un lago poco profundo rodeado de una franja de *Isoëtes* (de la base a 200 cm; ver capítulo pólenes), o se trata de un lago profundo. El primer tipo de medio es poco favorable para la proliferación de los ostrácodos. En algunos charcos se encuentran individuos de

*Chlamydotheca incisa* pero cuyas valvas no se conservan en los sedimentos (Mourguiart & Carbonel, 1994). En las zonas profundas del lago Huiñaimarca actual, los ostrácodos (*Candonopsis sp. C1* y *Limnocythere sp. A*) se encuentran en poca cantidad y son rápidamente disueltos con la muerte de los organismos (Mourguiart, 1987; Mourguiart & Roux, 1990). Globalmente, estos 2 medios de sedimentos aunque radicalmente diferentes son eminentemente desfavorables para la conservación de los caparazones calcáreos de los ostrácodos.

De 155 a 117 cm (sección B), la abundancia de *Limnocythere bradburyi* y de *Cypridopsis sp.*, así como la ausencia casi total de otras especies, son indicadores de un lago polihalino poco profundo comparable al lago Poopó actual.

De 117 a 85 cm (sección C), la asociación faúnica es siempre dominada por *L. bradburyi* pero otras especies están presentes (*Limnocythere titicaca sp. A1, sp. S1*; *Candonopsis sp. C1* y *Darwinula aff. incae*). Esta mezcla de faunas sugiere un medio muy variable desde el punto de vista de la salinidad (de 1 a > 30 g l<sup>-1</sup>).

De 85 a 10 cm (sección D) encontramos la fauna característica del lago Huiñaimarca actual. Con excepción de niveles que contienen la especie *Cyprideis aff. hartmanni*, las aguas son de tipo dulce a oligohalino.

De 10 cm al tope (sección E), los ostrácodos están ausentes, debido a las condiciones de preservación aleatorias en medio profundo (*cf. supra*)

## 5. DISCUSION

Las informaciones obtenidas por medio del análisis de pólenes y de ostrácodos están sintetizadas en la figura 9.9. La curva exterior de la parte inferior representa el aporte de los datos palinológicos. La parte superior (de 155 a 10 cm) corresponde a los valores obtenidos como resultado de la función de transferencia ostrácodos/profundidad de agua. Finalmente, la sección en línea de puntos (de 10 a 0 cm) simboliza el paso del lago de una altura de 3803-3804 m al nivel actual de 3809 m. No es posible, por el momento, precisar hasta qué punto se efectuó esta última subida.

Esta evolución reconstruida del lago Huiñaimarca lleva a algunos comentarios.

1. La reconstitución batimétrica que ha sido posible reconstruir a partir de la palinología es de tipo semicuantitativo (el margen de errores es importante). No parece plantear problemas para la parte inferior (537,5-200 cm). Tampoco es posible para la sección 200-150 cm. Retomemos las conclusiones de Ybert (1991) para el intervalo: "En el curso del período correspondiente a la subzona 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". El autor, haciendo alusión a la subzona C1, se refiere a

2 figuras incluidas en su artículo (Fig. 5 y 6). Se observa, en efecto, que el espectro es dominado por *Pediastrum* (cf. Fig. 9.7, este artículo). Ahora bien, el *Pediastrum* no parece característico de los medioambientes profundos sino más bien de la zona 3-10 m de profundidad (cf. Fig. 3, en Ybert, 1991). En cambio, las profundidades importantes se caracterizan por *Botryococcus* (cf. misma figura). Por lo demás, cuando hacia el tope del testigo (a partir de 85 cm) el lago Huiñaimarca se profundiza, claramente los espectros son dominados por *Botryococcus* y no por *Pediastrum* (Fig. 9.7). En realidad, parece que este autor (J.P. Ybert) hace referencia (sin decirlo) a una pequeña terraza lacustre situada en los alrededores del lago Huiñaimarca a una altura de ~ 3815 m y que fue atribuida a la fase Tauca (13-10 ka BP) por Servant & Fontes (1978) y por Lavenu *et al.* (1984). Se debe observar que estos depósitos no han sido objeto hasta la actualidad de ningún fechado. Por lo tanto, no se ha probado que representen completamente o parte a la fase Tauca. En la figura 9.9 hemos preferido subrayar este hecho con un punto de interrogación y una gran incertidumbre sobre la reconstitución. Sin embargo, la zona en *Pediastrum* actual es una zona con fuerte índice de sedimentación (Pourchet *et al.*, 1994). Aunque no haya sido posible determinar con precisión el índice de sedimentación en el intervalo 200-155 cm (ver párrafo 4.1 Estratigrafía), está claro que este índice es de todas maneras muy bajo. Es una característica de los medioambientes profundos del lago actual (Pourchet *et al.*, 1994). Además, el sedimento es típico del que se encuentra hoy en día por grandes profundidades (Rodrigo & Wirmann, 1991). Parece entonces, por razones relacionadas con la sedimentación (velocidad y facies), que al menos una parte del intervalo 200-150 cm (la parte inferior) corresponde a un medio profundo.

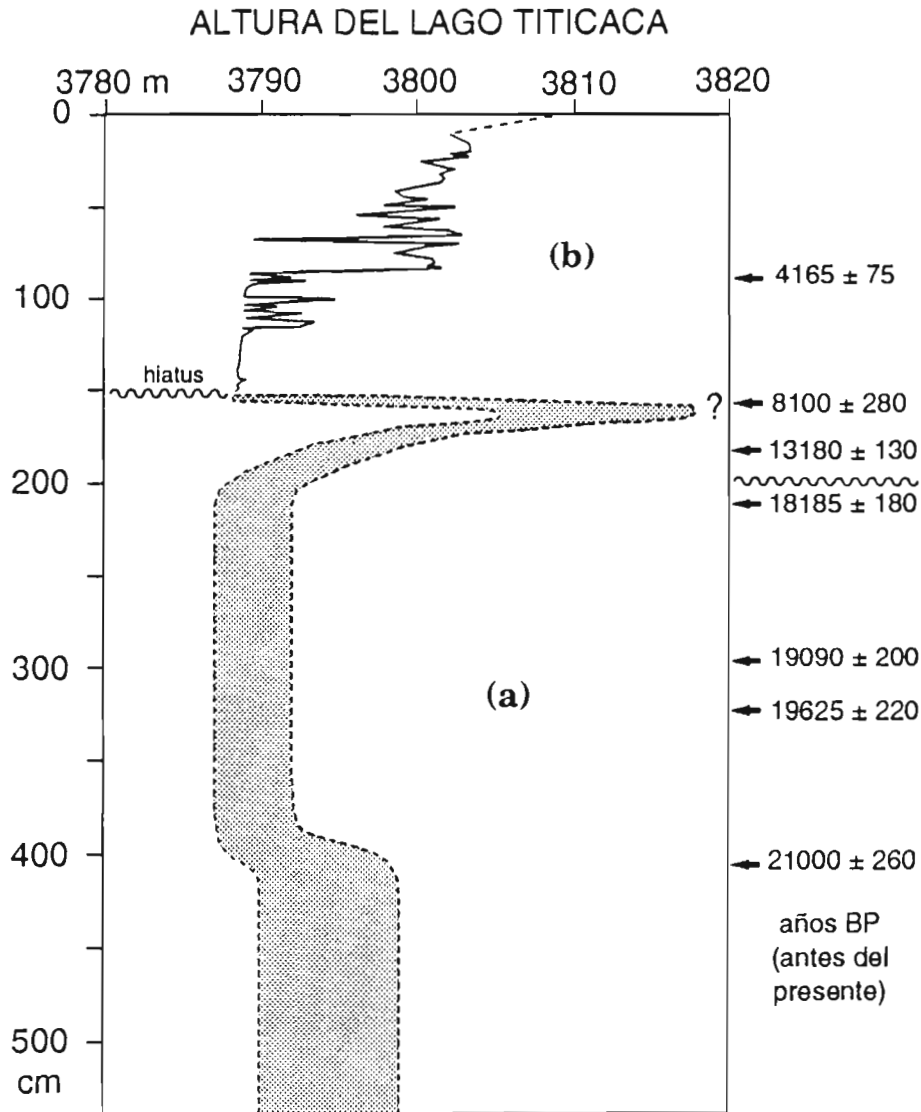
2. Con excepción probablemente del período correspondiente al Tauca (ver comentario 1), el lago Huiñaimarca siempre ha estado en un nivel inferior al actual (3809 m) durante los 23 o 25 últimos milenios). Incluso se secó 2 veces en el lugar de extracción del testigo TD1: entre ~ 18 000 y ~ 14 000 años BP y cerca de los 8000 años BP, desecamientos marcado por hiatus sedimentarios (Fig. 9.9).

3. Una parte del Holoceno se caracteriza por fluctuaciones rápidas e importantes del nivel de agua. El interés de estas variaciones bruscas en las reconstituciones paleoclimáticas fue discutido en otra fuente (Martin *et al.*, 1992a y b, 1993; Mourguiart *et al.*, este volumen).

## 6. CONCLUSION

El análisis de los pólenes y de los ostrácodos de un testigo permitió reconstruir la evolución del lago Huiñaimarca en el Cuaternario terminal. A nivel de los Andes Centrales, el testigo TD1 fue solamente el segundo sondeo (después del de la laguna Junín, Perú; Hansen *et al.*, 1984) que alcanzó el Último Máximo Glaciar. Es decir la

importancia de los resultados adquiridos a nivel de la paleoclimatología de toda la región.



**Figura 9.9.** Evolución paleobatimétrica del sondeo TD1. La parte inferior (a) fue establecida a partir del análisis de los palinomorfos, la parte superior (b) a partir de la función de transferencia ostrácodos/profundidad de agua.

#### BIBLIOGRAFIA

- AGASSIZ, A. 1875. Reports on the scientific results of the expedition to the eastern tropical Pacifico. Mem. Mus. of Comparat. Zool. Havard College, Cambridge Mass, 33.
- AHLFELD, F.E. 1946. Geología de Bolivia. *Rev. Mus. La Plata (nueva serie), Secc. Geol.*, 3: 5-370.
- AHLFELD, F.E. & BRANISA L. 1960. Geología de Bolivia. Instituto Boliviano de Petróleo. Don Bosco edit. La Paz, 245 p.
- BARTON, C.E. & BURDEN, F.R., 1979. Modifications to the Mackereth corer. *Limnol. Oceanogr.* 24 (5): 977-983.
- BOWMAN, I. 1909. Physiography of the Central Andes. *Amer. Journ. Sci.*, 4 (28), 373-402.
- BOWMAN, I. 1914. The results of an expedition to the central Andes. *Bull. Am. Geogr. Soc.*, 46: 161 p.

- BOWMAN, I. 1916. The Andes of southern Peru. *New York Geogr. Soc.*, spec. Publ. J.: 336 p.
- CLAPPERTON, C.M. 1993. *The Quaternary Geology and Geomorphology of South America*. Elsevier, Amsterdam.
- COLLOT, D., KORIYAMA, F. & GARCIA, E. 1983. Répartitions, biomasses et productions des macrophytes du lac Titicaca. *Rev. Hydrobiol. trop.*, 16 (3), 241-261.
- DANIELOPOL, D.L., CASALE, L., ROGULJ, B., STROBL, J. & MAIER, K. 1990. Spatial distribution of *Cytherissa lacustris* living in Mondsee. *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, 47: 139-165.
- DEJOUX, C. 1994. Lake Titicaca. In: Martens, K., Goddeeris, B. & Coulter, G. (eds.), *Speciation in Ancient Lakes, Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, 44: 35-42, Stuttgart, Dezember 1994.
- HANSEN, B.C.S., WRIGHT, H.E., Jr. & BRADBURY, J.P. 1984. Pollen studies in the Junin area, central Peruvian Andes. *Bull. Soc. Am.*, 95, 1454-1465.
- LAVENU, A. 1991. Formación geológica y evolución. In: Dejoux, C. & Ittis, A. (eds), *El lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual*, 19-27, ORSTOM, Hisbol, La Paz.
- LAVENU, A., FORNARI, M. & SEBRIER, M. 1984. Existence de deux nouveaux épisodes lacustres quaternaires dans l'Altiplano péruvo-bolivien. *Cahiers ORSTOM, Série Géologie*, 14 (1), 103-114.
- MARTIN, L., ABSY, M.L., FOURNIER, M., MOURGUIART, Ph., SIFEDDINE, A., TURCQ, B. & VOLKER RIBEIRO, C. 1992a. In: ORTLIEB, L. & MACHARE, J. (eds), *Paleo-ENSO Records, international symposium, Extended Abstracts*, Some climatic alterations recorded in South America during the last 7 000 years may be expounded by long-term El Niño like conditions, 187-191.
- MARTIN, L., ABSY, M.L., FLEXOR, J.M., FOURNIER, M., MOURGUIART, Ph., SIFEDDINE, A. & TURCQ, B. 1992b. Enregistrements de conditions de type El Niño, en Amérique du Sud, au cours des 7000 dernières années. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 315, Série II, 97-102.
- MARTIN, L., ABSY, M.L., FLEXOR, J.M., FOURNIER, M., MOURGUIART, Ph., SIFEDDINE, A. & TURCQ, B., 1993. Southern Oscillation signal in South American palaeoclimatic data of the last 7000 years. *Quat. Research*, 39, 338-346.
- MINCHIN, J. 1882. Notes on a journey through part of the Andean tableland of Bolivia. *Proc. R. Geogr. Soc.*, 4: 67 p.
- MOON, H. P. 1939. 3. The geology and physiography at the Altiplano of Peru and Bolivia. In: The Percy Sladen Trust Expedition to Lake Titicaca in 1937. *Trans. Linn. Soc. London*, 3 (1), 27-43.
- MOURGUIART, Ph. 1987a. Les ostracodes actuels de l'Altiplano bolivien. Modèle de répartition. *Géodynamique*, 2 (2), 101-103.
- MOURGUIART, Ph. 1987b. Les ostracodes lacustres de l'Altiplano bolivien. Le polymorphisme, son intérêt dans les reconstitutions paléohydrologiques et paléoclimatiques de l'Holocène. *Unpublished PhD, Univ. Bordeaux I*, 263p.
- MOURGUIART, Ph. 1991. Los ostrácodos. In: Dejoux, C. & Ittis, A. (eds), *El lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual*, 345-352, ORSTOM, Hisbol, La Paz.
- MOURGUIART, Ph & ARGOLLO, J. 1992. Historias separadas de los lagos Huiñaimarca y Chucuito durante el Holoceno. *X Congreso Geológico Boliviano, La Paz*, 26-30 Octubre 1992, p. 107-110.
- MOURGUIART, Ph & CARBONEL, P. 1994. A quantitative method of palaeolake-level reconstructions using ostracod assemblages : an example from the Bolivian Altiplano. *Hydrobiologia*, 288: 183-193.
- MOURGUIART, Ph. & ROUX, M. 1990. Une approche nouvelle du problème posé par les reconstructions des paléoniveaux lacustres : utilisation d'une fonction de transfert basée sur les faunes d'ostracodes. *Géodynamique*, 5 (2), 151-165.
- MOURGUIART, Ph., WIRRMANN, D., FOURNIER, M. & SERVANT, M. 1992. Reconstruction quantitative des niveaux du petit lac Titicaca au cours de l'Holocène. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 315, Série II, 875-880.
- MUSTERS, G.C. 1877. Notes on Bolivia to accompany original maps. *J. R. Geogr. Soc.*, 47: 207.
- NEWELL, N.D. 1949a. Geology of the Lake Titicaca region. Peru and Bolivia. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 36: 111 p.
- NEWELL, N.D. 1949b. Geology of the lake Titicaca region, Peru and Bolivia. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 58: 276 p.
- OGILVIE, A.G. 1922. Geography of the Central Andes. *American Geographical Society*, New York. 31-48.
- POMPECKI, S.F. 1905. Mastodon-rest aus dem interandinen Hochlande von Bolivia. *Paleontologica*. Stuttgart, 52: .

- POURCHET, M., MOURGUIART, Ph., PINGLOT, J-F., PREISS, N., ARGOLLO, J. & WIRRMANN, D., 1994. Sédimentation récente dans le lac Titicaca (Bolivie). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 319, Série IIa: 535-541.
- ROCHE, M. A., BOURGES, J., CORTES, J. & MATTOS, R. 1991. Climatología e hidrología de la cuenca del lago Titicaca. In: Dejoux, C. & Iltis, A. (eds), *El lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual*, 83-104, ORSTOM, Hisbol, La Paz.
- RODRIGO, L. A. & WIRRMANN, D. 1991. Aspecto general de la sedimentación actual. In: Dejoux, C. & Iltis, A. (eds), *El lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual*, 39-43, ORSTOM, Hisbol, La Paz.
- SERVANT, M. 1977. Le cadre stratigraphique du Plio-Quaternaire de l'Altiplano des Andes tropicales en Bolivie. *Bulletin AFEQ, Recherches françaises sur le Quaternaire*, INQUA, 1 (50), 323-327.
- SERVANT, M. & FONTES, J-Ch. 1978. Les lacs quaternaires des hauts plateaux des Andes boliviennes Premières interprétations paléoclimatiques. *Cahiers ORSTOM, Série Géologie*, 10 (1), 9-23.
- SERVANT, M. & FONTES, J-Ch. 1984. Les basses terrasses fluviales du quaternaire récent des Andes boliviennes. Datations par le <sup>14</sup>C. Interprétation paléoclimatique. *Cahiers ORSTOM, Série Géologie*, 14 (1), 15-28.
- SERVANT, M., FOURNIER, M., ARGOLLO, J., SERVANT-VILDARY, S., SYLVESTRE, F., WIRRMANN, D. & YBERT, J.P. 1995. La dernière transition glaciaire/interglaciaire des Andes tropicales sud (Bolivie) d'après l'étude des variations des niveaux lacustres et des fluctuations glaciaires. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 320, 729-736.
- STEINMANN, G., HOK, H. & BISTRAM, A. 1906. Zür Geologie des Suedöstlichen Bolivien. *Zbl. Min.*, 5: 1-4.
- TROLL, C. 1927a. Forschungsreisen in den zentralen Anden von Bolivia und Peru. *Peterm. Mitt.*, 73, 41-43.
- TROLL, C. 1927b. Forschungsreisen in den zentralen Anden von Bolivia und Peru. *Peterm. Mitt.*, 73, 218-222.
- WIRRMANN, D. 1987. El lago Titicaca: sedimentología y paleohidrología durante el Holoceno (10 000 años BP - Actual). *Informe UMSA-ORSTOM*, La Paz, 6, 61p.
- WIRRMANN, D. & MOURGUIART, Ph. 1995. Late Quaternary spatio-temporal limnological variations in the Altiplano (South America). *Quaternary Research*, 43, 344-354.
- WIRRMANN, D., MOURGUIART, Ph. & de OLIVEIRA ALMEIDA, L.F., 1988. Holocene sedimentology and ostracodes repartition in Lake Titicaca. Paleohydrological interpretations. In: Rabassa, J. (ed.), *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 6, 89-127, Balkema, Rotterdam.
- WIRRMANN, D. & de OLIVEIRA ALMEIDA, L. F. 1987. Low Holocene level (7700 to 3650 years ago) of Lake Titicaca (Bolivia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 59, 315-323.
- WIRRMANN, D., YBERT, J-P. & MOURGUIART, Ph., 1991. Una evaluación paleohidrológica de 20 000 años. In: Dejoux, C. & Iltis, A. (eds), *El lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual*, 61-67, ORSTOM, Hisbol, La Paz.
- 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., 1991. Los paisajes lacustres antiguos según el análisis palinológico. In: Dejoux, C. & Iltis, A. (eds), *El lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual*, 69-79, ORSTOM, Hisbol, La Paz.