

10. EL LAGO TITICACA DURANTE EL HOLOCENO: UNA HISTORIA COMPLEJA

*Philippe Mourguiart¹, Jaime Argollo², Pierre Carbonel³,
Thierry Corrège⁴ & Denis Wirrmann⁵*

Resumen

Recurrir a una función de transferencia ostrácodos/batimetría ha permitido, a partir de resultados de 3 sondeos, reconstruir con precisión la historia del lago Titicaca desde aproximadamente 8000 años. Durante la mayor parte del Holoceno, los niveles lacustres permanecieron inferiores a los que conocemos hoy en día. Los datos obtenidos muestran también que el lago Titicaca funcionó en cuencas independientes durante varios milenios. El hombre andino ha asistido a esta evolución hidrológica compleja. En algunos momentos debió hacer frente a situaciones críticas generadas por sequías drásticas.

1. INTRODUCCION

El lago Titicaca está situado en el corazón de las cordilleras occidental y oriental de los Andes peruano-bolivianos. Este lago de aguas dulces entra en la categoría de los lagos monomíticos cálidos (Lazarro, 1981); se extiende entre 16°15'-17°30' de latitud sur y 68°30'-70° de longitud oeste, a una altura de 3809 m sobre el nivel del mar (Fig. 10.1).

La historia (y la prehistoria) de las poblaciones humanas a orillas del lago Titicaca, es muy compleja y agitada. Los etnólogos, etnohistoriadores y arqueólogos han probado la existencia de importantes movimientos de poblaciones de un lugar a otro (Bouysse-Cassagne, 1992; Bouysse-Cassagne *et al.*, 1992; Morlon, 1991; Ponce Sanginés *et al.*, 1992). Algunas de estas migraciones probablemente encuentran su origen en cambios rápidos del clima regional. El objetivo de este artículo es presentar los resultados adquiridos con ayuda de una función de transferencia ostrácodos/nivel del lago Titicaca y, a partir de éstos, sugerir un comienzo de reflexión sobre el tema: el hombre andino y su medio ambiente.

2. LOS DATOS - EL METODO

El Altiplano es una cuenca endorreica de 190 000 km², 200 km de ancho en promedio y se extiende hasta aproximadamente 1500 km de Norte a Sur. La parte Norte de este sistema está ocupada por el lago Titicaca (aprox. 8500 km², 3809 m de altura) y

¹ Programme AIMPACT, UR 12, Mission ORSTOM, CP 9214, La Paz, Bolivie.

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

³ Département de Géologie et Océanographie URA CNRS 197, Université Bordeaux I, Avenue des Facultés, 33405 Talence cédex, France.

⁴ Centre ORSTOM d'Ile de France, 33 avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex, France.

⁵ Programme AIMPACT, UR 12, Centre ORSTOM, BP 1857, Yaoundé, Cameroun.

su cuenca vertiente de drenaje (aprox. 48 840 km²). Si bien el volumen de agua del Titicaca es importante, del orden de 900 km³ (Wirrmann, 1991), su nivel está muy fuertemente influenciado por las variaciones interanuales en el régimen de las precipitaciones (Antunez de Mayolo, 1992; Fig. 10.2). El hecho que el lago Titicaca responda casi instantáneamente a toda modificación de la intensidad de las precipitaciones sobre su cuenca, es particularmente interesante para un geólogo. Quedan por definirse en el pasado sus paleoniveles.

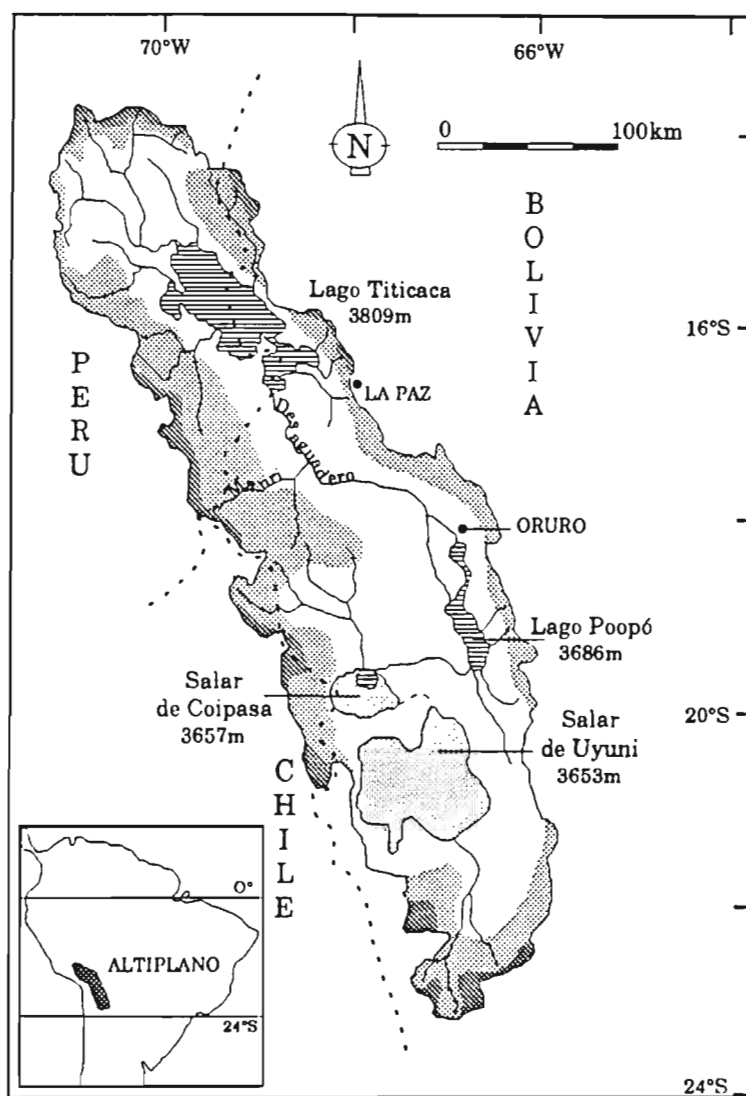


Figura 10.1. El Altiplano boliviano. Ubicación de las principales cuencas y de las cordilleras.

Los ostrácodos son microcrustáceos que viven en estrecha dependencia con su micro-medio ambiente. En el lago Titicaca, los ostrácodos bénticos y epífitos tienen una repartición que está muy estrechamente relacionada a la profundidad de agua (Mourguiart, 1987; Mourguiart & Roux, 1990; Mourguiart & Carbonel, 1994). Esto se explica no solamente por una cobertura macrófita dependiente de la altura de agua (Collot *et al.*, 1983) sino también por niveles de energía (por lo tanto por naturalezas

variables de sustratos), índices de oxigenación en la interfase agua-sedimento y recursos alimenticios relacionados a este mismo parámetro batimétrico. Existen diferencias a nivel de la zonificación batimétrica de las poblaciones de ostrácodos entre el lago Huiñaimarca (cuenca sur del lago Titicaca) y el lago Chucuito (cuenca norte). Esto se debe a diferentes niveles de la transparencia de las aguas entre las dos cuencas. Las aguas del lago Chucuito, más claras, permiten una colonización más profunda por los macrofitos y en particular por las Characeae (Iltis & Mourguiart, 1992). Las asociaciones de ostrácodos se encuentran por esta razón desplazadas hacia abajo en relación con las encontradas en el lago Huiñaimarca (Mourguiart, 1992). Los análisis estadísticos efectuados sobre las faunas de ostrácodos toman en cuenta estas diferencias entre cuencas.

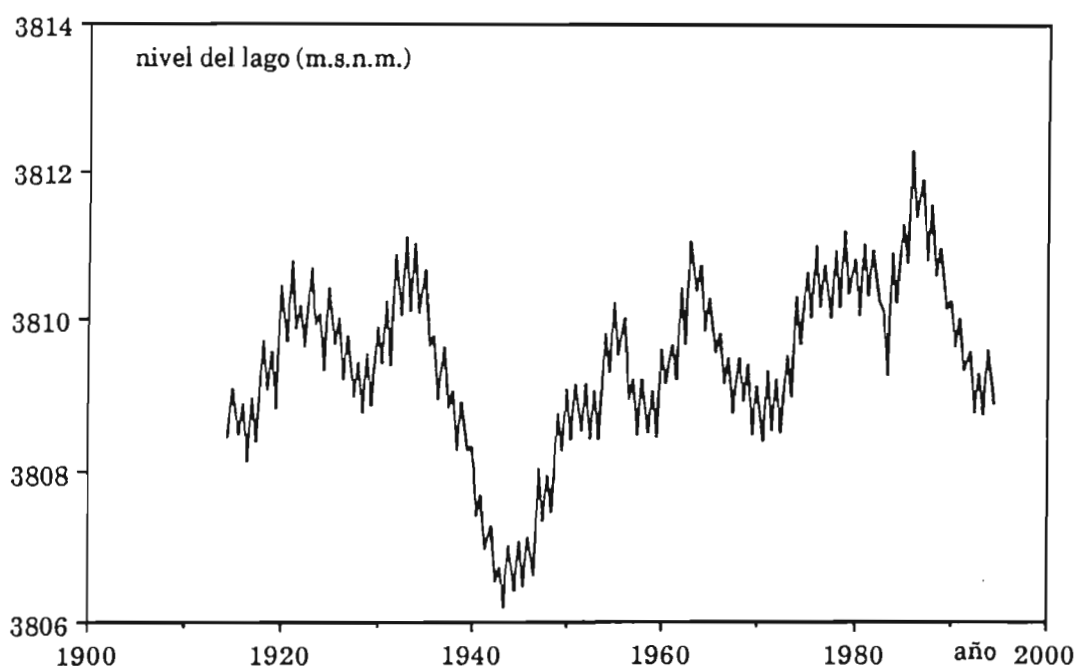


Figura 10.2. Variaciones del lago Titicaca desde el año 1912.

En total, los medios acuáticos actuales de Bolivia encierran unas cincuenta especies de ostrácodos (Mourguiart, 1987). Algunas formas con caparazón muy fina (mayormente especies epífitas) no se sedimentan o en condiciones muy particulares. Esto no lo tomamos en cuenta en nuestra base de datos (Mourguiart & Roux, 1990). Así, las especies "fossilizables" son 28 (mayormente formas bénticas *sensu stricto*). Se realizó un análisis factorial de las correspondencias (AFC) sobre una base de 115 muestras actuales abarcando por lo menos una especie de ostrácodos. La repartición espacial de esta referencia es dada en otra parte (Mourguiart & Roux, *op. cit.*; Mourguiart & Carbonel, 1994). Esta base de datos es luego reducida a un cuadro de 28 líneas o especies y 17 colonias o clases medioambientales (Cuadro 10.1). Estas

clases medioambientales corresponden a la combinación de las diferentes subclases establecidas para cada parámetro del medio tomado en cuenta en el estudio.

PROFUNDIDAD (m) nb = 5	SALINIDAD (g l ⁻¹) nb = 4	Mg/Ca nb = 4	CODIGO nb = 17
0 - 0.14 (1)	0 - 0.95 (1)	0 - 0.5 (1)	111=1
0 - 0.14	0.96 - 3.5 (2)	0 - 0.5	121=2
0 - 0.14	0.96 - 3.5	0.57 - 0.73 (3)	123=3
0 - 0.14	3.6 - 17.5 (3)	0.51 - 0.56 (2)	132=4
0 - 0.14	3.6 - 17.5	0.57 - 0.73	133=5
0 - 0.14	3.6 - 17.5	0.74 - 1.05 (4)	134=6
0 - 0.14	17.5 - 60 (4)	0.57 - 0.73	143=7
0.15 - 1.25 (2)	0 - 0.95	0.51 - 0.56	212=8
0.15 - 1.25	0.96 - 3.5	0.51 - 0.56	222=9
0.15 - 1.25	3.6 - 17.5	0.74 - 1.05	234=10
0.15 - 1.25	17.5 - 60	0.74 - 1.05	244=11
1.26 - 2.75 (3)	0 - 0.95	0.51 - 0.56	312=12
1.26 - 2.75	0.96 - 3.5	0.51 - 0.56	322=13
1.26 - 2.75	3.6 - 17.5	0.74 - 1.05	334=14
1.26 - 2.75	17.5 - 60	0.74 - 1.05	344=15
2.76 - 7.50 (4)	0 - 0.95	0.51 - 0.56	412=16
7.51 - 14.05 (5)	0 - 0.95	0.51 - 0.56	512=17

Cuadro 10.1. Clases medioambientales (17) obtenidas por combinación de las diferentes subclases establecidas para los 3 parámetros.

Esto concierne a tres factores: (1) la altura de agua durante la extracción de la muestra, (2) la salinidad y (3) la relación iónica Mg/Ca. El fichero obtenido es sometido a un nuevo AFC después de añadir dos cuadros tratados en elementos pasivos (*sensu* Benzécri, 1973) que contienen el conjunto de anotaciones faunísticas actuales (115 muestras) y fósiles (número variable, igual al de las muestras extraídas en cada sondeo y que comprende por lo menos una especie de ostrácodo; Fig. 10.3).

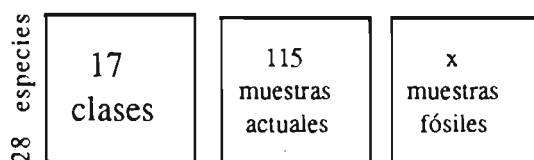


Figura 10.3. Disposición de los ficheros introducidos en el AFC.

Este tratamiento estadístico permite obtener no solamente las coordenadas factoriales de las clases medioambientales en un sistema de ejes en n dimensiones sino también las de las muestras actuales y fósil en el mismo espacio vectorial. Este sistema de representación es particularmente cómodo ya que permite visualizar instantáneamente la posición de las muestras fósiles en relación con las anotaciones

actuales o, en otros términos, verificar la existencia para cada asociación faunica fosilizada de por lo menos un análogo actual. A modo de ilustración, en la figura 10.4 damos una proyección en el plano de los dos primeros ejes de las asociaciones actuales (Fig. 10.4a) y fósiles (Fig. 10.4b). Al final de esta AFC, se efectúa una regresión lineal múltiple en cada parámetro medioambiental tomado en cuenta. En este artículo, comentaremos solamente los resultados obtenidos al final de la regresión en el parámetro **profundidad**.

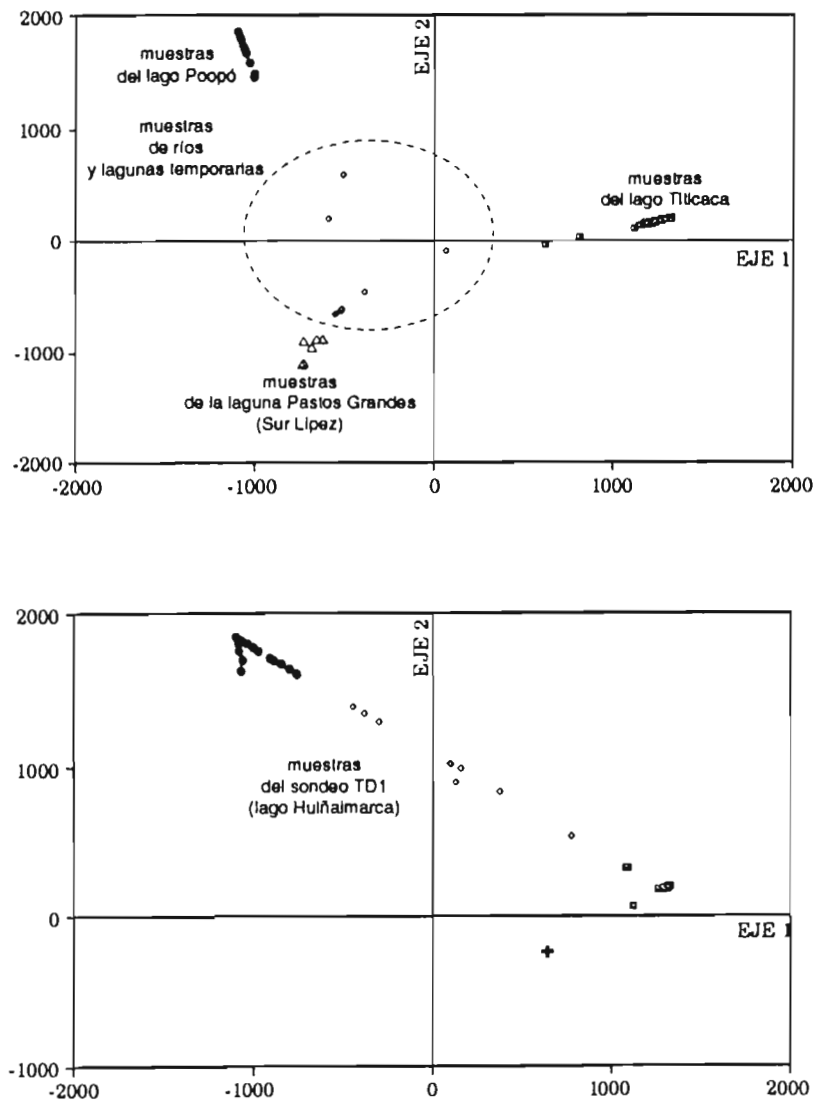


Figura 10.4. Proyecciones en los dos primeros ejes del análisis factorial de correspondencias a) de las muestras actuales y b) de las muestras del sondeo TD1.

3. LOS RESULTADOS

3.1 Condiciones de aplicabilidad de la función de transferencia

Cualquier aplicación de una función de transferencia con floras y faunas fosilizadas supone que éstas tengan equivalencias actuales, es decir, que la gran mayoría de los macrofósiles (siendo el ideal, claro está, la totalidad) o tengan representantes vivos en los ecosistemas actuales que sirven de referencia.

Los testigos que fueron extraídos del lago Titicaca con ayuda de un saca-testigo Mackereth (Barton & Burden, 1979) están constituidos en su mayoría de sedimentos de edad holocena. Solamente 2 sondeos alcanzaron el Pleistoceno superior: los testigos TD1 y TB2 (Fig. 10.5).

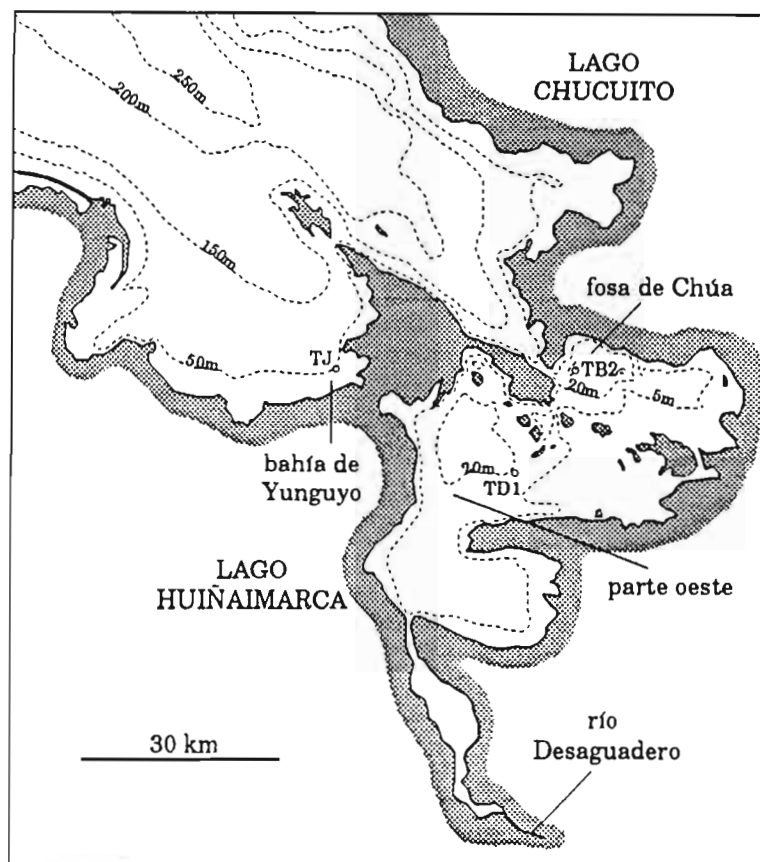


Figura 10.5. Batimetría de la parte sur del lago Titicaca y ubicación de los sondeos estudiados.

Estos sedimentos relativamente antiguos no contienen ostrácodos, ya que el lago Titicaca se encontraba entonces bajo un clima más frío que el actual (Wirrmann *et al.*, 1992; Ybert, 1992) generando condiciones físico-químicas poco favorables para la vida de los microcrustáceos. Todas las faunas de ostrácodos encontrados hasta ahora en los sedimentos del lago Titicaca son de pues de edad holocena. La mayoría de las especies fósiles encontradas continúan viviendo ya sea en el lago Titicaca mismo o en otros entornos lacustres como el lago Poopó o las innumerables lagunas que delimitan el Altiplano boliviano (Mourguiart, 1987; Mourguiart & Roux, 1990; Mourguiart & Carbonel, 1994). Así, sólo son 2 especies que nunca fueron encontradas en las 1500 muestras actuales recolectadas entre 1983 y 1993 en el Altiplano de Bolivia. Estas dos especies pertenecen a un género *Limnocythere* particularmente diversificado en el lago Titicaca (Mourguiart, 1987; Carbonel *et al.*, 1990). Fueron designadas con los términos *L. sp. B2* y *L. sp. B4* (Fig. 10.6). La forma B2 es similar a la forma B1 y no se la distingue sino por la presencia de una espina en

posición ventral. La forma B4 es muy similar a B3, ya que sólo comprende una espina adicional en posición dorsal (ver la figura 10.6).

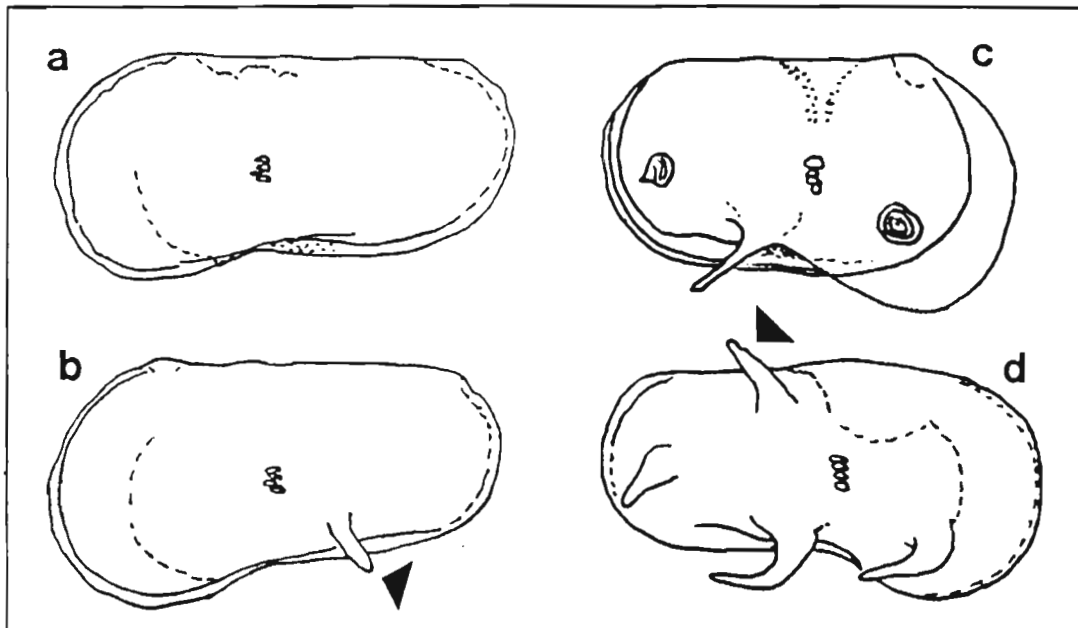


Figura 10.6. El género *Limnocythere* del grupo B. Formas B1, B2, B3 y B4 en a, b, c y d respectivamente. Las espinas suplementarias de las formas B2 y B4 están indicadas por una flecha negra.

Estas formas B2 y B4 son encontradas en raros niveles del testigo TJ, siempre asociadas a las formas B1 y B3 (Mourguiart, 1987) y en proporciones ínfimas en relación con la asociación total (< 0.05%). En la base de datos fósiles correspondiente al sondeo TJ, hemos reagrupado juntas las *Limnocythere sp.* B1 y *L. sp.* B2 por un lado y las *L. sp.* B3 y *L. sp.* B4 por el otro.

3.2 Aplicación de la función de transferencia

La función de transferencia establecida así, fue probada en los datos obtenidos a partir de 3 sondeos realizados en el lago Titicaca:

- el testigo TD1, obtenido a 19 m de agua en la parte oeste del lago Huiñaimarca;
- el testigo TB2, obtenido a 39 m de agua en la zona central de la fosa de Chúa;
- el testigo TJ, obtenido a 50 m en el lago Chucuito, en la bahía de Yunguyo.

Estos 3 testigos fueron recolectados en 1983 en los lagos Huiñaimarca y Chucuito en su parte boliviana (Fig. 10.5).

El sondeo TB2 - Es de 481 cm de longitud. Fue extraído en el centro de la fosa de Chúa (16°12'18" lat. S y 68°48'36" long. W), al noroeste del lago Huiñaimarca. Tres unidades principales han sido diferenciadas a través de la descripción litológica (Fig. 10.7):

- de 481 a 400 cm: son depósitos de arcillas plásticas y azoicas;

- de 400 a 278 cm: son sedimentos arcillosos a arenosos de diferentes colores; se nota la presencia de estructuras poligonales parecidas a *mud-cracks*; algunos niveles son relativamente ricos en macrorestos de plantas;
- de 278 cm al tope: es un fango calcáreo-orgánico rico en conchas de moluscos y ostrácodos.

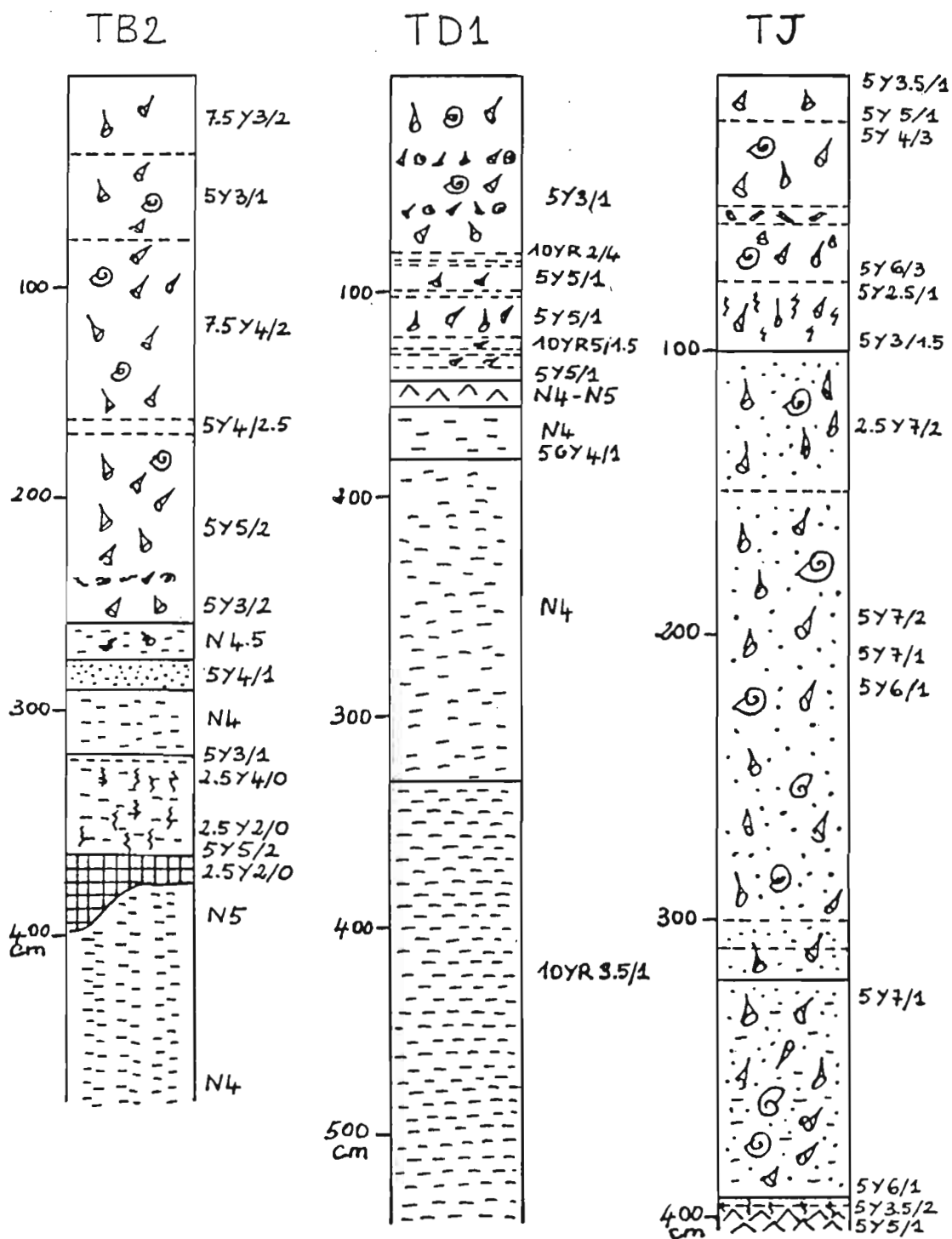


Figura 10.7. Litología resumida de los sondeos TB2, TD1 y TJ según Wirmann (1987). Los colores corresponden a la nomenclatura internacional. Los detalles sedimentarios son dados en el texto.

El sondeo TD1 - De 537,5 cm de longitud, fue extraído por 19 m de altura de agua al centro de la parte oeste (16°20'00" lat. S y 68°57'45" long. W) del lago Huiñaimarca. La litología permite diferenciar 4 unidades principales (Fig. 10.7):

- de 537,5 a 155 cm: son arcillas de diferentes colores, más compactadas entre 181 y 155 cm;
- de 155 a 141,5 cm: son sedimentos arenosos a arcillosos que contienen cristales de yeso;
- de 141,5 a 87 cm: es un fango calcáreo-orgánico gelatinoso rico en fragmentos calcificados de macrofitas tipo Characeae (tallos et girogonitas) con algunas conchas de moluscos y ostrácodos;
- de 87 cm al tope: es un fango calcáreo-orgánico muy rico en conchas de moluscos y ostrácodos;

El sondeo TJ - Es de 406 cm de longitud y fue extraído en la bahía de Yunguyo al Suroeste del lago Chucuito (16°12'30" lat. S y 69°07'00" long. W). Este testigo presenta cuatro unidades litológicas principales (Fig. 10.7):

- de 406 a 394,5 cm: son sedimentos evaporíticos con yeso lenticular a la base; después viene un nivel arenoso y otro rico en espículas de esponjas con restos de plantas;
- de 394,5 a 320 cm: los depósitos son arenoso-arcillosos con conchas de moluscos y ostrácodos;
- de 320 a 100 cm: esta unidad corresponde a sedimentos conchilíferos compactos y arenosos;
- de 100 cm al tope: es un fango calcáreo-orgánico muy rico en moluscos y ostrácodos; los niveles de la base de la secuencia hasta 77 cm son más ricos en restos de plantas.

La estratigrafía de estos tres sondeos fue realizada a partir de fechados ^{14}C : 6 en el testigo TB2, 7 en el TD1 y 8 en el testigo TJ (Cuadro 10.2).

Respectivamente, 26, 88 y 101 muestras que contenían por lo menos una especie de ostrácodo fueron inducidas como elementos pasivos o suplementarios en el AFC (ver Mourguiart & Roux, 1990 y Mourguiart & Carbonel, 1994).

La función de transferencia es establecida por la regresión lineal múltiple en la cual las variables independientes son las coordenadas factoriales de las muestras dadas por el AFC anterior (Roux *et al.*, 1991). La regresión establece la fórmula matemática uniendo las variables medioambientales a las abundancias relativas de las especies. Los principales resultados obtenidos que prueban la calidad de la función de transferencia y que corresponden al parámetro profundidad de agua son los siguientes: el coeficiente de correlación r es igual a 0,98; el error standard sobre la estimación E_s es igual a 0,81 m.

edad ¹⁴ C años B.P.	material fechado	muestra (cm)	sondeo	número lab.
4165 ± 75	disseminated organic carbon	88-89	TD1 (-19m)	Beta-32216
8100 ± 280	Total CaCO ₃	157-158		Orsay-
13180 ± 130	disseminated organic carbon	181-183		Beta-38775
18185 ± 180	disseminated organic carbon	210-212		Beta-32217
19090 ± 200	disseminated organic carbon	297-298		Beta-32218
19625 ± 220	disseminated organic carbon	331-332		Beta-32219
21000 ± 260	disseminated organic carbon	406-407		Beta-32220
1240 ± 150	disseminated organic carbon	107-112	TB2 (-39m)	Bondy-830
3330 ± 550	Total Carbon	172-175		Bondy-828
3840 ± 80	disseminated organic carbon	244-250		Bondy-829
4730 ± 250	Total Carbon	321-325		Bondy-896
4500 ± 90	Total Carbon	362-365		Bondy-645
17750 ± 140	disseminated organic carbon	436-440		Beta-45706
3870 ± 80	<i>Limnocythere sp.</i>	20-21		TJ (-50m)
3930 ± 490	Total CaCO ₃	32-39	Bondy-560	
5300 ± 50	Total CaCO ₃	77-83	Bondy-835	
5350 ± 40	Total CaCO ₃	83-90	Bondy-826	
5970 ± 70	Total CaCO ₃	152-157	Bondy-822	
5890 ± 45	Total CaCO ₃	195-200	Bondy-821	
6360 ± 70	Total CaCO ₃	295-300	Bondy-559	
7710 ± 180	Total CaCO ₃	390-393	Bondy-104	

Cuadro 10.2. Fechas ¹⁴C obtenidas en los sondeos TD1, TB2 y TJ.

Los datos brutos "paleopropundidades" son dados en la figura 10.8.

4. DISCUSION

Para verificar la validez de una función de transferencia y su grado de fiabilidad, las herramientas estadísticas son numerosas, pero tienen el inconveniente de hacer intervenir solamente las muestras actuales. A modo de test adicional, hemos integrado en el AFC once muestras actuales como elementos pasivos. La regresión dio en diez de éstos un valor inferior al error standard sobre el parámetro profundidad. Sin embargo estos resultados no dan cuenta de la aplicabilidad de la función de transferencia en faunas fósiles.

Un medio indirecto de verificación no es proporcionado confrontando los resultados de varios sondeos. La reconstitución paleohidrológica establecida nos enseña que las 3 grandes cuencas del lago Titicaca funcionaron de manera independiente durante la casi totalidad del Holoceno (Mourguiart & Roux, 1990). El problema mayor ocurrido por la comparación de tendencias evolutivas obtenidas a partir de varios registros sedimentarios, reside en la fiabilidad de las edades

obtenidas. La mayoría de las edades ^{14}C utilizadas en este estudio son edades sobre carbonatos (fracción total u ostrácodos; Cuadro 10.2).

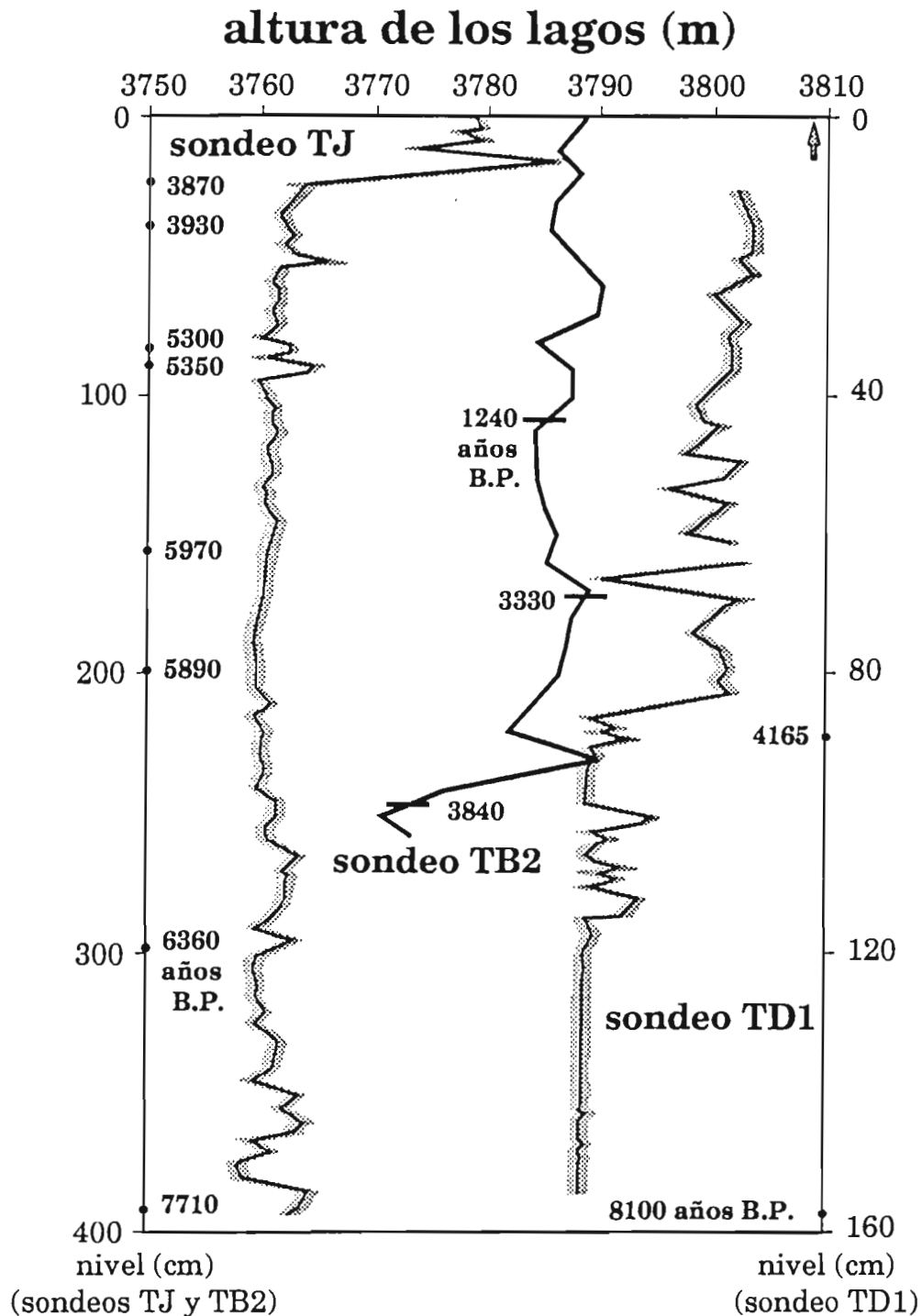


Figura 10.8. Resultados brutos de la función de transferencia para los sondeos TJ, TB2 y TD1. Las paleopropfundidades son dadas en función de los niveles sedimentarios (sondeos TJ y TB2, escala a la izquierda; sondeo TD1, escala a la derecha).

En una primera aproximación, es posible que los fechados en carbonatos proporcionen una edad aproximadamente de 300 años más antigua que otra obtenida

en materia orgánica (datos no publicados). Además, será difícil comparar precisamente 2 series paleobatimétricas entre sí debido a las enormes variaciones de los índices de sedimentación en función de la altura de agua (Pourchet *et al.*, 1994) y de los numerosos microhyatus que no siempre son fáciles de evidenciar (Mourguiart *et al.*, 1992). Con estas restricciones, podemos intentar comparar las grandes tendencias paleohidrológicas que aparecen en los sondeos TD1 y TJ (Fig. 10.9). En cambio, será más difícil comparar la reconstitución establecida para el testigo TB2 ya que el muestreo fue realizado de manera más espaciada que en los otros dos sondeos. Se observa enseguida que hay convergencia en varios puntos y que la función de transferencia permite correlaciones como las figuradas en la figura 10.9. En los 2 testigos, los depósitos que contienen ostrácodos cubren un tramo de tiempo de aproximadamente 8000 años B.P. Ambas presentan una laguna en sus cimas, lagunas ocasionadas por el método de extracción con ayuda del extractor de testigos Mackereth (Mourguiart *et al.*, *op. cit.*). Las evoluciones batimétricas de los testigos son notablemente comparables.

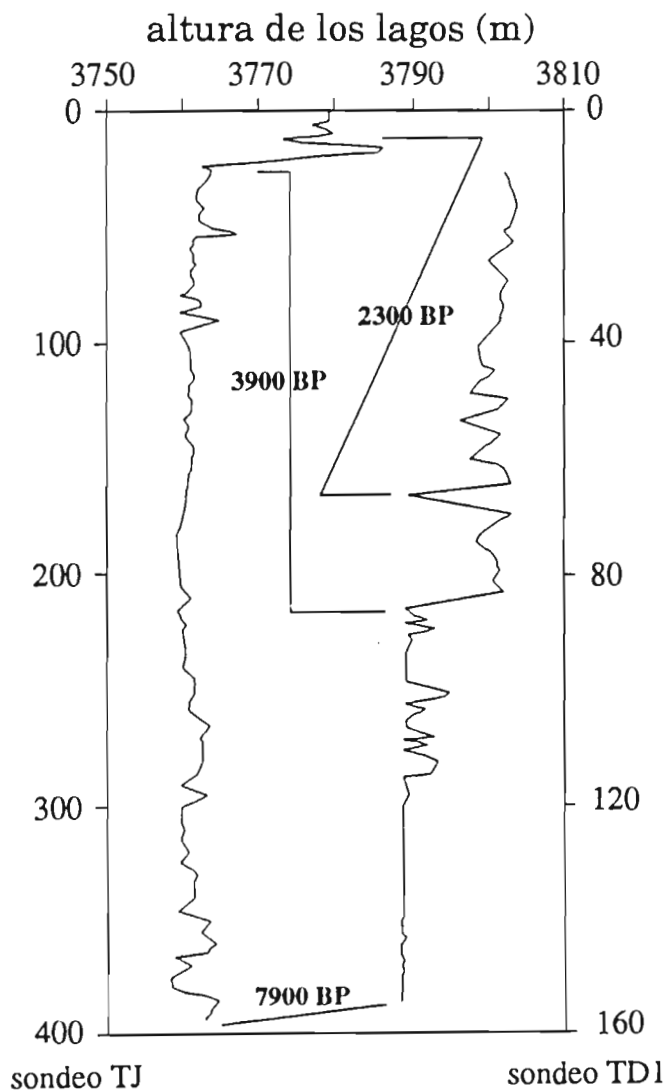


Figura 10.9. Correlaciones obtenidas a partir de los datos de los sondeos TJ y TD1.

Los niveles sedimentarios precedentes a la aparición de las faunas sedimentarias encierran cristales de yeso (Wirrmann *et al.*, 1988). Lo que significa: en el caso del testigo TD1, una desecación de esta parte del lago Huiñaimarca (entorno tipo Salar) y, en el caso del testigo TJ, un descenso de agua de al menos 54 m del nivel del lago Chucuito (Fig. 10.10) alrededor de 8000 años B.P. (entre 8100 ± 280 y 7710 ± 180 años B.P.).

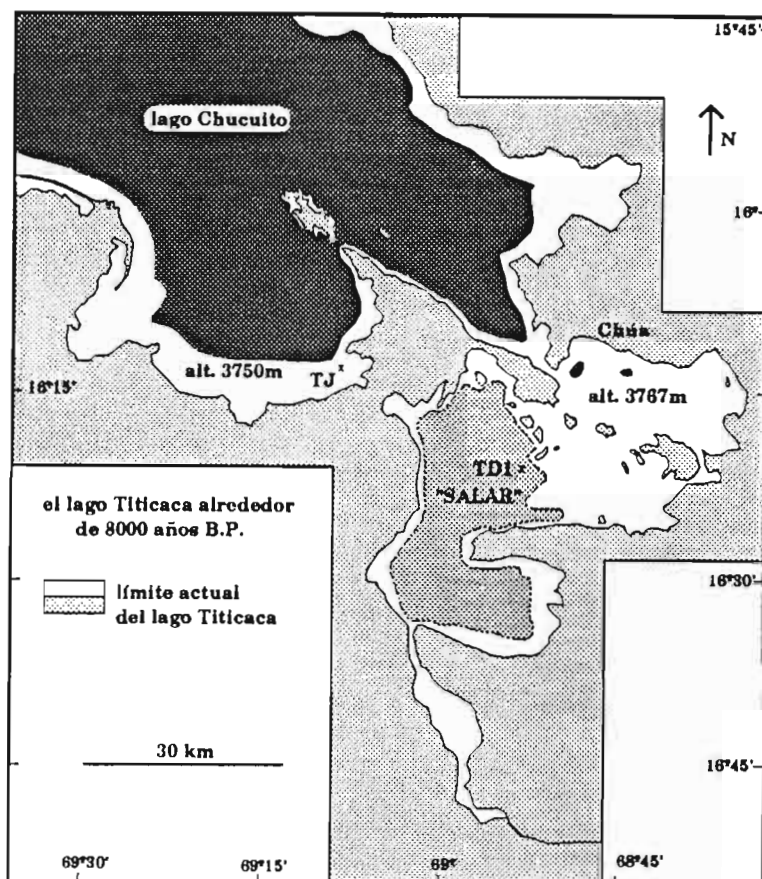


Figura 10.10. El lago Titicaca alrededor de 8000 años BP.

Poco después, la fauna aparece en los dos testigos, o, en otros términos, la parte oeste del Huiñaimarca está nuevamente en agua (al menos episódicamente; Mourguiart *et al.*, 1992) y el nivel del Gran Lago sube. Luego, el nivel medio de las dos cuencas fluctúa alrededor de un nivel bajo (aproximadamente a 3789 m de altura en la parte oeste del Huiñaimarca y de 3760 - 3764 m de altura en el lago Chucuito) y esto hasta una fecha enmarcada por dos fechas sobre el testigo TJ: 3930 ± 490 y 3870 ± 80 años B.P. Entonces, durante cerca de 4000 años, el entorno del lago Huiñaimarca es comparable al actual lago Poopó. En cambio, el lago Chucuito ha conservado un carácter oligohalino con algunas fases de aumento de la salinidad de sus aguas (principalmente hacia 5700 - 5300 años B.P.).

Hacia 3900 años B.P., los 2 planos de agua suben enormemente (+ 14 m al nivel de la TD1 y + 22-23 m al nivel de la TJ). Este cambio hidrológico tan importante, es sinónimo de un cambio climático abrupto a nivel regional (Mourguiart *et al.*, 1992). Es a esta fecha que aparecen las faunas de ostrácodos en el testigo TB2 (Fig. 10.8). A partir de este instante, y hasta la cima de los testigos (aprox. 2000-1500 años B.P.), las 2 cuencas se comunican por medio de estrechos vía la fosa de Chúa (Fig. 10.11), con excepción de un evento (edad estimada 2300 años B.P.) presente en los 2 testigos e igualmente marcada en otros sondeos (por ejemplo, testigo TE; Mourguiart *et al.*, 1992). Las aguas de la parte oeste del lago Huifñaimarca son de tipo oligohalino. Se obtuvieron informaciones adicionales de otros sondeos (testigos TG1, TC1, ...) que permiten completar el esquema de evolución, en 3 cuencas, del lago Titicaca durante el Holoceno (Fig. 10.10 y 10.11), pero hasta ahora, no hemos podido delimitar, por medio de fechas, el último ascenso que ha llevado los tres planos de agua al mismo nivel (contexto actual del lago Titicaca). Sabemos, a lo más, que este estado no ha sido alcanzado antes de 1500 años B.P.

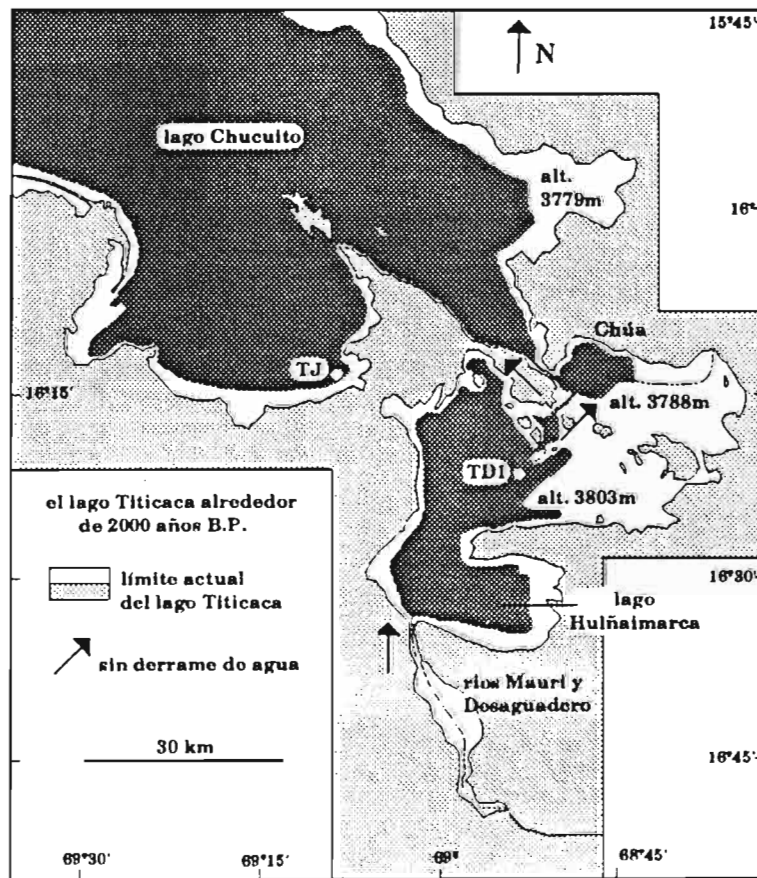


Figura 10.11. El lago Titicaca alrededor de 2000 años BP.

En resumen, la historia del lago Titicaca durante los 8000 últimos años, es una historia compleja caracterizada por la importancia de estas fases de bajos niveles.

Algunos de estos eventos fueron correlacionados en períodos de "tipo El Niño" (Martin *et al.*, 1992; 1993), parcialmente frecuentes antes de 3900 años B.P. y más esporádicamente después. Hasta esta última fecha, el hombre andino ha vivido en un entorno difícil, principalmente de caza, pesca y ganadería. La recurrencia similar a fases climáticas secas ha impedido todo desarrollo de la agricultura. A partir de 3900 años B.P., el contexto regional cambia. Las precipitaciones aumentan en la cuenca del lago Titicaca y dando lugar al probable apareamiento de la agricultura: seguramente es, a partir de esta fecha, que aparecen las primeras civilizaciones andinas (Bouysson-Cassagne, 1992). No obstante, una fase seca, muy importante, se instala en el Altiplano alrededor de 2400-2300 años B.P. Esta fase climática seca ha debido traducirse en una grave crisis en las poblaciones. Podemos emitir la hipótesis de que la civilización Tiwanaku sólo pudo comenzar a desarrollarse después de finalizar este período de stress. Recordemos también que en tiempos del esplendor de Tiwanaku y más allá, la altura de la superficie del agua se encontraba por el sitio de la TD1, alrededor de 3804 m y en el lago Chucuito, alrededor de 3788 - 3795 m (*cf.* Fig. 10.11). Es entonces perfectamente posible imaginar importantes tierras cultivadas (tipo camellones), hoy en día sumergidas y, por qué no, la existencia de ciudades o pueblos alrededor del lago Chucuito, sumergidos actualmente bajo 15 a 20 m de altura de agua. Gracias a nuestros datos, podemos avanzar que el mito de la ciudad sepultada no es tal.

5. CONCLUSION

Una función de transferencia ostrácodos/batimetría nos permitió volver a trazar con precisión la evolución paleo-hidrográfica del lago Titicaca durante los últimos 8000 años. Este ha funcionado en cuencas, separadas o no, que pudieron tener características muy diferentes (altura de los planos de agua y química de las aguas) en ciertas épocas. La interpretación paleoclimática, que resulta de estos cambios paleohidrológicos, ha permitido abordar, bajo un día nuevo, el problema del hombre andino y de su entorno.

REFERENCIAS CITADAS

- ANTUNEZ DE MAYOLO, S., 1992. Recurrencia del Fenómeno "El Niño" y el Titicaca. *Int. Symp. on Former ENSO Phenomena in Western South America*, 4-7 March 1992: Ortlieb L. & Macharé J. (Eds.): 15-20.
- BARTON, C.E. & BURDEN, F.R., 1979. Modifications to the Mackereth corer. *Limnol. Oceanogr.* 24(5): 977-983.
- BENZECRI, J.P., 1973. L'Analyse des données, Tome 2: L'Analyse des Correspondances. *Dunod*, Paris, 1248 pp.
- BOUYSSON-CASSAGNE, T., 1992. Le lac Titicaca: histoire perdue d'une mer intérieure. *Bull. Inst. fr. études andines*, 21(1): 89-159.

- BOUYASSE-CASSAGNE, T., MORLON, P., MOURGUIART, Ph. & WIRRMANN, D., 1992. Agricultura, sociedad y medio natural en la cuenca del Titicaca: tres mil años de relaciones. *Actas del VII Congreso internacional sobre cultivos andinos*, 4-8 de febrero de 1991, Morales D. & Vacher J.J. (Eds.): 383-388.
- CARBONEL, P., MOURGUIART, Ph. & PEYPOUQUET, J-P., 1990. The external mechanism responsible for morphological variability in Recent Ostracoda, seasonality and biotope situation: an example from Lake Titicaca. In: Whatley, R. & Maybury, C. (eds.), *Ostracoda and Global Events*, Chapman & Hall, London: 331-340.
- COLLOT, D., KORIYAMA, F. & GARCIA, E., 1983. Répartitions, biomasses et productions des macrophytes du Lac Titicaca. *Revue d'Hydrobiologie tropicale* 16(3): 241-261
- ILTIS, A. & MOURGUIART, Ph., 1992. Higher plants: Distribution and biomass. In: C. Dejoux & A. Ilitis (eds.), *Lake Titicaca*: 241-252. Kluwer Academic Publishers.
- LAZZARO, X., 1981. Biomasses, peuplements phytoplanctoniques et production primaire du lac Titicaca. *Rev. Hydrobiol. trop.* 14(4): 349-380.
- MARTIN, L., ABSY, M.L., FLEXOR, J.M., FOURNIER, M., MOURGUIART, Ph. SIFEDDINE, A. & TURCQ, B., 1992. 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., FOURNIER, M., MOURGUIART, Ph., SIFEDDINE, A. & TURCQ, B., 1993. Southern oscillation signal in South American palaeoclimatic data of the 7000 years. *Quaternary Research* 39: 338-346.
- MORLON, P., 1991. Variations climatiques et agriculture sur l'Altiplano du lac Titicaca (Pérou-Bolivie): Une approche préliminaire. *La Météorologie*, 39: 10-29.
- MOURGUIART, Ph., 1987. Les Ostracodes lacustres de l'Altiplano bolivien. Le polymorphisme, son intérêt dans les reconstitutions paléohydrologiques et paléoclimatiques de l'Holocène. *Thèse*, Univ. Bordeaux I, 263pp.
- MOURGUIART, Ph., 1992. The Ostracoda. In: C. Dejoux & A. Ilitis (Eds.), *Lake Titicaca*: 337-345. Kluwer Academic Publishers.
- MOURGUIART, Ph. & CARBONEL, P., 1994. A quantitative method of palaeolake-level reconstruction using ostracod assemblages: an example from the Bolivian Altiplano. *Hydrobiologia* 288: 183-193.
- MOURGUIART, Ph. & M. ROUX, 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: 875-880.
- PONCE SANGINES, C., REINHARD, J., PORTUGAL, M., PAREJA, E. & TICLLA, L., 1992. *Exploraciones arqueológicas subacuáticas en el lago Titicaca*. La Palabra Producciones (Ed.), La Paz, 760 p.
- 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: 535-541.
- ROUX, M., SERVANT-VILDARY, S. & SERVANT, M., 1991. Inferred ionic composition and salinity of a Bolivian Quaternary lake, as estimated from fossil diatoms in the sediments. *Hydrobiologia* 210: 3-18.
- WIRRMANN, D., 1987. El lago Titicaca: sedimentología y paleohidrología durante el Holoceno (10 000 años BP-Actual). *Informe ORSTOM en Bolivia N°6*, 61 p. + anexos, La Paz, Bolivia.
- WIRRMANN, D., 1991. Morfología y batimetría. El lago Titicaca. In : Síntesis del conocimiento limnológico actual. C. Dejoux & A. Ilitis (Ed.) : 31-37.
- WIRRMANN, D., MOURGUIART, Ph., & de OLIVEIRA ALMEIDA, L.F., 1988. Holocene sedimentology and ostracodes repartition in Lake Titicaca. In: J. Rabassa (ed.), *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 6: 89-127. A. A. Balkema, Rotterdam.
- WIRRMANN, D., YBERT, J-P. & MOURGUIART, Ph., 1992. A 20,000 years paleohydrological record from Lake Titicaca. In: C. Dejoux & A. Ilitis (eds.), *Lake Titicaca*: 40-48. Kluwer Academic Publishers.
- YBERT, J-P., 1992. Ancient lake environments as deduced from pollen analysis. In: C. Dejoux & A. Ilitis (eds.), *Lake Titicaca*: 49-60. Kluwer Academic Publishers.