

ISSN 07-982984

MEMORIA de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle  
Suplemento N° 2, Vol. XLVIII 1988

**MEMORIAS**  
**DEL**  
**CONGRESO IBEROAMERICANO**  
**Y DEL CARIBE**

Sobre la pesca marítima y continental y la acuicultura como  
propulsora del conocimiento de nuestros espacios acuáticos y del  
desarrollo socioeconómico del medio rural.

Punta de Piedras 8-15 mayo 1988  
Isla de Margarita-Venezuela

ORGANIZADO POR

**FUNDACION LA SALLE DE CIENCIAS**  
**NATURALES**

Fonds Documentaire ORSTOM.

Cote; B 13445 Ex; 1

## MEMORIA

Sociedad de Ciencias Naturales La Salle  
Tomo XLVIII. Suplemento 1988

### PALEOHIDROLOGIA DEL LAGO TITICACA DURANTE EL HOLOCENO<sup>1</sup>

Denis Wirrmann  
ORSTOM S.S.C.  
70-74 Route d' Aulnay  
93140 Bondy  
Francia

#### RESUMEN

El estudio de 22 testigos sacados en el lago Titicaca (sedimentología y distribución respectiva de las faunas de ostrácodos) permite definir los paleoambientes Holocenos y en base a una cronología establecida con edades radiométricas (método del <sup>14</sup>C) reconocer cinco etapas mayores de las fluctuaciones del nivel lacustre durante los diez últimos milenios. Un balance hidrológico netamente negativo ocurrió entre 7700 y 7000 años A.P., traducándose en una bajada del nivel lacustre de por lo menos 54 metros respecto al actual, además de la precipitación de yeso al fondo.

#### SUMMARY

Sedimentological analysis from 22 cores taken in lake Titicaca (Bolivia) in association with a comparative study between the actual distribution of ostracods and the fossil ones, allow us to present the first interpretation based on <sup>14</sup>C datations. The Holocene period was characterized by a severe lowering of the lake level in comparison with the present one, inducing gypsum precipitation at the maximum of the decreasing (54 meters at least), during the time interval 7500-7000 B.P. It is only after 2200 B.P. that the lake Titicaca took its actual state.

#### RESUME

L'analyse comparative de 22 carottes prélevées dans le lac Titicaca (sédimentologie et distribution respectiva des ostracofaunes) permet de préciser la nature des paléomilieus holocènes et en se basant sur une chro-

(1) Trabajo realizado dentro del convenio UMSA (Universidad Mayor de San Andrés, La Paz)-ORSTOM (Instituto Francés de Investigación Científica para el desarrollo en Cooperación.)

nología establecida a partir de edades radiométricas ( $^{14}\text{C}$ ) de caracterizar 5 etapas mayores de fluctuaciones del nivel lacustre al curso de los diez últimos milenios. Un episodio de balance hidrológico netamente negativo está registrado entre 7700 y 7000 años B.P., se traduce por una bajada del nivel de agua de al menos 54 metros en comparación con el actual y por la precipitación de yeso en el fondo del lago. Esto es lo que ocurre después de 2200 años B.P. cuando el lago Titicaca alcanzó su nivel actual.

## INTRODUCCION

El Altiplano Boliviano corresponde a una cuenca endorreica que se extiende entre  $16^\circ$  -  $22^\circ$  de latitud Sur y  $65^\circ$  -  $69^\circ$  de longitud Oeste, cubriendo 200 000  $\text{Km}^2$ , entre las Cordilleras Oriental y Occidental de los Andes.

De Norte a Sur, cuatro regiones lacustres principales son reconocidas:

- el lago Titicaca, a 3809 msnm, con 8562,75  $\text{km}^2$  de superficie, formado por dos subcuencas, el lago Grande y el lago Pequeño (Wirrmann y Mourguiart, en este volumen) unidas por el estrecho de Tiquina;
- el lago Poopó, a 3686 msnm, cuya superficie es de 2530  $\text{km}^2$ ;
- Coipasa y Uyuni, un grupo de salares que se extienden sobre 11000  $\text{km}^2$  a una altura de 3653 msnm;
- y el extremo meridional del Altiplano, región del Sur Lipez caracterizado por la presencia de muchas lagunas pequeñas y saladas, encerradas dentro de depresiones limitadas por volcanes apagados, a una altura promedio de 4200 msnm.

Desde hace 1,8 millones de años, estas cuencas lacustres han registrado varias fluctuaciones importantes de sus niveles. Los datos obtenidos hasta la fecha, permiten presentar el siguiente resumen de la evolución pleistocena del lago Titicaca:

- Al principio del Pleistoceno se ha formado un paleolago, llamado MATARO (Lavenue *et al.*, 1984), cuyo nivel de agua estaba ubicado a unos 140 metros por encima del presente. Esta fase lacustre está ligada al final de la glaciación Calvario (Servant, 1977) y los depósitos correspondientes están localizados principalmente al Noroeste de la cuenca del Titicaca.
- La siguiente fase lacustre, durante el Pleistoceno medio, produjo el lago denominado CABANA (Lavenue *et al.*, 1984) con un nivel situado a 90 metros por encima del actual; los depósitos correspondientes son encontrados en los flancos Este y Oeste de la cuenca.

- Después, en relación con el retroceso de la penúltima glaciación, Sorata (Servant, 1977), se produjo la fase lacustre BALLIVIAN (Bowman, 1909; Ahlfeld, 1972) dando lugar a un paleolago cuyo nivel era establecido a unos 50 metros por encima del presente; los depósitos asociados están muy bien conservados en los bordes Noroeste y Sur del Titicaca.

- Al final del Pleistoceno, entre 27000 y 21000 años A.P. (Servant y Fontes, 1978) el paleolago MINCHIN se caracterizó por un nivel de agua establecido a unos 15 metros por encima del nivel actual.

- La última fase lacustre, denominada TAUCA, se desarrolló entre 13000 y 10500 años A.P. aproximadamente (Servant, 1977; Servant y Fontes, 1978), produciendo un paleolago ligeramente más amplio que el Titicaca actual, con un nivel de agua situado alrededor de 3815-3820 metros de altura.

## MATERIAL Y METODOS

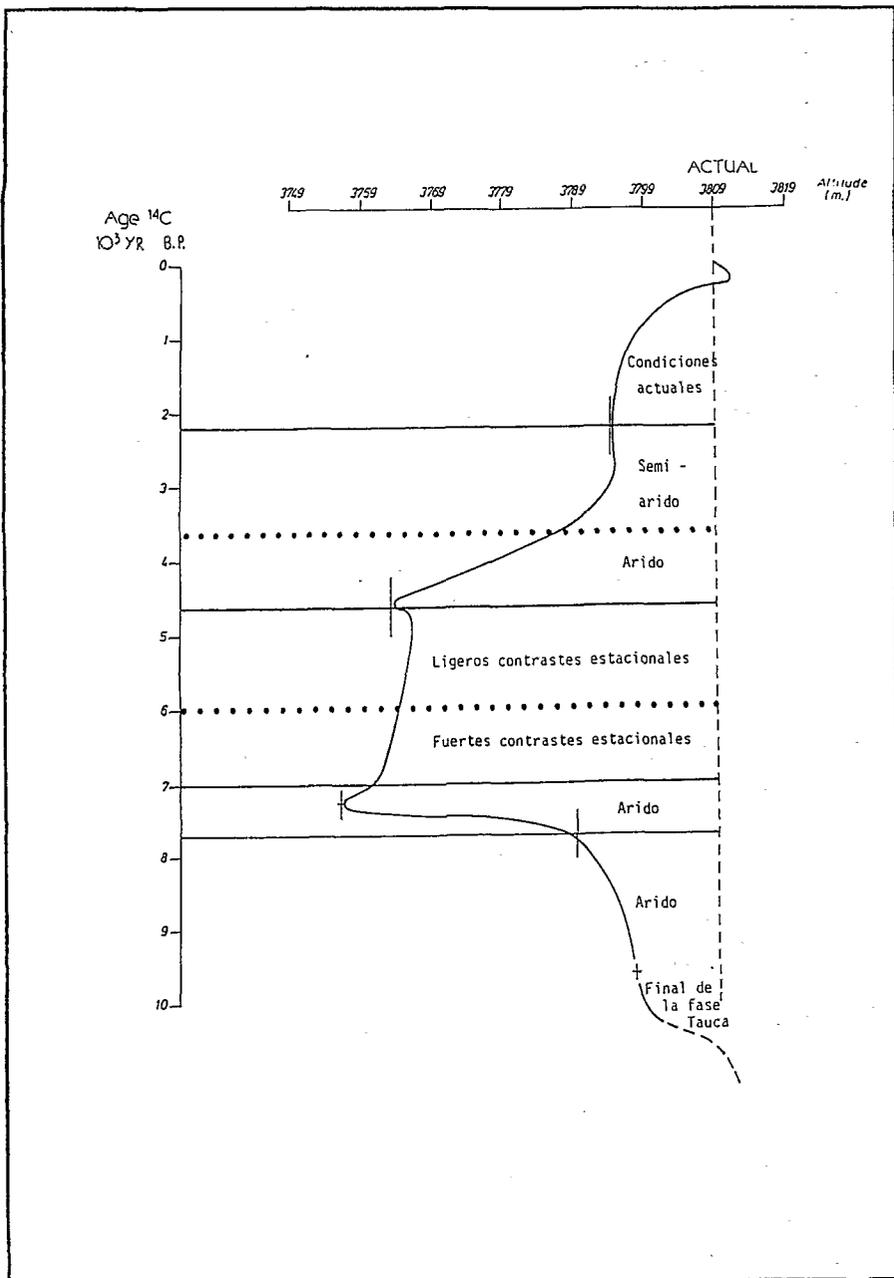
Con el fin de completar estos datos para la época holocena (10 000 años A.P.) y a través del programa GEOCIT (Geodinámica del Clima Intertropical) iniciado por la ORSTOM en diferentes zonas tropicales del mundo, se ha desarrollado un estudio de testigos sacados en el lago Titicaca.

El muestreo correspondiente se ha efectuado en tres etapas. En primer lugar, el establecimiento de varios transectos (Fig. 1) en las dos subcuencas del lago, utilizando un saca-testigo tipo Züllig (muestras de 180 cm de longitud por 4 cm de diámetro). Después de esta fase de reconocimiento y según los datos preliminares obtenidos (Wirrmann, 1982), se ha realizado una campaña de sondeos con un saca-testigo tipo Mackereth (Mackereth, 1958; Barton y Burden, 1979), lo que permitió obtener 17 testigos de hasta 6 metros de longitud por 5 cm de diámetro. Y finalmente la última etapa consistió en un muestreo de sedimentos superficiales además de la interfase agua-sedimento, con ayuda de un saca-testigo Moonsee (muestras de 80 cm de longitud máxima por 6 cm de diámetro) con el fin de precisar lo más fielmente posible, la sedimentación reciente.

En junio de 1986, todo el trabajo de campo fue terminado. El trabajo de laboratorio consistió en establecer una descripción completa de los testigos (litología, colores según el código MUNSSELL SOIL COLOR CHARTS, 1975), en la obtención de parámetros físicos de cada muestra (contenidos en agua, en fracción superior a 63  $\mu\text{m}$ , en carbonatos y carbono orgánico) en estudios de mineralogía y geoquímica y en el análisis cualitativo y cuantitativo de los componentes gruesos de la fracción superior a 63  $\mu\text{m}$ , como de las faunas de ostrácodos encontradas. El conjunto de estos datos, comparado a los resultados obtenidos en el medio actual (Wirrmann y Mourguiart, 1988)







**Figura 3**

Curva interpretativa de las fluctuaciones holocenas del nivel lacustre del lago Titicaca y paleoambientes correspondientes

más. El Titicaca perdió  $290 \times 10^9 \text{ m}^3$  (o sea 32% de su volumen total de agua) y el lago Pequeño estaba seco. La superficie total del lago se redujo en un 42%.

- De 7000 a 4700 años A.P., se registró una subida gradual del nivel lacustre, hasta unos 20-40 metros por debajo del nivel presente, según los diferentes sectores del lago. Al inicio de este ascenso, la concentración en sales disueltas alcanzaba  $40 \text{ gr l}^{-1}$  en el caso de la depresión Oeste del lago Pequeño y los contrastes estacionales entre verano e invierno fueron muy marcados. La comunicación entre el lago Grande, la fosa de Chua y la depresión Oeste del lago Pequeño, no estaba todavía reestablecida.
- De 4700 a 2200 años A.P. aproximadamente, el nivel lacustre subió hasta establecerse a unos 10 metros por debajo del actual. Las aguas se volvieron cada vez más dulces, pero aportes importantes de aguas ricas en  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  fueron registrados. Una breve etapa de descenso, marcada por el desarrollo de ostrácodos de aguas mesosaladas, ocurrió alrededor de 4500 años A.P. Después de este hecho, la comunicación entre las dos subcuencas del Titicaca fue efectiva y el medio fue de agua dulce a partir de 3500 años A.P.
- Posteriormente a 2200 años A.P., el lago Titicaca adquirió su estado actual. Según los datos históricos (Ramón Gavilán, 1612), un ligero aumento de la profundidad se dio a fines del siglo XVI y a principios del siglo XVII.

#### BIBLIOGRAFIA

Ahlfeld, F.E.

1972 *Geología de Bolivia*. Los amigos del libro, La Paz, 190 p.

Barton, C.E., F.R. Burden

1979 Modification to the Mackereth corer. *Limnol. Ocean.*, 24: 977-983.

Bowman, I.

1909 Physiography of the Central Andes. *Am. Journ. Sci.*, 428: 197-217.

Lavenu, A., M. Fornari, M. Sébrier

1984 Existence de deux nouveaux épisodes lacus tres quaternaires dans l'Altiplano péruvo-bolivien. *Cah. ORSTOM, Sér. Géol.*, XIV, 1: 103-114.

Mackereth, F.J.M.

- 1958 A portable core sampler for lake deposits. *Limnol. Ocean.*, 3: 181-191.

Mourguiart, Ph.

- 1987 Les Ostracodes lacustres de l'Altiplano bolivien. Le polymorphisme, son intérêt dans les reconstitutions paléo-hydrologiques et paléoclimatiques de l'Holocène. Thèse Univ. BORDEAUX I, 263 pp. + pl + an.

Mourguiart, Ph., P. Carbonel, J.P. Peypouquet, D. Wirmann, C. Vargas

- 1986 Late Quaternary paleohydrology of lake Huiñaymarca (Bolivia). *Hydrobiologia*, 143: 191-197.

Oliveira-Almeida, L.F.

- 1986 Estudio sedimentológico de testigos del lago Titicaca - Implicaciones paleoclimáticas. Tesis de Grado, UMSA, La Paz, Facultad de Ciencias Geológicas, 136 p.

Ramón Gavilan, Fray Alonso

- 1976 (1612) Historia de Nuestra Señora de Copacabana. *Acad. Boliviana de la Historia*, La Paz, Bolivia.

Servant, M.

- 1977 Le cadre stratigraphique du Plio-Quaternaire de l'Altiplano des Andes Tropicales en Bolivie. *Supp. Bull. AFEQ.*, 1, 50: 323-327.

Servant, M., J-Ch. Fontes

- 1978 Les lacs quaternaires des hauts plateaux des Andes boliviennes. Premières interprétations paléoclimatiques. *Cah. ORSTOM*, sér. Géol., X, 1: 9-23.

Wirmann, D.

- 1982 Primeros resultados sobre el estudio de los testigos de lago Huiñaymarca. *Convenio UMSA-ORSTOM*, La Paz, doc. dact., 34 p.

Wirmann, D.

- 1987 El lago Titicaca: sedimentología y paleohidrología durante el Holoceno (10000 años A.P.-Actual). *Convenio UMSA-ORSTOM*, La Paz, Informe No. 6, 61 pp. + anexos.

Wirmann, D., Ph. Mourguiart

- 1988 El lago Titicaca: ambiente actual. Relación con la distribución de los ostrácodos. *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle, Sup. 1988*. Vol.II.

Wirmann, D., L.F. Oliveira Almeida

- 1987 Low Holocene Level (7700 to 3650 years B.P.) of lake Titicaca (Bolivia, South America). *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.*, 59, 4: 315-323.

Wirmann, D., Ph. Mourguiart, L.F. Oliveira Almeida

- 1988 Holocene sedimentology and ostracods repartition in lake Titicaca. Paleo-hydrological interpretations. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, Rabassa (ed.), A.A. Balkema (en curso de impresión).