

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/271910439>

# Estudios de variación de paleopluviosidad en los Altiplanos Bolivianos durante el Cuaternario Superior

Conference Paper · October 2010

CITATIONS

0

READS

160

9 authors, including:



**Nicolas Strikis**

Fluminense Federal University

78 PUBLICATIONS 2,017 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**J. Apaéstegui**

Instituto Geofísico del Perú

98 PUBLICATIONS 710 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Francisco W Cruz**

University of São Paulo

203 PUBLICATIONS 8,483 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**A. Sifeddine**

Institute of Research for Development

368 PUBLICATIONS 7,405 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

# Estudios de variación de paleopluvioidad en los Altiplanos Bolivianos durante el Cuaternario Superior

Nicolas M. Strikis<sup>1,3\*</sup>, James Apaéstegui<sup>2,3</sup>, Francisco W. Cruz<sup>1,3</sup>, Abdelfettah Sifeddine<sup>2,3</sup>, Jean-Loup Guyot<sup>4</sup>, Hai Cheng<sup>5</sup>, Augusto Auler<sup>6</sup>, Ivo Karmann<sup>1</sup>, R. Lawrence Edwards<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Brazil; \*Email: strikis@usp.br; <sup>2</sup>Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ, Brasil; <sup>3</sup>LMI PALEOTRACES (Univ. Federal Fluminense, IRD, Univ. Antof). Departamento de Geoquímica. UFF; <sup>4</sup>France LMTG (IRD-CNRS-UPS Toulouse), IRD CP 7091, Lago Sul, 71619-970 Brasília (DF), Brazil; <sup>5</sup>Dept. of Geology & Geophysics, Univ. of Minnesota, USA; <sup>7</sup>Instituto do Carste, Brazil.

## 1. Introducción

En los últimos años, investigadores del instituto de investigación para el desarrollo (IRD-Francia) iniciaron conjuntamente con investigadores de la Universidad de Sao Paulo (USP-Brasil) y la Universidad de Minnesota (UMN- Estados Unidos) estudios paleoclimáticos con espeleotemas de cavernas del Parque Nacional de Torotoro. En el presente trabajo se divulgan los resultados preliminares de esta investigación para la comunidad geológica Boliviana, teniendo como objetivo, envolver investigadores y estudiantes Bolivianos en este tema de mucha importancia sobre los cambios paleoclimáticos ocurridos en Bolivia en los últimos 35 mil años.

Aun poco se conoce sobre la respuesta de los trópicos frente a la variabilidad climática observada en las regiones de altas latitudes del hemisferio Norte y Sur. Esto se debe, principalmente, por la escasez de estudios paleoclimáticos en las regiones tropicales como un todo. Muchos de los registros paleoclimáticos, producidos para los trópicos en América del Sur se concentran en los últimos 20 mil años, escala de tiempo que abraza el último periodo glacial (LGM) "Last Glacial Maximum" al Holoceno (últimos 10 mil años). Sin embargo, pocos de estos registros presentan resolución temporal alta en medida suficiente para un análisis preciso de los eventos climáticos que ocurrieron especialmente en el Holoceno. En este periodo, son observadas variaciones climáticas de amplitudes muy reducidas, frente a la variabilidad climática del último glacial como un todo (Los últimos 120 mil años A.P.).

Series temporales de variaciones de régimen hidráulico en paleolagos que hoy componen el Salar de Uyuni en Bolivia, realizados por Fritz et al (2003), indican que buena parte de la penúltima glaciación en la región, fue más seca en comparación a la media de la última glaciación, de modo general, el dominio de unidades de sal en relación a unidades de lodo en la secuencia sedimentaria del Salar de Uyuni entre 170 y 140 mil años A.P. es muy preponderante en relación a lo observado en los últimos 120 mil años A.P. sobre todo durante el LGM.

Durante el periodo deglacial, buena parte de los Altiplanos Bolivianos eran cubiertos por enormes paleolagos (Thompson et al, 1998; Clapperton, 1993); estos fueron secándose gradualmente durante el Holoceno, cuando amplias planicies salinas como el Salar de Uyuni fueron formadas. Esta imagen paleoclimática es corroborada por los registros estratigráficos del Salar de Uyuni (Fritz et al, 2003) y por los registros de  $\delta^{18}\text{O}$  del testimonio glacial del nevado Sajama, el cual presenta valores mas negativos en torno de 5‰, durante el ultimo periodo Glacial (LGS) entre 25 mil y 11.5 mil años A.P. en relación al Holoceno (Thompson et al, 2000). Concordando, registros paleoclimáticos basados en indicadores de variación de los niveles de agua (N-A) del Lago Titicaca, realizados por Baker et al (2001) y Baker et al (2005), indican que durante la era deglacial, el lago Titicaca presentaba un elevado nivel de las aguas (N-A), posiblemente muy cercanos a los actuales, y experimento una fuerte reducción de los niveles solo durante el Holoceno entre los 8 mil y 5 mil años A.P.; cuando comenzó a subir nuevamente hasta el nivel actual.

Variaciones de paleotemperatura de la atmosfera en las zonas de altas latitudes del hemisferio norte, basados en registros de  $\delta^{18}\text{O}$  de testimonios de hielo de Groenlandia en concordancia con los registros de paleotemperatura del Atlántico Norte, indican que a lo largo de los últimos periodos glaciares, la tierra experimento eventos climáticos abruptos de frecuencia milenaria (Dansgaard et al., 1993; Bond et al., 1995; Ruddiman, 2008). Estos eventos climáticos inicialmente observados en el hemisferio norte, parecen afectar de manera penetrante el clima de las regiones tropicales del globo terrestre, alterando la distribución de las paleoprecipitaciones. Entre 25 y 10 mil años A.P. al menos 3 eventos climáticos abruptos caracterizados por periodos de frio extremo fueron observados en el hemisferio norte conocidos como LGM (25 e 19 mil años A.P.) Heinrich 1 (~17 mil años A.P.) y Young Dryas (12.8 e 11.5 mil años A.P.). Estos eventos climáticos abruptos, muy comunes durante el Deglacial, prácticamente desaparecen en el Holoceno, quedando apenas pequeños eventos milenarios de naturaleza semejantemente abrupta (O'Brien et al., 1995; Bond et al., 1997; Ruddiman

2008).

De manera semejante a lo observado para las regiones de altas latitudes en el hemisferio norte, el clima en los trópicos de América del Sur varía de manera abrupta en respuesta a los eventos climáticos mencionados. La geometría de las series temporales de los diversos indicadores paleoclimáticos, asociados a variaciones de régimen hídrico siguen el padrón establecidos por las series temporales de variación de temperatura de la atmosfera en las zonas de altas latitudes del hemisferio norte. De este modo durante el LGM, Heinrich 1 y Young Dryas, casi en todos los registros paleoclimáticos de los trópicos del Hemisferio Sur, se observan con un aumento de precipitaciones durante el Deglacial (Thompson et al., 1998; Thompson et al., 2000; Baker et al., 2001; Baker et al., 2005; Fritz et al., 2006; Fritz et al., 2007).

Entretanto, de manera diferente de las oscilaciones climáticas observadas en los últimos periodos glaciares e interglaciares, los eventos abruptos del Holoceno (Eventos Bond) no repercuten siempre de la misma manera los registros climáticos de la tierra. La diferencia en las amplitudes de estas variaciones desde 8.2 mil años A.P. y la ausencia hasta el momento, de registros que indiquen claramente alteraciones de la circulación oceánica de aguas profundas (Arz et al., 2001) indican que, posiblemente, ni todos los eventos Bond están directamente relacionados a los mismos mecanismos climáticos. La repercusión de los eventos Bond en las regiones de bajas latitudes y en el Hemisferios Sur como un todo, aun no es bien comprendida en función de los registros de alta resolución que tratan del tema, los cuales aun son raros y esparcidos.

Las series temporales de variación de  $\delta^{13}\text{C}$  de los sedimentos del Lago Titicaca de Baker et al (2001) y Baker et al (2005) muestran que desde el medio del periodo deglacial hasta ~ 9.0 mil años A.P., el N-A era muy próximo al actual, la excepción del periodo entre 10,6 a 10,3 mil años A.P., cuando el N-A del lago experimento una fuerte reducción aun asociada al evento Young Dryas. Entre 8,0 y 5,0 mil años A.P. el nivel del lago habria experimentado una serie de variaciones del N-A coincidentes, en parte con la curva de variaciones de IRD (Ice Rafted debris) de Bond et al (1997) y Bond et al (2001) que marcan los eventos Bond. El  $\delta^{13}\text{C}$  de la materia orgánica presenta valores más negativos durante los eventos Bond, asociado con el aumento del N-A del lago y consecuentemente aumento de la productividad biológica (Baker et al., 2001 e Baker et al., 2005). Por lo tanto la baja precisión geocronológica no permite afirmar con seguridad que las oscilaciones del régimen hídrico en los altiplanos Bolivianos son de hecho, conectadas con las oscilaciones climáticas de las zonas de altas latitudes del hemisferio Norte.

En este contexto, la utilización de la geoquímica isotópica en espeleotemas está entre una de las más prometedoras técnicas para la reconstitución de paleoprecipitaciones en los trópicos de América del Sur. Series temporales de  $\delta^{18}\text{O}$  en espeleotemas han sido ampliamente usadas en estudios paleoclimáticos por varios motivos, dentro de ellos, cabe resaltar la posibilidad de registros largos de alta resolución de los últimos 600 mil años A.P. Precisamente datados por el método U-Th (Fairchild et al., 2006).

En Brasil, estudios de paleoprecipitaciones basados en análisis del  $\delta^{18}\text{O}$  en espeleotemas indican que las tazas de precipitación varían fuertemente en función de la taza de insolación descrita por el ciclo de precesión de Milankovitch (Frecuencia media de 23 mil años). Fluctuaciones secundarias, caracterizadas por aumento de lluvia, ocurren sincrónicamente con los eventos climáticos abruptos fríos de escala milenaria observados en regiones de altas latitudes del hemisferio Norte durante prácticamente los últimos 130 mil años (Wang et al., 2004; Cruz et al., 2005; Wang et al., 2006; Cruz et al., 2006; Wang et al., 2007; Wang et al., 2008; Cruz et al., 2009). Durante estos eventos, es observado un aumento de las precipitaciones relacionado con la intensificación de los Monzones sudamericanos, que a su vez ocurren en acompañamiento de la migración al sur de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) en función de la expansión de las zonas de altas presiones en el hemisferio norte en los periodos fríos. Un buena reproductividad inversamente opuesta entre los registros isotópicos de espeleotemas de regiones climáticas de Brasil con los registros de China y de la península Arábiga (Fleitmann et al., 2003; Wang et al., 2007), sumado al hecho de que, así como buena parte del territorio brasilero, el flanco oriental de los altiplanos Bolivianos tienen las monzones sudamericanas como principal mecanismo climático responsable por las precipitaciones, refuerzan el potencial de utilización de los isotopos de Oxígeno en la reconstitución de paleoprecipitaciones en los Andes.

## 2. Área de Estudio

El área de estudio se localiza en el Parque Nacional de Torotoro ( $18^{\circ}7' \text{ S}$  e  $65^{\circ}46' \text{ W}$ ), en el departamento de Potosí, entre 2000 y 3500 m.s.n.m. a 140 km al sur de la ciudad de Cochabamba. Las muestras colectadas con el apoyo de los guardas del Parque de Torotoro, fueron obtenidas adentro de las cavernas Chiflonkhakha y Umajalanta, que desarrollan respectivamente 660 y 4300 metros (Guyot et al., 1990).

### 3. Metodología

Las estalagmitas colectadas en las cavernas de Chiflonkhakha y Umajalanta, localizadas en el Parque Nacional de Torotoro, fueron preferencialmente las del tipo cilíndricas, ideal para estudios paleoclimáticos, debido a su estratigrafía relativamente simple. (Fairchild et al. 2006). Los locales de colecta de las estalagmitas se dieron principalmente en galerías de salones aislados, ambientalmente caracterizados por la mínima circulación y alta humedad relativa del aire, y se realizó en dos trabajos de campo.

Las estalagmitas colectadas fueron encaminadas para el laboratorio de Sistemas Cársticos del Instituto de Geociencias de la Universidad de São Paulo (IGc-USP), donde fueron realizados los procedimientos de muestras para dataciones de U-Th y la extracción de muestras para análisis isotópicos de oxígeno y carbono. Por lo tanto, inicialmente las estalagmitas fueron cortadas longitudinalmente a lo largo del eje de crecimiento y en seguida fueron pulidas.

Las muestras geocronológicas de las estalagmitas fueron realizadas a partir de capas sin señales de procesos de disolución o recristalización; evitándose las capas oscuras con mayor concentración de materiales terrígenos, fuentes de  $^{230}\text{Th}$  detrítico. Para cada capa muestreada se extrajo cerca de 0.4 a 0.2 g de  $\text{CaCO}_3$ . El Material carbonatico de las estalagmitas fue datado por el método  $^{230}\text{U}/^{234}\text{Th}$  en el laboratorio de geocronología de la Universidad de Minnesota, en los estados unidos, con la utilización de un espectrómetro de masa típico ICP-MS (*Inductively coupled plasma mass spectrometry*), modelos Finnigan Elements y Finnigan Neptune. Los procedimientos analíticos adoptados en la preparación y análisis de las muestras seguirán los patrones establecidos por el *Isotope Laboratory do Departament of Geology and Geophysics* de la Universidad de Minnesota, descritos en Cheng et al. (2009).

Las muestras de  $\text{CaCO}_3$  en polvo, utilizadas para los análisis isotópicos, fueron extraídas a lo largo del eje de crecimiento de las estalagmitas colectadas. La adquisición de las muestras fue realizada con el uso de un micromuestreador modelo 5400 de *Sherline*. A través del micromostrador fueron extraídas aproximadamente cerca de 0.2 mg o 200  $\mu\text{g}$  de muestra en polvo con la utilización de una broca de 0.2 mm de diámetro. Las muestras de calcita fueron analizadas en el laboratorio de isotopos estables del centro de investigaciones Geocronológicas de la universidad de Sao Paolo, con la utilización de un espectrómetro de masa de fuente gaseosa, modelo DeltaPlus Advantage (Thermo Finningan).

### 4. Resultados Preliminares y Discusion

En total fueron obtenidos hasta el momento 32 dataciones provenientes de 2 estalagmitas colectadas (BO-1 e BO-2). Las edades se distribuyen entre 294 e 30.763 años, comprendiendo todo el holoceno, Deglacial y el último periodo glacial. Para la reconstitución de los altiplanos Bolivianos fueron obtenidos hasta el presente 608 análisis isotópicos de oxígeno y Carbono, cubriendo los intervalos entre 249~435, 4550~5270 y 7144~9888 años A.P. de la estalagmita BO-1. Actualmente están siendo procesados los análisis isotópicos de la estalagmita BO-2, que cubrirá continuamente los intervalos entre 8.880 y 22. 880 años A.P. y entre 27.470 y 30.746 años A.P. Hasta el momento fueron realizados estos análisis para BO-2, lo cual incluye 571 análisis isotópicos de Oxígeno y Carbono.

Los resultados obtenidos son presentados conjuntamente con otros registros paleoclimáticos en la Fig. 1. Como puede ser observado en la Fig. 1, a pesar de la grande amplitud de los hiatos, los resultados previos para el Holoceno guardan importantes relaciones con los eventos Bond. Para validar el periodo de ocurrencia de los eventos Bond, fue utilizado como indicador de temperatura de la superficie del mar del Atlántico Norte el índice de %HSG, que se trata de la concentración de granos de cuarzo, manchados de Hematita, referido en ingles como "*hematite stained grain*" utilizado por Bond et al. (1997) e Bond et al. (2001). Durante los periodos de aumento de HSG se observa concomitante reducción de los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  de la estalagmita BO-2 de la caverna Chiflónkhakha, Bolivia.

Valores más negativos en  $\delta^{18}\text{O}$ , asociados al aumento de la paleopluviosidad también son observados para estalagmita del Sudeste de Brasil, recolectadas en el norte del estado de Minas Gerais. Concordando con el aumento de lluvia en el Sudeste de Brasil y en Potosí, son observados fases de aumento de N-A del lago Titicaca, evidenciados por los valores más negativos de  $\delta^{13}\text{C}$  de la materia orgánica obtenidos por Baker et al. (2005) atestando el aumento de la productividad debido el aumento del nivel del lago. De manera general, la serie temporal de  $\delta^{18}\text{O}$  de la estalagmita BO-2 sigue la curva de insolación calculada para el ciclo de precesión de la tierra. En el inicio del Holoceno, cuando la insolación fue menor, son observados valores medios de  $\delta^{18}\text{O}$  alrededor de -8.8‰ , llegando a -10‰ al final de Holoceno con aumento de la insolación en el hemisferio Sur.

La misma relación entre insolación y aumento de la precipitación fue observado por Cruz et al. (2006) para los últimos 140 mil años en cavernas del Sudeste de Brasil, asociado con la intensificación de los Monzones Sudamericanos durante los periodos de máxima insolación. Además de las variaciones de escalas milenares, las variaciones de los valores del isótopo del oxígeno marcan una disminución acerca de 8.2 kyr evidenciando una época de aumento de las paleoprecipitaciones debido a una intensificación de la Monzon Sudamericana (Cheng et al., 2010)

## 5. Perspectivas y proyecciones futuras

Actualmente ya se encuentran en fase de análisis isotópico la estalagmita BO-1, cuya serie temporal cubrirá desde el Holoceno inferior hasta el final de la última glaciación, pasando por todo el periodo Deglacial. Un nuevo trabajo de campo fue realizado recientemente en las cavernas de Torotoro, en Mayo del 2010, el cual tuvo como objetivo recolectar estalagmitas que puedan cubrir los “hiatos” temporales del Holoceno establecidos en la estalagmita BO-1 y BO-2. Estas muestras están siendo actualmente datadas en el laboratorio de geocronología U-Th de la Universidad de Minnesota, Estados Unidos. Se pretende obtener el registro paleoclimático continuo de aproximadamente los últimos 35 mil años, lo cual permitirá una mejor comprensión de la variabilidad de los sistemas climáticos del continente Sudamericano, en especial de la actuación de los sistemas de Monzones de Sudamérica en territorio Boliviano y los trópicos de una manera general frente a los cambios climáticos globales. Estos registros obtenidos de los espeleotemas serán comparados con otros ya estudiados en Brasil. Teniendo como visión una mejor comprensión de la variabilidad de las precipitaciones basándose en el análisis isotópico de los espeleotemas. En este contexto es muy importante para el presente trabajo de investigación Paleoclimáticas involucrar profesores y alumnos bolivianos.

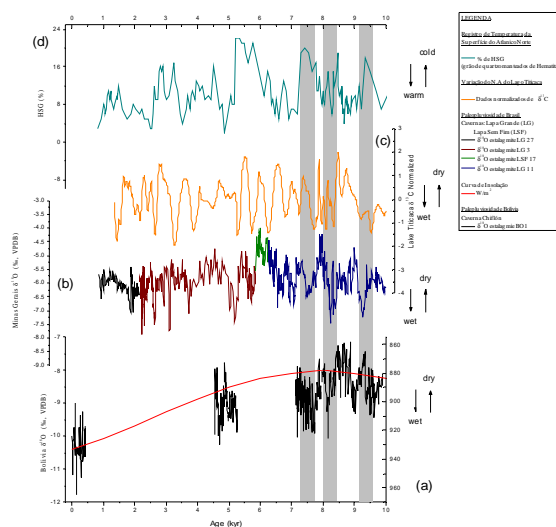


Fig. 1. Comparação entre (a) série temporal de  $\delta^{18}\text{O}$  da estalagmita BO-1 da caverna Chinflón (b) série temporal de  $\delta^{18}\text{O}$  de estalagmitas das cavernas Lapa Grande e Lapa Sem Fim, norte de Minas Gerais, Brasil, © série temporal de  $\delta^{13}\text{C}$  de la materia orgánica sedimentar do lago Titicaca (Baker et al., 2005) e (d) % de HSG (*hematite stained grain*) (Bond et al., 2001).

## 5. Agradecimientos

Tenemos que agradecer el parc de TOROTORO.

## 6. Bibliografía

- Arz, H. W., Gerhardt, S., Pätzold, J., Röhl, U., 2001. Millennial-scale changes of surface- and deep-water flow in the western tropical Atlantic linked to Northern Hemisphere high-latitude climate during the Holocene. *Geology*, 29, 3, 239-242.
- Baker, P. A., Seltzer, G. O, Fritz, S.C, Dunbar, R. B. Grove, M. J., Tapia, P. M., Cross, S.L. Rowe, H. D., Broda, J. P., 2001. The History of South American Tropical Precipitation for the Past 25,000 Years. *Science*, 291, 640-643.
- Baker, P. A., Fritz, S. C., Garland, J., Ekdahl, E., 2005. Holocene hydrologic variation at Lake Titicaca, Bolivia/Peru, and its relationship to North Atlantic climate variation. *Journal of Quaternary Science*, 20, 655–662.
- Bond, G., Lotti, R., 1995. Icebergs Discharges into the North Atlantic on Millennial Time Scale During the Last Glaciation. *Science*, 267, 1005-1010.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., DeMenocal, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I., Bonani, 1997. G. A Pervasive Millennial-Scale Cycle in North Atlantic Holocene and Glacial Climates. *Science*, 278, 14, 1257 – 1266.
- Bond, G., Kromer, B., Beer, J., Muscheler, R., Evans, M. N., Showers, W., Hoffmann, S., Lotti, R., Hajdas, I., Bonani, G. 2001. Persistent Solar Influence on North Atlantic Climate During the Holocene. *Science*, 294, 2130-2136.
- Clapperton, C. M. 1993. *Quaternary Geology and Geomorphology of South America*. Elsevier, Amsterdam, p. 498.
- Dansgaard, W., Johnsen, S. J., Clausen H. B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N. S., Hammer, C. U., Hvidberg, C. S.,

- Steffensen J. P., Sveinbjornsdottir, A. E., Jouzel, J., Bond, G. C., 1993. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, 364, 218-220.
- Cruz, F. W., Burns, S. J., Karmann, I., Sharp, W. D., Vuille, M., Cardoso, A. O., Ferrari, J. A., Silva Dias, P. L., Viana, O., 2005. Insolation-driven changes in atmospheric circulation over the past 116,000 years in subtropical Brazil. *Nature*, 434, 63-66.
- Cruz, F. W., Burns, S. J., Karmann, I., Sharp, W. D., Vuille, M., 2006. Reconstruction of regional atmosphere circulation features during the late Pleistocene in subtropical Brazil from oxygen isotope composition of speleothems. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 248, 494-506
- Cruz, F. W.; Vuille, M.; Burns, S. J.; Wang, X.; Cheng, H.; Werner, M.; Edwards, L. R.; Karmann, I.; Auler, A. S.; Nguyen, H. Orbitally driven east–west antiphasing of South American precipitation. *Nature geoscience*, v. 2, p. 210-214, 2009.
- Fairchild, I. J., Smith, C. L., Baker, A., Fuller, L., Spötl, C., Matthey, D., McDermott, F. E. I. M. F., 2006. Modification and preservation of environmental signals in speleothems. *Earth-Science Reviews*, 75, 105-153.
- Fleitmann, D. Burns, S. J., Mudelsee, M., Neff, U., Kramers, J., Mangini, A., Matter, A., 2003. Holocene Forcing of the Indian Monsoon Recorded in a Stalagmite from Southern Oman. *Science*, 300, 1737-1739.
- Fritz, S. C., Baker, P. A., Lowenstein, T. K., Seltzer, G. O., Rigsby, C. A., Dwyer, G. S., Tapia, P. M., Arnold, K. K., Ku, T. L., Luo S., 2004. Hydrologic variation during the last 170,000 years in the southern hemisphere tropics of South America. *Quaternary Research*, 61, 95-104.
- Fritz, S. C., Baker, P. A., Tapia, P., Garlan, D. J. 2006. Spatial and temporal variation in cores from Lake Titicaca, Bolivia/Peru during the last 13,000 years. *Quaternary International*, 158, 23-29.
- Fritz, S. C., Baker, P. A., Seltzer, G. O., Ballantyne, A., Tapia, P., Cheng, H. Edwards, R. L., 2007. Quaternary glaciation and hydrologic variation in the South American tropics as reconstructed from the Lake Titicaca drilling project. *Quaternary Research*, 68, 410-420.
- Ruddiman, W. F. *Earth's climate: past and future*. 2ª edição. Nova Iorque: W.H. Freeman. 2008, p. 465.
- Thompson, L. G., Davis, M. E., Mosley-Thompson, E., Sowers, T. A., Henderson, K. A., Zagorodnov, V. S., Lin, P.-N., Mikhailenko, V. N., Campen, R. K., Bolzan, J. F., Cole-Dai, J., Francou, B., 1998. A 25,000-Year Tropical Climate History from Bolivian Ice Cores. *Science*, 282, 1858-1864.
- Thompson L. G., Mosley-Thompson E., Henderson, K. A. 2000. Ice-core palaeoclimate records in tropical South America since the Last Glacial Maximum. *J. Quaternary Sci*, 15, 377–394.
- Wang, X., Auler, A. S., Edwards, R. L., Cheng, H., Cristalli, P. S., Smart, P. L., Richards, D. A., Shen, C-C. 2004. Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. *Nature*, 432, 740-743.
- Wang, Y., Cheng, H., Edwards, R. L., He, Y., Kong, X., An, Z., Wu, J., Kelly, M. J., Dykoski, C. A., Li, X., 2005. The Holocene Asian Monsoon: Links to Solar Changes and North Atlantic Climate, *Science*, 308, 854-857.
- Wang, X., Auler, A. S., Edwards, R. L., Cheng, H., Ito, E., Solheid, M., 2006. Interhemispheric anti-phasing of rainfall during the last glacial period. *Quaternary Science Reviews*, 25, 3391-3403.
- Wang, X., Auler, A. S., Edwards, R. L., Cheng, H., Ito, E., Wang, Y., Kong, X., Solheid, M., 2007. Millennial-scale precipitation changes in southern Brazil over the past 90,000 years. *Geophysical Research Letters*, 34.
- Wang, X., Cruz, F. W., Auler, A. S., 2008. Millennial-scale climate variability recorded in Brazilian speleothems. *PAGES News*, 16, 3, 31-32.