

HISTORIA DE LA VEGETACION, CAMBIO CLIMATICO E INFLUENCIA HUMANA DURANTE EL HOLOCENO TARDIO EN LOS ANDES CENTRALES

Valencia, Bryan G^{1,2}., Sublette Nicole A¹. and Bush, Mark B¹.

¹Department of Biological Sciences, Florida Institute of Technology, Melbourne, FL, USA,

²Department of Earth and Environmental Sciences, CEPSAR, The Open University, Walton Hall, Milton Keynes, MK7 6AA, UK

RESUMEN

El fenómeno de ENSO y la insolación han influenciado la precipitación de los Andes centrales a escalas de tiempo interanuales y orbitales durante el Holoceno (Baker *et al.*, 2001; Moy *et al.*, 2002).

Los patrones de circulación marina y atmosférica bajo el efecto de ENSO y la insolación han regulado el transporte de masas de aire húmedo de las zonas ecuatoriales a los Andes centrales por medio de la modulación del ITCZ (Zona de Interconvergencia Tropical), SASM (Monson Sudamericano de Verano), y SALLJ (Corriente en Chorro de los Niveles Bajos; Zhou & Lau, 1998; Baker *et al.*, 2001; Garreaud & Aceituno, 2001; Haug *et al.*, 2001; Wang & Fu, 2004). Cambios adicionales en los patrones de precipitación en el Altiplano estuvieron vinculados con variaciones de la temperatura marina superficial Noratlántica (SST) entre escalas de tiempo interanuales y orbitales (Baker *et al.*, 2009). El presente trabajo pretende mostrar la influencia de la precipitación sobre la vegetación y el componente humano a través del análisis de múltiples indicadores evaluados en el sedimento de los lagos Pacucha y Huaypo (Fig. 1). El récord de CaCO₃ del Lago Pacucha (13°36'26" S, 73°29'42" O, 3095 m s.n.m.) constituye un indicador de los cambios de precipitación en los Andes centrales y el Altiplano (Hillyer *et al.*, 2009). Pacucha es un lago cerrado con una única salida cuyo nivel de agua y salinidad dependen exclusivamente de la precipitación local. La deposición de CaCO₃ en el lecho lacustre se restringe a periodos de sequía, cuando los procesos evaporativos superan a los de precipitación. Durante los últimos 5000 años, el récord de CaCO₃ en Pacucha cambia simultáneamente con la SST Noratlántica sugiriendo un vínculo marcado entre SST y la precipitación en los Andes centrales (Fig. 2 A-D; Marengo, 2008).

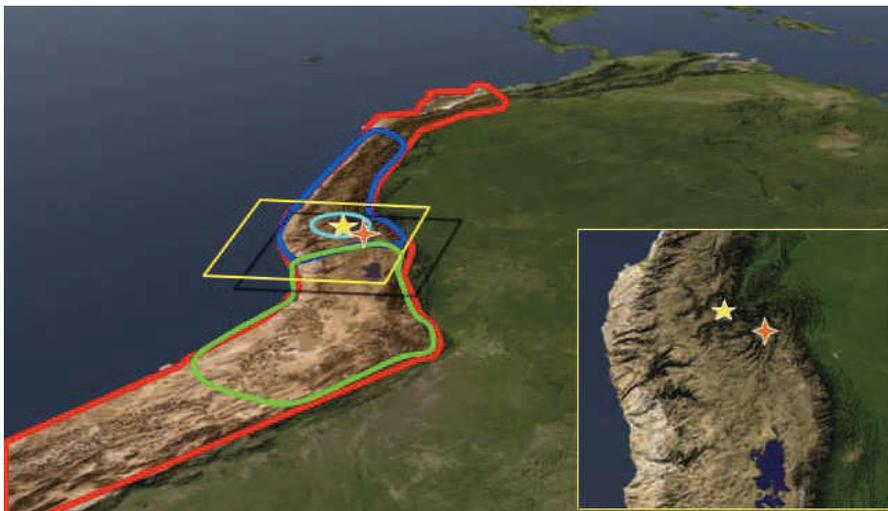


Figura 1. Mapa de Sudamérica mostrando la ubicación de los lagos Pacucha (estrella amarilla) y Huaypo (estrella naranja). Los contornos corresponden al área de influencia de las culturas Inca (rojo), Wari (azul), Tiahuanaco (verde) y Chanka (celeste).

Los cambios de la precipitación se ven reflejados en la abundancia y composición florística observada en el récord polínico de los lagos Pacucha (Valencia *et al.*, 2010) y

Huaypo (13° 24' 06" S, 72° 07' 43" O, 3500 m s.n.m.). El espectro polínico de las especies arbóreas, en la figura 1E (grases, en la figura 1F), alcanza gradualmente su mayor (menor) porcentaje en el Holoceno tardío, siguiendo las tendencias de la precipitación a escala de milenios. En contraste, algunas especies herbáceas y acuáticas (i.e. Cyperaceae, *Myriophyllum* e *Isoëtes*) responden a la variabilidad de la precipitación a menor escala de tiempo, en concordancia con los cambios del CaCO₃ en Pacucha (Fig. 2A y 2I). Las discrepancias entre las respuestas del componente arbóreo y herbáceo se explican por la disimilitud de sus ciclos de vida (perennes versus anuales o bienales) y su grado de dependencia respecto a los niveles y la química del lago. La Laguna de Marcacocha,

(Chepstow-Lusty *et al.*, 2003) ubicada en el Cusco, registró cambios de precipitación similares a los observados en el registro de Pacucha. Especies de la familia Cyperaceae restringidas a áreas anegadas en torno a Marcacocha, fueron empleadas para detectar el incremento o la disminución del nivel de agua de la laguna por medio del análisis polínico (Fig. 2G; Chepstow-Lusty *et al.*, 2003; Chepstow-Lusty *et al.*, 2009).

La actividad antrópica es un factor adicional a la precipitación que tiene un efecto marcado en la vegetación (Bush *et al.*, 2007a; Bush *et al.*, 2007b). La incursión inicial del hombre en el continente Americano ocurre a finales del Pleistoceno (Piperno, 2007; Dillehay, 2008). Sin embargo, los vestigios de la actividad humana como el cultivo o las quemadas son más evidentes durante el Holoceno (Bush *et al.*, 2004; Pearsall, 2008). Los registros de polen y carbón de Huaypo y Pacucha permiten reconstruir la historia del cultivo de especies de importancia económica y la historia de los incendios posteriores al Holoceno medio (Figs. 2 J-K). En los récords de Pacucha y Huaypo se identifican cultivares de la familia Amaranthaceae entre ca. 5000 y 3000 años calibrados antes del presente (en adelante, cal BP) y del género *Zea*, después de ca. 3000 cal BP. Otras especies como *Ambrosia* y *Alnus* se usaron intensivamente a partir de ca. 1500 cal BP en la estabilización de terrazas de cultivo (*Ambrosia*) y como fuente de madera (*Alnus*). Las especies de importancia económica adquirieron preponderancia durante el desarrollo de civilizaciones como Wari, Tiwanaku, Chanka e Inca (Fig. 2H). El incremento de los porcentajes polínicos de especies arbóreas como en el caso de *Alnus*, implica que las culturas precolombinas manejaron activamente sus recursos forestales (Chepstow-Lusty *et al.*, 2009). Las especies arbóreas hubieran disminuido o desaparecido del registro polínico, junto con otros elementos del bosque nublado, en caso de sobre-explotación. Esta premisa se ve respaldada por la disminución de partículas de carbón (incendios, Fig. 2K) en los periodos de apogeo de cada cultura y concuerdan con el argumento de una política de protección forestal (Chepstow-Lusty & Jonsson, 2000). En ausencia humana, el registro de carbón tiende a incrementar durante periodos de precipitación reducida, cuando la biomasa no es un factor limitante. La probabilidad de incendios incrementa con la ocupación humana debido a que la fuente de ignición deja de ser únicamente natural (Bush *et al.*, 2008).

A pesar de que se considera que civilizaciones pasadas pudieron modificar y “manufacturar” su entorno alterando deliberadamente el clima (Heckenberger *et al.*, 2003), los resultados del presente trabajo sugieren que el entorno ambiental fue un factor limitante del componente humano. El origen, expansión y desaparición de las culturas Wari, Tiwanaku, Chanka e Inca estuvieron estrechamente relacionadas con las fluctuaciones de la precipitación (Figs. 2A y 2H). Las culturas del altiplano, Wari y Tiwanaku, colapsaron durante un periodo de sequía (1000 cal BP) coincidente con el incremento de CaCO₃ en Pacucha y en los récords de Umayo (Baker *et al.*, 2009), Marcacocha (Chepstow-Lusty *et al.*, 2003) y Quelccaya (Thompson *et al.*, 1998). En contraste, el origen de la cultura Inca y la expansión de las culturas Wari, Tiwanaku y Chanka ocurren durante periodos favorables de precipitación y de bajo contenido de CaCO₃ en Pacucha. El colapso de las culturas Wari y Tiwanaku simultáneo a la subsistencia de la cultura Chanka se explica por factores topográficos y de continentalidad. El Lago Pacucha, ubicado en el centro cultural Chanka, experimenta cambios de precipitación simultáneos a los producidos en el Altiplano. Sin embargo, Pacucha experimenta sequías menos intensas debido a que las masas de aire húmedo llegan directamente desde la Amazonia a través de un valle. Contrariamente, las masas de aire que llegan al Altiplano tienen que sobrepasar la cordillera oriental (4100 m de elevación), lo que implica una reducción del contenido hídrico debido a la precipitación orográfica. Este hecho, incrementaría el efecto de sombra de lluvia en el altiplano especialmente durante periodos de advección hídrica limitada.

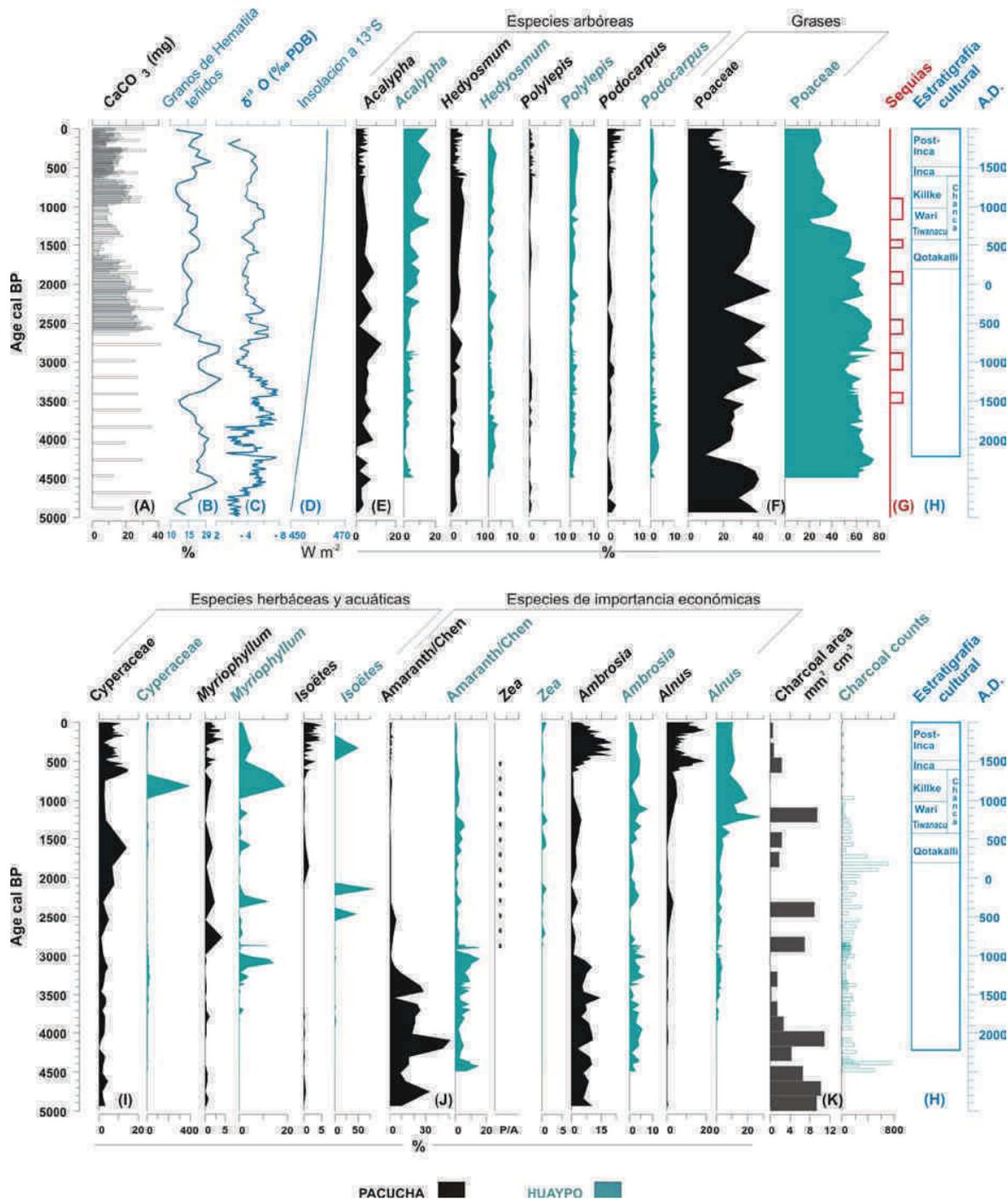


Figura 2. Indicadores climáticos en los Andes centrales. Concentración de CaCO_3 en Lago Pacucha, (A); porcentaje de granos teñidos de hematita en sedimentos marinos (B; Bond et al., 2001); isotópo estable de oxígeno contenido en los carbonatos del Lago Umayo (C; Baker et al., 2009); Curva de insolación a 13°S entre septiembre y marzo (D; Berger, 1992); diagramas de polen y carbón de los lagos Pacucha (Valencia et al., 2010) y Huaypo (E, F, I, J y K); concentración de cyperáceas en la laguna de Marcacocha (G; Chepstow-Lusty et al., 2009); Estratigrafía cultural Andina (H; Bauer, 2004).

REFERENCIAS

- Baker, P.A., Fritz, S.C., Burns, S.J., Ekdahl, E. & Rigsby, C.A. (2009) The nature and origin of decadal to millennial scale climate variability in the southern tropics of south america: The holocene record of lago umayo, peru. *Past climate variability in south america and surrounding regions: From the last glacial maximum to the holocene* (ed. by F. Vimeux, F. Sylvestre and M. Khodri), pp. 301-322. Springer, Paris.
- 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
- Bauer, B.S. (2004) *Ancient cuzco heartland of the inca*. University of Texas press, Austin TX.
- Berger, A. (1992) Astronomical theory of paleoclimates and the last glacial-interglacial cycle. *Quaternary Science Reviews*, **11**, 571-581
- Bond, G., Kromer, B., Beer, J., Muscheler, R., Evans, M.N., Showers, W., Hoffmann, S., Lotti-Bond, R., Hajdas, I. & Bonani, G. (2001) Persistent solar influence on north atlantic climate during the holocene. *Science*, **294**, 2130-2136
- Bush, M.B., De Oliveira, P.E., Colinvaux, P.A., Miller, M.C. & Moreno, E. (2004) Amazonian paleoecological histories: One hill, three watersheds. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*
- Bush, M.B., Silman, M.R., C., M. & S., S. (2008) Fire, climate change and biodiversity in amazonia: A late-holocene perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **363**, 1795-1802
- Bush, M.B., Silman, M.R. & Listopad, C.M.C.S. (2007a) A regional study of holocene climate change and human occupation in peruvian amazonia. *Journal of Biogeography*, **34**, 1342-1356
- Bush, M.B., Silman, M.R., Toledo, M.B.D., Listopad, C., Gosling, W.D., Williams, C., Oliveira, P.E.D. & Krisel, C. (2007b) Holocene fire and occupation in amazonia: Records from two lake districts. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 1-10
- Chepstow-Lusty, A., Frogley, M.R., Bauer, B.S., Bush, M.B. & Herrera, A.T. (2003) A late holocene record of arid events from the cuzco region, peru. *Journal of Quaternary Science*, **18**, 491-502
- Chepstow-Lusty, A. & Jonsson, P. (2000) Inca agroforestry: Lessons from the past. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, **29**, 322-328
- Chepstow-Lusty, A.J., Frogley, M.R., Bauer, B.S., Leng, M.J., Boessenkool, K.P., Carcaillet, C., Ali, A.A. & Gioda, A. (2009) Putting the rise of the inca empire within a climatic and land management context. *Clim. Past*, **5**, 375-388
- Dillehay, T.D. (2008) Profiles in pleistocene history. *The handbook of south american archaeology* (ed. by H. Silverman and W.H. Isbell), pp. 29-44. Springer, New York.
- Garreaud, R.D. & Aceituno, P. (2001) Interannual rainfall variability over the south american altiplano. *Journal of Climate*, **14**, 2779-2789
- Haug, G.H., Hughen, K.A., Sigman, D.M., Peterson, L.C. & Rohl, U. (2001) Southward migration of the intertropical convergence zone through the holocene. *Science*, **293**, 1304-1308
- Heckenberger, M.J., Kuikuro, A., Kuikuro, U.T., Russell, J.C., Schmidt, M., Fausto, C. & Franchetto, B. (2003) Amazonia 1492: Pristine forest or cultural parkland? *Science*, **301**, 1710-1714
- Hillyer, R., Valencia, B.G., Bush, M.B., Silman, M.R. & Steinitz-Kannan, M. (2009) A 24,700-yr paleolimnological history from the peruvian andes. *Quaternary Research*, **71**, 71-82
- Marengo, J.A. (2008) Hydro-climatic and ecological behaviour of the drought of amazonia in 2005. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **363**, 1773-1778
- Moy, C.M., Seltzer, G.O., Rodbell, D.T. & Anderson, D.M. (2002) Variability of el nino/southern oscillation activity at millennial timescales during the holocene epoch. *Nature*, **420**, 162-165
- Pearsall, D.M. (2008) Plant domestication and the shift to agriculture in the andes. *The handbook of south american archaeology* (ed. by H. Silverman and W.H. Isbell). Springer, New York.
- Piperno, D. (2007) Prehistoric human occupation and impacts on neotropical forest landscapes during the late pleistocene and early/middle holocene. *Tropical rainforest responses to climatic change* (ed. by M.B. Bush and J.R. Flenley), pp. 193-218. Springer/Praxis, Berlin; New York; Chichester.
- Thompson, L., Davis, M.E., Moseley-Thompson, E. & Liu, K.-B. (1998) Pre-incan agricultural activity recorded in dust layers in two tropical ice cores. *Nature*, **336**, 763-765
- Valencia, B.G., Urrego, D.H., Silman, M.R. & Bush, M.B. (2010) From ice age to modern: A record of landscape change in an andean cloud forest. *Journal of Biogeography*, (in press)
- Wang, H. & Fu, R. (2004) Influence of cross-andes flow on the south american low-level jet. *Journal of Climate*, **17**, 1247-1262
- Zhou, J. & Lau, K.M. (1998) Does a monsoon climate exist over south america. *Journal of Climate*, **11**, 10120-1040