

Impacto del cambio climático en la ocupación humana en la Amazonía ecuatoriana hace 4.500 años (BP)

Impact of climate change on human occupation in the Ecuadorian Amazon 4,500 years (BP)

Bruce Tumbaco¹, María Soledad Solórzano², Bryan Valencia³

1 Universidad Regional Amazónica Ikiam – INAMHI – ENANDES+. <https://orcid.org/0000-0002-3558-2923>

2 Universidad Regional Amazónica Ikiam. <https://orcid.org/0000-0002-2145-0102>

3 Universidad Regional Amazónica Ikiam. <https://orcid.org/0000-0002-5970-4964>

Autor de correspondencia: bruce.tumbaco@est.ikiam.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.63804/CIBEN.25.cter.e4>

Resumen

Este estudio examina el impacto de los eventos de El Niño en la ocupación y abandono humano de la Amazonía ecuatoriana durante los últimos 4.500 años AP, enfocado en el sitio Pashimbi. Se usaron diecisiete fechas calibradas y funciones de densidad de probabilidad para definir periodos de asentamiento. La influencia climática se evaluó mediante análisis de componentes principales (PCA) aplicado a datos de fluorescencia de rayos X (XRF) de un núcleo del lago Llaviucu, donde el primer componente explicó el 98,42% de la varianza. El análisis wavelet reveló periodicidades de 2–8 años, coherentes con ENSO. Los resultados indican que los primeros asentamientos de Pashimbi (ca. 4089 AP) se vincularon con fases de El Niño, mientras que los posteriores a 3000 AP no mostraron correlación. Aunque se observaron dos patrones, la prueba de Bartlett ($p = 0,9026$) demuestra que no existen diferencias significativas entre los impactos de ENSO durante ocupación y abandono.

Palabras clave: Ecuador; Amazonía; Asentamientos humanos; Cambio Climático.

Abstract

This study examines the impact of El Niño events on human occupation and abandonment in the Ecuadorian Amazon over the last 4,500 years BP, focusing on the Pashimbi site. Seventeen calibrated radiocarbon dates and probability density functions were used to define settlement periods. Climatic influence was evaluated through principal component analysis

(PCA) applied to X-ray fluorescence (XRF) data from a core taken from Lake Llaviucu, where the first component explained 98.42% of the variance. Wavelet analysis revealed periodicities of 2–8 years, consistent with ENSO. Results indicate that the earliest Pashimbi settlements (ca. 4089 BP) were associated with El Niño phases, whereas those after 3000 BP showed no correlation. Although two patterns were observed, Bartlett's test ($p = 0.9026$) demonstrates that there are no significant differences between ENSO impacts during occupation and abandonment periods.

Keywords: Ecuador; Amazon; Human settlements; Climate change.

Introducción

La variabilidad climática del Holoceno se ha vinculado con el colapso de civilizaciones como los mayas, mochicas y tiwanaku (DeMenocal, 2001), procesos asociados a inestabilidad climática que impulsaron cambios sociales y reubicaciones hacia entornos más favorables (Åkesson *et al.*, 2020). En la Amazonía peruana, los asentamientos prosperaron en fases secas y fueron abandonados en condiciones más húmedas. Durante el Holoceno temprano, el debilitamiento del Monzón de Verano Sudamericano redujo el transporte de humedad, generando sequías prolongadas (Bird *et al.*, 2011; de Carvalho and Cavalcanti, 2016). Registros paleoclimáticos muestran sequías multidecadales entre ~8000 y 4000 AP (Binford M.W. *et al.*, 1997; Bush, Silman and Listopad, 2007). En contraste, el Holoceno tardío registró mayor pluviosidad, interrumpida ocasionalmente por El Niño, que pudo inducir sequías e impactar en los asentamientos precolombinos (Nobre, Sampaio and Salazar, 2007; Jiménez-Muñoz *et al.*, 2016).

La actividad ENSO coincidió con cambios culturales en Amazonía hacia 1500, 1000, 700 y 400 AP (Meggers, 1994). Aunque antes se vinculaba al colapso, investigaciones recientes destacan respuestas diversas, desde reorganización hasta agroforestería (McKey *et al.*, 2010). Registros paleoclimáticos evidencian actividad ENSO en los últimos 7000 años (Rodbell *et al.*, 1999; Moy *et al.*, 2002) influyendo en los patrones de asentamiento.

La evidencia arqueológica documenta ocupación a largo plazo en el flanco andino oriental, incluso en zonas hiperhúmedas antes consideradas marginales. Sitios como Guaguacanoayacu (~9850 AP) y El Avispal (~9180–9000 AP) prueban presencia temprana, seguida por aldeas formativas y asentamientos de Desarrollo Regional en el Alto Napo (~2530–1535 AP). Hacia 1450–450 AP se consolidaron más de treinta sitios en terrazas y diques, adaptándose a paisajes inundables.

El sitio arqueológico Pashimbi presenta seis fases de ocupación basadas en 17 dataciones de

carbón (Solórzano, 2021). Estas evidencias, reforzadas por fragmentos cerámicos, sugieren producción de fuego ligada a actividades humanas en un ambiente donde no ocurren incendios naturales (Piperno y Becker, 1996). Este estudio busca determinar si la ocupación en Pashimbi fue continua en los últimos 4000 años o interrumpida por eventos climáticos, y si El Niño influyó en los patrones de asentamiento y abandono. A pesar de la distancia y el gradiente altitudinal entre Pashimbi y Llaviucu, los registros paleoclimáticos muestran coherencia regional en la señal ENSO.

Metodología

Para determinar los periodos de ocupación y abandono en el sitio arqueológico Pashimbi se utilizaron 17 dataciones de radiocarbono (^{14}C) (Solórzano, 2021). Con las edades calibradas se generó una función de densidad de probabilidad (PDF) mediante el paquete Bchron en R. Se aplicó un umbral de 0,00004 desde los 4000 años AP: valores superiores indican ocupación y valores iguales o inferiores representan abandono, permitiendo una reconstrucción probabilística de la presencia humana basada en fragmentos de carbón.

Los datos paleoclimáticos de El Niño provienen del análisis de 26 elementos químicos mediante fluorescencia de rayos X (XRF) en un núcleo de 12,3 m del lago Llaviucu. Con el modelo de edad publicado, las concentraciones fueron interpoladas a resolución anual y analizadas con un análisis de componentes principales (PCA) en R (vegan package), reduciendo las 26 variables a un primer componente (PC1), que explicó el 98,42% de la varianza.

El PC1 se sometió a análisis wavelet con el paquete biwavelet en R para identificar variaciones de frecuencia y fase en los últimos 5000 años, utilizando la wavelet Morlet (Torrence y Compo, 1998). Se clasificaron como significativas las periodicidades de 2–8 años asociadas a ENSO, construyendo una matriz presencia-ausencia anual. Posteriormente, los eventos se agruparon en intervalos de 20 años y se normalizaron según la duración de cada periodo de ocupación/abandono definido por la PDF. Finalmente, se aplicaron pruebas de Shapiro-Wilk y Bartlett para evaluar normalidad y homogeneidad de varianzas, y verificar si existían diferencias significativas en la frecuencia de eventos ENSO entre periodos de ocupación y abandono.

Resultados y discusión

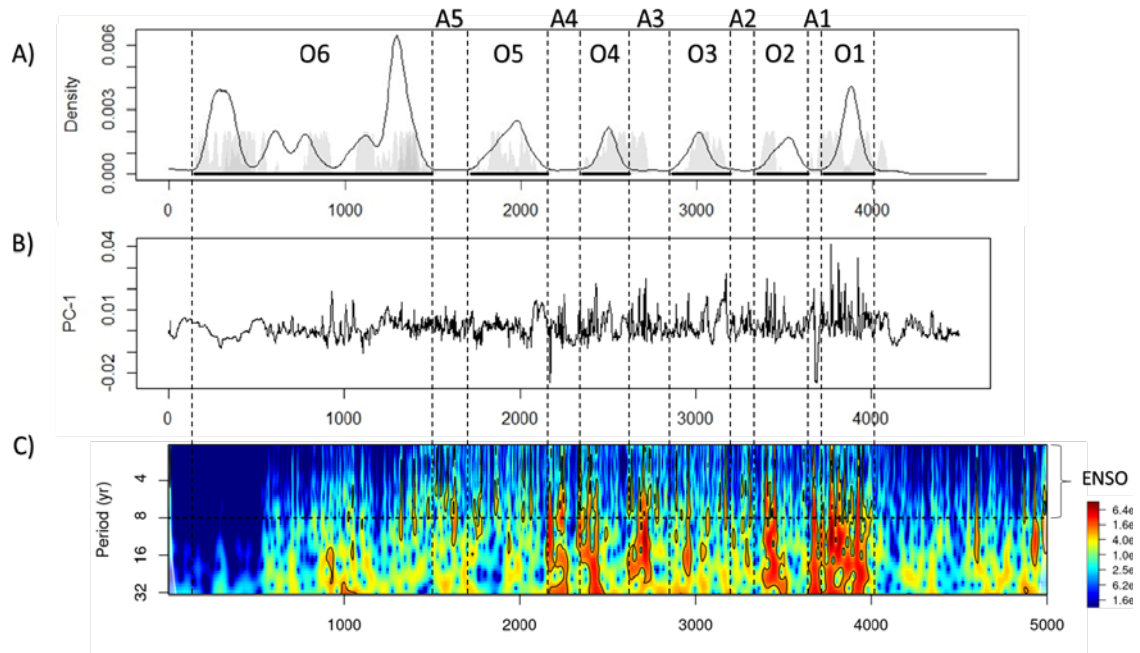


Figura 1. Ocupación y abandono en el sitio arqueológico Pashimbi y ENSO del lago Llave. A) Función de densidad de probabilidad (PDF) para Pashimbi (O = ocupación y A = abandono), B) señal del Componente Principal 1 (PC1), y C) análisis wavelet del PC1 (banda ENSO con periodicidades de 2 a 8 años), mostrando las regiones significativas delineadas en negro dentro del mapa de calor.

¿La ocupación humana en Pashimbi fue continua o discontinua?

La función de densidad de probabilidad (PDF) de Pashimbi muestra cinco periodos con probabilidades $\leq 0,00004$, lo que indica fases de abandono y, por tanto, una ocupación discontinua (Figura 1A). Estos abandonos se alternan con seis periodos de asentamiento, en concordancia con las fases arqueológicas descritas por Solórzano (2021). Así, la ocupación en Pashimbi no fue lineal ni estable, sino marcada por interrupciones que reflejan una dinámica intermitente influida por condiciones ambientales cambiantes.

¿Cuál fue la influencia de El Niño en los asentamientos de Pashimbi?

El análisis wavelet del PC1 evidencia periodicidades de 2–8 años relacionadas con ENSO (Figura 1C). Sin embargo, la prueba de Bartlett ($p = 0.9026$) no detectó diferencias significativas en la frecuencia de eventos de El Niño entre los periodos de ocupación y abandono. Esto sugiere que, aunque ENSO estuvo presente en la secuencia, no fue el único factor determinante en los procesos de asentamiento y abandono, los cuales también pudieron estar condicionados

por otros forzantes climáticos y ambientales, como fases húmedas extremas o inundaciones.

Conclusiones

La evidencia indica que la ocupación humana en Pashimbi fue discontinua durante los últimos 4.500 años, influida por la variabilidad climática. En las fases tempranas, los eventos de El Niño generaron sequías que favorecieron los asentamientos en un entorno usualmente húmedo, mientras que en los últimos 3.000 años las poblaciones desarrollaron estrategias de adaptación a condiciones más lluviosas. Esto sugiere una transición de la dependencia climática hacia una mayor resiliencia cultural y social frente a los cambios ambientales en la Amazonía ecuatoriana.

Referencias bibliográficas

åkesson, C.M. et al. (2020) “2,100 years of human adaptation to climate change in the High Andes,” *Nature Ecology and Evolution*, 4(1), pp. 66–74. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41559-019-1056-2>.

Binford M.W. et al. (1997) “Climate Variation and the Rise and Fall of an Andean Civilization,” *Quaternary Research*, 47(47), pp. 235–248. Available at: <http://www.ingentaconnect.com/content/ap/qr/1997/00000047/00000002/art01882>

Bird, B.W. et al. (2011) “A 2,300-year-long annually resolved record of the South American summer monsoon from the Peruvian Andes,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(21), pp. 8583–8588. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.1003719108>

Bush, M.B., Silman, M.R. and Listopad, C.M.C.S. (2007) “A regional study of Holocene climate change and human occupation in Peruvian Amazonia,” *Journal of Biogeography*, 34(8), pp. 1342–1356. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01704.x>

de Carvalho, L.M.V. and Cavalcanti, I.F.A. (2016) “The South American Monsoon System (SAMS),” in, pp. 121–148. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-21650-8_6

DeMenocal, P.B. (2001) “Cultural Responses to Climate Change During the Late Holocene,” *Science*, 292(5517), pp. 667–673. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.1059287>

Jiménez-Muñoz, J.C. et al. (2016) “Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015-2016,” *Scientific Reports*, 6(August), pp. 1–7. Available at: <https://doi.org/10.1038/srep33130>

McKey, D. et al. (2010) “Pre-Columbian agricultural landscapes, ecosystem engineers, and self-organized patchiness in Amazonia,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(17), pp. 7823–7828. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.0908925107>

Meggers, B.J. (1994) “Archeological evidence for the impact of mega-Niño events on Amazonia during the past two millennia,” *Climatic Change*, 28(4), pp. 321–338. Available at: <https://doi.org/10.1007/BF01104077>

Moy, C.M. et al. (2002) “Variability of El Niño/Southern Oscillation activity at millennial timescales during the Holocene epoch,” *Nature*, 420(6912), pp. 162–165. Available at: <https://doi.org/10.1038/nature01194>

Nobre, C., Sampaio, G. and Salazar, L. (2007) “Mudanças climáticas e Amazônia,” *Ciência e Cultura*, 53, p. 6. Available at: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252007000300012&script=sci_arttext&tlng=en

Rodbell, D.T. et al. (1999) “An ~15,000-year record of El Niño-driven alluviation in Southwestern Ecuador,” *Science*, 283(5401), pp. 516–520. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.283.5401.516>