



**UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y AGUA CARRERA EN  
GEOCIENCIAS**

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero en  
Geociencias

**Impacto del cambio climático sobre ocupación humana de la Amazonía Ecuatoriana**

Autor: Tumbaco Vega Bruce Anthony

Tutor: Valencia Castillo Bryan Guido

Tena, marzo 2022

Napo, Ecuador



**Universidad Regional Amazónica Ikiam**

Facultad Ciencias de la Tierra y Agua

Carrera en Geociencias

**Impacto del cambio climático sobre ocupación humana de  
la Amazonía Ecuatoriana**

Bruce Anthony Tumbaco Vega

Tena, marzo 2022

Napo, Ecuador

## DECLARACIÓN DE DERECHO DE AUTOR, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Tena 13, de diciembre de 2021

Yo, Bruce Anthony Tumbaco Vega Bueno con documento de identidad N°0928382597, declaro que los resultados obtenidos en la investigación que presento en este documento final, previo a la obtención del título Ingeniero en Geociencias son absolutamente inéditos, originales, auténticos y personales.

En virtud de lo cual, el contenido, criterios, opiniones, resultados, análisis, interpretaciones, conclusiones, recomendaciones y todos los demás aspectos vertidos en la presente investigación son de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad.

Por la favorable atención a la presente, suscribo de usted,

Atentamente,

Firma:

---

Bruce Anthony Tumbaco Vega

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Certifico que el trabajo de integración curricular titulado: “Impacto del cambio climático sobre ocupación humana de la Amazonía Ecuatoriana”, en la modalidad de: artículo original, fue realizado por: Bruce Anthony Tumbaco Vega, bajo mi dirección.

El mismo ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad Regional Amazónica Ikiam, para su entrega y defensa.

Tena 13, de diciembre de 2021

Firma:



Firmado electrónicamente por  
**BRYAN GUIDO  
VALENCIA  
CASTILLO**

Bryan Guido Valencia Castillo

C.I: 1760101632

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por cuidarme, por la salud, las bendiciones derramadas sobre mi familia.

A mis padres por ser el apoyo fundamental durante este proceso de formación, también agradezco a mis compañeros de clases y profesores.

Un agradecimiento especial al PhD. Bryan Guido Valencia Castillo, quien guio este proceso de trabajo de integración curricular, por ser amigo, colega y ejemplo a seguir.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a los docentes de la universidad regional amazónica Ikiam por brindarme todos los conocimientos necesarios para culminar la carrera de geociencias.

De igual manera a mi Padre Brud Tumbaco que con su ejemplo me enseñó a esforzarme cada día hasta alcanzar mis objetivos, a mi madre Rosalba Vega que me enseñó lo real de la vida y que con su protección jamás dejaron de creer en mí, a mis hermanos Ronny, Sergio y Tamara por su apoyo incondicional, a Estefanía García por estar dentro de mi proceso de formación profesional y por tener confianza en mis capacidades.

## ÍNDICE GENERAL

CARÁTULA	
DECLARACIÓN DE DERECHO DE AUTOR, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD .....	II
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
DEDICATORIA.....	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT .....	X
1. Introducción .....	1
2. Área de Estudio .....	4
3. Metodología .....	6
4. Resultados .....	9
4.1. Modelo de edad.....	9
4.2. Análisis PCA.....	9
4.3. Análisis de carbón del sitio arqueológico Pashimbi.....	10
4.4. Análisis Wavelet.....	11
4.5. Análisis Kolmogorov-Smirnov y Fligner-Killeen .....	13
5. Discusión .....	13
6. Conclusiones.....	16
7. Bibliografía .....	17

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Eigenvalores con la proporción de varianza en porcentaje .....	10
Tabla 2. Características de los periodos del sitio arqueológico Pashimbi .....	10

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la laguna Llaviucu y el sitio arqueológico Pashimbi .....	6
Figura 2. Modelo de edad con respecto a la profundidad de un núcleo extraído de 12.30 m de la laguna Llaviucu, Cuenca, Ecuador. En el eje de las abscisas tenemos la profundidad del núcleo (cm) y en las ordenadas los años BP, las cruces azules son los valores medios ponderados, donde tenemos un máximo, mínimo y una probabilidad media de edades.....	9
Figura 3. A) Función de probabilidad de las densidades aplicada a todas las edades calibradas del sitio arqueológico Pashimbi, en el eje de las x tenemos los años asociados y en el eje y las densidades obtenidas, posee etiquetas de ocupación (O) y abandono (A). B) Wavelet utilizando la serie temporal de la intensidad del color rojo (Moy et al., 2002). C) Wavelet utilizando los datos del componente principal 1 (PC1). D) Wavelet utilizando los datos interpolados del elemento Titanio detectado por XRF del análisis realizado al núcleo extraído de Llaviucu. Cada wavelet tiene una banda ENSO, en el eje x los años asociados y en el eje y periodos. Los colores de cada wavelet se interpretan: color rojo como mayor significancia y el color azul como menor significancia, fuera del cono de influencia representada por la línea blanca son datos que carecen de significancia.....	12
Figura 4. Ilustración de Coeficiente de variabilidad de los datos del PCA conjunto a las densidades registradas en el sitio arqueológico Pashimbi, las líneas de color rojo representan la variabilidad creciente en los abandonos.....	14

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es determinar si los períodos de fluctuación climática coinciden con los abandonos de los asentamientos humanos en el flanco este de la Amazonía ecuatoriana hace 4500 años. El área de estudio, Pashimbi, es un sitio arqueológico ubicado en la alta Amazonía ecuatoriana, donde se recolectaron 13 muestras en tubos de 10 cm de largo y 2.5 cm de diámetro, obteniendo 17 muestras de  $^{14}\text{C}$  de fragmentos de carbón de las trincheras 14 y 11, de estos datos se generaron funciones de probabilidad de densidad (PDF) durante los 4500 años AP. Datos sobre la variabilidad climática se obtuvieron del registro lacustre de la laguna Llaviucu extraídos en un núcleo sedimentario de 12.30 m con datación de 16 muestras de  $^{14}\text{C}$ , aplicando análisis de XRF se detectaron 26 elementos químicos que fueron utilizados para realizar análisis de componentes principales (PCA), datos del Titanio se utilizaron como un proxy climático para generar un wavelet mostrando señales periódicas ENSO.

El análisis de componentes principales dio como resultado un PC1 con un 98.42% en varianza retenida. Se realizaron análisis estadísticos de Fligner-Killeen para comparar la varianza de los coeficientes de variabilidad con un resultado de p-value igual a  $2.196\text{e-}13$ .

Existiendo variabilidad en las zonas de abandono humanos donde se define que en esos periodos de tiempo el clima pudo estar condicionado por eventos anómalos relacionados con inundaciones, sequías y por el Niño.

**Palabra clave:** Ecuador; Amazonía; Asentamientos Humanos; cambio climático

## **ABSTRACT**

The objective of the present work is to determine if the periods of climatic fluctuation coincide with the abandonment of human settlements on the eastern flank of the Ecuadorian Amazon 4500 years ago. The study area, Pashimbi, is an archaeological site located in the high Ecuadorian Amazon, where 13 samples were collected in tubes 10 cm long and 2.5 cm in diameter, obtaining 17 samples of  $^{14}\text{C}$  charcoal fragments from trenches 14 and 11, probability density functions (PDF) were generated from these data over the 4500 years AP. Data on climatic variability were obtained from the lacustrine record of the Llaviucu lagoon extracted from a 12.30 m sedimentary core with dating of 16  $^{14}\text{C}$  samples, applying XRF analysis, 26 chemical elements were detected that were used to perform principal component analysis (PCA). Titanium data were used as a climate proxy to generate a wavelet showing periodic ENSO signals.

Principal component analysis resulted in a PC1 with 98.42% retained variance. Fligner-Killeen statistical analyzes were performed to compare the variance of the variability coefficients with a p-value equal to  $2.196\text{e-}13$ .

There is variability in the areas of human abandonment where it is defined that in those periods of time the climate could be conditioned by anomalous events related to floods, droughts and El Niño.

**Keywords:** Ecuador; Amazon; Human settlements; Climate Change

# **Impacto del cambio climático sobre ocupación humana de la Amazonía Ecuatoriana**

## **Impact of climate change on human occupation of the Ecuadorian Amazon**

### **1. Introducción**

Estudiar la variabilidad climática es de suma importancia por los impactos sociales, económicos y biológicos que genera a nivel local y global (Pacheco et al., 2019). Existen organismos internacionales que apoyan e incentivan al estudio de variación climática como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Meteorológica Mundial (WMO) por sus implicaciones ambientales a nivel global y su posible impacto sobre la seguridad alimentaria (Pearce et al., 2014).

Ecuador, en las últimas décadas, ha presentado condiciones climáticas fuera de lo normal causadas por el fenómeno de El Niño con consecuencias negativas en la pesca, agricultura, ganadería, exportaciones, energía, transporte, inseguridad alimentaria, problemas socioeconómicos, además se le asocia enfermedades como dengue, cólera, fiebre tifoidea, meningitis, conjuntivitis, influenza (Hijar et al., 2016). Conocer sobre el comportamiento de eventos extremos como los causados por el Niño que superan los registros instrumentales es de suma importancia. Nos permite identificar líneas base de la amplitud de la variación climática para entender la intensidad con la que se manifiestan estos fenómenos y cómo se presentan en un futuro como consecuencia del cambio climático.

De acuerdo con Bush (2017) es importante considerar que los asentamientos humanos intensificaron la agricultura y la deforestación. La actividad humana no sólo cambió el paisaje sino también influyó en la respuesta de los paleoregistros al clima amplificando las señales climáticas que en ausencia de humanos e impacto sobre el paisaje serían

absorbidas por la vegetación natural. Por ende, tener un recuento de los elementos químicos a intervalos de 1 mm utilizando XRF permitiendo realizar una reconstrucción climática y poder relacionarlo con la evidencia arqueológica del Pashimbi nos permitiría conocer el condicionamiento temporal del clima y la influencia en los asentamientos humanos en el flanco este de la Amazonía donde se observaría el cambio del ecosistema y la amplificación de señales climáticas (Nascimento et al., 2020).

De acuerdo con Pacheco (2019) las variaciones climáticas tienen el potencial de afectar los recursos naturales de los que dependen los seres vivos, el desarrollo y dinámicas de las comunidades precolombinas también estuvieron sujetas a cambios climáticos. Eventos climáticos extremos han afectado el curso de los asentamientos y actividad humana. Entender los procesos de ocupación humana en función del clima, permiten tener una idea de la vulnerabilidad local que existió a consecuencia de fluctuaciones del clima y los posibles impactos frente al cambio climático en curso. Para ello, se ha considerado analizar los patrones de ocupación humana en la región del Pashimbi, ubicada en el flanco este de los Andes.

La dinámica y temporalidad de la ocupación humana en el flanco este de los Andes amazónicos también es afectada por la variabilidad climática lo cual posiblemente ocasionó una secuencia discontinua de ocupación desde el holoceno medio (6000 años antes del presente) estudiado y registrado por Solórzano (2021). La evidencia arqueológica encontrada a orillas del río Pashimbi (-0.9477, -77.8630) en los alrededores de la Universidad Regional Amazónica Ikiám, muestra una secuencia diacrónica de ocupaciones humanas. Solórzano (2021) sugiere que los grupos humanos en la Amazonía ecuatoriana

se adaptaron a la dinámica fluvial durante el Holoceno tardío (entre 3000/2500 y 900 años antes del presente). Las conclusiones de este trabajo derivan del modelo de edades radiocarbónicas, análisis estratigráficos y arqueológicos.

De acuerdo con Mosblech (2012) en la reconstrucción de la precipitación sobre la Amazonía ecuatoriana durante los últimos 94.000 años usando  $\delta^{18}O$  de espeleotemas de la cueva Santiago determina que las precipitaciones de la Amazonía ecuatoriana coinciden con las fluctuaciones de los altos Andes. Por ende, es factible tomar el paleoclima reconstruido a partir de los sedimentos extraídos del Llaviucu para el Pashimbi.

Para entender el contexto climático del flanco este de la Amazonía, este trabajo se realiza empleando la señal climática extraída del material sedimentario obtenido de la laguna de Llaviucu, se encuentran en el parque nacional Cajas que ha sido viable para estudiar las variaciones del fenómeno El Niño durante 12000 años antes del presente (Moy et al., 2002). También se ha estudiado la relación que existe entre los asentamientos humanos y la intensificación de la señal climática en los paleoregistros encontrados en el núcleo sedimentario (Nascimento et al., 2020), este trabajo incluye el análisis de fluorescencia de rayos X (XRF, siglas en inglés) y un modelo de edades del núcleo sedimentario.

El presente trabajo tiene como objetivo determinar si los períodos de fluctuación climática coinciden con los abandonos de los asentamientos humanos en el flanco este de los andes, en la Amazonía ecuatoriana, esto se logrará con las correlaciones de las wavelets realizados con serie temporal de la intensidad del color rojo (Moy et al., 2002), utilizando Titanio por ser un proxy climático obtenido a partir de la fluorescencia de ratos X del núcleo extraído de la laguna Llaviucu (Nascimento et al., 2020) y la wavelet del componente principal 1 con

el modelo de edades del sitio arqueológico Pashimbi. Además, se establece si el patrón de ocupación humana evidenciado por las dataciones radiocarbónicas del Pashimbi (PDF) coincide con períodos de variabilidad climática evidenciados por fluctuaciones en el coeficiente de variabilidad (PCA1 del XRF) de la laguna Llaviucu de los últimos 16000 años AP, estableciendo que solo se tomaran 4500 años como escala temporal para el análisis en este trabajo.

## **2. Área de Estudio**

La laguna Llaviucu, también denominado Laguna Surucucho, (Colinvaux et al., 1997) se encuentra en el parque nacional Cajas en la Cordillera Occidental de los Andes del Ecuador en la zona del páramo andino a 3115 m.s.n.m (-2.8432 S, -79.1463 W, fig. 1). Posee suelos andosoles e histosoles con presencia de arcilla rica en aluminio y carbono orgánico (Nascimento et al., 2020). La formación de este lago es por actividad glaciaria (Buytaert et al., 2007; MAE, 2018).

El clima de la zona donde se encuentra la laguna Llaviucu está marcado por temperaturas anuales de 11 a 12 ° C y una precipitación anual que excede los 2000 mm (Nascimento et al., 2020). De acuerdo con Michelutti (2016) el periodo seco de la zona anualmente se presenta de junio a septiembre. La humedad del sitio incrementa con las nubes bajas que inundan el valle, este dato no se encuentra en la suma de las precipitaciones (Nascimento et al., 2020).

Con base en Vuille (2000) en la escala de tiempo interanual el fenómeno de El Niño es la fuente principal de cambios en las oscilaciones climáticas de la región donde hay presencia

de anomalías de la temperatura de la superficie del mar asociado a la circulación atmosférica. Este fenómeno se da en el Océano Pacífico provocando intensas lluvias en las costas del Ecuador y Perú, mientras que en las partes amazónicas y en la parte noreste de América del sur no presenta tanta precipitación (Cai et al., 2020). De acuerdo con Arellano (2019) los eventos climáticos que afectaron los Andes durante El Niño tuvieron efecto también en el piedemonte, es la variabilidad registrada en Llaviucu es regional y se puede interpretar en Pashimbi.

El sitio arqueológico Pashimbi se encuentra ubicado a 8 Km de distancia de la ciudad de Tena, provincia de Napo, está entre 585 m.s.n.m., a 670 m.s.n.m (-0.9477, -77.8630) (Chunga, 2012). Esta zona arqueológica está en el flanco este de los Andes, sobre una terraza aluvial (Campos et al., 2019) al margen derecho del río Tena y al oeste del río Colonso.

El clima del sitio arqueológico, corresponde al tropical húmedo con un porcentaje del 80 al 90%, con precipitaciones de 3000 mm cada año, los periodos de invierno son entre los meses de febrero a mayo y de octubre a noviembre, la temperatura promedio de 25 °C, en esta zona la vegetación predominante son las selvas tropicales exuberantes (Plan de ordenamiento territorial (PDOT), 2020).

El marco geológico aledaño al sitio arqueológico se encuentra caracterizado por 8 unidades que datan desde el Jurásico superior hasta el cuaternario, donde se destacan rocas intrusivas del Jurásico. Tenemos el Batolito de Abitagua (Jurásico), la formación Misahuallí (Jurásico), la formación Napo (Cretácico), además se encuentran las formaciones Tena (Paleoceno), Grupo Margajitas (Paleoceno), la formación Tiyuyacu (Eoceno), y posee

depósitos superficiales (Holoceno) como terrazas y lahares (Gobierno provincial de Napo (GAD-Napo), 2019).

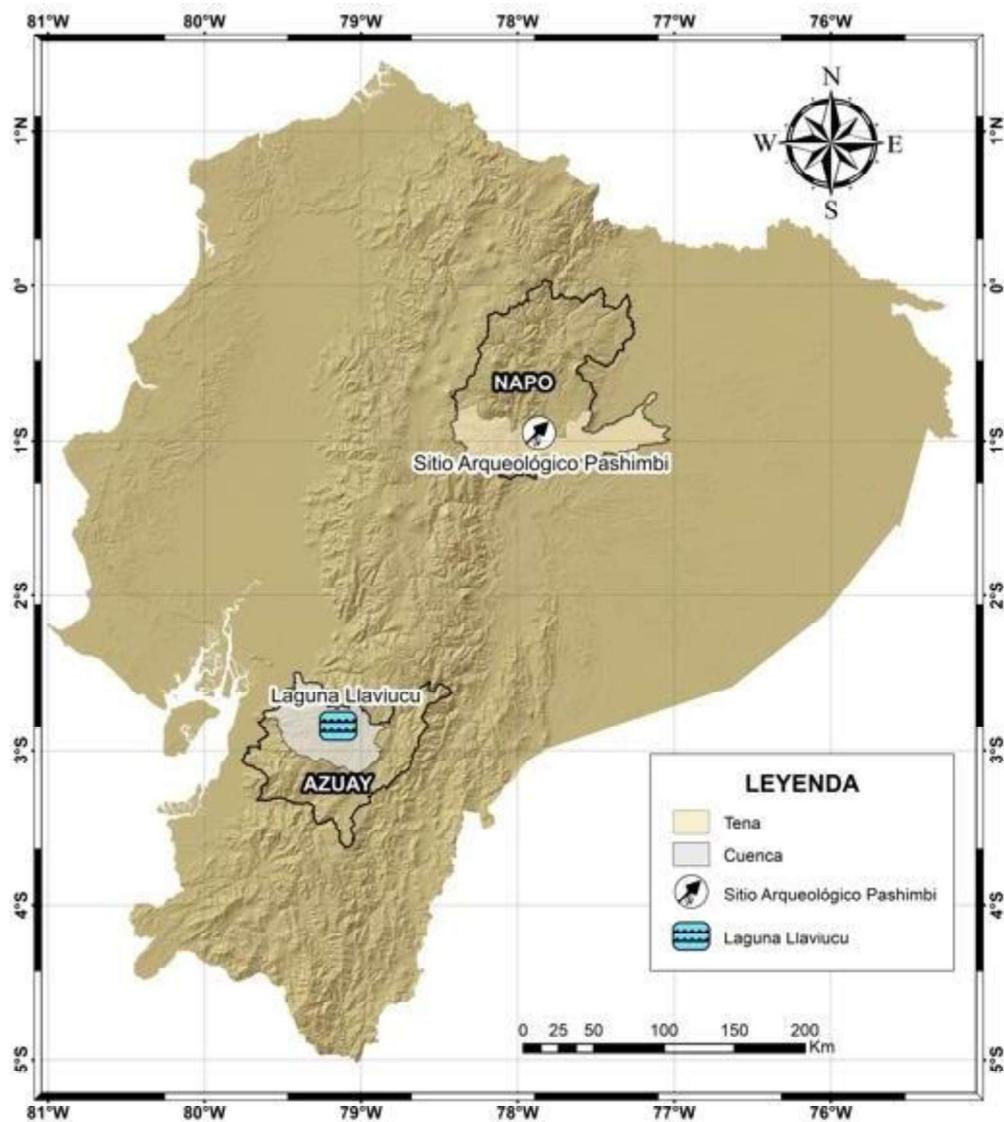


Figura 1. Mapa de ubicación de la laguna Llaviucu y el sitio arqueológico Pashimbi

### 3. Metodología

El grupo de trabajo de Florida Institute of Technology, extrajo un núcleo sedimentario de la laguna Llaviucu de 12.30 m con la sonda de perforación Colinvaux-Vohnout (Nascimento

et al., 2020), se tiene un modelo de edades a partir de 16 muestras de  $^{14}\text{C}$ . Se obtuvieron recuento de 26 elementos químicos cada 1 mm con fluorescencia de rayos X (XRF) con el instrumento Itrax (Francus et al., 2009).

De los datos proporcionados de la laguna Llaviucu, se realizó una interpolación anual desde el año 1 hasta el año 8000 para mayor resolución, esta escala de tiempo es para eliminar el efecto cono de influencia en muestras cercanas a los 4500 años (Edad basal del Pashimbi). Posterior, se aplicó el análisis de componentes principales (PCA) Lu (2017) la define como una técnica de análisis multivariante para la reducción de dimensiones. El PCA aplica una transformación ortogonal que convierte un grupo de observaciones de variables que posiblemente estén correlacionadas en un conjunto de valores de variables linealizadas no correlacionadas llamadas componentes principales (PC). Esta reducción de dimensionalidad se aplicó a los 26 elementos químicos para obtener menos variables teniendo la mayor varianza retenida sin perder mucha información en los 3 primeros ejes PC1, PC2 y PC3. Los eigenvalores se emplearon para determinar la proporción de la varianza por cada uno de los componentes principales.

Con el modelo de edades del núcleo sedimentario se describirán todos los eventos ocurridos durante los 4500 años que se encuentra asociado a la cronología de ocupación y desalojo de los diferentes depósitos: ocupación Tena, ocupaciones Moravia y Cosanga II, ocupación Cosanga I, ocupación Pambay, y ocupación Pashimbi (Solórzano-Venegas, 2021).

La secuencia de ocupación humana para el sitio arqueológico Pashimbi se establece a partir de 17 dataciones radiocarbónicas de las trincheras 14 y 11 de carbón de origen antrópico. Las muestras empleadas fueron fragmentos de carbón de 10 cm de largo y 2.5 cm de

diámetro que fueron extraídos en tubos de policloruro de vinilo. En total se recolectaron 13 muestras que constituyen evidencia de actividad humana (Solórzano-Venegas, 2021). La calibración de la muestra se realizó utilizando el paquete de R Bchron (Parnell, 2016). Posteriormente, se generó una gráfica empleando una función de probabilidad de las densidades (PDF) aplicada a todas las edades calibradas, de esta distribución se interpretó periodos de ocupación cuando presentaba variación de las densidades y abandono cuando no había una densidad asociada a través del tiempo.

Los datos de la serie temporal de la intensidad del color rojo del núcleo extraído y analizado de la laguna Pallcacocha se obtuvo de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, siglas en inglés). Los datos disponibles eran de 15142.71 años, fueron interpolados anualmente, se tomó 4500 años para mostrar la periodicidad ENSO utilizando el paquete R biwavelet (Gouhier, T., Grinsted, A & Simko, 2021). De los datos interpolados de Ti se tomaron 4500 años para realizar una wavelet. Para los datos del componente principal 1 también se ilustró una wavelet. En las tres wavelets donde se señaló con líneas horizontales entre 2 a 8 años periódicos (banda de ENSO) (Moy et al., 2002).

Una vez obtenida la gráfica tanto de las wavelets y PDF, se identificó señales periódicas que estaban correlacionadas con periodos temporales de alta y baja probabilidad de densidades de carbón durante el Holoceno Superior del sitio arqueológico Pashimbi.

Se extrajeron datos de los PDF y del PC1 por poseer mayor varianza retenida (98.42%). Luego se relacionaron de acuerdo a la escala temporal, separando datos de PC1 asociados a periodos con presencia de densidades y PC1 asociados a periodos sin densidad. Con estos conjuntos de datos se calcularon coeficientes de variabilidad cada 20 datos.

Posteriormente, se aplicó un test de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (Amat, 2016b) y el test de Fligner-Killeen (Amat, 2016a) para determinar homogeneidad de datos.

#### 4. Resultados

##### 4.1. Modelo de edad

El modelo de edades se establece a partir de la datación de 16 muestras de  $^{14}\text{C}$  del núcleo sedimentario extraídos de la laguna Llaviucu Fig. 2. El texto se centra en los 4500 años debido al tiempo registrado en los hallazgos del sitio arqueológico Pashimbi.

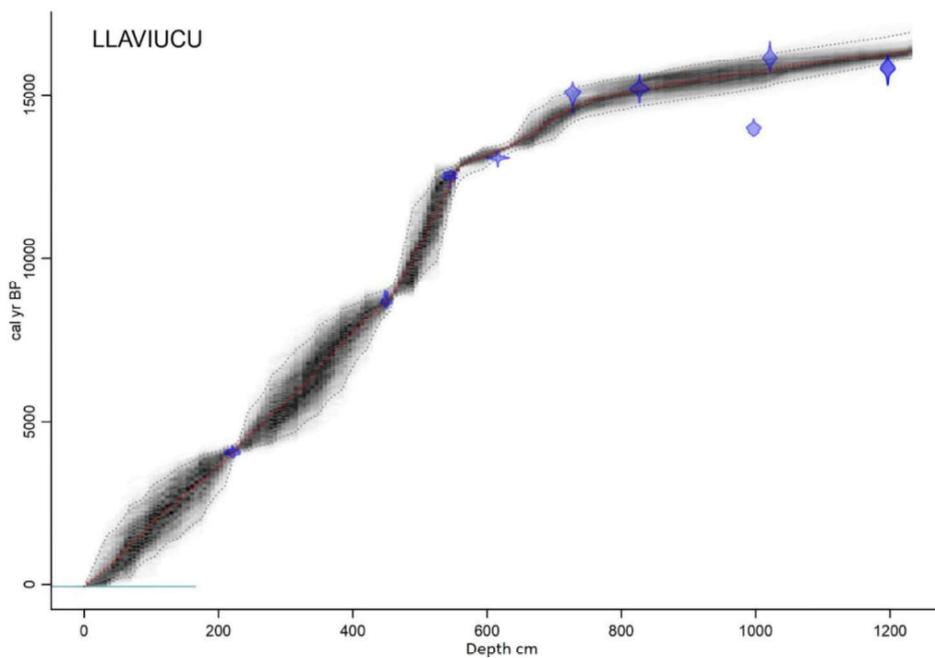


Figura 2. Modelo de edad con respecto a la profundidad de un núcleo extraído de 12.30 m de la laguna Llaviucu, Cuenca, Ecuador. En el eje de las abscisas tenemos la profundidad del núcleo (cm) y en las ordenadas los años BP, las cruces azules son los valores medios ponderados, donde tenemos un máximo, mínimo y una probabilidad media de edades.

##### 4.2. Análisis PCA

Para el análisis de componentes principales (PCA), la transformación ortogonal que son los componentes principales (PC) dio como resultado 26 eigenvalores que es igual al número

de variables originales en este caso los 26 elementos químicos (Tabla 1), donde el primer eigenvalor PC1 capturó los modos primarios de variación más comunes al mayor número de variables dando como resultado 98.42% en varianza retenida, el PC2 un 0.79% y el PC3 un 0.28 %.

Tabla 1. Eigenvalores con la proporción de varianza en porcentaje

Eigenvalores	%	Eigenvalores	%	Eigenvalores	%	Eigenvalores	%	Eigenvalores	%
PC1	98,42	PC7	0,06	PC13	0	PC19	0	PC25	0
PC2	0,79	PC8	0,03	PC14	0	PC20	0	PC26	0
PC3	0,28	PC9	0,02	PC15	0	PC21	0		
PC4	0,2	PC10	0,01	PC16	0	PC22	0		
PC5	0,1	PC11	0	PC17	0	PC23	0		
PC6	0,08	PC12	0	PC18	0	PC24	0		

#### 4.3. Análisis de carbón del sitio arqueológico Pashimbi

Se obtuvieron 5 periodos de abandono y 6 periodos de ocupación humana correspondiente al sitio arqueológico Pashimbi (Tabla 2), además los PDF de estos periodos fueron calibrados en R con el paquete Bchron (Parnell, 2016) (Fig. 3A).

Tabla 2. Características de los periodos del sitio arqueológico Pashimbi

Número	Periodos (AP)	Características
1	119-1515	Ocupación
2	1516-1715	Abandono
3	1716-2049	Ocupación
4	2050-2310	Abandono
5	2311-2601	Ocupación
6	2602-2890	Abandono
7	2891-3196	Ocupación
8	3197-3278	Abandono
9	3279-3553	Ocupación
10	3554-3642	Abandono
11	3643-4089	Ocupación

Las ocupaciones cronológicas descritas por Solórzano (2021) son: Ocupación 1 entre 119-1515 AP (fig. 3A, O1), tenemos la ocupación colonial (225 - 139 AP), ocupación Tena (475-312, 512- 428 y 645-585 AP), ocupación Moravia y Cosanga II (889-793, 1286-1175, 1352-1287 y 1416-1339 AP), y ocupación Cosanga I (1425-1352 y 1523-1377 AP). Para la Ocupación 2 entre 1716 -2049 AP (fig. 3A, O2), se encuentra la ocupación Pambay (1950-1822 AP). Ocupación 3 entre 2311-2601 AP (fig. 3A, O3), está la ocupación Pambay (2600-2493 AP). Ocupación 4 entre 2891-3196 AP (fig. 3A, O4) está presente la ocupación Pambay (3185-3000 AP). En la Ocupación 5 entre 3279-3553 AP (fig. 3A, O5), tenemos a la ocupación Pashimbi (3493-3381 AP). Por último, se encuentra la ocupación 6 entre 3643-4089 AP (fig. 3A, O6), donde se encuentran 2 fechas para la ocupación Pashimbi (3879-3698 y 4092-3956 AP). El depósito siete de la cronología descrita por Solórzano (2021) se define como sitio sin actividad antropogénica considerado como referencia de estado natural por los resultados geoquímicos, por ende, no hay actividad humana.

#### **4.4. Análisis Wavelet**

La transformada wavelet es un método que permite analizar variaciones de frecuencias y fases a lo largo del tiempo en una señal en varias escalas simultáneamente, es la convolución de la serie temporal con un conjunto de wavelets denominadas hijas que son generadas por una ondícula madre, para series hidroclimáticas se utiliza la ondícula Morlet porque en la resolución de frecuencia es mejor, se mejora la detección y localización de incrustaciones, además de detectar picos y valles, y divide la wavelet en sus partes reales e imaginarias (Kravchenko VO, Evtushevsky OM, Grytsai AV, 2011). De acuerdo con Díaz

(2021) el espectro de potencia wavelet permite ver la variación de frecuencia a lo largo del tiempo en diferentes escalas simultáneamente.

La wavelet elaborada con la serie temporal de la intensidad del color rojo de la laguna Pallcachoca (Moy et al., 2002) (Fig. 3B) mostró que los periodos 1516-1715, 2050-2310, 2602-2890 y 3197-3278 AP estuvieron afectados por el fenómeno de El Niño. La wavelet generada con los datos del componente principal 1 (Fig. 3C) mostró tener presencia de ENSO en todos los periodos de la Tabla 2. Para la wavelet elaborada con las muestras de Ti (Fig. 3D) presenta el mismo comportamiento que el PC1 vale mencionar que este análisis se centra entre 2 a 8 años periódicos dentro de la banda ENSO (Moy et al., 2002).

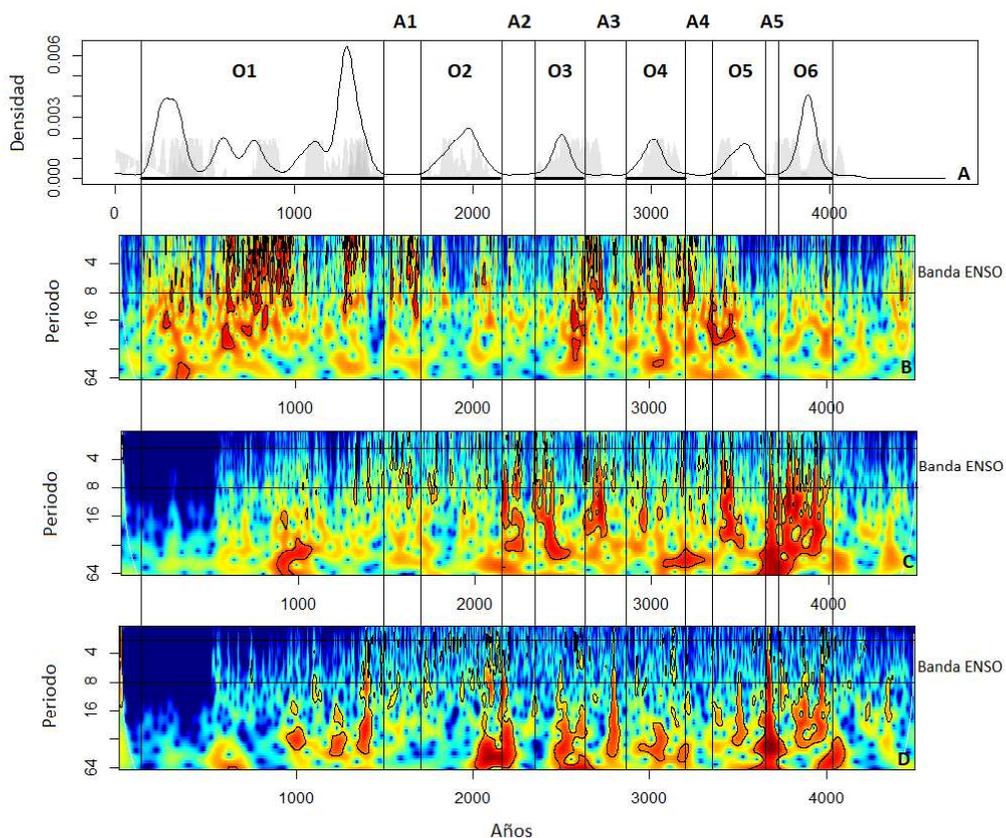


Figura 3. A) Función de probabilidad de las densidades aplicada a todas las edades calibradas del sitio arqueológico Pashimbi, en el eje de las x tenemos los años asociados y en el eje y las

densidades obtenidas, posee etiquetas de ocupación (O) y abandono (A). B) Wavelet utilizando la serie temporal de la intensidad del color rojo (Moy et al., 2002). C) Wavelet utilizando los datos del componente principal 1 (PC1). D) Wavelet utilizando los datos interpolados del elemento Titanio detectado por XRF del análisis realizado al núcleo extraído de Llaviucu. Cada wavelet tiene una banda ENSO, en el eje x los años asociados y en el eje y periodos. Los colores de cada wavelet se interpretan: color rojo como mayor significancia y el color azul como menor significancia, fuera del cono de influencia representada por la línea blanca son datos que carecen de significancia.

#### **4.5. Análisis Kolmogorov-Smirnov y Fligner-Killeen**

En el análisis del test de normalidad de Kolmogorov-Smirnov se obtuvo un p-value de  $<2.2e-16$  de la relación de datos de PC1 asociados a periodos con presencia de densidades (ocupación) y PC1 asociados a periodos sin densidad (abandono). Para el análisis de Fligner-Killeen se obtuvo un p-value igual a  $2.196e-13$  de los datos de coeficiente de variabilidad.

### **5. Discusión**

¿Se encuentra una diferencia significativa entre coeficientes de varianza de los periodos con ocupación y abandono de humanos?

Una vez realizado el análisis de componentes principales se encontró que el primer componente principal (PC1) retuvo 98.42% de varianza total de los 26 elementos químicos, datos de XRF del núcleo sedimentario extraído de la laguna Llaviucu. Se empleó el PC1 para calcular el coeficiente de variabilidad cada 20 datos tanto para periodos correspondientes a abandono y ocupación humana, los 20 datos se tomar para tener 3 periodos de El Niño que de acuerdo con Moy (2002) va de 2-8 años periódicos. Si la variabilidad del PC1 registrada en periodos de abandono es mayor a la variabilidad en periodos de ocupación implicaría que el abandono es consecuencia de la variabilidad climática. La comparación de datos de PC1 implica realizar una prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (Amat,

2016b). Debido a que se obtuvo un p-value de  $<2.2e-16$  que es menor a 0.05 se entiende que los datos de PC1 carecen de normalidad. Por tanto, para realizar la comparación de homogeneidad datos de PC1 correspondientes a abandono versus ocupación humana entonces se aplicó el análisis de Fligner-Killeen (Amat, 2016a) que es un test no paramétrico de homogeneidad de datos. El resultado del análisis dio un p-value igual a  $2.196e-13$  menor que 0.05 donde se afirma que no existe homogeneidad de datos. Entonces, si hay diferencia significativa entre los datos de coeficientes de varianza de ocupación y abandono. Además, existe mayor variabilidad cuando hay abandonos (Fig. 4).

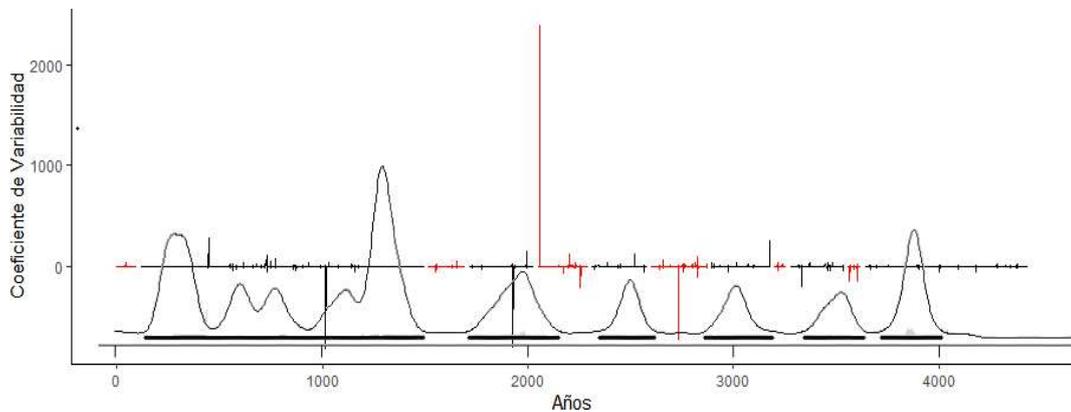


Figura 4. Ilustración de Coeficiente de variabilidad de los datos del PCA conjunto a las densidades registradas en el sitio arqueológico Pashimbi, las líneas de color rojo representan la variabilidad creciente en los abandonos.

¿El ENSO es un mecanismo que controle el patrón de ocupación en el Pashimbi?

Al fenómeno del niño se le atribuye de 2 a 8 años periódicos porque los eventos cálidos se vuelven frecuentes durante el holoceno (Moy et al., 2002). Según Rodbell (1999) al Niño se le otorga una frecuencia de 2 a 8.5 años periódicos siendo este el periodo moderno que se estableció alrededor de 5000 años AP. De la Oficina Nacional de Administración Oceánica

y Atmosférica (NOAA, siglas en inglés) se obtuvieron datos de intensidad de color rojo del núcleo sedimentario extraídos de la laguna Pallcacocha a 4200 m.s.n.m, estos se integran a este trabajo por tener 99.98% de significancia (Moy et al., 2002). Los datos del Ti son tomados para elaborar una wavelet porque es un registro natural que conserva características físicas del paso donde se puede medir factores meteorológicos para reconstruir las condiciones climáticas a las que estaba sometida el planeta Tierra, estos datos fueron trabajados por Nascimento (2020). Los datos del PC1 se tomaron para generar una wavelet por tener un 98.42% de varianza retenida. Estos tres conjuntos de datos son estadísticamente significativos para mostrar un espectro asociado a las periodicidades del ENSO.

La wavelet generada con los datos de intensidad de color rojo, mostró frecuencias asociados con el ENSO (Fig. 3 A) en periodos de ocupación y abandono. El análisis del espectro se observa que en la O1 hay altas frecuencias de ENSO en el periodo 119-1515 AP esto se podría asociar a intensas precipitaciones entre 1300 a 800 AP causando una inundación regional (Colinvaux et al., 1988) y estaciones secas hace 1000 años AP (Arellano, 2019), donde afectó a las ocupaciones Moravia, Cosanga II, Tena y colonial.

La wavelet que corresponde al componente principal 1 (PC1) (Fig. 3 C), mostró variabilidad de ENSO en todos los periodos de abandono y asentamiento, para el espectro realizado con los datos del Ti se muestra el mismo comportamiento. Esto se ve asociado a intensas precipitaciones entre 3700 a 1000 años AP sobre las ocupaciones Moravia y Cosanga II (1286-1175, 1352-1287 y 1416-1339 AP), ocupación Pambay (1950-1822, 2600-2493 y 3185-3000 AP), ocupación Pashimbi (3493-3381 AP), donde se formaron humedales y lagos

con condiciones climáticas relativamente húmedas (Arellano, 2019), además de una inundación regional hace 3700 años AP afectando a la ocupación Pashimbi (3879-3698 y 4092-3956 AP) (Weng et al., 2002).

Algunos acontecimientos establecen que los abandonos y ocupaciones (fig. 3A) tuvieron eventos como inundaciones, sequías, intensas precipitaciones. Al observar y comparar el comportamiento de las tres wavelets, se determina que hay ENSO en periodos de ocupación y abandono. Se define que el ENSO no es un mecanismo que controle el patrón de ocupación en el Pashimbi.

## **6. Conclusiones**

Existe diferencia significativa de varianza entre los coeficientes de variabilidad de abandono y ocupación, dando mayor variabilidad climática cuando hay abandono.

En las wavelets hay sectores de alta y baja frecuencia que no es el ENSO y pueden estar asociadas a otras oscilaciones climáticas no exploradas que estuvieron presente en las diferentes ocupaciones de la cronología Pashimbi.

El ENSO está presente en periodos de ocupación y abandono, por ende, no es un mecanismo condicionante de los patrones de ocupación o abandonos en los últimos 4000 AP.

## 7. Bibliografía

Amat, J. (2016a). *Análisis de la homogeneidad de varianza (homocedasticidad)*. RPubs.

[https://rpubs.com/Joaquin\\_AR/218466](https://rpubs.com/Joaquin_AR/218466)

Amat, J. (2016b). *Comparación de distribuciones: test Kolmogorov-Smirnov*.

[https://rpubs.com/Joaquin\\_AR/575169](https://rpubs.com/Joaquin_AR/575169)

Arellano, J. (2019). Panorama de los riesgos medioambientales durante el período de integración ( 500 a 1500 d . C .) en el norte de la Amazonía de Ecuador. *Boletín de Antropología*, 34(2), 46–71.

Bush, M. B., Correa-Metrio, A., van Woesik, R., Shadik, C. R., & McMichael, C. N. H. (2017).

Human disturbance amplifies Amazonian El Niño–Southern Oscillation signal. *Global Change Biology*, 23(8), 3181–3192. <https://doi.org/10.1111/gcb.13608>

Buytaert, W., Deckers, J., & Wyseure, G. (2007). Regional variability of volcanic ash soils in

south Ecuador: The relation with parent material, climate and land use. *Catena*, 70(2), 143–154. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.08.003>

Cai, W., McPhaden, M. J., Grimm, A. M., Rodrigues, R. R., Taschetto, A. S., Garreaud, R. D.,

Dewitte, B., Poveda, G., Ham, Y. G., Santoso, A., Ng, B., Anderson, W., Wang, G.,

Geng, T., Jo, H. S., Marengo, J. A., Alves, L. M., Osman, M., Li, S., ... Vera, C. (2020).

Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America. *Nature*

*Reviews Earth and Environment*, 1(4), 215–231. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0040-3>

Campos, C., Guzmán, O., Valencia, B., & Solórzano, M. (2019). *Geomorphology of alluvial terraces along the Tena River in the Eastern Flank of the Andes of Ecuador*.

Chunga, K. (2012). *Estudio de Geología de superficie IKIAM-Tena. January 2012*, 42.

<https://www.researchgate.net/publication/321481288>

Colinvaux, P. A., Bush, M. B., Steinitz-Kannan, M., & Miller, M. C. (1997). Glacial and Postglacial Pollen Records from the Ecuadorian Andes and Amazon. *Quaternary Research*, 48(1), 69–78. <https://doi.org/10.1006/qres.1997.1908>

Colinvaux, P. A., Frost, M., Frost, I., Liu, K. B., & Steinitz-Kannan, M. (1988). Three pollen diagrams of forest disturbance in the western amazon basin. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 55(1–3), 73–81. [https://doi.org/10.1016/0034-6667\(88\)90054-1](https://doi.org/10.1016/0034-6667(88)90054-1)

Díaz G., Diana Cristina, & Villegas, N. (2021). Wavelet coherence between ENSO indices and two precipitation database for the Andes region of Colombia. *Atmósfera*, 35(2), 237–271. <https://doi.org/10.20937/atm.52890>

Francus, P., Lamb, H., Nakagawa, T., Marshall, M., & Brown, E. (2009). The potential of high-resolution X-ray fluorescence core scanning: Applications in paleolimnology. *PAGES News*, 17(3), 93–95. <https://doi.org/10.22498/pages.17.3.93>

Gobierno provincial de Napo (GAD-Napo). (2019). *Servicio de apoyo cartográfico en la elaboración de mapas temáticos de pedidos de usuarios internos y externos: Entrega de mapas y cartografía temática a usuarios internos y externos*.

<https://www.napo.gob.ec/website/phocadownload/lotaip2019/Anexos/Lit.K/198>.

Apoyo\_cartografico\_sept\_2019.pdf

Gouhier, T., Grinsted, A & Simko, V. (2021). *biwavelet: Conduct Univariate and Bivariate Wavelet Analyses*. <https://cran.r-project.org/web/packages/biwavelet/index.html>

Hijar, G., Bonilla, C., Munayco, C. V., Gutierrez, E. L., & Ramos, W. (2016). Fenómeno El Niño y desastres naturales: intervenciones en salud pública para la preparación y respuesta. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 33(2), 300. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2016.332.2205>

Kravchenko VO, Evtushevsky OM, Grytsai AV, M. G. (2011). Variabilidad decenal de las temperaturas invernales en la región de la Península Antártica. *Ciencia Antártica*. <https://doi.org/10.1017/S0954102011000423>

Lu, W., Atkinson, D. E., & Newlands, N. K. (2017). ENSO climate risk: predicting crop yield variability and coherence using cluster-based PCA. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(4), 1343–1359. <https://doi.org/10.1007/s40808-017-0382-0>

MAE. (2018). Actualización del plan de manejo del Parque Nacional Cajas. *INSIGMA Cía. Ltda.*, 156. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/03/ACUERDO-001-ANEXO-PAQUE-NACIONAL-CAJAS.pdf>

Michelutti, N., Lemmen, J. L., Cooke, C. A., Hobbs, W. O., Wolfe, A. P., Kurek, J., & Smol, J. P. (2016). Assessing the effects of climate and volcanism on diatom and chironomid assemblages in an Andean lake near Quito, Ecuador. *Journal of Limnology*, 75(2), 275–286. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2015.1323>

Mosblech, N. A. S., Bush, M. B., Gosling, W. D., Hodell, D., Thomas, L., Van Calsteren, P.,

- Correa-Metrio, A., Valencia, B. G., Curtis, J., & Van Woesik, R. (2012). North Atlantic forcing of Amazonian precipitation during the last ice age. *Nature Geoscience*, 5(11), 817–820. <https://doi.org/10.1038/ngeo1588>
- Moy, C. M., Seltzer, G. O., Rodbell, D. T., & Anderson, D. M. (2002). Variability of El Niño/Southern Oscillation activity at millennial timescales during the Holocene epoch. *Nature*, 420(6912), 162–165. <https://doi.org/10.1038/nature01194>
- Nascimento, M. N., Mosblech, N. A. S., Raczka, M. F., Baskin, S., Manrique, K. E., Wilger, J., Giosan, L., Benito, X., & Bush, M. B. (2020). The adoption of agropastoralism and increased ENSO frequency in the Andes. *Quaternary Science Reviews*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106471>
- Pacheco, H., Montilla, A., Méndez, W., Delgado, M. H., & Zambrano, D. (2019). Causes and consequences of the extraordinary rainfall of 2017 on the Ecuadorian coast: The case of the province of Manabí. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 48(2), 45–70. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2019.48.2.766>
- Parnell, A. (2016). *Bchron: Radiocarbon dating, age-depth modelling, relative sea level rate estimation, and non-parametric phase modelling. R package version 4.1. 1; 2015*. <https://cran.r-project.org/web/packages/Bchron/index.html>
- Pearce, W., Holmberg, K., Hellsten, I., & Nerlich, B. (2014). Climate change on twitter: Topics, communities and conversations about the 2013 IPCC Working Group 1 report. *PLoS ONE*, 9(4), e94785. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094785>
- Plan de ordenamiento territorial (PDOT). (2020). *ACTUALIZACIÓN PDOT-PUGS-2020-2023*.

<https://tena.gob.ec/images/convocatoria/ACTUALIZACION-PDOT-2020-2023.pdf>

Rodbell, D. T., Seltzer, G. O., Anderson, D. M., Abbott, M. B., Enfield, D. B., & Newman, J.

H. (1999). An ~15,000-year record of El Niño-driven alluviation in Southwestern Ecuador. *Science*, 283(5401), 516–520.

<https://doi.org/10.1126/science.283.5401.516>

Solórzano-Venegas, M. S. (2021). An absolute chronology for the diachronic analysis of the occupational sequence of the pashimbi archaeological site, Ecuadorian upper Amazon. *Arqueologia Iberoamericana*, 47, 3–17.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.4411941>

Vuille, M., Bradley, R. S., & Keimig, F. (2000). Climate variability in the Andes of Ecuador and its relation to tropical Pacific and Atlantic Sea Surface temperature anomalies.

*Journal of Climate*, 13(14), 2520–2535. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<2520:CVITAO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<2520:CVITAO>2.0.CO;2)

Weng, C., Bush, M. B., & Athens, J. S. (2002). Holocene climate change and hydrarch succession in lowland Amazonian Ecuador. *Review of Palaeobotany and Palynology*,

120(1–2), 73–90. [https://doi.org/10.1016/S0034-6667\(01\)00148-8](https://doi.org/10.1016/S0034-6667(01)00148-8)