



Escuela de
Posgrados

UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM

ESCUELA DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN CAMBIO CLIMÁTICO AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL SOSTENIBLE

**IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE OCUPACIÓN HUMANA DE LA
AMAZONÍA ECUATORIANA HACE 4500 AÑOS BP**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

**MAGÍSTER EN CAMBIO CLIMÁTICO, AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL
SOSTENIBLE**

AUTOR: ING. BRUCE ANTHONY TUMBACO VEGA

TUTOR: PhD. BRYAN GUIDO VALENCIA CASTILLO

Napo – Ecuador

2024

DECLARACIÓN DE DERECHO DE AUTOR, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Tena, 5 de noviembre de 2024

Yo, Bruce Anthony Tumbaco Vega, 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 de Magíster en Cambio Climático, Agricultura y desarrollo rural sostenible 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 de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad.

Bruce Anthony Tumbaco Vega
0928382597

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Tena, 5 de noviembre de 2024

Yo, Bruce Anthony Tumbaco Vega, con documento de identidad 0928382597, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE OCUPACION HUMANA DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA HACE 4500 AÑOS BP, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, reconozco a favor de la Universidad Regional Amazónica Ikiam una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Así mismo autorizo a la Universidad Regional Amazónica Ikiam para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 114 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Bruce Anthony Tumbaco Vega

C. I: 0928382597

CERTIFICADO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Tena, 5 de noviembre de 2024

Yo, Bryan Guido Valencia Castillo, con documento de identidad 1760101632, certifico que el trabajo de titulación IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE OCUPACION HUMANA DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA HACE 4500 AÑOS BP, realizado para la obtención del título Magister en Cambio Climático, Agricultura y Desarrollo Rural Sostenible, realizado por Bruce Anthony Tumbaco Vega ha sido revisado y cumple con los requisitos establecidos por la universidad, para su entrega y defensa.

Bryan Guido Valencia Castillo

C. I: 1760101632

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a los docentes de la universidad Regional Amazónica Ikiam por brindarme todos los conocimientos necesarios para culminar la maestría.

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.

AGRADECIMIENTO

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.

TABLA DE CONTENIDOS

Portada

DECLARACIÓN DE DERECHO DE AUTOR, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	iii
CERTIFICADO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
TABLA DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURA	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ENSO.....	1
1.1.1. ENSO Y SUS IMPACTOS.....	1
1.1.2. ENSO Y LA AMAZONÍA	2
1.2. PALEOENSO	2
1.3. ESTUDIOS DE ENSO EN EL ECUADOR	3
1.4. CAMBIO CLIMÁTICO Y ASENTAMIENTOS HUMANOS.....	3
1.4.1. SITIO ARQUEOLÓGICO PASHIMBI	4
1.5. ESPECTROMETRÍA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X	4
1.6. TRANSFORMADA WAVELET.....	5
1.7. ¹⁴ C Y FUNCIÓN DE DENSIDADES DE PROBABILIDAD	6
1.8. JUSTIFICACIÓN	8
1.8. HIPOTESIS.....	8
1.9. OBJETIVO GENERAL	8
1.10. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	9
CAPÍTULO II. ZONA DE ESTUDIO	10

2.1. LLAVIUCU	10
2.2. PASHIMBI.....	11
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODO	13
3.1. EXTRACCIÓN DEL NÚCLEO SEDIMENTARIO	13
3.2. INTERPOLACIÓN DE DATOS GEOQUÍMICOS	13
3.3. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	14
3.4. ANÁLISIS WAVELET	14
3.6. METODOLOGÍA PARA LOS DATOS ARQUEOLÓGICOS (PASHIMBI).....	15
3.7. RELACIÓN DE DATOS PELEOCLIMÁTICOS Y ARQUEOLÓGICOS.....	15
3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	16
CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	17
4.1. PDF GENERADO CON DATACIONES DEL PASHIMBI	17
4.2. ANÁLISIS PCA DE LA GEOQUIMICA DEL LIAVIUCU	18
4.3. ANÁLISIS WAVELET GENERADO CON EL PC 1	18
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN	22
5.1. ¿LA OCUPACIÓN HUMANA ES CONTINUA O DISCONTINUA EN EL PASHIMBI?	22
5.2. ¿CUÁL FUE LA INFLUENCIA DE EL NIÑO SOBRE LOS ASENTAMIENTOS DEL PASHIMBI?	23
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES.....	25
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Ocupaciones y Abandonos en el Pashimbi.....	17
Tabla 2.	Eigenvalores y la varianza retenida en porcentaje.	18
Tabla 3.	Cantidad de eventos ENSO estandarizados cada 20 años asociado a cada periodo	21

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Partes de una wavelet. 1) cono de influencia, 2) alta significancia, 3) baja significancia, 4) significancia estadística y 5) banda ENSO (2-8 años periódicos).	6
Figura 2. Mapa de ubicación. Sitio arqueológico Pashimbi situado en la provincia de Napo/Ecuador. Laguna Llaviucu situado en la reserva nacional Cajas en la provincia de Azuay/Ecuador.	11
Figura 3. Ocupación y abandono del sitio arqueológico Pashimbi y ENSO de la laguna Llaviucu. A) Función de probabilidad de densidades (PDF) del Pashimbi (O=ocupación y A=abandono), B) señal del componente principal 1 (PC1) y C) wavelet realizada con el PC1 (banda ENSO de 2 a 8 años periódicos), muestra regiones significativas encerradas en líneas negras al interior del mapa de calor.	19
Figura 4. Relación entre los periodos de ocupación y abandono con la cantidad de actividad ENSO presente en cada periodo.....	19
Figura 5. Relación entre los periodos de ocupación y abandono con la cantidad de actividad ENSO cada 20 años presente en cada periodo.	20

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A.** Edades calibradas del sitio arqueológico Pashimbi
- Anexo B.** Modelo de edad de Llaviucu
- Anexo C.** Instrumento Itrax
- Anexo D.** Código para la interpolación anual realizada con los 26 elementos químicos.
- Anexo E.** Código para realizar el análisis de componentes principales (PCA) a los 26 elementos químicos interpolados anualmente
- Anexo F.** Código para realizar la wavelet
- Anexo G.** Matriz de significancia (wavelet)
- Anexo H.** Valores que van de 2 a 8 años periódicos
- Anexo I.** Matriz evaluada con 0 (valores sin significancia estadística) y 1 (valores con significancia estadística) y la suma por columnas mostrando la cantidad de eventos ENSO para cada año, siendo 0= ausencia ENSO y 1 o >1 = presencia ENSO
- Anexo J.** Estandarización de eventos ENSO cada 20 años
- Anexo K.** Programación para calibrar y generar la función de probabilidad de densidades

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo determinar si el fenómeno ENSO condicionó la dinámica de ocupación y abandono de asentamientos humanos en la Amazonía ecuatoriana durante los últimos 4500 años antes del presente. El estudio se llevó a cabo en el sitio arqueológico Pashimbi, ubicado en el flanco oriental de los Andes en la Amazonía ecuatoriana. A partir de 17 dataciones calibradas, se generaron funciones de probabilidad de densidad (PDF) que permitieron identificar periodos de ocupación y abandono. Adicionalmente, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) sobre una matriz de elementos obtenida mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF) en sedimentos extraídos de la laguna Llaviucu. Este análisis identificó un primer componente principal (PC1) con un 98.42% de varianza retenida, el cual se utilizó en un análisis de wavelet, revelando una periodicidad de 2 a 8 años, característicos de eventos de El Niño. Los resultados sugieren que estos eventos favorecieron los asentamientos iniciales en la Amazonía alrededor de 4089 BP y que su influencia disminuyó después de 3196 BP, posiblemente debido a una adaptación de los pobladores a condiciones climáticas más húmedas en épocas más recientes.

Palabras clave: Ecuador; Amazonía; Asentamientos Humanos; Cambio Climático, ENSO.

ABSTRACT

This research aims to determine whether the ENSO phenomenon influenced the dynamics of human settlement occupation and abandonment in the Ecuadorian Amazon over the past 4500 years before present. The study was conducted at the Pashimbi archaeological site, located on the eastern flank of the Andes in the Ecuadorian Amazon. Using 17 calibrated dates, density probability functions (PDFs) were generated to identify periods of occupation and abandonment. Additionally, a principal component analysis (PCA) was performed on a matrix of elements obtained through X-ray fluorescence spectrometry (XRF) on sediments extracted from the Llaviucu lagoon. This analysis identified a first principal component (PC1) with 98.42% of retained variance, which was then used in a wavelet analysis, revealing a periodicity of 2 to 8 years, characteristic of El Niño events. The results suggest that these events favored initial settlements in the Amazon around 4089 BP and that their influence decreased after 3196 BP, possibly due to the adaptation of the population to wetter climatic conditions in more recent times.

Key words: Ecuador; Amazon; Human Settlements; Climate Change, ENSO.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta una introducción al fenómeno ENSO, sus impactos negativos, incluyendo las sequías en la Amazonía asociadas a este evento, así como la definición de paleoENSO y las reconstrucciones paleoclimáticas realizadas en los Andes. Además, se aborda el impacto del cambio climático en los asentamientos humanos, basado en una investigación sobre la Amazonía peruana (Åkesson et al., 2020). También se incluye una breve explicación sobre el uso de la fluorescencia de rayos X (XRF), la transformada wavelet y la datación por carbono-14. Finalmente, se expone la justificación del estudio, junto con los objetivos e hipótesis de la investigación.

1.1. ENSO

El fenómeno de El Niño-Southern Oscillation (ENSO) es uno de los sistemas climáticos más importantes y complejos que se presenta a nivel mundial (de Guenni et al., 2017). Se origina en el océano Pacífico tropical, donde la interacción entre el océano y atmosfera desencadena una serie de cambios significativos en las condiciones climáticas (Serrano et al., 2017). ENSO se manifiesta a través de alteraciones en las temperaturas superficiales del mar, específicamente en la región ecuatorial del Pacífico (Campozano et al., 2015; de Guenni et al., 2017; Haase, 1997; Serrano et al., 2017; Tobar & Wyseure, 2018). Durante El Niño, las aguas cálidas del océano Pacífico se desplazan hacia las costas de Ecuador y Perú, incrementando la cantidad de precipitación produciendo inundaciones mientras que la zona amazónica, experimenta sequías (Lu et al., 2017).

1.1.1. ENSO Y SUS IMPACTOS

ENSO tiene impactos negativos que afecta a diversos sectores económicos y sociales. En términos económicos, ENSO puede desencadenar pérdidas en la pesca, agricultura y ganadería debido a los cambios en los patrones de precipitación y temperatura (Martínez et al., 2017). La generación de energía hidroeléctrica puede ser afectada por

la disminución de los niveles de agua en los embalses debido a la sequía, esto afecta al suministro de energía y a los costos de producción (Pacheco et al., 2017). En términos de seguridad alimentaria, ENSO puede provocar escasez de alimentos debido a la producción agrícola y ganadera, lo que afecta especialmente a comunidades vulnerables y dependientes de la agricultura como subsistencia (Morales-Casco & Zúniga-González, 2016). A ENSO también se le atribuye un aumento en enfermedades como el dengue, colera, fiebre tifoidea, entre otras (Hijar et al., 2016).

1.1.2. ENSO Y LA AMAZONÍA

La amazonía ecuatoriana experimenta condiciones más secas cuando está presente El Niño (Jiménez-Muñoz et al., 2016; C. Nobre et al., 2007; C. A. Nobre et al., 2013; Olivares et al., 2015; Papastefanou et al., 2022). Según Meggers (1994) existieron sequías en la amazonía causadas por El Niño (1500, 1000, 700 y 400 BP) que fueron más severas que las causadas por El Niño en los periodos 1982-1983 y 1997 y 1998 (Marengo et al., 2008). Los datos establecidos por Jiménez-Muñoz et al. (2016) muestran que en el periodo 2015-2016 El Niño causó calentamientos y extremas sequías en la selva tropical del amazonas. Entonces cuando está presente El Niño se reduce la cantidad de humedad transportada desde el océano hacia la región amazónica, esta disminución de humedad puede provocar condiciones más secas y una reducción lluvias en la amazonía.

1.2. PALEOENSO

PaleoENSO se refiere al estudio de ENSO a lo largo de periodos geológicos pasados (Ortlieb et al., 1992). Para establecer una reconstrucción del PaleoENSO, se necesitan registros paleoclimáticos como núcleos sedimentarios, núcleo de hielos, corales, anillos de árboles, entre otros (Bradley, 2014). Estos registros proporcionan información sobre la frecuencias, intensidad y duración del evento ENSO en el pasado, este tipo de estudios son importantes para mejorar la capacidad de previsión y de adaptación a los impactos de ENSO en el clima y el medio ambiente.

1.3. ESTUDIOS DE ENSO EN EL ECUADOR

En Ecuador se han realizado estudios paleoclimáticos donde se ha reconstruido y analizado ENSO durante el Holoceno (Mark et al., 2022; Moy et al., 2002; Nascimento et al., 2020; Rodbell et al., 1999; Schneider et al., 2018). En la investigación de Moy et al. (2002) se analizaron sedimentos lacustres de la laguna Pallcacocha ubicada en el parque nacional Cajas donde registro cambios en una escala de tiempo de 2 a 8 años periódicos atribuidos a ENSO y abarca 12000 años antes del presente (BP), uno de los resultados es el análisis Wavelet realizado con intensidad de color de los sedimentos para identificar ENSO y otro resultado es la cantidad de eventos cada 100 años. En Llaviucu, una laguna aledaña a Pallcacocha se ha extraído un núcleo de sedimentos y con fluorescencia de rayos X (XRF) se ha obtenido la geoquímica de los sedimentos (Nascimento et al., 2020). Con el elemento Ti que es considerado un proxy paleoclimático de la erosión terrígena, se ha realizado un wavelet que permite identificar ENSO (Nascimento et al., 2020). De los estudios anteriores se tiene un análisis de alta resolución de ENSO, pero no la influencia que tiene este fenómeno sobre las poblaciones amazónicas.

1.4. CAMBIO CLIMÁTICO Y ASENTAMIENTOS HUMANOS

La variabilidad climática del Holoceno ha sido relacionada con el colapso de diversas civilizaciones como la Akkadian, Maya, Mochica y Tiwanaku (DeMenocal, 2001). Estos colapsos atribuidos a la inestabilidad climática produjeron cambios sociales y fomentaron el desplazamiento y reubicación de poblaciones a lugares con climas favorables (Åkesson et al., 2020; DeMenocal, 2001). Estudios realizados en flanco este de la amazonía peruana han mostrado que en periodos de sequias se promovió la penetración y el uso de los bosques, pero durante los intervalos húmedos, es probables que las personas se hayan trasladado a otro lugar o reubicado sus actividades de cultivo lejos de este entorno (Åkesson et al., 2020).

1.4.1. SITIO ARQUEOLÓGICO PASHIMBI

En el flanco este de los Andes, en la Amazonía ecuatoriana, existe evidencia arqueológica de ocupación humana precolombina durante el Holoceno tardío (Rostain et al., 2024; Solórzano, 2021; Wade, 2024). En el caso del valle del Upano se reporta evidencia de ocupación humana desde hace 2000 años antes del presente. En esta región, se identificaron centros urbanos plataformas y estructuras geométricas construidas por estos habitantes precolombinos. En el caso del sitio arqueológico del Pashimbi (-77.863; -0.947, figura 2), no se tiene la diversidad de construcciones observadas en el valle de Upano, pero se cuenta con una secuencia de seis periodos de ocupación humana que inicia hace 4025 años antes del presente (Solórzano, 2021). La secuencia de ocupación fue establecida a partir de 17 dataciones. Sin embargo, se desconoce si periodos en los que hubo mayor ocupación estuvieron condicionados por eventos climáticos similares a los descritos para el norte de Perú (Åkesson et al., 2020).

1.5. ESPECTROMETRÍA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X

La espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF) es una técnica analítica no destructiva que se utiliza para determinar composición elemental de una muestra (Croudace & Rothwell, 2015; Tylmann, 2016). En esta técnica, la muestra se bombardea con rayos X de alta energía, provocando que los átomos de la muestra emitan fluorescencia de forma de rayos X de menor energía cuando los electrones excitados vuelven a sus estados de energía fundamentales. Estos rayos X emitidos se detectan y se analizan para identificar los elementos presentes en la muestra y determinar sus concentraciones (Croudace & Rothwell, 2015; Cuven et al., 2010; Francus et al., 2009).

De acuerdo con Croudace & Rothwell (2010) un instrumento comúnmente utilizado en la espectrometría de fluorescencia de rayos X es el instrumento Itrax, que es un escáner micro analítico de alta resolución diseñado para analizar muestras solidas. Lo que distingue a Itrax de otros instrumentos es la capacidad de generar mapas de distribución elemental de alta resolución en muestras heterogéneas como núcleos sedimentarios,

secciones de núcleos de hielo y muestras geológicas (Anexo A). En el estudio de Nascimento et al. (2020) se utiliza Itrax para analizar el núcleo sedimentario extraído en Llaviucu y obtener su geoquímica en conteos por segundo, donde se obtuvo 26 elementos químicos detectados por el instrumento.

1.6. TRANSFORMADA WAVELET

La transformada wavelet es una técnica matemática utilizada para el análisis de series de tiempo que permiten descomponer la señal wavelet en componentes de tiempo y frecuencia de manera simultánea (Torrence & Compo, 1998). La transformada wavelet tiene dos principales características 1) debe realizar un escalamiento, consiste en modificar la escala de la wavelet para adaptarla a diferentes partes de la señal original, 2) debe realizar un desplazamiento a lo largo del eje del tiempo (Torrence & Compo, 1998).

La transformada wavelet se ha utilizado para identificar ENSO a través del tiempo en estudios paleoclimáticos. En el estudio de Moy et al. (2002), se utiliza una wavelet basados en la intensidad de color Rojo de los sedimentos extraídos de Pallcacocha, esta wavelet fue realizada en Matlab y con la ondícula madre “Morlet”, donde se identificaron eventos cada 100 años durante 12000 años antes del presente. En el estudio de Nascimento et al. (2020), generaron un wavelet con el elemento Ti obtenido de la geoquímica realizada al núcleo extraído de la laguna Llaviucu, aquí también observaron ENSO durante 12000 años antes del presente, esto fue generado en R con el paquete “Biwavelet” que utiliza la ondícula madre “Morlet” por defecto. Las dos investigaciones anteriores analizan ENSO en la “banda ENSO” que va de 2-8 años periódicos.

Las partes de la wavelet son: 1) cono de influencia, 2) alta significancia, 3) baja significancia, 4) significancia estadística y 5) banda ENSO (figura 1). Todo lo que se encuentre fuera del cono de influencia no tiene significancia en el análisis realizado. Lo de baja significancia es lo que se encuentra de color azul y lo de alta significancia es lo que está de color Rojo. Lo que está marcado por una línea negra tiene significancia

estadística y lo que se encuentra en la banda ENSO es lo que entra en el análisis de eventos ENSO.

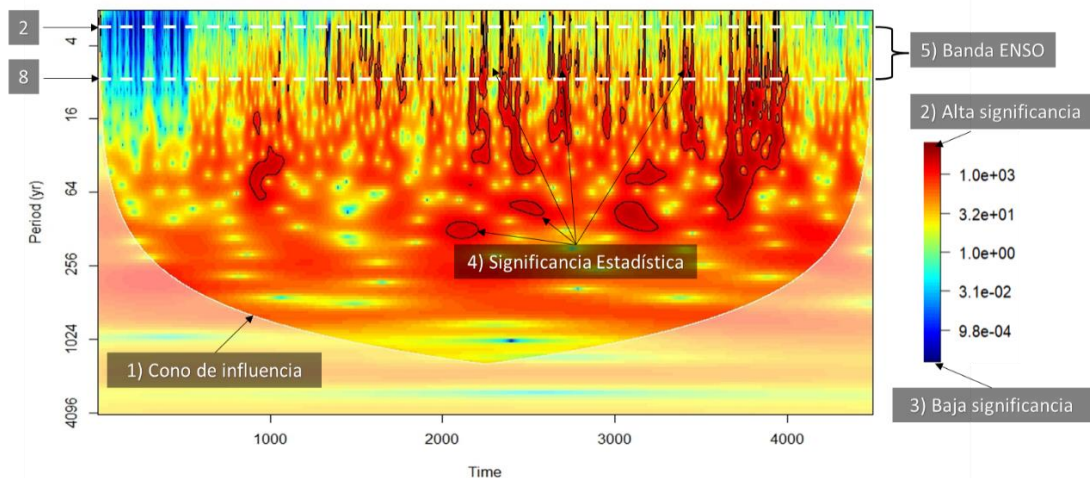


Figura 1. Partes de una wavelet. 1) cono de influencia, 2) alta significancia, 3) baja significancia, 4) significancia estadística y 5) banda ENSO (2-8 años periódicos).

Realizado por: Tumbaco, 2024

1.7. ^{14}C Y FUNCIÓN DE DENSIDADES DE PROBABILIDAD

El carbono-14 (^{14}C) es un isótopo radiactivo del carbono que se utiliza en el método de datación radiométrica, conocido como datación por radiocarbono. Los átomos de ^{14}C se producen en la atmósfera superior cuando los neutrones cósmicos bombardean los átomos de nitrógeno atmosférico. Esta reacción convierte el nitrógeno-14 en ^{14}C , liberando un protón en el proceso (Bradley, 2014). Los átomos de ^{14}C recién producidos se oxidan rápidamente para formar dióxido de carbono radiactivo ($^{14}\text{CO}_2$), que se mezcla con el dióxido de carbono atmosférico común. Este $^{14}\text{CO}_2$ es absorbido por las plantas durante la fotosíntesis y se incorpora a la cadena alimentaria a medida que los animales consumen plantas. Como resultado todo organismo vivo contiene una pequeña cantidad de ^{14}C en proporciones con el carbono común (^{12}C y ^{13}C).

Cuando un organismo muere, pierde el intercambio de ^{14}C con el medio ambiente y el ^{14}C en su cuerpo comienza a decaer a una tasa constante. La tasa de desintegración del ^{14}C sigue una ley de decaimiento exponencial, lo que significa que la cantidad de ^{14}C en

un espécimen disminuye a la mitad en un período de tiempo fijo conocido como “vida media”. La vida media del ^{14}C es aproximadamente 5.730×10^3 años (Bradley, 2014).

Al medir la cantidad de ^{14}C restante en un espécimen y compararlo con la cantidad originalmente presente en la atmósfera (que se estima utilizando datos de referencia), los científicos pueden determinar cuánto tiempo ha transcurrido desde que el organismo murió. Esto proporciona una forma de datación confiable para objetos orgánicos de hasta aproximadamente 50,000 años antes del presente. La datación por radiocarbono ha sido una herramienta utilizada en la datación de eventos arqueológicos, climáticos y geológicos en la escala de tiempo del Holoceno y el Pleistoceno tardío (Bradley, 2014).

Para el núcleo extraído la laguna Llaviucu se tiene 16 dataciones radiocarbónicas y se ha determinado aproximadamente 15 mil años antes de presente en el núcleo de 12.30 m de profundidad (Nascimento et al., 2020) (Anexo B). Para el Pashimbi se ha realizado dataciones a fragmentos de carbón encontrado en el sitio arqueológico y se tiene 17 dataciones radiocarbónicas abarcando 4025 años antes del presente (Solórzano, 2021) (Anexo A). Los fragmentos encontrados en el sitio arqueológico Pashimbi son de carácter antropogénico ya que la amazonía no se incendia (Åkesson et al., 2020).

La función de densidades de probabilidades (PDF) representa la distribución de probabilidades de una variable aleatoria continua (Piña-Monarez, 2007). Describe la probabilidad relativa de que la variable aleatoria tome ciertos valores dentro de un intervalo conocido. La PDF es utilizada en conjunto con dataciones radiocarbónicas para conocer periodos de ocupación o de abandono de una determinada población, Åkesson et al. (2020) utiliza PDF para conocer el intervalo de tiempo donde los pobladores de los Cóndores estuvieron presentes.

1.8. JUSTIFICACIÓN

Comprender el comportamiento de los asentamientos humanos en relación con el clima permite evidenciar la vulnerabilidad ante el cambio climático (Chiotis, 2018). La ocupación y abandono de asentamientos están estrechamente vinculados a la disponibilidad de recursos locales, los cuales se ven afectados por cambios climáticos extremos (Pacheco et al., 2019). Los antiguos habitantes del sitio arqueológico Pashimbi experimentaron también la inestabilidad climática durante el Holoceno, lo que sugiere que su patrón de ocupación pudo haber estado condicionado por el fenómeno ENSO. Estudios paleoclimáticos como este, centrados en el flanco oriental de los Andes en la Amazonía ecuatoriana, ofrecen una oportunidad para comprender la dinámica de ocupación y abandono de las poblaciones humanas. La ausencia de tales interpretaciones paleoclimáticas podría aumentar los riesgos futuros para las poblaciones actuales, dado que aún se desconoce si El Niño contribuyó a los abandonos en Pashimbi. En este contexto, el presente estudio se propone analizar los patrones de ocupación humana registrados en el sitio de Pashimbi (Solórzano, 2021, en función de los datos climáticos obtenidos del registro de la laguna Llaviucu (Nascimento et al., 2020).

1.8. HIPOTESIS

1. La ocupación humana en el sitio arqueológico Pashimbi ha sido continua a lo largo del tiempo.
2. El Niño favoreció los asentamientos humanos en el sitio arqueológico Pashimbi.

1.9. OBJETIVO GENERAL

Determinar si ENSO condicionó la dinámica de ocupación y abandono de asentamientos humanos en la Amazonía ecuatoriana durante los últimos 4500 años antes del presente.

1.10. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Generar wavelets con los datos de Llaviucu para observar el ENSO y extraer datos de significancia ENSO basados en las wavelets.
2. Elaborar una función de probabilidad de densidades (PDF) con las fechas radiocarbónicas del Pashimbi para observar periodos de ocupación y de abandono.
3. Relacionar los datos de significancia ENSO con los PDF para observar el comportamiento de asentamiento humano en función del clima.

CAPÍTULO II. ZONA DE ESTUDIO

Este capítulo presenta las dos zonas de estudio de esta investigación. En primer lugar, se describe Llaviucu, sitio donde se extrajo un núcleo sedimentario de 12.30 metros de longitud y se desarrolló una reconstrucción paleoclimática (Nascimento et al., 2020). Luego, se expone la zona del sitio arqueológico de Pashimbi, donde se ha elaborado una cronología de los asentamientos humanos (Solórzano, 2021).

2.1. LLAVIUCU

La laguna Llaviucu conocida como 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 (-79.146, -2.843, Figura 2). Posee suelos andosoles e histosoles con presencia de arcilla rica en aluminio y carbono orgánico (Nascimento et al., 2020; Tumbaco, 2022), la formación de esta laguna es por actividad glaciaria (Buytaert et al., 2007). La zona donde se encuentra la laguna Llaviucu tiene una temperatura anual entre 11 a 12 °C y una precipitación anual que excede los 2000 mm (Nascimento et al., 2020). El periodo de menor precipitación en esta región se produce entre junio a septiembre, coincidiendo con el invierno austral (Michelutti et al., 2016).

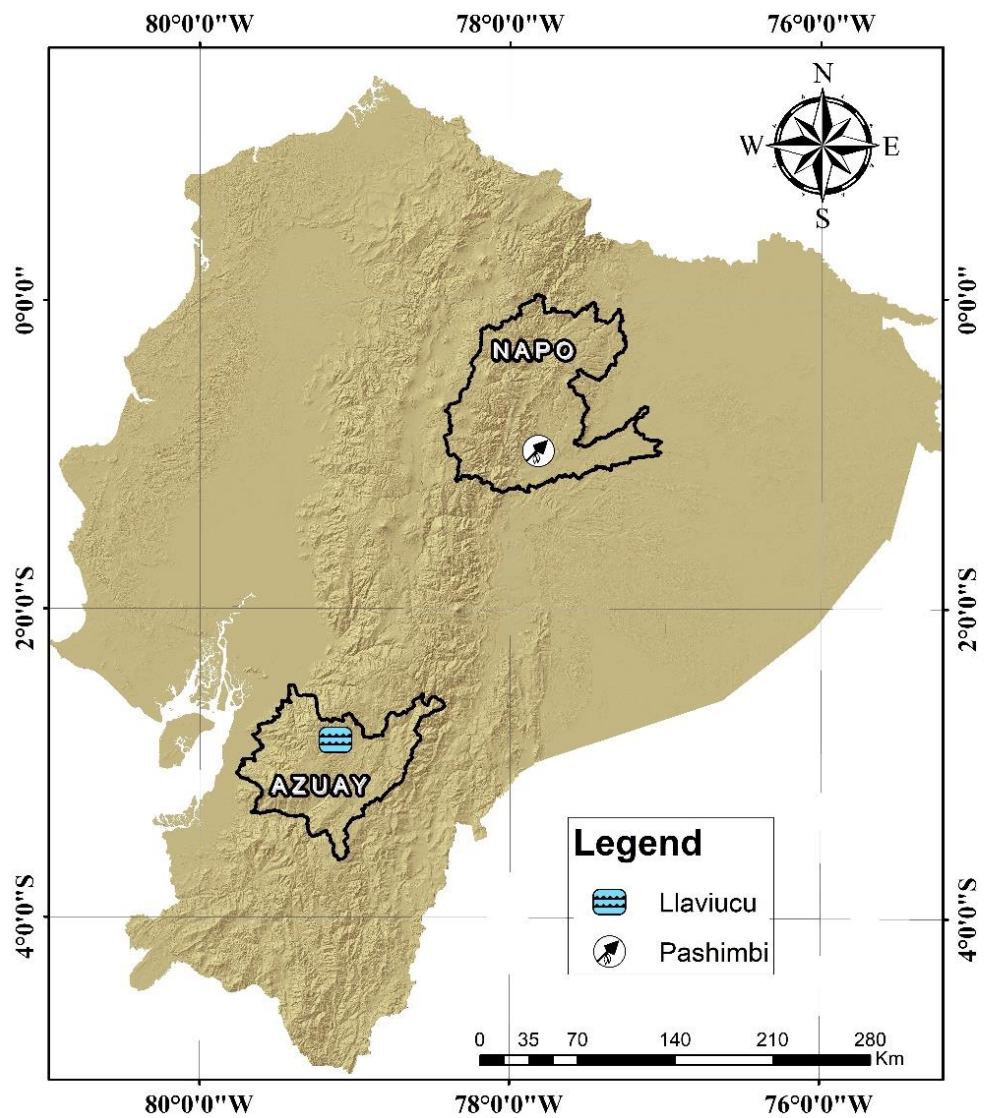


Figura 2. Mapa de ubicación. Sitio arqueológico Pashimbi situado en la provincia de Napo/Ecuador. Laguna Llaviucu situado en la reserva nacional Cajas en la provincia de Azuay/Ecuador.

Realizado por: Tumbaco, 2024

2.2. PASHIMBI

El sitio arqueológico Pashimbi está localizado a 8 km de distancia de la ciudad de Tena, en la provincia de Napo a 596 m s.n.m (-77.863; -0.947, figura 2), este sitio está en la zona de influencia del Colonso Chalupas en el flanco este de los Andes sobre una terraza aluvial al margen derecho del río Tena y al oeste del río Colonso (Campos et al., 2019; Solórzano, 2021).

Sus principales características geológicas incluyen rocas sedimentarias que datan del Jurásico al Cretácico, rocas volcánicas del Terciario-Cuaternario, llanuras de inundación del Cuaternario y rocas intrusivas (Batolito de Abitagua) el Jurásico Temprano (Vallejo et al., 2017).

El clima del sitio arqueológico pertenece al tropical húmedo con una precipitación anual mayor a los 3000 mm y la temperatura promedio es de 25 °C. Presente alta variabilidad climática porque no tiene una estación definida, el mes con niveles de precipitación bajos es septiembre y el mes con mayor cantidad que precipitación es junio, esto puede ser afecto por la presencia de fenómenos climático como El Niño. La humedad relativa es del 80%.

El trabajo realizado por Solórzano (2021), describe que se utilizó un total de 49 trincheras distribuidas en 17 hectáreas divididas en 7 sectores, además registra que el suelo predominante del sector es limoso y arenoso, y hay presencia de basalto, dioritas y andesitas que sirvieron para la elaboración de artefactos líticos. Esta arqueología muestra evidencia de actividad humana desde 4025 BP hasta 183 BP.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODO

En este capítulo se describe el proceso de extracción del núcleo sedimentario, junto con los resultados obtenidos por Nascimento et al. (2020), incluyendo la datación del núcleo y el análisis realizado con el equipo Itrax. A continuación, se detalla el método utilizado para la interpolación de los datos geoquímicos. Posteriormente, se presenta la metodología aplicada para el análisis de componentes principales (PCA), la transformada wavelet, las funciones de densidad de probabilidad (PDF) y los análisis estadísticos empleados para identificar diferencias significativas entre los periodos de ocupación y abandono.

3.1. EXTRACCIÓN DEL NÚCLEO SEDIMENTARIO

En la laguna Llaviucu se extrajo un núcleo sedimentario de 12.30 metros de con la sonda de perforación Colinvaux-Vohnout. Esto se realizó para el estudio de (Nascimento et al., 2020) donde se dató el núcleo sedimentario y se tiene 16 edades radiocarbónicas que abarcan 15000 años antes del presente (Anexo B). Se analizaron los sedimentos con Itrax (Anexo C) y se ha proporcionado para esta investigación una matriz de 26 elementos químicos. Esos elementos químicos son: Al, Si, P, S, Cl, Ar, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Sb, Ba, Pb.

3.2. INTERPOLACIÓN DE DATOS GEOQUÍMICOS

A los datos geoquímicos se le realizó una interpolación anual para los últimos 5000 años antes del presente, esta interpolación se realizó hasta esta edad porque es necesario evitar el efecto cono de influencia cuando se utilice la transformada wavelet (Torrence & Compo, 1998). Estos datos interpolados se utilizarán para el análisis de componentes principales. La interpolación se realizó en el software R (Anexo D).

3.3. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

El análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés) se utilizó en este estudio con el objetivo principal de reducir la dimensionalidad de los datos. Contamos con 26 elementos químicos interpolados anualmente, lo que genera una matriz de datos compleja y de alta dimensión. Con el PCA, es posible simplificar esta matriz a una única variable que retiene la mayor parte de la información original. Los eigenvalores asociados a cada componente principal permiten cuantificar la varianza retenida, asegurando que solo se elimine la información redundante, mientras que se preserva la estructura subyacente de los datos. Esto facilita la interpretación y permite centrarse en los patrones y variaciones dominantes que representan el conjunto de elementos químicos.

El PCA permite identificar las relaciones subyacentes entre los elementos químicos al condensar la variabilidad en un menor número de componentes, donde cada componente principal retiene una porción significativa de la varianza original. De esta forma, logramos optimizar el análisis y eliminar la redundancia inherente a trabajar con tantas variables. Esta simplificación ayuda a comprender mejor las tendencias y patrones relevantes en los datos, manteniendo la representatividad de los elementos químicos que componen el conjunto inicial. Se realizó el PCA con el paquete de R - Vegan (Oksanen et al., 2018) (Anexo E).

3.4. ANÁLISIS WAVELET

La wavelet se generó con los datos del componente principal 1 por tener el 98.42% de varianza retenida de los 26 elementos químicos. Este mapa de calor se realizó con el paquete de R – biwavelet (Gouhier et al., 2021) (Anexo F), este paquete fue utilizado por (Nascimento et al., 2020) para generar la wavelet con el elemento Ti del Llaviucu.

Cuando se generó la wavelet, se obtuvo una matriz que contenía valores de significancia (Anexo G) donde se evaluó y se seleccionó únicamente los valores que eran mayores a 1

(Torrence & Compo, 1998) porque eran los presentaban significancia estadística. Luego se colocó 1 a los valores que tenía significancia estadística y 0 a los espacios en blanco.

Se obtuvo una matriz de 25 filas asociadas a los periodos que van de 2 a 8 (Anexo H) y 4500 columnas asociados a los años utilizados para esta investigación. Para la matriz de significancia ya evaluada con 0 y 1, se sumaron las columnas y se obtuvo la cantidad de eventos ENSO presentes en cada año (Anexo I), la suma se clasificó siendo 0=0 (ausencia ENSO) y 1 o >1 =1 (Presencia ENSO). Posterior, se estandarizaron los datos, realizando una sumatoria cada 20 años (Anexo J).

3.6. METODOLOGÍA PARA LOS DATOS ARQUEOLÓGICOS (PASHIMBI)

Para determinar los periodos de ocupación y abandono en el sitio arqueológico Pashimbi se emplearon 17 dataciones de ^{14}C (Solórzano, 2021). Con las edades calibradas, se generó una función de probabilidad de densidad (PDF) empleando el paquete de R Bchron (Parnell, 2016) (Anexo K). Los resultados del PDF se dividieron en altas probabilidades (densidades > 0.00004) y bajas probabilidades (densidades = 0.00004) desde hace 4000 años BP. Las densidades mayores a 0.00004 se consideran periodos de ocupación humana y las probabilidades iguales a 0.00004 se consideran abandonos.

3.7. RELACIÓN DE DATOS PELEOCLIMÁTICOS Y ARQUEOLÓGICOS

Los datos estandarizados de ENSO realizados cada 20 años, se relacionaron con la función de probabilidades de densidades (PDF), esto se realizó basados en los periodos de tiempos ya establecidos para las ocupaciones y abandonos. Esta relación ya estandarizada nos dará un panorama general sobre como fue el comportamiento de El Niño en el Pashimbi.

3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Luego de establecer relaciones preliminares entre los datos climáticos y los datos arqueológicos, fue necesario realizar una comparación estadística para identificar diferencias significativas entre los periodos de ocupación y abandono en función de los datos climáticos asociados. Para esto, se verificaron dos supuestos clave en los datos: la normalidad y la homogeneidad de varianzas, esenciales para seleccionar los métodos estadísticos adecuados y garantizar la validez de los resultados comparativos.

En primer lugar, se evaluó la normalidad de los datos mediante el test de Shapiro-Wilk. Este test permite determinar si los datos se distribuyen de manera aproximadamente normal, lo cual es un requisito para ciertos análisis estadísticos. Una distribución normal es deseable porque facilita la aplicación de pruebas paramétricas que suelen ser más robustas y ofrecen un mayor poder estadístico.

Posteriormente, se aplicó el test de Bartlett para verificar la homogeneidad de varianzas entre los grupos de datos de ocupación y abandono. Este test es fundamental para asegurar que las varianzas entre los grupos comparados sean equivalentes, lo cual es un requisito en análisis que comparan grupos, especialmente en pruebas paramétricas. Verificar la homogeneidad permite interpretar las diferencias en los datos climáticos en función de las ocupaciones y abandonos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos, incluyendo la función de densidad de probabilidades generada a partir de las dataciones radiocarbónicas realizadas en fragmentos de carbón del sitio arqueológico Pashimbi. Además, se muestra el análisis de componentes principales (PCA) aplicado a los datos geoquímicos de los sedimentos de la laguna Llaviucu, así como el análisis wavelet realizado sobre el primer componente principal (PC1).

4.1. PDF GENERADO CON DATACIONES DEL PASHIMBI

La figura 3 (A) muestra la función de densidad de probabilidad (PDF) generada utilizando las edades calibradas del sitio arqueológico Pashimbi (Solórzano, 2021). En la Tabla 1 se muestran los 6 periodos de ocupación (O1-O6) y 5 periodos de abandonos (A1-A5). Los periodos de abandono acumulativos alcanzan 916 años mientras que los de ocupación 3044 años. Los periodos de ocupación presentan densidades diferentes de 0.00004 mientras que los abandonos presentan densidades iguales a 0.00004.

Tabla 1. Ocupaciones y Abandonos en el Pashimbi

Periodos	edad (yr BP)	Duración (años)
Ocupación 6 (O6)	119-1515	1396
Abandono 5 (A5)	1516-1715	199
Ocupación 5 (O5)	1716-2049	333
Abandono 4 (A4)	2050-2310	260
Ocupación 4 (O4)	2311-2601	290
Abandono 3 (A3)	2602-2890	288
Ocupación 3 (O3)	2891-3196	305
Abandono 2 (A2)	3197-3278	81
Ocupación 2 (O2)	3279-3553	274
Abandono 1 (A1)	3554-3642	88
Ocupación 1 (O1)	3643-4089	446

Realizado por: Tumbaco, 2024

4.2. ANÁLISIS PCA DE LA GEOQUIMICA DEL LIAVIUCU

Los resultados del análisis de componentes principales aplicados a los 26 elementos geoquímicos interpolados anualmente indican que el 98.42% de la varianza fue explicada por el primer eigenvalor PC1 (tabla 2). La varianza retenida para el PC2 y el PC3 fue del 0.79% y 0.28% respectivamente. La varianza explicada por los componentes principales entre el PC4 y el PC26 suman 0.5%.

Tabla 2. Eigenvalores y la varianza retenida en porcentaje.

Eigenvalores	% de varianza retenida
PC1	98.42
PC2	0.79
PC3	0.28
PC4-PC26	0.05

Realizado por: Tumbaco, 2024

4.3. ANÁLISIS WAVELET GENERADO CON EL PC 1

El análisis wavelet aplicado a la serie de tiempo PC1 generó un mapa de calor con periodicidades menores a 32 (eje y). Las periodicidades correspondientes a El Niño (2-8 años) estuvieron representadas en las primeras 25 filas las que se representan para los últimos 4500 años (4500 columnas). Las regiones con periodicidades significativas correspondientes a El Niño se muestran en colores rojos, al interior de regiones de significancia delimitadas por líneas negras. El cono de influencia que es una región no interpretable de la wavelet se muestra como una región blanca en los primeros y últimos 50 años del mapa de calor de la wavelet (5000-4950 y 50-0 años respectivamente ;Torrence & Compo, 1998).

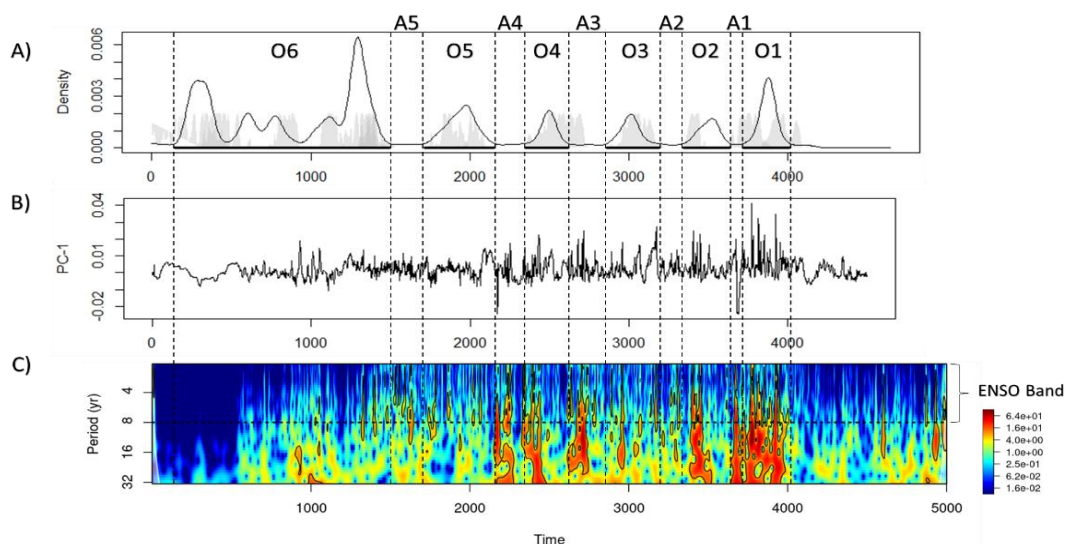


Figura 3. Ocupación y abandono del sitio arqueológico Pashimbi y ENSO de la laguna Llaviucu. A) Función de probabilidad de densidades (PDF) del Pashimbi (O=ocupación y A=abandono), B) señal del componente principal 1 (PC1) y C) wavelet realizada con el PC1 (banda ENSO de 2 a 8 años periódicos), muestra regiones significativas encerradas en líneas negras al interior del mapa de calor.

Realizado por: Tumbaco, 2024

Cuando se extrajeron los valores de significancia ENSO se obtuvo como resultados la figura 4. Esta figura contiene la cantidad de eventos de El Niño para cada periodo de ocupación y abandono a lo largo de los 4500 años, siendo 1 igual a presencia de El Niño y siendo cero a la ausencia del fenómeno. Se registró un total de 358 eventos de El Niño en los periodos de abandono y un total de 701 eventos de El Niño durante las ocupaciones.

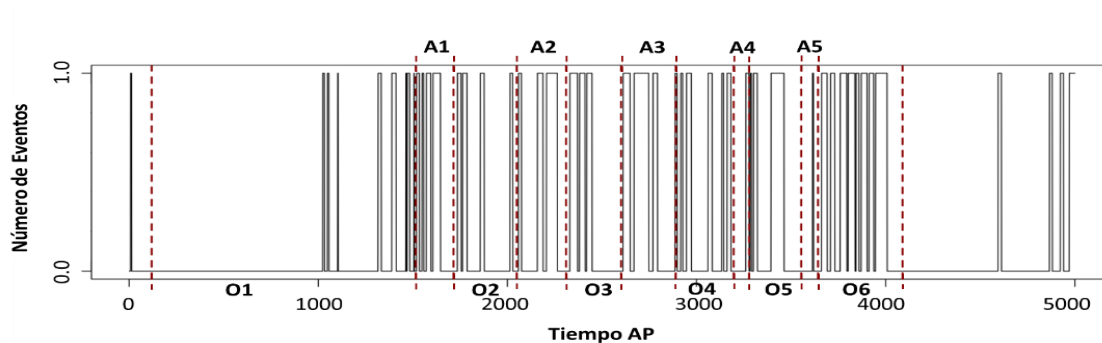


Figura 4. Relación entre los periodos de ocupación y abandono con la cantidad de actividad ENSO presente en cada periodo.

Realizado por: Tumbaco, 2024

Con los resultados de la figura 4 se generó la estandarización de eventos cada 20 años (figura 5), aquí se muestra la relación entre los periodos de ocupación y de abandono con la cantidad de evento cada 20 años, se tiene un total de 37 eventos estandarizados para las ocupaciones y 31 eventos estandarizados para los abandonos (tabla 3).

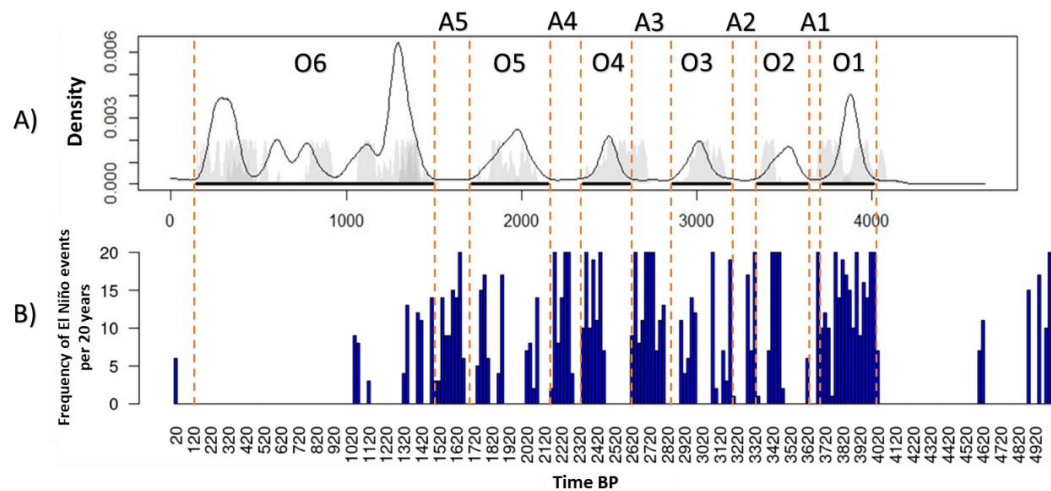


Figura 5. Relación entre los periodos de ocupación y abandono con la cantidad de actividad ENSO cada 20 años presente en cada periodo.

Realizado por: Tumbaco, 2024

El test Shapiro Wilk para ocupaciones y abandono dio como resultado un p-value de 0.3393 y 0.7648 respectivamente, mostrando que había una normalidad en los datos, posterior se comparó con el test Bartlett los dos periodos dando un p-value de 0.9026, mostrando que no había diferencia significativa entre eventos estandarizados de ocupación versus abandono.

Tabla 3. Cantidad de eventos ENSO estandarizados cada 20 años asociado a cada periodo

Periodos	# de ENSO
O6	1
A5	9
O5	5
A4	8
O4	7
A3	10
O3	6
A2	4
O2	7
A1	1
O1	11

Realizado por: Tumbaco, 2024

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

En este capítulo se responde dos preguntas planteadas, 1) ¿La ocupación humana es continua o discontinua en el Pashimbi? y 2) ¿cuál fue la influencia de El Niño sobre los asentamientos del Pashimbi? Estas preguntas mostraran un panorama general de como fue el comportamiento de los asentamientos humanos en el Pashimbi y como fue el comportamiento de estas ocupaciones bajo la influencia del fenómeno de El Niño.

5.1. ¿LA OCUPACIÓN HUMANA ES CONTINUA O DISCONTINUA EN EL PASHIMBI?

La Función de Probabilidad de Densidades (PDFs) del Pashimbi muestra 5 periodos con probabilidad igual o menos a 0.00004, indicando que la ocupación humana en esta región fue discontinua (Figura 3A). También indican la ausencia de fragmentos de carbón. Los datos de ocupación humana basados en cambios estratigráficos del Pashimbi muestran 7 periodos de ocupación (Colonial, Tena, Moravia y Cosanga II, Cosanga I, Pambay y Pashimbi). Sin embargo, las descripciones estratigráficas y arqueológicas ponen mayor énfasis en resaltar diferencias entre las unidades, pero tienen menor eficiencia para identificar periodos de abandono, lo cual es factible el uso de los valores PDFs. A pesar de ello, existe consistencia entre el número de periodos de ocupación basados en la estratigrafía y los PDFs sugiriendo que los cambios entre los periodos de ocupación (Colonial, Tena, Moravia y Cosanga II, Cosanga I, Pambay y Pashimbi) pueden implicar discontinuidad. Evidencia discontinua del cultivo de maíz y quemados registrados en las lagunas Ayauchi y Kumpak en el sur de Ecuador, también sugieren discontinuidad de ocupación humana (Åkesson et al., 2023)

La relación entre los asentamientos humanos y los factores climáticos ha sido objeto de debate en la investigación arqueológica de la Amazonía. Según Meggers (1994), los eventos de "meganiños", caracterizados por altas temperaturas y sequías extremas, habrían generado discontinuidades significativas en los registros arqueológicos, especialmente en los periodos 1500, 1000, 700 y 400 BP. Este argumento sugiere que las

condiciones climáticas adversas llevaron al abandono temporal. Sin embargo, (Arellano, 2019) argumenta que estos eventos no justifican la despoblación de la Amazonía. Por otro lado, (Åkesson et al., 2020) sugieren que climas secos pueden ser propicios para el desarrollo de las poblaciones. Entonces, las fluctuaciones de precipitación inducidas por ENSO pudieron afectar el proceso de asentamiento de poblaciones precolombinas en la Amazonía.

5.2. ¿CUÁL FUE LA INFLUENCIA DE EL NIÑO SOBRE LOS ASENTAMIENTOS DEL PASHIMBI?

Al estimar el número de eventos de El Niño se observa que existe una similaridad de eventos durante los periodos de ocupación y abandono. Los resultados obtenidos en el test de homogeneidad de Bartlett verifican que no existe una diferencia significativa (p-valor 0.9026) entre los periodos de ocupación y abandono. Sin embargo, esta cuantificación no tipifica la magnitud de los eventos de El Niño o de la Niña.

El Pashimbi, ubicado en el flanco oriental de los Andes, es una región extremadamente húmeda con lluvias abundantes durante la mayor parte del año (con una precipitación anual de 4000 mm). Sin embargo, la prevalencia de eventos de El Niño podría haber alterado las condiciones climáticas, disminuyendo la precipitación y haciendo la zona más seca y adecuada para el asentamiento de comunidades y la práctica de la agricultura al principio de las ocupaciones (4089-3643 BP y 3553-3279 BP, figura 5 B). Este proceso de asentamiento asociado con la reducción de la humedad excesiva también se evidencia en los registros paleoecológicos de lagos como Sauce y Pomacochas, (Åkesson et al., 2020), donde se observa un aumento en la actividad agrícola durante estos episodios secos en la amazonía norte de Perú. Los abandonos que interrumpieron el periodo de ocupación inicial, pudieron estar asociados con el retorno de condiciones extremadamente húmedas que conllevaron al abandono de las áreas cultivadas. Estos periodos que corresponden a los abandonos 1 y 2 del Pashimbi respectivamente (figura 5 B; 3642-3554 BP y 3278-3197 BP) son consistentes con periodos de abandono observados en el registro de la Laguna de los Cóndores (Åkesson et al., 2020).

Las discontinuidades de los asentamientos humanos posiblemente estuvieron asociadas con inundaciones ocasionadas por el incremento de la precipitación durante eventos de La Niña (Arellano, 2019). Evidencia arqueológica en la región del Pashimbi muestra la existencia de asentamientos establecidos sobre terrazas aluviales (Campos et al., 2019; Solórzano, 2021) e implica que los asentamientos fueron vulnerables a inundaciones. El establecimiento de asentamientos sobre terrazas aluviales y zonas aledañas susceptibles a inundaciones ha sido prevalente en la amazonía (J. S. Athens & Ward, 1999; S. Athens, 1997; Colinvaux et al., 1988, 1997) y zonas aledañas al río Napo (Weng et al., 2002) lo cual evidencia la escala espacial y magnitud de abandono en caso de inundaciones.

A partir de la ocupación 3 hasta aproximadamente el presente (3196 -119 BP; figura 5) se observa que el mayor número eventos de El Niño se produce durante periodos de abandonos y su disminución corresponde a periodos con asentamientos humanos en condiciones húmedas. Esto sugiere que las comunidades desarrollaron formas de adaptarse a la alta pluviosidad predominante en la región, desarrollando sus actividades, en condiciones climáticas que inicialmente se consideraban desfavorables. Otra posibilidad es que la dinámica de ENSO haya cambiado y que cambios en la intensidad de los eventos haya favorecido el abandono desde c 3000 BP (Meggers 1994) teniendo un efecto opuesto durante el periodo inicial de ocupación (anterior a c 3000 BP). La intensidad no es un parámetro que pueda inferirse a partir del análisis de periodicidad realizado en este estudio, pero es un factor que podría explicar el por qué El Niño inicialmente favorece los asentamientos y posteriormente los abandonos. Finalmente, los datos que presentamos muestran que los efectos de El Niño temporalmente transgresivos sobre la ocupación humana en los últimos 4500 años.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

Los resultados de la Función de Probabilidad de Densidades (PDF) muestran que la ocupación humana en el sitio de Pashimbi fue discontinua durante los últimos 4500 años. Hubo varios periodos de abandono, lo que sugiere que los cambios climáticos jugaron un papel importante en la interrupción de estas ocupaciones.

Los eventos de El Niño favorecieron a los asentamientos humanos entre 4089-3643 BP y 3553-3279 BP, correspondiente a las comunidades de Pashimbi y Pambay respectivamente. Las sequías causadas por El Niño redujeron las lluvias en una zona normalmente muy húmeda, creando un ambiente más favorable para los asentamientos y la agricultura.

Los últimos 3000 BP hasta el presente correspondientes a los periodos Colonial, Tena, Cosanga II, Moravia y Cosanga I, las comunidades se adaptaron mejor a las condiciones más húmedas. Esto muestra que las poblaciones aprendieron a vivir en un entorno con mucha lluvia, logrando asentamientos más estables, mientras que las sequías producidas por El Niño ya no eran útiles para ellos y ahora provocaban abandonos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Åkesson, C. M., Matthews-Bird, F., Bitting, M., Fennell, C. J., Church, W. B., Peterson, L. C., Valencia, B. G., & Bush, M. B. (2020). 2,100 years of human adaptation to climate change in the High Andes. *Nature Ecology and Evolution*, 4(1), 66–74. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-1056-2>
- Åkesson, C. M., McMichael, C. N., León-Yáñez, S., & Bush, M. B. (2023). Late-Holocene maize cultivation, fire, and forest change at Lake Ayauchⁱ, Amazonian Ecuador. *The Holocene*, 33(5), 550–561. <https://doi.org/10.1177/09596836231151833>
- 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.
- Athens, J. S., & Ward, J. V. (1999). The late Quaternary of the Western Amazon: Climate, vegetation and humans. *Antiquity*, 73(280), 287–302. <https://doi.org/10.1017/S0003598X00088256>
- Athens, S. (1997). Paleoambiente del Oriente Ecuatoriano: resultados preliminares de columnas de sedimentos procedentes de humedales. *Fronteras de Investigación*, 1(1), 15–32.
- Bradley, R. (2014). Paleoclimatology: reconstructing climates of the quaternary. In *Choice Reviews Online* (Vol. 52, Issue 03). <https://doi.org/10.5860/choice.169410>
- 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>
- 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*.
- Campozano, L., Ballari, D., & Celleri, R. (2015). Imágenes TRMM para identificar patrones de precipitación e índices ENSO en Ecuador. *Maskana*, 0(0), 185–191.
- 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)
- Croudace, I. W., & Rothwell, R. G. (2010). Micro-XRF sediment core scanners: important new tools for the environmental and earth sciences. *Spectroscopy Europe*, 22(3), 6–13.
- Croudace, I. W., & Rothwell, R. G. (2015). Micro-XRF Studies of Sediment Cores: Applications of a non-destructive tool for the environmental sciences. *Springer*, 17, 668.
- Cuven, S., Francus, P., & Lamoureux, S. F. (2010). Estimation of grain size variability with micro X-ray fluorescence in laminated lacustrine sediments, Cape Bounty, Canadian High Arctic. *Journal of Paleolimnology*, 44(3), 803–817. <https://doi.org/10.1007/s10933-010-9453-1>
- de Guenni, L. B., García, M., Muñoz, Á. G., Santos, J. L., Cedeño, A., Perugachi, C., & Castillo, J. (2017). Predicting monthly precipitation along coastal Ecuador: ENSO and transfer function models. *Theoretical and Applied Climatology*, 129(3–4), 1059–1073. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1828-4>

- DeMenocal, P. B. (2001). Cultural Responses to Climate Change During the Late Holocene. *Science*, 292(5517), 667–673. <https://doi.org/10.1126/science.1059287>
- 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>
- Gouhier, T., Grinsted, A., & Simko, V. (2021). *biwavelet: Conduct Univariate and Bivariate Wavelet Analyses*.
- Haase, B. (1997). The impact of El Niño Southern Oscillation (ENSO) on birds : update from Ecuador 1997. *Arctic*, 100.
- 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>
- Jiménez-Muñoz, J. C., Mattar, C., Barichivich, J., Santamaría-Artigas, A., Takahashi, K., Malhi, Y., Sobrino, J. A., & Schrier, G. Van Der. (2016). Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015-2016. *Scientific Reports*, 6(August), 1–7. <https://doi.org/10.1038/srep33130>
- 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>
- Marengo, J. A., Nobre, C. A., Tomasella, J., Oyama, M. D., de Oliveira, G. S., de Oliveira, R., Camargo, H., Alves, L. M., & Brown, I. F. (2008). The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate*, 21(3), 495–516. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1600.1>
- Mark, S. Z., Abbott, M. B., Rodbell, D. T., & Moy, C. M. (2022). XRF analysis of Laguna Pallcacocha sediments yields new insights into Holocene El Niño development. *Earth and Planetary Science Letters*, 593, 117657. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2022.117657>
- Martínez, R., Zambrano, E., Nieto López, J. J., Hernández, J., & Costa, F. (2017). Evolución, vulnerabilidad e impactos económicos y sociales de El Niño 2015-2016 en América Latina. *Investigaciones Geográficas*, 68, 65. <https://doi.org/10.14198/ingeo2017.68.04>
- Meggers, B. J. (1994). Archeological evidence for the impact of mega-Niño events on Amazonia during the past two millennia. *Climatic Change*, 28(4), 321–338. <https://doi.org/10.1007/BF01104077>
- 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>
- Morales-Casco, L. A., & Zúniga-González, C. A. (2016). Impactos del cambio climático en la agricultura y seguridad alimentaria. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.*, 2(1), 269–291. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v2i1.5700>
- 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>

- Nobre, C. A., Obregón, G. O., Marengo, J. A., Fu, R., & Poveda, G. (2013). Characteristics of Amazonian Climate: Main Features. *Amazonia and Global Change*, 149–162. <https://doi.org/10.1029/2009GM000903>
- Nobre, C., Sampaio, G., & Salazar, L. (2007). Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura*, 53, 6.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, Pierre, McGlinn, D., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., & Wagner, H. (2018). Community Ecology Package. *Ecology Package*, 23(8), 263.
- Olivares, I., Svenning, J. C., van Bodegom, P. M., & Balslev, H. (2015). Effects of Warming and Drought on the Vegetation and Plant Diversity in the Amazon Basin. *Botanical Review*, 81(1), 42–69. <https://doi.org/10.1007/s12229-014-9149-8>
- Ortlieb, Luc, & Macharé. (1992). *Paleo-ENSO Records international symposium CONCYTEC CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA y TECNOLOGIA*.
- Pacheco, J., Parra, N., & Avilés, A. (2017). EJE 02-01 Análisis de la sequía en la cuenca del Paute mediante el índice de precipitación estandarizado (SPI). *Memorias y Boletines de La Universidad Del Azuay*, XVI, 41–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.33324/memorias.v1iXVI.47>
- Papastefanou, P., Zang, C. S., Angelov, Z., De Castro, A. A., Jimenez, J. C., De Rezende, L. F. C., Ruscica, R. C., Sakschewski, B., Sörensson, A. A., Thonicke, K., Vera, C., Viovy, N., Von Randow, C., & Rammig, A. (2022). Recent extreme drought events in the Amazon rainforest: assessment of different precipitation and evapotranspiration datasets and drought indicators. *Biogeosciences*, 19(16), 3843–3861. <https://doi.org/10.5194/bg-19-3843-2022>
- Piña-Monarez, M. R. (2007). *Desarrollo De La Función Densidad De Probabilidad (Pdf) De La Distribución Normal Y Su Aplicación*.
- Rodbell, D. T., Seltzer, G. O., Anderson, D. M., Abbott, M. B., Enfield, D. B., & Newman, J. H. (1999). A ~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>
- Rostain, S., Dorison, A., de Saulieu, G., Prümers, H., Le Pennec, J.-L., Mejía, F., Freire, A. M., Pagán-Jiménez, J. R., & Descola, P. (2024). Two thousand years of garden urbanism in the Upper Amazon. *Science*, 383(6679), 183–189. <https://doi.org/10.1126/science.adi6317>
- Schneider, T., Hampel, H., Mosquera, P. V., Tylmann, W., & Grosjean, M. (2018). Paleo-ENSO revisited: Ecuadorian Lake Pallcacocha does not reveal a conclusive El Niño signal. *Global and Planetary Change*, 168, 54–66. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.06.004>
- Serrano, S., Aguilar, S., Aguilar, E., Martínez, R., Hernández, M., Azorín, C., Sanchez, A., Tomás, M., & Morán, E. (2017). The complex influence of ENSO on droughts in Ecuador. *Climate Dynamics*, 48, 405–427.
- Solórzano, M. (2021). Cronología absoluta para el análisis diacrónico de la secuencia de ocupación del sitio arqueológico Pashimbi, alta amazonía ecuatoriana. *Arqueología Iberoamericana*, 47, 3–17.
- Tobar, V., & Wyseure, G. (2018). Seasonal rainfall patterns classification, relationship to ENSO and rainfall trends in Ecuador. *International Journal of Climatology*, 38(4), 1808–1819. <https://doi.org/10.1002/joc.5297>
- Torrence, C., & Compo, G. (1998). *A Practical Guide to Wavelet Analysis*. 79(1), 61–78. [https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2)
- Tumbaco, B. (2022). *Impacto del cambio climático sobre ocupación humana de la Amazonía Ecuatoriana*.

- Tylmann, W. (2016). Book reviews: Micro-XRF Studies of Sediment Cores. Applications of a Non-destructive Tool for the Environmental Sciences. *Geologos*, 22(1), 81–82. <https://doi.org/10.1515/logos-2016-0008>
- Vallejo, C., Tapia, D., Gaibor, J., Steel, R., Cardenas, M., Winkler, W., Valdez, A., Esteban, J., Figuera, M., Leal, J., & Cuenca, D. (2017). Geology of the Campanian M1 sandstone oil reservoir of eastern Ecuador: A delta system sourced from the Amazon Craton. *Marine and Petroleum Geology*, 86, 1207–1223. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.07.022>
- Wade, L. (2024). *Laser mapping reveals oldest Amazonian cities, built 2500 years ago*. Science. <https://doi.org/10.1126/science.zzti03q>
- 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)

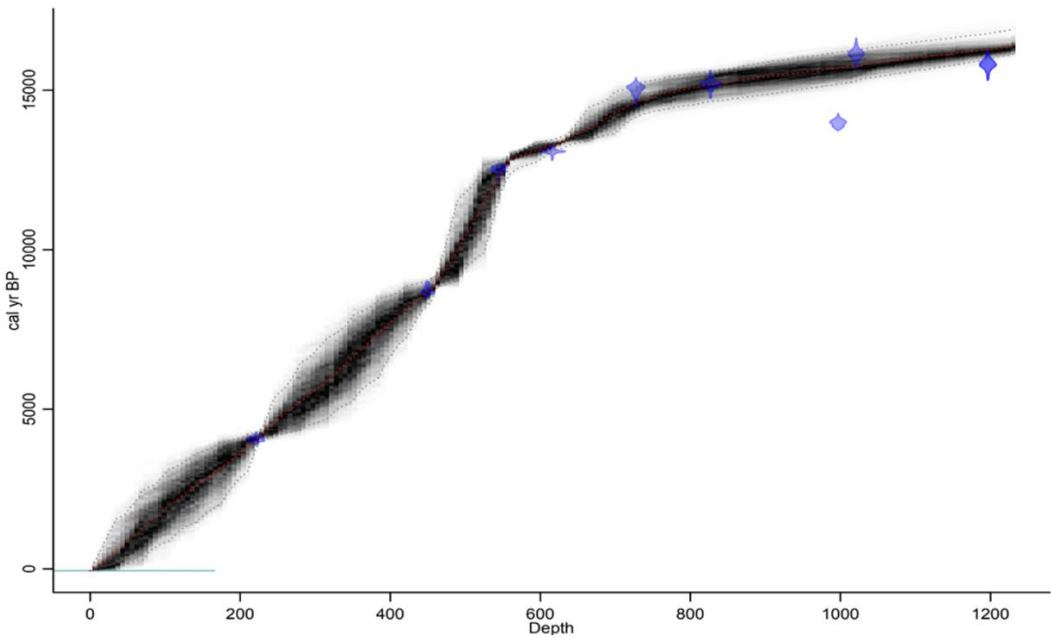
ANEXOS

Anexo A. Edades calibradas del sitio arqueológico Pashimbi

id	ages	ageSds	position	thickness	calCurves	No	Sector	Ocupación	Depth	CALIBRATED
551977	200	30	258	5	shcal20	1	Norte terraza	Colonial	731	1410
551986	340	30	426	5	shcal20	2	Sur terraza	Tena	74	1380
551983	400	30	352	5	shcal20	3	Sur terraza	Tena	2161	1454
551984	580	30	345	5	shcal20	4	Sur terraza	Tena	2201	2590
551978	980	30	283	5	shcal20	5	Norte terraza	Cosanga II	258	183
551980	1270	30	310	5	shcal20	6	Norte terraza	Cosanga II	283	860
551981	1410	30	323	5	shcal20	7	Norte terraza	Moravia	295	1888
551976	1510	30	74	5	shcal20	8	Norte terraza	Moravia	310	1222
Beta430926	1540	30	731	5	shcal20	9	Norte terraza	Cosanga I	318	4025
Beta430927	1560	30	2161	5	shcal20	10	Norte terraza	Cosanga I	323	1319
551979	1960	30	295	5	shcal20	11	Norte terraza	Pambay	335	3782
551982	2090	30	396	5	shcal20	12	Sur terraza	Pambay	345	602
Beta430928	2520	30	2201	5	shcal20	13	Norte terraza	Pambay	352	474
542612	2950	30	462	5	shcal20	14	Sur terraza	Pambay	396	2052
551985	3240	30	416	5	shcal20	15	Sur terraza	Pashimbi	416	3450
542611	3520	30	335	5	shcal20	16	Sur terraza	Pashimbi	426	390
542610	3680	30	318	5	shcal20	17	Norte terraza	Pashimbi	462	3110

Realizado por: (Solórzano, 2021)

Anexo B. Modelo de edad de Llaviucu



Realizado por: (Nascimento et al., 2020)

Anexo C. Instrumento Itrax



Realizado por: (Croudace & Rothwell, 2010)

Anexo D. Código para la interpolación anual realizada con los 26 elementos químicos.

```
library(readxl)#cargamos la libreria para leer documentos .xlsx
XRFLlaviucu <- read_excel("XRFLlaviucu.xlsx")# Cargar la matriz XRFLlaviucu
XRF<-as.data.frame(XRFLlaviucu)# convertimos en data frame
Edad<-c(-57:17000) #edad para la interpolación
# las siguientes lineas de codigos realizan la interpolacion de cada elemento
#en funcion de la edad
alc<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Al, xout=Edad, method="linear")
sic<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Si, xout=Edad, method="linear")
pc<-approx(XRF$MeanAge,XRF$P, xout=Edad, method="linear")
sc<-approx(XRF$MeanAge,XRF$S, xout=Edad, method="linear")
cl<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Cl, xout=Edad, method="linear")
ar<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Ar, xout=Edad, method="linear")
kc<-approx(XRF$MeanAge,XRF$K, xout=Edad, method="linear")
cac<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Ca, xout=Edad, method="linear")
tic<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Ti, xout=Edad, method="linear")
vv<-approx(XRF$MeanAge,XRF$V, xout=Edad, method="linear")
cr<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Cr, xout=Edad, method="linear")
mn<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Mn, xout=Edad, method="linear")
fex<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Fe, xout=Edad, method="linear")
nic<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Ni, xout=Edad, method="linear")
cu<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Cu, xout=Edad, method="linear")
zn<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Zn, xout=Edad, method="linear")
gac<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Ga, xout=Edad, method="linear")
asc<-approx(XRF$MeanAge,XRF$As, xout=Edad, method="linear")
br<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Br, xout=Edad, method="linear")
rb<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Rb, xout=Edad, method="linear")
sr<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Sr, xout=Edad, method="linear")
yc<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Y, xout=Edad, method="linear")
zr<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Zr, xout=Edad, method="linear")
sb<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Sb, xout=Edad, method="linear")
ba<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Ba, xout=Edad, method="linear")
pb<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Pb, xout=Edad, method="linear")
alc<-approx(XRF$MeanAge,XRF$Al, xout=Edad, method="linear")

#creamos una matriz solo con los valores de los elementos por eso seleccionamos para cada elemento todas la filas de la columna 2 [,2]
matriz<- cbind(alc[,2],sic[,2],p[,2],s[,2],cl[,2],ar[,2],k[,2],ca[,2],ti[,2],v[,2],cr[,2],mn[,2],fe[,2],ni[,2],cu[,2],zn[,2],ga[,2],as[,2],
br[,2],rb[,2],sr[,2],y[,2],zr[,2],sb[,2],ba[,2],pb[,2])

#le damos los nombres a las columnas con "colnames" de acuerdo al orden de la matriz
colnames(matriz)<-c("Al","Si","P","S","Cl","Ar","K","Ca","Ti","V","Cr","Mn",
"Fe","Ni","Cu","Zn","Ga","As","Br","Rb","Sr","Y","Zr",
"Sb","Ba","Pb")
# visualizamos la matriz
matriz
#asignamos el nombre correspondiente
elementos_interpolados<-matriz
#guardamos en formato CSV "elementos_interpolados"
write.csv(elementos_interpolados,file="elementosinterpolados.csv")
```

Realizado por: Tumbaco, 2024

Anexo E. Código para realizar el análisis de componentes principales (PCA) a los 26 elementos químicos interpolados anualmente

```
# Cargamos la librería "vegan" para realizar análisis de ecología de comunidades
library("vegan")

# Cargamos la librería "readr" para leer el archivo CSV que contiene los elementos interpolados
library(readr)

# Leemos el archivo CSV que contiene los elementos interpolados y lo almacenamos en la variable elementosinterpolados
elementosinterpolados <- read_csv("elementosinterpolados.csv")

# Eliminamos la primera columna de la matriz de elementos interpolados y la almacenamos en la variable EI
EI <- elementosinterpolados[-1]

# Realizamos el Análisis de Componentes Principales (PCA) con la matriz EI y lo almacenamos en la variable pca
pca <- rda(EI)

# Visualizamos los resultados del PCA
pca

# Graficamos los sitios en el PCA
plot(pca, display = "sites")

# Extraemos todos los componentes principales del PCA y los almacenamos en la variable pc
pc <- pca$CA$su

# Guardamos los valores del primer componente principal (PC1) hasta el dato 4500, ya que tiene 98.42% de varianza retenida
pp <- pc[1:4500, 1]

# Guardamos los valores del PC1 en un archivo CSV
write.csv(pp, file = "PC1.csv")

# Graficamos el PC1 con todos los datos disponibles en función de la edad
plot(pc[, 1], type = "l", col = 3, xlab = "Age", ylab = "PCA-1")

# Graficamos el PC1 hasta los 4500 años AP
plot(pp, type = "l", col = 1, xlab = "", ylab = "PC-1")
```

Realizado por: Tumbaco, 2024

Anexo F. Código para realizar la wavelet

```
# Cargamos la librería "biwavelet" para realizar el análisis de wavelet
library(biwavelet)

# Cargamos la librería "readr" para leer archivos CSV
library(readr)

# Cargamos los valores del primer componente principal (PC-1) desde un archivo CSV
PC1 <- read_csv("PC1.csv")

# Seleccionamos solo los valores del PC1 y los almacenamos en la variable xpc1
xpc1 <- PC1$x

# Preparamos los datos para el análisis de wavelet
cbind(1:length(xpc1), xpc1) -> PCC1

# Realizamos el análisis de wavelet con los datos preparados, estableciendo la máxima escala en 8 años
wt(PCC1, max.scale = 8) -> wav22

# Configuramos los parámetros del gráfico
par(oma = c(0, 0, 0, 1), mar = c(5, 4, 4, 5) + 0.1)

# Graficamos el análisis de wavelet
plot(wav22, lwd.sig = 1, plot.cb = TRUE, ylab = "Period (yr)")

# Extraemos los valores de significancia ENSO del análisis de wavelet
sigENSO <- wav22$signif

# Establecemos que los valores iguales o mayores a 1 sean considerados como significativos para ENSO
evaluacion <- ifelse(sigENSO >= 1, 1, 0)

# Sumamos los valores ENSO para cada período de tiempo
sumaENSO <- colSums(evaluacion)

# Graficamos la suma de los valores ENSO a lo largo del tiempo
plot(sumaENSO, type = "l", ylab = "2-8 periods (yr)", xlab = "Time (yr BP)")

# Guardamos la sumatoria de los valores ENSO para cada año en un archivo CSV
write.csv(sumaENSO, file = "sumaENSO.csv")

# Guardamos los valores de significancia ENSO en un archivo CSV
write.csv(sigENSO, file = "sigENSO.csv")
```

Realizado por: Tumbaco, 2024

Anexo G. Matriz de significancia (wavelet)

wav22	list [16] (S3: biwavelet)	List of length 16
coi	double [4500]	7.30e-06 7.30e-01 1.46e+00 2.19e+00 2.92e+00 3.65e+00 ...
wave	complex [25 x 4500]	2.04523122255461e-04+4.90943530623038e-04i 2.06988671666217e-04+4.90943530623038e-04i ...
power	double [25 x 4500]	2.83e-07 3.78e-07 4.74e-07 5.73e-07 6.79e-07 7.74e-07 2.92e-07 4.13e-07 ...
power.corr	double [25 x 4500]	1.10e-06 1.38e-06 1.63e-06 1.87e-06 2.09e-06 2.25e-06 1.13e-06 1.51e-06 ...
phase	double [25 x 4500]	1.176069 1.227353 1.305605 1.419558 1.568943 1.741174 -2.408724 -2.408724 ...
period	double [25]	2.07 2.19 2.32 2.46 2.60 2.76 ...
scale	double [25]	2.00 2.12 2.24 2.38 2.52 2.67 ...
dt	double [1]	1
t	double [4500]	1 2 3 4 5 6 ...
xaxis	double [4500]	1 2 3 4 5 6 ...
s0	double [1]	2
dj	double [1]	0.08333333
sigma2	double [1]	2.720883e-05
mother	character [1]	'morlet'
type	character [1]	'wt'
signif	double [25 x 4500]	1.06e-01 1.39e-01 1.69e-01 1.97e-01 2.22e-01 2.39e-01 1.09e-01 1.52e-01 ...

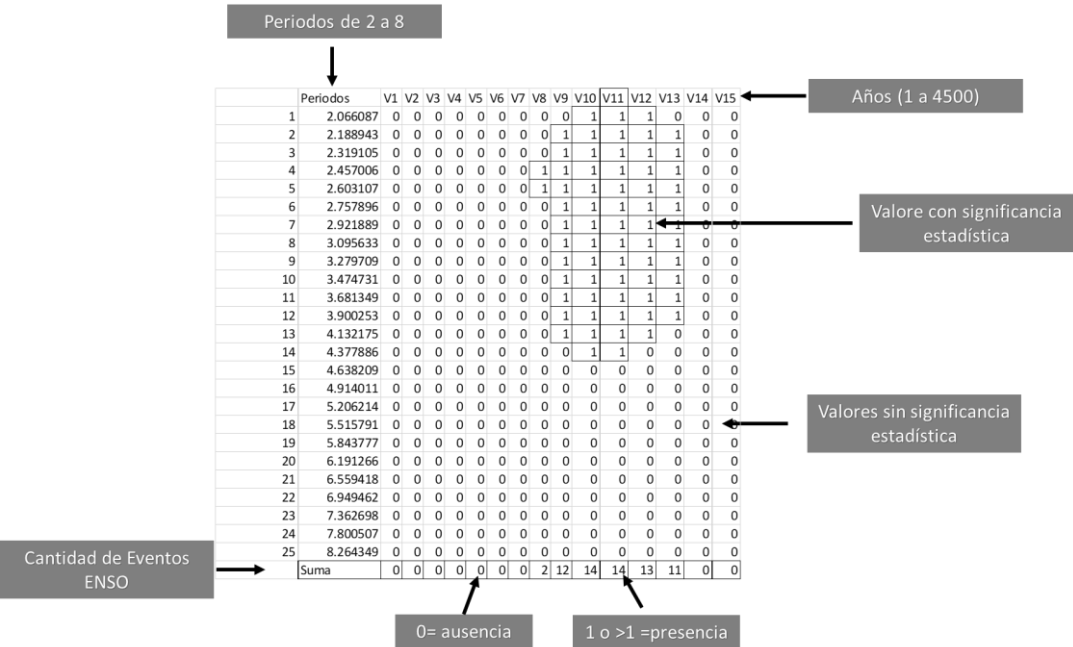
Realizado por: Tumbaco, 2024

Anexo H. Valores que van de 2 a 8 años periódicos

```
> data.frame(wav22$period)
  wav22.period
1    2.066087
2    2.188943
3    2.319105
4    2.457006
5    2.603107
6    2.757896
7    2.921889
8    3.095633
9    3.279709
10   3.474731
11   3.681349
12   3.900253
13   4.132175
14   4.377886
15   4.638209
16   4.914011
17   5.206214
18   5.515791
19   5.843777
20   6.191266
21   6.559418
22   6.949462
23   7.362698
24   7.800507
25   8.264349
```

Realizado por: Tumbaco, 2024

Anexo I. Matriz evaluada con 0 (valores sin significancia estadística) y 1 (valores con significancia estadística) y la suma por columnas mostrando la cantidad de eventos ENSO para cada año, siendo 0= ausencia ENSO y 1 o >1 = presencia ENSO.



Realizado por: Tumbaco, 2024

Anexo J. Estandarización de eventos ENSO cada 20 años

Periodos	Eventos cada 20 años	Periodo	A=Periodo/20	B=Eventos cada 20 años/A	
O6	77	1398	70	1	cada 20 años
A5	88	201	10	9	cada 20 años
O5	79	335	17	5	cada 20 años
A4	104	262	13	8	cada 20 años
O4	97	292	15	7	cada 20 años
A3	139	290	15	10	cada 20 años
O3	95	307	15	6	cada 20 años
A2	16	83	4	4	cada 20 años
O2	97	276	14	7	cada 20 años
A1	6	90	5	1	cada 20 años
O1	254	448	22	11	cada 20 años

Realizado por: Tumbaco, 2024

Anexo K. Programación para calibrar y generar la función de probabilidad de densidades

```
# Datos obtenidos de la publicacion https://www.laiesken.net/arqueologia/archivo/2021/4701

library(readxl) # Librería para leer archivos .xlsx
library(Bchron) # Cargamos la librería Bchron para generar los PDF

read.csv(file = "BetaSole.csv") -> BETA # Cargamos los datos de las edades arqueológicas

# read.csv(file="BetaSolePUB.csv")->BETAPUB # No me permite cargar con csv
BETAPUB <- read_excel("BetaSolePub.xlsx") # Cargamos las edades calibradas
Beta <- BETAPUB # Beta es igual a BETAPUB

AgesBeta <- BchronCalibrate(ages = Beta$ages, ageSds = Beta$ageSds,
                           calCurves = Beta$calCurves, positions = Beta$position) # Calculamos las curvas de calibración

plot(AgesBeta) # Graficamos las edades

summary(AgesBeta) # Resumen de las densidades basados en las edades

rep(c("gold", "tan1", "darkolivegreen4", "darkolivegreen1", "green3", "lightblue", "gray75"), times = c(1, 3, 1, 3, 2, 4, 3)) -> colores # Asignamos colores
vineta <- rep(c(15:20, 15), times = c(1, 3, 1, 3, 2, 4, 3)) # Asignamos viñetas
plot(Beta$CALIBRATED, col = colores, pch = vineta, cex = 3) # Ploteamos las edades calibradas

BetaDens <- BchronDensity(ages = Beta$ages, ageSds = Beta$ageSds, calCurves = Beta$calCurves) # Generamos los PDF

plot(AgesBeta, col = colores) # Graficamos las edades con colores

plot(BetaDens) # Graficamos los PDF

summary(BetaDens) # Observamos los periodos de ocupación
```

Realizado por: Tumbaco, 2024