

El origen de los humedales peruanos y su relación con los procesos geológico-ambientales de Sudamérica: Una revisión

The origin of Peruvian wetlands and their relationship with the geological-environmental processes of South America: A review

Ariana Cerna-Arrue ^{1*}, Héctor Aponte ^{1,2}

- Recibido: 13/Oct/2022
- Aceptado: 18/Jul/2023
- Publicación en línea: 06/Nov/2023

Citación: Cerna-Arrue A, Aponte H. 2024. El origen de los humedales peruanos y su relación con los procesos geológico-ambientales de Sudamérica: Una revisión. *Caldasia* 46(2):314-325. doi: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v46n2.104179>

RESUMEN

El Perú cuenta con diversos humedales altamente productivos, distribuidos en sus tres regiones geográficas (costa, sierra y selva). Estos ecosistemas han estado sometidos a diversos eventos hidrometeorológicos, climáticos y antrópicos. El análisis de su origen puede servir para identificar cambios en el entorno geomórfico e hidrológico, así como procesos evolutivos biológicos. El presente trabajo tuvo como objetivo sintetizar la información existente sobre los procesos geológico-ambientales que definen el origen de los humedales actuales peruanos. Fruto de una compilación sistemática de la literatura (usando las plataformas Science Direct, Scopus y Scielo) se encontraron 144 artículos relacionados a su historia reciente. El origen de los humedales andinos está direccionado por procesos tectónicos (entre los 16 Ma y 4 Ma), desglaciaciones (después del Último Máximo Glacial), calentamientos (durante el Holoceno) y el afloramiento de aguas subterráneas. Los humedales amazónicos tienen su origen hace 24 Ma a partir de un sistema fluvial, pasando por una fase de mega humedal (Pebas) y adquiriendo su configuración actual (sistema de drenaje) hace 2,5 millones de años. La formación de humedales de la costa está ligada a cuatro procesos: incursiones marinas, eventos meteorológicos como el ENSO (El Niño-Southern Oscillation), actividades antrópicas relacionados a escorrentías y por filtración de aguas subterráneas. Se describe el rol de las actividades humanas en la configuración actual de estos humedales, así como los vacíos de información para la historia de los humedales de cada región.

Palabras claves: Evolución, Historia, Humedales amazónicos, Humedales andinos, Humedales costeros.

¹ Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas. Carrera de Biología Marina. Universidad Científica del Sur. Panamericana Sur km 19 Villa El Salvador. Lima 42, Perú. arianacerna98@gmail.com (ACA), haponte@cientifica.edu.pe (HA)

² Coastal Ecosystems of Peru Research Group - COE - Perú. haponte@cientifica.edu.pe (HA).

* Autor para correspondencia.



ABSTRACT

Peru has various highly productive wetlands distributed in three geographical regions. These ecosystems have been subjected to many hydrometeorological, climatic, and anthropic events. Therefore, the analysis of its origin can identify changes in the geomorphic and hydrological environment and biological evolutionary processes. The objective of this article was to synthesize the existing information about geological-environmental processes that define the origin of current Peruvian wetlands. As a result of a systematic compilation of the literature (using the Science Direct, Scopus, and Scielo platforms), 144 articles related to its recent history were found. The origin of Andean wetlands is directed by tectonic processes (between 16 Ma and 4 Ma), deglaciation (after the Last Glacial Maximum), warming (during the Holocene), and water outcrop. The Amazonian wetlands have their origin in 24 Ma from a fluvial system, passing through a mega-wetland phase (Pebas) and acquiring their current configuration (drainage system) 2.5 million years ago. The formation of coastal wetlands is linked to four processes: marine incursions, meteorological events such as ENSO (El Niño-Southern Oscillation), human activities related to runoff, and groundwater seepage. The role of human activities in the current configuration of these wetlands was described. Also, the information gaps in the history of the wetlands in each region are identified.

Keywords: Amazonian Wetlands, Andean Wetlands, Coastal Wetlands, Evolution, History

INTRODUCCIÓN

Uno de los ecosistemas que ha tomado un creciente interés en la comunidad científica durante los últimos años son los humedales (Rivera *et al.* 2021). Estos ecosistemas se caracterizan por tener vegetación y fauna adaptada a las condiciones hídricas que presentan (Junk *et al.* 2013). En el Perú se han identificado más de seis millones de hectáreas de humedales entre costeros (9,238 ha), andinos (509,381 ha) y amazónicos (6,063,551 ha) (MINAM 2010). Por su diversidad y los servicios ecosistémicos que obtenemos de estos ecosistemas, su conservación y los esfuerzos para comprender su funcionamiento son muy importantes (Aponte 2017).

Los procesos geo-ambientales que determinaron la aparición de los humedales actuales en el Perú están poco integrados; en algunos casos se encuentran centrados en humedales determinados (Fritz *et al.* 2012). Por ejemplo, la mayoría de estudios abordan la historia del lagos puntuales como el Titicaca o secciones específicas como la cuenca del Amazonas (Paduano *et al.* 2003, Fritz *et al.* 2012, Bernal *et al.* 2019, Marivaux *et al.* 2020, Antoine *et al.* 2021, Sciumbata *et al.* 2021). A pesar de ello, existen esfuerzos de investigación que nos muestra que en el territorio peruano la historia de algunos humedales guarda

relación con los cambios del nivel del mar (humedales costeros), las desglaciaciones y el cambio climático (humedales andinos) (Wesselingh *et al.* 2006, Emmer *et al.* 2021) así como otros procesos de menor escala temporal (como los urbanos y los eventos ENSO) (Aponte 2017).

Integrar la información sobre el origen de los humedales actuales del Perú resulta importante pues revela fenómenos evolutivos, así como de diversificación, especiación y extinción de la biota de estos ecosistemas (Williams *et al.* 2001). Asimismo, el análisis de los cambios de los cuerpos de agua en relación a cómo se muestran actualmente permite identificar la evolución geológica local y regional (Grabowski *et al.* 2014). En este contexto, el objetivo de este trabajo fue realizar una revisión de literatura sistemática acerca de los procesos geológico-ambientales que definieron el origen de estos ecosistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una compilación sistemática de la literatura en las plataformas Science Direct, Scopus y Scielo utilizando las palabras clave combinadas (en inglés y español) “evolución” o “historia”, acompañada de la palabra “humedal” “manglar”, “lagos”, “lagunas”, “estuarios”, “ríos”, “bofedales”, “arroyos”, “pantanos”, “marismas” y “ciénagas” (en

base a los tipos de humedales establecidos en la definición de la Convención Ramsar (2016), seguidas de “andes”, “amazonas” o “costa”, y la palabra “Perú”. Se consideraron únicamente estudios a partir del Mioceno delimitando el estudio a los últimos 23 millones de años; de esta manera, se buscó describir los procesos que acompañaron la última acreción en los Andes los cuales configuraron el paisaje actual en la región (Mora *et al.* 2010). Se incluyeron exclusivamente artículos científicos, excluyendo otro tipo de documentos como resúmenes de reuniones científicas e informes (esto con la finalidad de evitar usar literatura gris y/o no revisada por pares) incluyendo toda la información publicada hasta diciembre del 2021. Se leyó cada artículo para descartar aquellos que no se relacionen directamente con el tema y se integró la información sobre los procesos por región geográfica (costa, andes y amazonía). El contenido histórico y los procesos geológico- ambientales fueron separados por región geográfica. Por último, se desarrolló una línea de tiempo que muestra la secuencia y temporalidad de aparición de estos ecosistemas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fueron encontrados y revisados un total de 144 artículos científicos, de los cuales se excluyeron 42 por no relacionarse directamente con la temática estudiada, usándose únicamente 102 para la redacción del presente manuscrito. Los principales eventos que definen la historia reciente de los humedales peruanos se encuentran mostrados de manera sintética en la (Fig. 1); a continuación, se describen los procesos según las regiones peruanas.

a) Historia de Humedales Andinos

El origen de los humedales Andinos se relaciona, en principio, a acontecimientos tectónicos, seguidos de procesos actuales como deglaciaciones, precipitaciones, afloramiento de aguas subterráneas (Rodbell *et al.* 2008, Mora *et al.* 2010, Drenkhan *et al.* 2018).

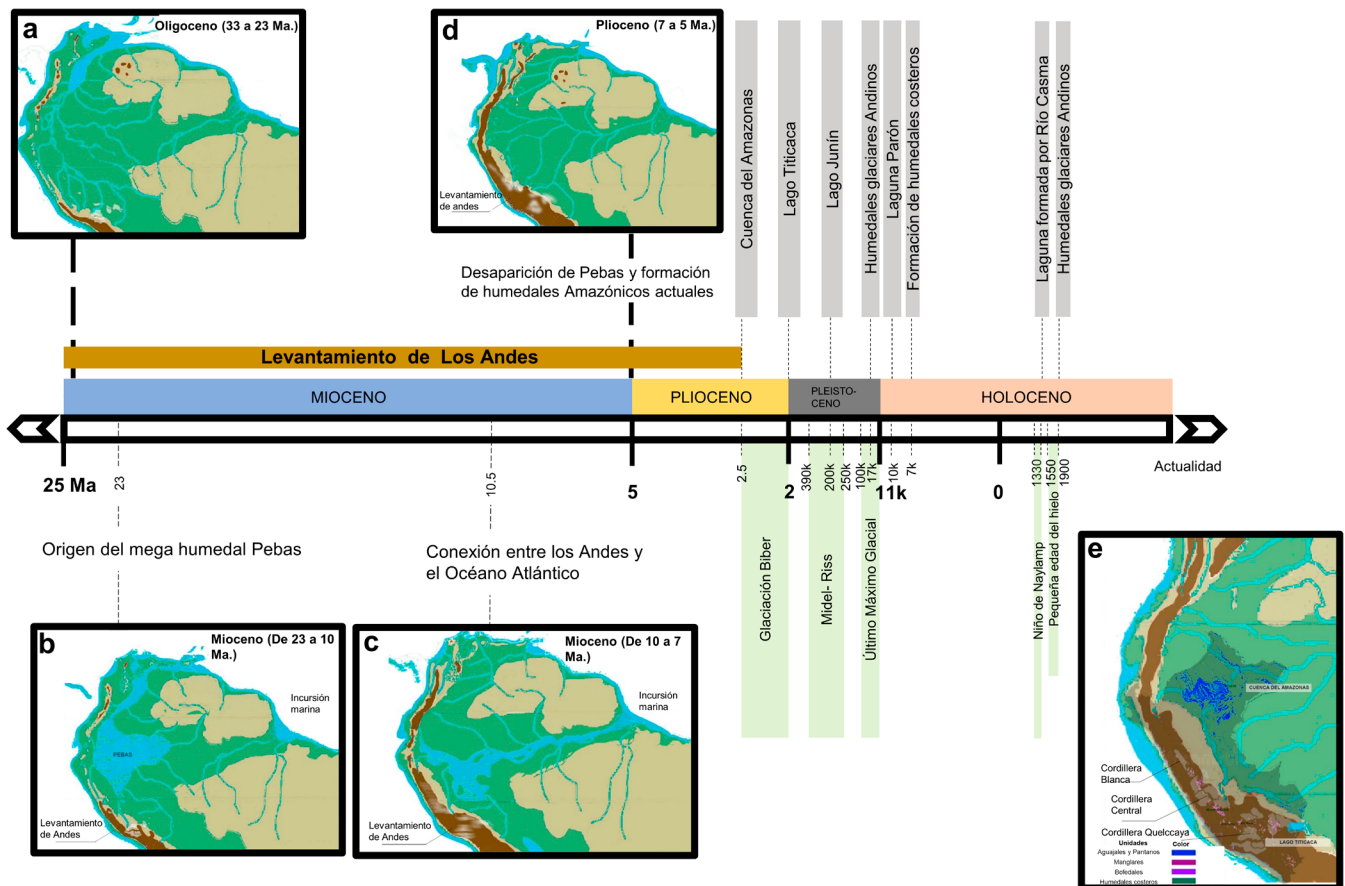
La mayoría de los humedales andinos actuales del Perú tiene un origen glacial (Buffen *et al.* 2009, Polk *et al.* 2017, Lizaga *et al.* 2019, Emmer *et al.* 2021, Klimeš *et al.* 2021). Procesos detallados han sido publicados para el lago Pachuca (Hillyer *et al.* 2009), el lago Consuelo (Bush *et al.* 2004), la laguna Parón (Emmer *et al.* 2015), el lago Casercocha (Goodman *et al.* 2001); y otros 4557 lagos glaciares

ubicados en la cordillera norte, centro y sur que cubren un área total de 328,85 km² (Wood *et al.* 2021) (Fig. 1e).

Algunos lagos, como la laguna Chochos, pertenecientes a la región Junín (Urrego *et al.* 2010), se formaron a partir de una deglaciación relativamente temprana entre los 22 000 y 17 000 años antes del presente (A.P.), a finales del Último Máximo Glaciar, en el Pleistoceno (Baker *et al.* 2001, Seltzer *et al.* 2002, Paduano *et al.* 2003; Rodbell *et al.* 2008). Esta deglaciación, y la consecuente formación de humedales, es atribuida al calentamiento de la tropósfera, el cual fue impulsado por anomalías positivas de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical como resultado del desplazamiento hacia el sur de la Zona de Convergencia Intertropical (Tapia *et al.* 2003, Bromley *et al.* 2016). Algunos humedales como la laguna Parón (Ancash) se formaron hace 10 000 años A.P. por un calentamiento en el Holoceno temprano (10 000-8500 años A.P.) (Emmer *et al.* 2015), mientras otros, como el lago Safuna Alta (Ancash) se formaron por un calentamiento global posterior a la Pequeña Edad del Hielo (1500-1900 d.C.) (Klimeš *et al.* 2021), una de las fluctuaciones climáticas más importantes del Holoceno que incluyó cambios geográficos y climáticos abruptos (Hillyer *et al.* 2009, Rabatel *et al.* 2013, Burns y Nolin 2014, Muñoz *et al.* 2021). Actualmente, en los Andes tenemos lagos supraglaciares (que se originan en la superficie glacial), proglaciales (los que se mantienen en contacto con el glaciar) y aquellos que se separaron completamente del glaciar (Emmer *et al.* 2021), estos últimos a la vez pueden ser incrustados o represados (formando morrenas) (Wood *et al.* 2021).

Los lagos, tras su formación, contribuyen en el flujo de la mayoría de los arroyos (Gordon *et al.* 2015), como el caso del río Mantaro, donde se especula que el agua de deshielo glacial del macizo de Huaytapallana pudo haber llenado el valle del Mantaro y formado un lago, que luego se drenó, el río Cunas se conectó con el río Mantaro y ambos ríos comenzaron a incidir simultáneamente, hace 4418 ± 500 años A.P. (Viveen *et al.* 2019).

Considerando el aumento de temperatura en los últimos años; en un futuro próximo (antes del 2050) podría alcanzarse un punto de inflexión de mayor pérdida de volumen de glaciares y crecimiento de volumen de lagos (Drenkhan *et al.* 2018). Una vez que los glaciares se derritan por completo, la descarga anual será menor que la actual, pudiendo poner fin a muchos de estos lagos glaciares, a través de



un efecto en cascada (Baraer *et al.* 2012). Sin embargo, se sabe que la mayoría de los lagos glaciares cuyas cuencas de captación ya estaban completamente descongeladas en 1948 han persistido sin ninguna contracción superficial hasta la fecha (Emmer *et al.* 2016).

Otro factor implicado en la formación de humedales andinos, son las precipitaciones (Llauca *et al.* 2021). En los andes, hay periodos más lluviosos durante verano (en promedio 57 % de la suma anual) mientras que los inviernos son muy secos (3 % de la suma anual) (Imfeld *et al.* 2021); estos cambios, generan la formación de bofedales estacionalmente inundados (Servat *et al.* 2018).

Por otro lado, algunos humedales de los andes se originan a partir de aguas subterráneas (Bosnian *et al.* 1993, Cooper *et al.* 2010), un ejemplo de esto, es la parte superior del río Marañón, que, en la estación seca, se abastece de agua subterránea que es recargada por las lluvias de la estación húmeda (Hill *et al.* 2018).

Además, la formación de algunos de estos humedales se da tras la interacción de varios eventos climáticos, como el caso de un bofedal ubicado en la cabecera de cuenca del río Cachi en Ayacucho, cuya historia paleoambiental es interpretada a través de las concentraciones de carbono, donde se evidencian cambios en los últimos 25 000 años A.P. (Holoceno

tardío), periodo seco durante el cual hubo una reducción del nivel freático que provocó la disminución de carbono durante la Anomalía Climática Medieval (1040 - 1300 d.C.); posteriormente, durante la Pequeña Edad de Hielo (1600 - 1890 d.C.) su acumulación de carbono anual presentó alta variabilidad y, recientemente, presenta altas tasas de acumulación de carbono producto del incremento de la tasa sedimentación relacionado posiblemente al retroceso de los glaciares en los Andes centrales (Huaman *et al.* 2020).

En esta región existen también lagos de origen tectónico, los cuales se originaron tras la formación de los Andes durante la era Cenozoica, durante el Oligoceno (hace 33 millones de años A.P.), luego de una subducción masiva y levantamiento transpresional de cuencas preexistentes a lo largo de sus dominios tectónicos, como la placa de Nazca debajo del oeste de América del Sur, durante el mayor levantamiento de los Andes (entre 9 Ma a 4 Ma) (Perez y Levine 2020) (Fig. 1a), generándose grandes depresiones que luego dieron origen a lagos. Este es el caso del lago Titicaca (dos millones de años; condición actual 2200 y 1500 años - Holoceno) y probablemente también el lago Junín (250 mil años), los cuales tienen un origen anterior a la última transición glacial-interglacial (15 000-10 000 años A.P.) (Paduano *et al.* 2003, Fritz *et al.* 2012); empero, han estado sometido a procesos glaciares (Wirmann y Mourguiart 1995).

En la actualidad, los procesos de urbanización son los principales impulsores de cambio en estos ecosistemas (Archundia *et al.* 2016), se considera que los cambios en el uso del suelo (para la ganadería y agricultura) y de su cobertura, generan alteración hidrológica en los humedales andinos originando su estado actual (Harden 2006, Ochoa-Tocachi *et al.* 2016). Por ejemplo, se sabe que pequeñas lagunas temporales de Puno, se redujeron en un 83,39 % tras el incremento de áreas de cultivo en las zonas aledañas que generó desecación del suelo (Loza-Del-Carpio y Taype-Huamán 2021). Estos ecosistemas se ven también afectados por la actividad minera que afectan la calidad del agua; tal es el caso del Quilcay afluente del Río Santa donde se han identificado metales pesados (Fortner *et al.* 2011) y el Río Negro (Ancash) (Grande *et al.* 2019), así como por la construcción de represas en las cabeceras andinas, que se afectan múltiples procesos naturales y culturales aguas abajo que dependen de las conexiones entre los Andes y la Amazonía (Farah-Pérez *et al.* 2020). Por otro lado, tras el retroceso de los glaciares producto del

cambio climático provocado por el hombre, se ha generado que turberas altoandinas presenten mayor tasa de sedimentación, una disminución de las concentraciones y una posible disminución futura de estos ecosistemas (Huaman *et al.* 2020).

Hay esfuerzos por comprender la historia de los humedales andinos, sin embargo, la mayoría de los estudios son tipo de descriptivos y locales; próximas investigaciones deberán abordar datos hidrometeorológicos y climatológicos como precipitaciones medias anuales, inundaciones, nevadas, ciclones, anomalías térmicas, nubosidad y los eventos de El Niño y La Niña, que permitan evaluar su impacto en la formación de estos ecosistemas.

b) Humedales amazónicos

Diversos estudios muestran que la evolución de las condiciones actuales de los humedales amazónicos se dividen en tres fases a) fase fluvio-lacustre (~24 Ma a 16 Ma), b) fase del mega-sistema de humedales de Pebas (~16 Ma a 10,5 Ma) y c) fase de humedal dominado por mareas fluviales (<10,5 Ma a 7 Ma) (Hoorn *et al.* 2009).

Explicar el desarrollo del mega-sistema de Humedales de Pebas, resulta fundamental por representar un hito en los humedales amazónicos. Este inició en el Neógeno - Mioceño temprano (hace 23 Ma) (Fig. 1b) y estuvo conformado por una serie de lagos y humedales que sufrieron influencia fluvial y marina (Hoorn *et al.* 2010); este periodo coincide con el inicio de una etapa de carga tectónica, que conduce localmente a un hundimiento por flexión producto de la erosión del basamento cristalino (parte de la corteza continental) que provoca un ascenso isostático que alivia la carga y genera erosión del sedimento, originando un hundimiento en las cuencas (Roddaz *et al.* 2010, Caputo y Soares 2016). Tal asentamiento hacia abajo probablemente obligó al cambio de ambientes de depósito de agua dulce a salobre/influenciados por el mar durante el Eoceno tardío (Antoine *et al.* 2021).

Posteriormente, justo antes del establecimiento del drenaje transcontinental del río Amazonas (hace 13 Ma), este ecosistema alcanzó su máximo tamaño (más de 1 millón de km²) y una complejidad extrema con múltiples ambientes, como lagos, ensenadas, pantanos y ríos que desembocaban en el Caribe (Salas-Gismondi *et al.* 2015, Sciumbata *et al.* 2021). Actualmente, se cuenta con diversas investigaciones que evidencian las incursiones marinas en esta región

(Gross *et al.* 2011, Boonstra *et al.* 2015, Salas-Gismondi *et al.* 2015, Jaramillo *et al.*, 2017, Sciumbata *et al.* 2021, Silva *et al.* 2021). A pesar de ello, aún hay divergencias respecto a la cronología y registros de dichas incursiones, por tratarse por un región con limitada accesibilidad, así como por las dificultades para encontrar relaciones entre lo hallado en diferentes áreas de estudio (Jaramillo *et al.* 2017).

La desaparición inicial de los ambientes lacustres de Pebas se dio hace 12 Ma y coincide con eventos de intenso levantamiento andino que diseccionaron la proto-Amazonia en las modernas cuencas de los ríos Magdalena, Orinoco y Amazonas (Salas-Gismondi *et al.* 2015). Conforme se daba el levantamiento de las montañas andinas, los ríos que fluían hacia el este iniciaron la conexión a través del Arco de Purus (elevación que dividía el Amazonas en una zona oriental y una occidental) con el sistema Pebas, creando el río Amazonas (Figueiredo *et al.* 2009). Hace 10,5 Ma se dio la conexión entre los Andes y el Océano Atlántico (Fig. 1c) (Figueiredo *et al.* 2010; van Soelen *et al.* 2017). Con esta conexión, el sistema Pebas evolucionó progresivamente hacia un sistema fluvio-estuarino durante el Mioceno tardío (Mora *et al.* 2010) (Fig. 1d) y se dio la formación del río Marañón (Wesselingh *et al.* 2006).

Posteriormente, la gran presión de flujo de agua continental de los humedales (pantanos, lagunas, llanuras aluviales y bosques), en dirección contraria a la intrusión marina, restringió el ingreso de aguas oceánicas durante el Mioceno Superior (post-pebas) (Hovikoski *et al.* 2007). Después de todos estos eventos, a fines del Plioceno (aproximadamente 2,5 Ma), se estableció el moderno sistema de drenaje del río Amazonas (Latrubesse *et al.* 2010). Este sistema se formó por la ruptura del borde oriental de la cuenca sedimentaria; el tiempo de formación del río Amazonas moderno es casi coincidente con el inicio del régimen climático glacial del Plio-Pleistoceno y el nivel del mar más bajo desde finales del Mioceno medio (Campbell *et al.* 2006) lo que dio origen a turberas y pantanos. En la Amazonía, se han identificado turberas minerotróficas, las cuales se originan a partir de arroyos y aguas subterráneas; y las ombrotóricas, originadas a partir de precipitaciones (Hergoualc'h *et al.* 2017); el régimen hídrico y nutricional han generado diferentes tipos de turberas como: turberas de bosques, aguajales (pantanos de palmeras) y turberas abiertas (formada por comunidades herbáceas con o sin palmeras) (Lähteenoja *et al.* 2009, Roucoux *et al.* 2013, Hergoualc'h *et al.* 2017). Estos ecosistemas son suscepti-

bles a diferentes eventos meteorológicos; por ejemplo, se tiene un estudio en la turbera San Jorge la cual tuvo una acumulación de agua lenta (o una posible pausa) entre 1300 y 400 años A.P. durante el Holoceno, que se relaciona a diferentes factores como las erosiones fluviales, erosiones provocadas por el Río Amazonas y un clima seco tras el cambio climático (Kelly *et al.* 2020). Esto último también se ha observado en el pantano de Quistococha, que hace 1000 años A.P. adquirió sus características de un aguajal debido a un clima seco (Roucoux *et al.* 2013).

Por lo mostrado en esta sección, es posible apreciar, que la historia de los humedales amazónicos se relaciona con la formación del mega-sistema de humedales Pebas, sistema que estuvo influenciado por intrusiones marinas durante el Eoceno tardío. Posteriormente, a fines del Plioceno, tras el levantamiento de los Andes, evolucionó hacia un sistema fluvial, dando origen a los humedales amazónicos actuales existentes; los cuales a la vez han resultado susceptibles a eventos más recientes, como precipitaciones, afloramiento de aguas subterráneas y sequías por el cambio climático. Sin embargo, debido a la gran área que representa el Amazonas, la evolución geodinámica y paleogeográfica de esta zona, consideramos que aún es necesario más evidencia a fin de comprender los detalles de los procesos históricos de los humedales en gran parte de esta región.

En los últimos años, estos ecosistemas han recibido impactos antrópicos como derrames de petróleo (Reátegui-Zirena *et al.* 2014, Yusta-García *et al.* 2017, Rosell-Melé *et al.* 2018, Codato *et al.* 2019, Fabiano *et al.* 2021), cambios de uso de suelo y deforestación, esta última se ha visto agudizada en los últimos años por actividades mineras (Swenson *et al.* 2011, Caballero *et al.* 2018, Hergoualc'h *et al.* 2017, Bhomia *et al.* 2019, Sánchez-Cuervo *et al.* 2020, Sax 2020), así como la construcción de represas hidroeléctricas (Finer y Jenkins 2012) e incendios (Grande *et al.* 2019, dos Reis *et al.* 2021) que han influenciado en su configuración actual.

c) Humedales costeros

Durante el Holoceno temprano (7000 - 6000 años A.P.) el mar alcanzó su nivel máximo (1 m más alto que el actual) y mantuvo ese nivel hasta los 500 años A.P. (Wells y Noller 1999). Esto conllevó a inundaciones de la zona costera por incursiones marinas; por ejemplo, el Río Casma hace 10 mil años A.P. tuvo una configuración de aguas abiertas con influencia persistente de intrusiones marinas; posterior-

mente, alrededor de ~4500 años A.P., tras una reducción del aumento del nivel del mar y el ingreso aluvial por eventos El Niño, se originaron lagunas y humedales costeros más estables, tomando sus condiciones actuales a partir de ~1700 a A.P. (Goodbred *et al.* 2020). El Río Casma dio origen a una laguna costera debido a un ENSO conocido como el Niño de Naymlap (1330 ±35 d.C.) (Wells 1990). Este mismo ENSO está relacionado con el origen de la laguna Urpi Kocha (Pachacamac, Lima) hace 1010 años A.P., esto sugiere que este evento afectó a toda la zona costera del Perú pudiendo haber determinado el origen de otros humedales costeros actuales (Wells 1990). Asimismo, en la laguna Urpi Kocha, se tiene registro de interacciones entre diferentes eventos como tsunamis, inundaciones del Río Lurín y eventos ENSO en un lapso de algo más de unos 2000 años, que tras su interacción, determinaron su configuración actual en la zona costera (Winsborough *et al.* 2012).

El origen de otros humedales costeros también se relaciona a afloramientos de aguas subterráneas de acuíferos; este es el caso de Los Pantanos de Villa que se asocia con el afloramiento de aguas de la cuenca del río Rímac (Pulido y Bermúdez 2018). El Humedal de Puerto Viejo se formó tras afloraciones hídricas del acuífero Mala (Aponte y Ramírez 2011). De manera peculiar, el humedal Santa Rosa, se origina de agua subterránea infiltrada en el suelo arenoso, esta agua proviene de actividades relacionadas al riego que se realizan del río Chancay (Ramírez *et al.* 2010).

Tras la formación de un nuevo humedal costero en la región La Libertad, Díaz *et al.* (2021), se plantean tres procesos que determinan el origen de los humedales en esta zona costera: a) la infiltración de aguas de terrenos agrícolas; b) agua de origen marino usada en el bombeo del material dragado en las inmediaciones del Puerto de Salaverry y c) como consecuencia de las mareas o intrusiones marinas hacia el acuífero. Este último proceso también ha determinado la configuración actual de humedales como la Albufera de Medio Mundo (Aponte y Ramírez 2011).

La población humana ha jugado un rol fundamental en la configuración actual de los humedales costeros; tras el crecimiento demográfico, en algunos casos, sin infraestructura sanitaria ni de alcantarillado, así como el incremento de desarrollo de actividades en zonas aledañas, se han generado diversos impactos conocidos como impulsores de cambio en los humedales de la región costera del Pacífico (Rojas *et al.* 2019, Rojas *et al.* 2021). El incremento de la

actividad agropecuaria y ganadera ha generado cambios en el uso de suelo y ha aumentado la demanda de agua de riego, provocando una disminución en las áreas de los humedales e incremento de agua de escorrentía, como es el caso de los humedales de Puerto Viejo, Pantanos de Villa, humedales de Ventanilla, humedal Santa Rosa, laguna El Paraíso, albufera de Medio Mundo y humedal Eten (Aponte *et al.* 2020, Rojas *et al.* 2021). Asimismo, se identificó impulsores como el incremento de basura, incendios, construcción de infraestructuras que han cambiado el flujo de agua y uso de canales para lavandería (Rojas *et al.* 2021). Todos estos procesos humanos recientes, terminan de darle las características actuales a los humedales de la región costera peruana.

En resumen, podemos indicar que el origen de los humedales costeros peruanos se relaciona a incursiones marinas, eventos meteorológicos como el ENSO (Winsborough *et al.* 2012), procesos antrópicos relacionados a procesos de urbanización, escorrentías agrícolas, canalización de cuerpos de agua, así como a infiltración de aguas subterráneas (Aponte *et al.* 2015, Aponte y Cano 2013, Aponte 2017, Rojas *et al.* 2021). Como es posible apreciar, a pesar de encontrar información sobre algunos humedales, es importante direccionar esfuerzos para la comprensión de la historia de los ecosistemas de esta región. Sabemos de esfuerzos recientes de la comunidad científica peruana por comprender la historia de estos ecosistemas y relacionarlos con otras temáticas de interés como el secuestro de carbono (por ejemplo, Pérez *et al.* 2022); esfuerzos que debe ser fortalecidos sabiendo que los estudios sedimentológicos son uno de los menos desarrollados en la región (Rivera *et al.* 2021).

CONCLUSIONES

Luego de revisar un total de 144 artículos sobre la historia de los humedales actuales del Perú ha sido posible sintetizar la historia conocida hasta el momento sobre estos ecosistemas. Los humedales andinos, en primera instancia, se originaron debido a procesos tectónicos producto de la colisión de la Dorsal de Nazca (hace 16 Ma); sin embargo, sus condiciones actuales se deben al mayor levantamiento de los Andes (entre 9 y 4 Ma) y a eventos como desglaciaciones producto de periodos cálidos después del Último Máximo Glacial, así como de calentamientos durante el Holoceno; asimismo, su origen está relacionado al afloramiento de aguas subterráneas, precipitaciones y a la inte-

racción de diferentes eventos meteorológicos. En cuanto a los humedales amazónicos, su origen se explica a través de la formación del mega humedal Pebas, sistema influenciado por intrusiones marinas; sin embargo, no fue hasta hace 2,5 millones de años que adquirió su configuración actual, tras el predominio de ingreso de aguas continentales, estableciéndose el moderno sistema de drenaje del río Amazonas, dando a la vez origen a los aguajales y pantanos. La formación de humedales de la costa está ligada a cuatro procesos: incursiones marinas, eventos meteorológicos como el ENSO, actividades antrópicas relacionados a escorrentías y por filtración de aguas subterráneas. Asimismo, podemos afirmar que los humedales peruanos han ido adquiriendo su estado actual tras influencia humana, considerando que somos parte de su historia y ellos parte de la nuestra.

PARTICIPACIÓN DE LOS AUTORES

ACA: Concepción, diseño, recolección de información y redacción del documento. **HA:** Concepción, diseño, recolección de información y revisión del documento.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Científica del Sur por la provisión del espacio y tiempo para la realización de esta investigación.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores no declaran conflictos de interés.

LITERATURA CITADA

Antoine PO, Yans J, Castillo AA, Stutz N, Abello MA, Adnet S, Custódio MA, Benites-Palomino A, Billet G, Boivin M, Herrera F, Jaramillo C, Martínez C, Moreno F, Navarrete RE, Negri FR, Parra F, Pujos F, Rage JC, Ribeiro AM, Robinet C, Roddaz M, Tejada-Lara JV, Varas-Malca R, Ventura-Santos R, Salas-Gismondini R, Marivaux L. 2021. Biotic community and landscape changes around the Eocene–Oligocene transition at Shapaja, Peruvian Amazonia: Regional or global drivers? *Glob. Planet. Change.* 202:103512. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103512>

Aponte H. 2017. Humedales de la Costa central del Perú: Un diagnóstico de los humedales de Santa Rosa, laguna El Paraíso y Albufera de Medio Mundo. Lima: CooperAcción. Los humedales: ¿Qué son y por qué son importantes?; p. 26.

Aponte H, Cano A 2013. Estudio florístico comparativo de seis humedales de la costa de lima (Perú): Actualización y nuevos retos para su conservación. *Rev. Latinoam. Conservacion.* 3(2): 15 - 27. doi: <https://smia.munlima.gob.pe/uploads/documento/e4c385746680108d.pdf>

Aponte H, Gonzales S, Gomez A. 2020. Impulsores de cambio en los humedales de América Latina: El caso de los humedales costeros de Lima. *South Sustainability.* 1(2):23-24. doi: <https://doi.org/10.21142/SS-0102-2020-023>

Aponte H, Ramírez W, Lértora G, Vargas R, Fernando G, Carazas N, Liviac R. 2015. Incendios en los Humedales de la Costa Central del Perú: Una amenaza frecuente. *Científica.* 12(1):8-7. doi: <https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/cientifica/article/view/166>

Aponte H, Ramírez DW. 2011. Humedales de la costa central del Perú: Estructura y amenazas de sus comunidades vegetales. *Ecol. Apl.* 10(1-2):31. doi: <https://doi.org/10.21704/rea.v10i1-2.411>

Archundia D, Duwig C, Spadini L, Uzu G, Guédron S, Morel MC, Cortez R, Ramos O, Chincheros J, Martins J. 2016. How Uncontrolled Urban Expansion Increases the Contamination of the Titicaca Lake Basin (El Alto, La Paz, Bolivia). *Wat. Air and Soil Poll.* 228(1):3-17. doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-016-3217-0>

Baker PA, Seltzer GO, Fritz SC, Dunbar RB, Grove MJ, Tapia PM, Cross SL, Rowe HD, Broda JP. 2001. The history of South American tropical precipitation for the past 25,000 years. *Science.* 291(5504): 640-643. doi: <https://doi.org/10.1126/science.291.5504.640>

Baraer M, Mark BG, Mckenzie JM, Condom T, Bury J, Huh KI, Portocarrero C, Gómez J, Rathay S. 2012. Glacier recession and water resources in Peru's Cordillera Blanca. *J. Glaciol.* 58(207): 134-150. doi: <https://doi.org/10.3189/2012JoG11J186>

Bernal R, Bacon CD, Balslev H, Hoorn C, Bourlat SJ, Tuomisto H, Salamanca S, van Manen MT, Romero I, Sepulchre P, Antonelli A. 2019. Could coastal plants in western Amazonia be relicts of past marine incursions? *J. Biogeogr.* 46: 1749-1759. doi: <https://doi.org/10.1111/jbi.13560>

Bhomia RK, van Lent J, Rios JM, Hergoualc'h K, Coronado EN, Murdiyarsa D. 2019. Impacts of *Mauritia flexuosa* degradation on the carbon stocks of freshwater peatlands in the Pastaza-Marañón river basin of the Peruvian Amazon. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change.* 24(4):645-668. doi: <https://doi.org/10.1007/s11027-018-9809-9>

Boonstra M, Ramos MIF, Lammertsma EI, Antoine PO, Hoorn C. 2015. Marine connections of Amazonia: Evidence from foraminifera and dinoflagellate cysts (early to middle Miocene, Colombia/Peru). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*(4)17:176-194. doi: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.10.032>

- Bosnian AF, van der Molen PC, Young R, Cleef AM. 1993. Ecology of a paramo cushion mire. *J. Veg. Sci.* 4(5):633-640. doi: <https://doi.org/10.2307/3236128>
- Bromley GRM, Schaefer JM, Hall BL, Rademaker KM, Putnam AE, Todd CE, Hegland M, Winckler G, Jackson MS, Strand PD. 2016. A cosmogenic Be chronology for the local last glacial maximum and termination in the Cordillera Oriental, southern Peruvian Andes: Implications for the tropical role in global climate. *Quat. Sci. Rev.* 148(15):54-67. doi: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.07.010>
- Buffen AM, Thompson LG, Mosley-Thompson E, Huh KI. 2009. Recently exposed vegetation reveals Holocene changes in the extent of the Quelccaya Ice Cap, Peru. *Quat. Res.* 72(2):157-163. doi: <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2009.02.007>
- Burns P, Nolin A. 2014. Using atmospherically-corrected Landsat imagery to measure glacier area change in the Cordillera Blanca, Peru from 1987 to 2010. *Remote Sens. Environ.* 140:165-178. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.026>
- Bush MB, Silman MR, Urrego DH. 2004. 48,000 Years of Climate and Forest Change in a Biodiversity Hot Spot. *Science*: 303(5659): 827-829. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1090795>
- Caballero J, Messinger M, Román-Dañobeytia F, Ascorra C, Fernandez LE, Silman M. 2018. Deforestation and Forest Degradation Due to Gold Mining in the Peruvian Amazon: A 34-Year Perspective. *Remote Sens.* 10(12):1-17. doi: <https://doi.org/10.3390/rs10121903>
- Campbell KE, Frailey CD, Romero-Pittman L. 2006. The Pan-Amazonian Ucayali Peneplain, late Neogene sedimentation in Amazonia, and the birth of the modern Amazon River system. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 239(1-2):166-219. doi: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.01.020>
- Caputo MV, Soares EA. 2016. Eustatic and tectonic change effects in the reversion of the transcontinental Amazon River drainage system. *Brazilian J. Geol.* 46(2):301-328. doi: <https://doi.org/10.1590/2317-4889201620160066>
- Codato D, Pappalardo SE, Diantini A, Ferrarese F, Gianoli F, De Marchi M. 2019. Oil production, biodiversity conservation and indigenous territories: Towards geographical criteria for unburnable carbon areas in the Amazon rainforest. *Appl. Geogr.* 102:28-38. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.12.001>
- Cooper DJ, Wolf EC, Colson C, Vering W, Granda A, Meyer M. 2010. Alpine peatlands of the andes, Cajamarca, Perú. *Arct. Antarct. Alp. Res.* 42(1):19-33. doi: <https://doi.org/10.1657/1938-4246-42.1.19>
- Díaz A, Séanz-Zuñiga L, Zutta B. 2021. Formación de un humedal en la costa norte del Perú: estabilidad biofísica y diversidad biológica. *Rev. Peru. Biol.* 28(3):62-70. doi: <https://dx.doi.org/10.15381/rpb.v.28i3.21132>
- dos Reis M, Graça PM, Yanai AM, Ramos CJ, Fearnside PM. 2021. Forest fires and deforestation in the central Amazon: Effects of landscape and climate on spatial and temporal dynamics. *J. Environ. Manage.* 28(288). doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112310>
- Drenkhan F, Guardamino L, Huggel C, Frey H. 2018. Current and future glacier and lake assessment in the deglaciating Vilcanota-Urubamba basin, Peruvian Andes. *Glob. and Planet. Change.* 169:105-118. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.07.005>
- Emmer A, Klimeš J, Mergili M, Vilímek V, Cochachin A. 2016. 882 lakes of the Cordillera Blanca: An inventory, classification, evolution and assessment of susceptibility to outburst floods. *Catena.* 147:269-279. doi: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.032>
- Emmer A, Le Roy M, Sattar A, Veetil BK, Alcalá-Reygosa J, Campos N, Malecki J, Cochachin A. 2021. Glacier retreat and associated processes since the Last Glacial Maximum in the Lejiama-yu valley, Peruvian Andes. *J. S. Am. Earth Sci.* 109. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103254>
- Emmer A, Loarte EC, Klimeš J, Vilímek V. 2015. Recent evolution and degradation of the bent Jatunraju glacier (Cordillera Blanca, Peru). *Geomorphology.* 228:345-355. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.09.018>
- Fabiano E, Schulz C, Martín M. 2021. Wetland spirits and indigenous knowledge: Implications for the conservation of wetlands in the Peruvian Amazon. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 3. doi: <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2021.100107>
- Farah-Pérez A, Umaña-Villalobos G, Picado-Barboza J, Anderson EP. 2020. An analysis of river fragmentation by dams and river dewatering in Costa Rica. *River. Res. Appl.* 36(8):1442-1448. doi: <https://doi.org/10.1002/rra.3678>
- Figueiredo J, Hoorn C, van der Ven P, Soares E. 2009. Late Miocene onset of the Amazon River and the Amazon deep-sea fan: Evidence from the Foz do Amazonas Basin. *Geology.* 37(7):619-622. doi: <https://doi.org/10.1130/G25567A.1>
- Figueiredo J, Hoorn C, van der Ven P, Soares E. 2010. Late Miocene onset of the Amazon River and the Amazon deep-sea fan: Evidence from the Foz do Amazonas Basin: Reply. *Geology.* 38(7):e213. doi: <https://doi.org/10.1130/G31057Y.1>
- Finer M, Jenkins CN. 2012. Proliferation of Hydroelectric Dams in the Andean Amazon and Implications for Andes-Amazon Connectivity. *PLoS ONE.* 7(4):e35126. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035126>
- Fortner SK, Mark BG, McKenzie JM, Bury J, Trierweiler A, Baraer M, Burns PJ, Munk L. 2011. Elevated stream trace and minor element concentrations in the foreland of receding tropical glaciers. *J. Appl. Geochem.* 26(11):1792-1801. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.06.003>
- Fritz SC, Baker PA, Tapia P, Spanbauer T, Westover K. 2012. Evolution of the Lake Titicaca basin and its diatom flora over the last ~370,000 years. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 317-318:93-103. doi: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.12.013>
- Goodbred SL, Dillehay TD, Galvéz C, Sawakuchi AO. 2020. Transformation of maritime desert to an agricultural center: Holocene environmental change and landscape engineering in Chicama River valley, northern Peru coast. *Quat. Sci. Rev.* 2(27):106-146. doi: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.106046>

- Goodman AY, Rodbell DT, Seltzer GO, Mark BG. 2001. Subdivision of glacial deposits in southeastern Peru based on pedogenic development and radiometric ages. *Quat. Rest.* 56(1): 31-50. doi: <https://doi.org/10.1006/qres.2001.2221>
- Gordon RP, Lautz LK, McKenzie JM, Mark BG, Chavez D, Baraer M. 2015. Sources and pathways of stream generation in tropical proglacial valleys of the Cordillera Blanca, Peru. *J. Hydrol.* 522: 628-644. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.013>
- Grabowski RC, Surian N, Gurnell AM. 2014. Characterizing geomorphological change to support sustainable river restoration and management. *WIREs Water.* 1(5):483-512. doi: <https://doi.org/10.1002/wat2.1037>
- Grande JA, Loayza-Muro R, Alonso-Chaves FM, Fortes JC, Willems B, Sarmiento AM, Santisteban M, Dávila JM, de la Torre ML, Durães N, Diaz-Curiel J, Luís AT. 2019. The Negro River (Ancash-Peru): A unique case of water pollution, three environmental scenarios and an unresolved issue. *Sci. Total Environ.* 648:398-407. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.068>
- Gross M, Piller WE, Ramos MI, Douglas J. 2011. Late Miocene sedimentary environments in south-western Amazonia (Solimões Formation; Brazil). *J. S. Am. Earth Sci.* 32(2):169-181. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.05.004>
- Harden CP. 2006. Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes. *Geomorphology.* 79(3-4):249-263. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.021>
- Hergoualc'h K, Gutiérrez-Vélez VH, Menton M, Verchot LV. 2017. Characterizing degradation of palm swamp peatlands from space and on the ground: An exploratory study in the Peruvian Amazon. *For. Ecol. Manag.* 393:63-73. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.03.016>
- Hill AF, Stallard RF, Rittger K. 2018. Clarifying regional hydrologic controls of the Marañón River, Peru through rapid assessment to inform system-wide basin planning approaches. *Elementa.* 6:37. doi: <https://doi.org/10.1525/elementa.290>
- Hillyer R, Valencia BG, Bush MB, Silman MR, Steinitz-Kannan M. 2009. A 24,700-yr paleolimnological history from the Peruvian Andes. *Quat. Res.* 71(1):71-82. doi: <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2008.06.006>
- Hoorn C, Wesselingh FP, Hovikoski J, Guerrero J. 2009. The Development of the Amazonian Mega-Wetland (Miocene; Brazil, Colombia, Peru, Bolivia). En Hoorn C, Wesselingh FP, editores. *Amazonia: Landscape and Species Evolution*. Chichester, UK: Blackwell Publishing Ltd. p. 123-142. doi: <https://doi.org/10.1002/9781444306408.ch8>
- Hoorn C, Wesselingh FP, Ter-Steege H, Bermudez MA, Mora A, Sevink J, Sanmartín I, Sanchez-Meseguer A, Anderson CL, Figueiredo JP, Jaramillo C, Riff D, Negri FR, Hooghiemstra H, Lundberg J, Stadler T, Särkinen T, Antonelli A. 2010. Amazonia through time: Andean uplift, climate change landscape evolution, and biodiversity. *Science.* 330(6006):927-931. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1194585>
- Hovikoski J, Gingras M, Räsänen M, Rebata LA, Guerrero J, Ranzi A, Melo J, Romero L, del Prado HN, Jaimes F, Lopez S. 2007. The nature of Miocene Amazonian epicontinental embayment: High-frequency shifts of the low-gradient coastline. *Geol. Soc. Am. Bull.* 119 (11-12):1506-1520. doi: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2007\)119\[1506:TNOMAE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2007)119[1506:TNOMAE]2.0.CO;2)
- Huaman Y, Moreira-Turcq P, Espinoza R, Llanos R, Apaéstegui J, Turcq B, Willems B, Willems B. 2020. Influencia de los cambios climáticos en la acumulación de carbono en bofedales altoandinos durante los últimos 2500 años. *Ecología Aplicada.* 19(1):35-41. doi: <https://doi.org/10.21704/rea.v19i1.1444>
- Imfeld N, Sedlmeier K, Gubler S, Correa K, Davila CP, Huerta A, Lavado-Casimiro W, Rohrer M, Scherrer SC, Schwierz C. 2021. A combined view on precipitation and temperature climatology and trends in the southern Andes of Peru. *Int. J. Climatol.* 41(1):679-698. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.6645>
- Jaramillo C, Romero I D, Apolito C, Bayona G, Duarte E, Louwye S, Escobar J, Luque J, Carrillo-Briceño JD, Zapata V, Mora A, Schouten S, Zavada M, Harrington G, Ortiz J, Wesselingh FP. 2017. Miocene flooding events of western Amazonia. *Sci. Adv.* 3(5): e1601693. doi: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601693>
- Junk WJ, Piedade MTF, Lourival R, Wittmann F, Kandus P, Lacerda LD, Bozelli RL, Esteves FA, Nunes C, Maltchik J, Schöngart J, Schaeffer-Novelli Y, Agostinho AA. 2013. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic. Conserv.: Mar. Freshw. Ecosyst.* 24(1):5-22. doi: <https://doi.org/10.1002/aqc.2386>
- Kelly TJ, Lawson IT, Roucoux KH, Baker TR, Honorio EN. 2020. Patterns and drivers of development in a west Amazonian peatland during the late Holocene. *Quat. Sci. Rev.* 230: 106168. doi: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106168>
- Klímeš J, Novotný J, Rapre AC, Balek J, Zahradníček P, Strozzi T, Sana H, Frey H, René M, Štěpánek P, Meitner J, Junghardt J. 2021. Paraglacial Rock Slope Stability Under Changing Environmental Conditions, Safuna Lakes, Cordillera Blanca Peru. *Front. Earth Sci.* 9:2296-6463 doi: <https://doi.org/10.3389/feart.2021.607277>
- Lähteenoja O., Ruokolainen K., Schulman L, Alvarez J. 2009. Amazonian floodplains harbour minerotrophic and ombrotrophic peatlands. *Catena.* 79(2):140-145. doi: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.06.006>
- Latrubesse EM, Cozzuol M., da Silva-Caminha SAF, Rigsby CA, Absy ML, Jaramillo C. 2010. The Late Miocene paleogeography of the Amazon Basin and the evolution of the Amazon River system. *Earth-Sci. Rev.* 99(3-4):99-124. doi: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.005>
- Lizaga I, Gaspar L, Quijano L, Dercon G, Navas A. 2019. NDVI, ¹³⁷Cs and nutrients for tracking soil and vegetation development on glacial landforms in the Lake Parón Catchment (Cordillera Blanca, Perú). *Sci. Total Environ.* 651:250-260. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.075>

- Llauca H, Lavado-Casimiro W, León K, Jimenez J, Traverso K, Rau P. 2021. Assessing Near Real-Time Satellite Precipitation Products for Flood Simulations at Sub-Daily Scales in a Sparsely Gauged Watershed in Peruvian Andes. *Remote Sens.* 13(4):826. doi: <https://doi.org/10.3390/rs13040826>
- Loza-Del-Carpio A, Taype-Huamán I. 2021. Análisis multitemporal de asociaciones vegetales y cambios de uso del suelo en una localidad altoandina, Puno-Perú. *Uniciencia.* 35(2):1-19. doi: <https://doi.org/10.15359/ru.35-2-3>
- Marivaux L, Aguirre-Diaz W, Benites-Palomino A, Billet G, Boivin M, Pujos F, Salas-Gismondi R, Tejada-Lara JV, Varas-Malca RM, Antoine PO. 2020. New record of *Neosaimiri* (Cebidae, Platyrrhini) from the late Middle Miocene of Peruvian Amazonia. *J. Hum. Evol.* 146: 102835. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2020.102835>
- MINAM. 2010. Mapa de humedales del Perú. Sistema Nacional de Información Ambiental.
- Mora A, Baby P, Roddaz M, Parra M, Brusset S, Hermoza W, Espurt N. 2010. Tectonic History of the Andes and Sub-Andean Zones: Implications for the Development of the Amazon Drainage Basin. In Hoorn C, Wesselingh FP, editores. *Amazonia, Landscape and Species Evolution: A Look into the Past*. Chichester, UK: Blackwell Publishing Ltd. p. 123-142. doi: <https://doi.org/10.1002/9781444306408.ch4>
- Muñoz R, Huggel C, Drenkhan F, Vis M, Viviroli D. 2021. Comparing model complexity for glacio-hydrological simulation in the data-scarce Peruvian Andes. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 37.. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100932>
- Ochoa-Tocachi BF, Buytaert W, De Bièvre B, Céleri R, Crespo P, Villacís M, Llerena CA, Acosta L, Villazón M, Gualpá M, Gil-Ríos J, Fuentes P, Olaya D, Viñas P, Rojas G, Arias S. 2016. Impacts of land use on the hydrological response of tropical Andean catchments. *Hydrol. Process.* 30(22):4074-4089. doi: <https://doi.org/10.1002/hyp.10980>
- Paduano GM, Bush MB, Baker PA, Fritz SC, Seltzer GO 2003. A vegetation and fire history of Lake Titicaca since the last glacial maximum. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 194(1-3): 259-279. doi: [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00281-5](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00281-5)
- Perez ND, Levine KG. 2020. Diagnosing an ancient shallow-angle subduction event from Cenozoic depositional and deformational records in the central Andes of southern Peru. *Earth Planet. Sci. Lett.* 541. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116263>
- Pérez A, Escobedo R, Castro R, Jesus R, Cardich J, Romero PE, Salas-Gismondi R, Ochoa D, Aponte H, Sanders CJ, Carré M. 2022. Carbon and nutrient burial within Peruvian coastal marsh driven by anthropogenic activities. *Mar. Pollut. Bull.* 181:113948. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113948>
- Polk MH, Young KR, Baraer M, Mark BG, McKenzie JM, Bury J, Carey M. 2017. Exploring hydrologic connections between tropical mountain wetlands and glacier recession in Peru's Cordillera Blanca. *Appl. Geogr.* 78:94-103. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.11.004>
- Pulido VM, Bermúdez L. 2018. Estado actual de la conservación de los hábitats de los Pantanos de Villa, Lima, Perú. *Arnaldoa.* 25(2):679-702. doi: <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.252.25219>
- Rabatel A, Francou B, Soruco A, Gomez J, Cáceres B, Ceballos JL, Basantes R, Vuille M, Sicart JE, Huggel C, Scheel M, Lejeune Y, Arnaud Y, Collet M, Condom T, Consoli G, Favier V, Jomelli V, Galarraga R, Ginot P, Maisincho L, Mendoza J, Ménégos M, Ramirez E, Ribstein E, Suarez W, Villacis M, Wagnon P. 2013. Current state of glaciers in the tropical Andes: A multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *The Cryosphere.* 7(1):81-102. doi: <https://doi.org/10.5194/tc-7-81-2013>
- Ramirez DW, Aponte H, Cano A. 2010. Flora vascular y vegetación del humedal de Santa Rosa (Chancay, Lima). *Rev. Peru. Biol.* 17(1):105-110. doi: <https://doi.org/10.15381/rpb.v17i1.57>
- RAMSAR 2016. Manual de la Convención de RAMSAR quinta edición, 2016. Introducción a la Convención sobre Humedales. [Último acceso: 06 de noviembre de 2023].
- Reátegui-Zirena EG, Stewart PM, Whatley A, Chu-Koo F, Sotero-Solis VE, Merino-Zegarra C, Vela-Paima E. 2014. Polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations, mutagenicity, and Microtox® acute toxicity testing of Peruvian crude oil and oil-contaminated water and sediment. *Environ. Monit. Assess.* 186(4):2171-2184. doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3527-2>
- Rivera G, Gonzales S, Aponte H. 2021. Wetlands of the South American Pacific Coast: A Bibliometric Analysis. *Wetl. Ecol. Manag.* 30(4):869-877. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11273-021-09830-8>
- Rodbell DT, Seltzer GO, Mark BG, Smith JA, Abbott MB. 2008. Clastic sediment flux to tropical Andean lakes: Records of glaciation and soil erosion. *Quat. Sci. Rev.* 27(15-16):1612-1626. doi: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.06.004>
- Roddaz M, Hermoza W, Mora A, Baby P, Parra M, Christophoul F, Brusset S, Espurt N. 2010. Cenozoic Sedimentary Evolution of the Amazonian Foreland Basin System. In Hoorn, Wesselingh FP, editores. *Amazonia, Landscape and Species Evolution: A Look into the Past*. Chichester, UK: Blackwell Publishing Ltd. p. 61-88. doi: <https://doi.org/10.1002/9781444306408.ch5>
- Rojas C, Munizaga J, Rojas O, Martínez C, Pino J. 2019. Urban development versus wetland loss in a coastal Latin American city: Lessons for sustainable land use planning. *Land Use Policy.* 80:47-56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.09.036>
- Rojas TV, Bartl K, Abad JD. 2021. Assessment of the potential responses of ecosystem services to anthropogenic threats in the Eten wetland, Peru. *Ecosyst. Health Sustain.* 7(1). doi: <https://doi.org/10.1080/20964129.2021.1942224>
- Rosell-Melé A, Moraleda-Cibrián N, Cartró-Sabaté M, Colomer-Ventura F, Mayor P, Orta-Martínez MO. 2018. Oil pollution in soils and sediments from the Northern Peruvian Amazon. *Sci. Total Environ.* 610-611:1010-1019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.208>

- Roucoux KH, Lawson IT, Jones TD, Baker TR, Coronado EN, Gosling WD, Lähenteenoja O. 2013. Vegetation development in an Amazonian peatland. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 374: 242-255. doi: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2013.01.023>
- Salas-Gismondi R, Flynn JJ, Baby P, Tejada-Lara JV, Wesselingh FP, Antoine PO. 2015. A miocene hyperdiverse crocodylian community reveals peculiar trophic dynamics in proto-Amazonian mega-wetlands. *Proc. Biol. Sci.* 282(1804): 20142490. doi: <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.2490>
- Sánchez-Cuervo AM, de Lima L, Dallmeier F, Garate P, Bravo A, Vanthomme H. 2020. Twenty years of land cover change in the southeastern Peruvian Amazon: Implications for biodiversity conservation. *Reg. Environ. Change.* 20(1):8. doi: <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01603-y>
- Sax S. 2020. Invisible territory: Mapping land-use change and power in the Peruvian Amazon. *J. Land Use Sci.* 15(2-3):290-305. Scopus. doi: <https://doi.org/10.1080/1747423X.2019.1682697>
- Sciumbata M, Weedon JT, Bogota-Angel G, Hoorn C. 2021. Linking modern-day relicts to a Miocene mangrove community of western Amazonia. *Paleobiodivers. Paleoenviron.* 101(1):123-140. doi: <https://doi.org/10.1007/s12549-020-00470-z>
- Seltzer GO, Rodbell DT, Baker PA, Fritz SC, Tapia PM, Rowe HD, Dunbar RB. 2002. Early warming of tropical South America at the last glacial-interglacial transition. *Science.* 296(5573):1685-1686. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1070136>
- Servat GP, Alcocer R, Larico MV, Olarte ME, Linares-Palomino R, Alonso A, Ledesma K. 2018. The Effects of Area and Habitat Heterogeneity on Bird Richness and Composition in High Elevation Wetlands (“Bofedales”) of the Central Andes of Peru. *Wetlands.* 38(6):1133-1145. doi: <https://doi.org/10.1007/s13157-017-0919-z>
- Silva AMM, Asp NE, Gomes VJC, Braga AA, Gomes JD, Fricke AT, Souza-Filho PWM, Souza TP, Almeida PD, Ogston AS, Nittrouer CA. 2021. Recent sedimentation in an Amazon tidal tributary: Integrated analysis of morphology and sedimentology. *J South Am Earth Sci.* 107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103134>
- Swenson JJ, Carter CE, Domec JC, Delgado CI. 2011. Gold Mining in the Peruvian Amazon: Global Prices, Deforestation, and Mercury Imports. *PLoS ONE.* 6(4):88-75. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018875>
- Tapia PM, Fritz SC, Baker PA, Seltzer GO, Dunbar RB. 2003. A Late Quaternary diatom record of tropical climatic history from Lake Titicaca (Peru and Bolivia). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 194(1-3):139-164. doi: [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00275-X](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00275-X)
- Urrego DH, Bush MB, Silman MR. 2010. A long history of cloud and forest migration from Lake Consuelo, Peru. *Quat. Res.* 73(2):364-373. doi: <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2009.10.005>
- van Soelen EE, Kim JH, Santos RV, Dantas EL, Vasconcelos de Almeida F, Pires JP, Roddaz M., Sinninghe JS. 2017. A 30 Ma history of the Amazon River inferred from terrigenous sediments and organic matter on the Ceará Rise. *Earth Planet. Sci. Lett.* 474:40-48. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.06.025>
- Viveen W, Baby P, Sanjurjo-Sanchez J, Hurtado-Enríquez C. 2020. Fluvial terraces as quantitative markers of late Quaternary detachment folding and creeping thrust faulting in the Peruvian Huallaga basin. *Geomorphology.* 367: 107315. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107315>
- Viveen W, Zevallos-Valdivia L, Sanjurjo-Sanchez J. 2019. The influence of centennial-scale variations in the South American summer monsoon and base-level fall on Holocene fluvial systems in the Peruvian Andes. *Glob. Planet. Change.* 17(6):1-22. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.03.001>
- Wells LE. 1990. Holocene history of the El Niño phenomenon as recorded in flood sediments of northern coastal Peru. *Geology.* 18(11):1134-1137. doi: [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1990\)018<1134:HHOTEN>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1990)018<1134:HHOTEN>2.3.CO;2)
- Wells LE, Noller JS. 1999. Holocene Coevolution of the Physical Landscape and Human Settlement in Northern Coastal Peru. *Geoarchaeology. Int. J.* 14(8):755-789. doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6548\(199912\)14:8<755::AID-GEA5>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6548(199912)14:8<755::AID-GEA5>3.0.CO;2-7)
- Wesselingh FP, Guerrero J, Räsänen M, Romero L, Vonhof H. 2006. Landscape evolution and depositional processes in the Miocene Amazonian Pebas lake/wetland system: Evidence from exploratory boreholes in northeastern Peru. *Scr. Geol.* 13(3): 323-361.
- Williams DF, Kuzmin M I, Prokopenko AA, Karabanov EB, Khursevich GK, Bezrukova EV. 2001. The Lake Baikal drilling project in the context of a global lake drilling initiative. *Quat. Int.* 80-81:3-18. doi: [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(01\)00015-5](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(01)00015-5)
- Winsborough BM, Shimada I, Newsom LA, Jones JG, Segura RA. 2012. Paleoenvironmental catastrophes on the Peruvian coast revealed in lagoon sediment cores from Pachacamac. *J. Archaeol. Sci.* 39(3):602-614. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.10.018>
- Wirrmann D, Mourguiart P. 1995. Late Quaternary Spatio-temporal Limnological Variations in the Altiplano of Bolivia and Peru. *Quat. Res.* 43(3):344-354. doi: <https://doi.org/10.1006/qres.1995.1040>
- Wood JL, Harrison S, Wilson R, Emmer A, Yarleque C, Glasser NF, Torres JC, Caballero A, Araujo J, Bennett GL, Diaz-Moreno A, Garay D, Jara H, Poma C, Reynolds JM, Riveros CA, Romero E, Shannon S, Tinoco T, Turpo E, Villafane H. 2021. Contemporary glacial lakes in the Peruvian Andes. *Glob. and Planetary Change.* 20(4):103-574. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103574>
- Yusta-García R, Orta-Martínez M, Mayor P, González-Crespo C, Rosell-Melé A. 2017. Water contamination from oil extraction activities in Northern Peruvian Amazonian rivers. *Environ. Pollut.* 22(5):370-380. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.02.063>