

LAS EVIDENCIAS DEL FENÓMENO EL NIÑO EN EL PASADO Y LOS TIPOS DE ENSO, DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS EN EL PAÍS

James Apaéstegui^{1,2}

¹ Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima, Perú

² Programa de Recursos Hídricos, Universidad Nacional Agraria La Molina



James Apaéstegui es doctor en Geociencias con enfoque en Geoquímica Ambiental aplicada a la Paleoclimatología y Paleohidrología. Actualmente es investigador científico en el IGP donde trabaja con el uso de trazadores isotópicos para estudios hidrológicos y reconstrucciones paleoambientales con base en indicadores geoquímicos e isotópicos de espeleotemas.

Palabras clave: Paleoenso, Reconstrucciones paleoambientales, fenómeno El Niño, *proxys* ambientales

Citar como Apaéstegui, J. (2023). Las evidencias del fenómeno El Niño en el pasado y los tipos de ENSO, desafíos y oportunidades para la gestión de riesgos en el país. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 10 n.º 03, págs. 4-10.

Resumen

Diversos tipos de registros han puesto en evidencia cambios en el ambiente pasado que han sido atribuidos a la ocurrencia del fenómeno El Niño: desde los registros arqueológicos y las crónicas, hasta la exploración de los registros biológicos y geoquímicos (*proxys*). Todas estas informaciones han contribuido en la construcción de la historia paleoambiental que conocemos sobre la ocurrencia del fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENSO, por sus siglas en inglés). No obstante, los avances en el estudio del fenómeno reconocen una importante diversidad del ENSO que recientemente empieza a ser abordada desde la perspectiva del paleoclima. En tal sentido, el presente trabajo busca comentar sobre estos avances, visitar las interpretaciones de algunos *proxys* que resultan controversiales como indicadores del fenómeno El Niño, pero que fueron ampliamente utilizados. Finalmente, el

trabajo pretende comentar sobre las nuevas evidencias desde la arqueología que nos proponen la ocurrencia del evento como una oportunidad más que como un riesgo, siempre y cuando se pueda sostener con base en evidencia científica y el manejo responsable de nuestro medio ambiente.

1. Introducción

El fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENSO por sus siglas en inglés) representa la mayor reorganización del sistema océano-atmósfera global, lo cual trae consigo diferentes impactos en el sistema terrestre. Se han realizado diversos esfuerzos por parte de la comunidad científica para comprender la naturaleza del fenómeno con base en observaciones de las condiciones ambientales que lo caracterizan. No obstante, la información es escasa cuando percibimos

que las mediciones instrumentales solo abarcan aproximadamente un siglo y no permiten caracterizar la recurrencia ni la magnitud del fenómeno en la actualidad, así como tampoco sus impactos.

En nuestro país, la ocurrencia de la fase positiva de ENSO, la cual hemos denominado como el fenómeno El Niño (FEN), se ha asociado tradicionalmente a las lluvias intensas en la región costera del norte del país. Estas lluvias anómalas propician el incremento del caudal de los ríos, lo que a su vez genera severos impactos económicos y sociales a nivel nacional (pérdidas humanas, sembríos, infraestructura, entre otros). Los efectos secundarios consideran cambios en el sistema natural con aspectos positivos asociados a las migraciones en los peces, la recarga de acuíferos y el aumento de los volúmenes de agua en los reservorios del norte del país; de manera opuesta, impactos negativos asociados a la mortalidad de moluscos y, también, la propagación de enfermedades generalizadas -como el dengue- u otras relacionadas con la calidad de los recursos hídricos. Todos estos cambios consideran, directa o indirectamente, la alteración del paisaje que percibimos.

Todas estas manifestaciones han permitido documentar la ocurrencia del FEN en el Perú a partir de diferentes registros que incluyen las crónicas recopiladas desde la época colonial, los registros arqueológicos y en *proxys* o trazadores paleoambientales que nos dan indicios de las condiciones extremas que pueden ser impresas en la naturaleza.

Durante los últimos años, se ha avanzado bastante en la comprensión del fenómeno, en su caracterización y entendimiento de su diversidad o tipos, además de los distintos impactos que puede tener. En este sentido, la interpretación de algunos de los registros de eventos en el pasado se vuelven debatibles y merecen ser explorados de manera más crítica. No obstante, quizás lo más relevante es que aún no se ha avanzado mucho en la incorporación de esta información para la gestión del riesgo de nuestro territorio.

En tal sentido, este trabajo tiene como intención presentar algunos de los registros más relevantes en la percepción del FEN para el Perú en el pasado reciente (últimos 1600 años) haciendo un vínculo entre ellos, y contrastando lo aprendido con los nuevos tipos de

ENSO. De este modo, se comentan las interpretaciones de algunos *proxys* que se han usado para construir nuestra historia y que ahora se demuestra que no necesariamente están asociados a la ocurrencia del FEN.

Finalmente, se presenta una nueva perspectiva recientemente publicada que demuestra cómo las sociedades pasadas concebían al evento como una oportunidad en vez de una catástrofe, y cómo se podría llegar a esta visión a través de la paleohidrología como herramienta para gestionar nuestro territorio y los impactos del fenómeno.

2. Las evidencias del ENSO en el Perú y las nuevas interpretaciones de los *proxys*

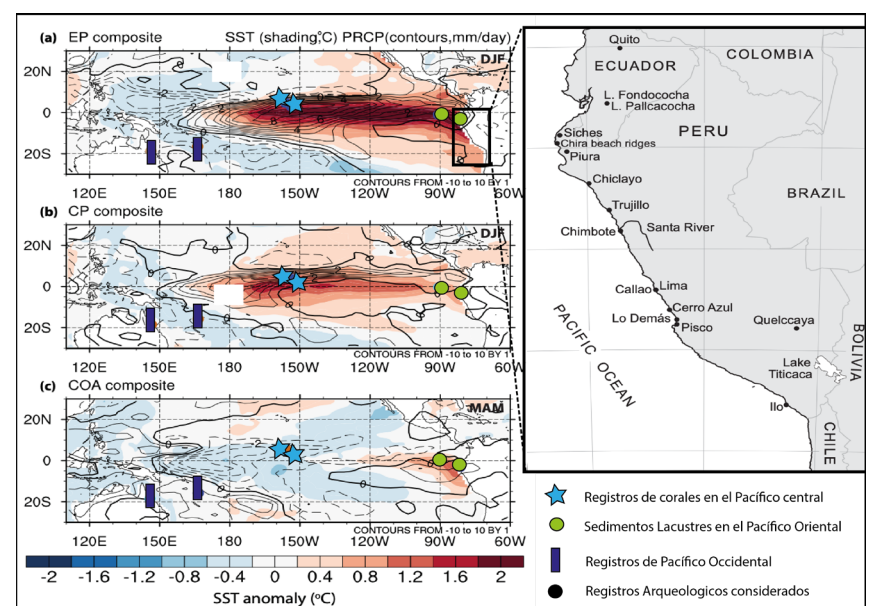


Figura 1. Panel izquierdo: diversidad de los ENSO y localización de los principales registros paleoclimáticos (*proxys*) explorados en las regiones costeras y remotas como indicadores de cambios en las condiciones ambientales relacionadas a la ocurrencia del fenómeno El Niño (Adaptado de Karamperidou et al., 2022). Panel derecho: localización de los registros arqueológicos y crónicas desarrolladas en la costa peruana (Adaptado de Sandweiss et al., 2020).

Si bien el término ENSO es comúnmente utilizado para el fenómeno a escala global con las condiciones observadas en el Pacífico tropical, el término “El Niño”, históricamente, se ha referido a las manifestaciones regionales del fenómeno en el este del océano Pacífico y la costa sudamericana (p. ej., Macharé & Ortlieb, 1993). Bajo este postulado, y

considerando las diversas crónicas desde la conquista española, se han hecho varios esfuerzos por recopilar indicios de la ocurrencia de estas manifestaciones del fenómeno, principalmente provenientes de regiones costeras entre el norte de Perú y Chile (Quinn et al., 1987; Macharé & Ortlieb, 1993; Hocquenghem & Ortlieb, 1992; Ortlieb, 2000). Varias de estas reconstrucciones solo consideran eventos intensos de precipitación, pero la cronología de García-Herrera et al. (2008) (Figura 1) considera también los cambios en la dinámica de la pesca, lo cual integra la perspectiva océano-atmosférica del fenómeno.

En algunos casos, las crónicas son ricas en detalles, como por ejemplo las encuestas del evento catastrófico en Lima y en el norte peruano durante el Niño de 1578 (Alcocer, 2001). O el caso anecdótico del Niño de 1971, del cual hay numerosos registros de diarios de la época que documentan las lluvias intensas en el norte peruano, con edificios enterrados y pérdida de sembríos, mientras que en Lima el calor asociado a la ocurrencia del fenómeno se pone en evidencia por el incremento en el precio del hielo debido a su alta demanda durante la temporada.

Para entender la ocurrencia del fenómeno en periodos previos a las crónicas se han planteado evidencias desde la arqueología, bajo hallazgos de colapsos de estructuras por inundaciones o depósitos sedimentares en asentamientos pasados susceptibles a datación geocronológica (p. ej., Uceda et al., 2021). En muchas oportunidades se infiere que el FEN habría propiciado la migración de poblaciones hacia regiones andinas o transiciones culturales en la región de la costa. Quizás una de las hipótesis más impresionantes se relaciona con los sacrificios humanos masivos (~1450 a. D.) que, en algunos casos, pudieron involucrar menores de edad, con el fin de aplacar las manifestaciones climáticas como las lluvias e inundaciones desarrolladas durante la ocurrencia del FEN (Prieto et al., 2019).

Finalmente, las evidencias científicas que provienen de las informaciones geoquímicas o *proxys* ambientales (de registros biológicos como geológicos) han sido ampliamente comentadas en el trabajo de Sandweiss et al. (2020). Es interesante entender que, si bien hay información de *proxys* en regiones remotas que podemos asociar a la ocurrencia del FEN, pocos registros (*proxys*) están orientados a comprender los

cambios climáticos locales con impactos de interés relevante para la gestión del riesgo en nuestro país. La Figura 1 muestra la distribución de las reconstrucciones paleoclimáticas realizadas para el periodo de interés. Con relación a los cambios en las temperaturas del mar en las regiones costeras se han generado datos con base en el análisis de moluscos bivalvos (Carré et al., 2013; 2014). Los aportes terrígenos de los sedimentos marinos frente a Lima (Rein et al., 2004; 2005) indican cambios en los regímenes pluviométricos; no obstante, su interpretación es debatible dada su lejanía con el centro de acción de las lluvias intensas durante la ocurrencia del FEN.

La geología del Perú es diversa y no ha permitido el desarrollo de reconstrucciones paleoclimáticas asociadas a la lluvia. En tal sentido, durante muchos años se ha usado de manera indirecta la señal isotópica del glaciar Quelccaya, la cual, inicialmente, fue interpretada como representativa de las precipitaciones en relación con la ocurrencia del FEN (Thompson et al., 1986) y, posteriormente, como indicador de variaciones de la temperatura superficial del mar en la región Niño 3.4 del océano Pacífico tropical (Thompson et al., 2013). No obstante, en la actualidad, un enorme cuerpo de evidencias determinan que la señal isotópica contenida en las capas glaciares se encuentra más asociada a la señal del sistema del Monzón sudamericano, cuya variabilidad tiene una componente independiente a la del FEN.

Otro caso interesante es el registro de la laguna Pallcacocha en Ecuador, el cual también fue interpretado como un *proxy* de lluvias relacionado a la ocurrencia del FEN dada su proximidad a nuestro territorio. No obstante, recientemente se ha puesto en debate la significancia de este registro. Si bien algunos autores defienden esta interpretación (p. ej., Moy et al., 2002; Hagemans et al., 2021), otro grupo postula que las lluvias en esta región no estarían exclusivamente asociadas a la ocurrencia del ENSO, sino también estarían influenciadas por la señal de las lluvias ocurridas en el lado oriental con relación al Monzón sudamericano (p. ej., Schneider et al., 2018).

Una interesante oportunidad, que aún ha sido poco explorada, se encuentra en los registros de anillos de árboles. Rodríguez et al. (2005) analizaron los

registros de las especies comúnmente conocidas como palo santo y algarrobo y mostraron la relación entre el espesor de los anillos con los registros de lluvias en Casma (región Áncash). Sin embargo, esta reconstrucción solo se extiende hasta inicios del siglo XX y aún no se han explorado otros indicadores geoquímicos como sería el isótopo de oxígeno en la celulosa de los árboles para afinar la interpretación.

Sin duda alguna, un *proxy* de lluvias en la costa norte del país es algo crucial para ensamblar evidencias, aspecto que viene siendo trabajado desde el IGP con financiamiento de PROCENCIA (n.º 124-2020-FONDECYT) a través del proyecto “PaleoEnSo y eventos climáticos extremos pasados: Generación de evidencias para la gestión del riesgo de desastre en el norte peruano”, en el cual se evalúan registros de espeleotemas colectados en el flanco occidental de la cordillera para la región norte del país.

Si bien las manifestaciones más relevantes del FEN se presentan en el norte peruano, existe un importante número de evidencias de eventos extremos en el sur. La interpretación de estos eventos en específico ha generado diversos debates. No obstante, una reciente revisión de reconstrucciones e interpretaciones del fenómeno en el pasado, asociada a modificaciones en el paisaje, ha sido desarrollada por Delle Rose (2022), quien reporta al menos 17 eventos con consecuencias severas en la modificación del paisaje. Para la costa norte se atribuyen 10 eventos, mientras que 7 son registrados para la región sur del país (Figura 2). Ante esta evidencia, llama la atención la sincronía de algunos eventos ocurridos en el norte que también son documentados en el sur. Algunos autores han apilado el término “Mega Niño” a estos eventos, pero, con base en la evidencia actual, podríamos sugerir la posibilidad de ocurrencia de un tipo específico de ENSO en el pasado, conocido como Niño Costero, y que describimos en el siguiente acápite de este artículo. Coincidentemente, los registros arqueológicos de los eventos en los años 600 a. D., 1100 a. D. y 1300 a. D. muestran sincronía en su ocurrencia tanto en el norte como en el sur, y han sido asociados a cambios sociales importantes, por ejemplo, la inundación Naylamp o el evento Miraflores en el sur, lo que nos lleva a pensar en una estrategia para entender eventos que tengan una representación nacional y no solo a nivel local en este clima cambiante (Figura 2).

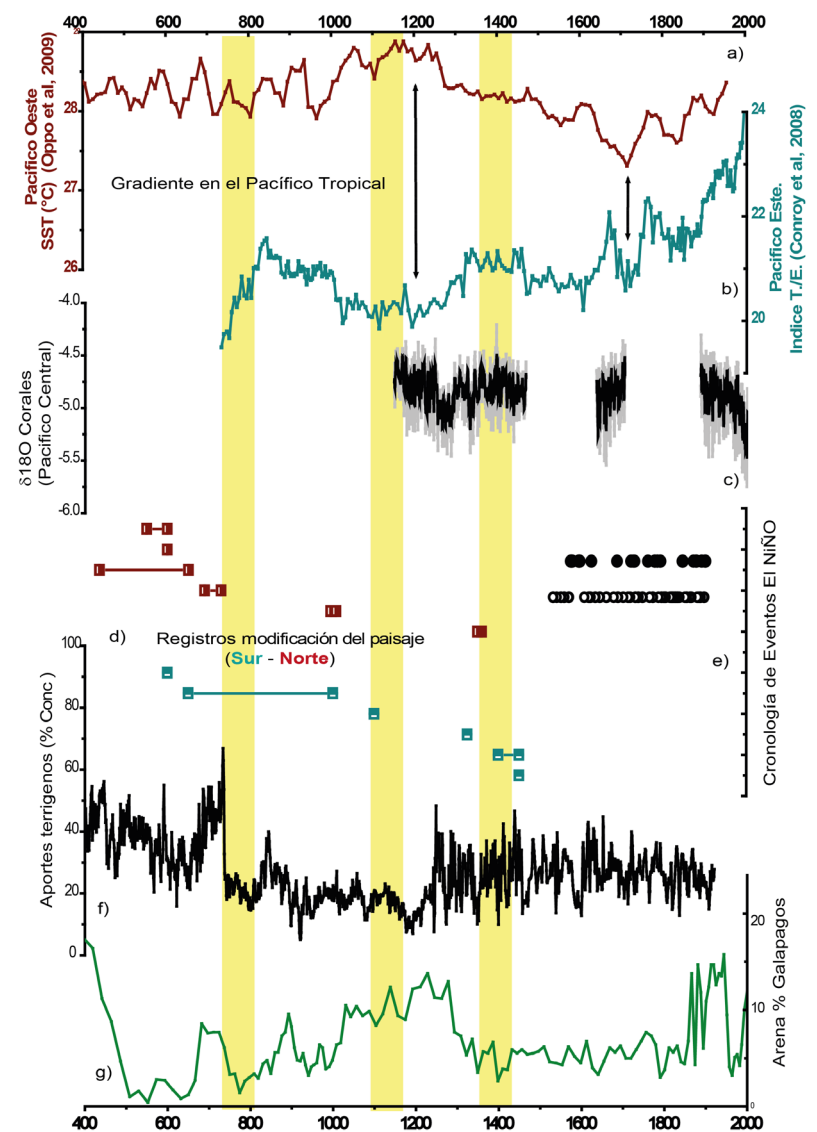


Figura 2. a) Reconstrucción de las temperaturas en (a) Indo-Pacífico (Oppo et al., 2009) y (b) este del Pacífico ecuatorial (Índice T/E; Conroy et al., 2009). En la Figura (c) se muestran las reconstrucciones de temperatura con base en corales para la región central del Pacífico tropical (Cobb et al., 2008). Los puntos de la Figura (d y e) representan los eventos El Niño que han representado cambios en el paisaje en el sur (verde) y en el norte (rojo), según Delle Rose (2022), y los registros obtenidos a partir de informaciones históricas (García-Herrera et al., 2008); puntos blancos representan los eventos de intensidad débil, moderada y fuerte, mientras que los puntos oscuros representan los eventos de mayor magnitud. (f) Reconstrucción de los aportes terrígenos en los sedimentos marinos (Rein et al., 2005). (g) Registros de sedimentos de arenas en la laguna el Junco, Ecuador, que evidencian precipitaciones asociadas a eventos El Niño (Conroy et al., 2009).

3. La diversidad de ENSO frente a la perspectiva del paleoclima

Como se ha mencionado, las evidencias del fenómeno El Niño en el pasado son diversas y, en muchos casos, indirectas. El primer criterio infiere la ocurrencia de los eventos con base en evidencias locales, como se ha comentado en la sección anterior, pero otro criterio que se asume para entender la ocurrencia del fenómeno El Niño se basa en caracterizar a los periodos largos de tiempo mediante el gradiente

de temperatura promedio a lo largo de la banda ecuatorial del Pacífico (T°C oeste-este), calculado con base en reconstrucciones paleoclimáticas, lo cual define situaciones casi permanentes “tipo El Niño” o “tipo La Niña”, según el gradiente sea disminuido o intensificado, respectivamente (Figura 2).

La percepción de estados medios tipo El Niño o La Niña en la actualidad es insuficiente cuando se contrasta con la percepción del fenómeno que considera, además de la ocurrencia del ENSO de tipo extraordinario, al menos 4 sabores o tipos de ENSO: el tipo EP (por las siglas en inglés *Eastern Pacific*), referido también al que comúnmente se llamaba El Niño canónico, presenta un calentamiento de las temperaturas oceánicas que se propaga desde el Pacífico este hacia la región central. Otro tipo considerado se refiere a El Niño en el Pacífico central (CP; *Central Pacific*), también conocido como El Niño Modoki, el cual presenta un calentamiento más limitado a la región central del Pacífico tropical. Finalmente, se reconoce un nuevo tipo de ENSO denominado como El Niño costero (CO), el cual hace referencia a un calentamiento anómalo de la temperatura superficial del mar en las regiones próximas a las costas sudamericanas, con especial influencia en la región norperuana, pero con condiciones neutrales o frías en el resto del Pacífico ecuatorial. A todos estos eventos se suma también la posibilidad de ocurrencia del evento La Niña (LN), el cual considera el enfriamiento de las temperaturas en la región central y oriental del Pacífico tropical.

A grandes rasgos, la costa peruana muestra una mayor sensibilidad a las condiciones de eventos EP y CO, mientras que la ocurrencia del tipo CP no desarrolla impactos significativos en la precipitación de la zona costera. La Niña, por otro lado, parece forzar más los regímenes pluviométricos en la región alto andina y amazónica. Esta nueva visión sugiere la necesidad de integrar los registros de diferente naturaleza que permitan desenredar los tipos de ENSO que pueden haber ocurrido en el pasado y caracterizar también su frecuencia, impactos y magnitudes (Karamperidou et al., 2015; 2022). Este, sin duda, es el desafío de la comunidad paleoclimática y, su integración en el conocimiento actual para la gestión de riesgos, es una pieza clave en el uso del conocimiento para el bienestar de los ciudadanos.

4. Lecciones y oportunidades en la búsqueda de la gestión del riesgo —

Wells (1993) evaluó la recurrencia de las inundaciones en terrazas de sedimentación en Casma para los últimos 3500 años, donde se evidencian eventos de gran magnitud con una frecuencia de cada 1000 años. Años más tarde, McGilligan y Godstein (2001) evaluaron la inundación observada durante El Niño 1997-1998 en el río Moquegua, al sur del Perú, usando sensoramiento remoto, modelos hidráulicos, estudios de campo y análisis estratigráficos, llegando a estimar la magnitud y frecuencia de esta inundación (450 m³/s, con un intervalo de recurrencia estimado entre 50 y 100 años). A su vez, se estimaron otras inundaciones para el Holoceno tardío en el cauce principal y en algunos tributarios.

Los registros de paleoinundaciones proveen una perspectiva extendida crucial para comprender las modificaciones de los cauces con relación a la frecuencia y severidad de los eventos extremos y, a su vez, establecer vínculos entre estos eventos y la variabilidad climática. Hasta ahora poco se ha desarrollado para incorporar este tipo de información en los análisis de las magnitudes y frecuencias de ocurrencia de estos eventos. Uno de los mayores obstáculos para la incorporación de estos datos ha sido la falta de procedimientos estadísticos para alimentar la base de datos de paleoinundaciones y generar un análisis cuantitativo de frecuencias de inundaciones. Los caudales estimados, como en los artículos mencionados previamente, así como en otros, pueden ser combinados con informaciones de mediciones actuales validadas estadísticamente, lo cual genera una nueva base de datos que se constituye como información de gran valor para el planeamiento de proyectos hidrológicos u otros (p. ej., Benito & Thorndycraft, 2005).

Por otro lado, recientemente, un trabajo desarrollado en Pampa de Mocan, en el norte peruano, ha demostrado que existían sistemas prehispánicos de irrigación diseñados para incorporar los eventos de inundación y convertirlos en aguas productivas (Caramanica et al., 2020). Estas evidencias ponen en debate si la perspectiva de tener eventos FEN más frecuentes se adopten como un peligro o desorden temporal que lleva a desastres naturales o se asocie a

la perspectiva de un periodo de abundancia. Quizás sea importante cambiar las perspectivas y entender a ENSO como parte de las normas socioeconómicas para poder encontrar oportunidades en el cambio y reducir el riesgo para los ciudadanos, pero eso requiere información y ciencia que lo respalde y nos empuje a la adaptación en este clima cambiante.

Referencias

- Alcocer, F. (2001). Probanzas de indios y españoles referentes a las catastróficas lluvias de 1578, en los corregimientos de Trujillo y Saña. In *Diluvios Andinos a Través de las Fuentes Documentales*, comp. L. Huertas. Fondo Ed. Pontif. Univ. Catól. Perú. Lima. pp. 71–279.
- Benit, G. & Thorndycraft, V. R. (2005). Paleoflood hydrology and its role in applied hydrological sciences. *Journal of Hydrology* 313 (2005) 3 - 15. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.02.002
- Carré, M., Sachs, J. P., Schauer, A. J., Elliott, W. & Cardenas, F. (2013). Reconstructing El Niño-Southern Oscillation activity and ocean temperature seasonality from short-lived marine mollusk shells from Peru. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 371, 45–53. doi:10.1016/j.palaeo.2012.12
- Carré, M., Sachs, J. P., Purca, S., Schauer, A. J., Braconnot, P., Falcón, R. A., Julien, M. & Lavallée, D. (2014). Holocene history of ENSO variance and asymmetry in the eastern tropical Pacific. *Science*, 345(6200), 1045–1048. doi: 10.1126/science.1252220
- Conroy, J. L., Overpeck, J. T., Cole, J. E., Shanahan, T. M. & Steinitz-Kannan, M. (2008). Holocene changes in eastern tropical Pacific climate inferred from a Galápagos Lake sediment record. *Quaternary Science Reviews*, 27 (11-12), 1166–1180. doi:10.1016/j.quascirev.2008
- García-Herrera, R., Díaz, H. F., García, R. R., Prieto, M. R., Barriopedro, D., Moyano, R. & Hernández, E. (2008). A Chronology of El Niño Events from Primary Documentary Sources in Northern Peru. *Journal of Climate*, 21, 9, 1948 – 1962. doi: 10.1175/2007JCLI1830.1
- George, S. S., Hefner, A. M. & Avila, J. (2020). Paleofloods stage a comeback. *Nature Geoscience*, 13, 766 - 768 . doi:10.1038/s41561-020-00664-2
- Hagemans, K., Urrego, D. H., Gosling, W. D., Rodbell, D. T., Wagner-cremer, F. & Donders, T. H. (2022). Intensification of ENSO frequency drives forest disturbance in the andes during the holocene. *Quaternary Science Reviews*, 294, 107762. doi:10.1016/j.quascirev.2022.107762
- Hocquenghem, A-M. & Ortlieb, L. (1992). Eventos El Niño y lluvias anormales en la costa del Perú: Siglos XVI-XIX. *Bulletin de l'Institut français d'Etudes Andines*, 21(1), 197-278.
- Karamperidou, C., Di Nezio, P. N., Timmermann, A., Jin, F.-F. & Cobb, K. M. (2015), The response of ENSO flavors to mid-Holocene climate: Implications for proxy interpretation. *Paleoceanography*, 30, 527–547. <https://doi.org/10.1002/2014PA002742>
- Karamperidou, C. & Di Nezio, P.N. (2022). Holocene hydroclimatic variability in the tropical Pacific explained by changing ENSO diversity. *Nature Communications*, 13, 7244, <https://doi.org/10.1038/s41467-022-34880-8>
- Magilligan, F. J., Colledge, D. & Hampshire, N. (2001). El Niño floods and culture change: A late Holocene flood history for the Rio Moquegua, southern Peru. *Geology*, 5, 431–434.
- Machare, J. & Ortlieb, L. (1993). Registros del fenómeno El Niño y de Eventos ENSO en América del Sur, *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines* (IFEA), 22(1), 412.
- 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, 162e165.
- Ortlieb, L. (2000). The documentary historical record of El Niño events in Peru: An update of the Quinn record (sixteenth through nineteenth centuries), in *El Niño and the Southern Oscillation: Variability, Global and Regional Impacts*, H. Diaz & V. Markgraf (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 207-295.
- Prieto, G., Verano, J.W., Goepfert, N., Kennett, D., Quilter, J., LeBlanc, S., Fehren-Schmitz, L., Forst, J., Lund, M., Dement, B., Dufour, E., Tombret, O. Calmon, M., Gadison, D. & Tschinkel, K. (2019). A mass sacrifice of children and camelids at the Huanchaquito-Las Llamas site, Moche Valley, Peru. *PLoS ONE* 14(3), e0211691. doi:10.1371/journal.pone.0211
- Quinn, W. H., Neal, V. T. & Antunez de Mayolo, S. E. (1987). El Niño Occurrences over the past four and half centuries. *Journal of Geophysical Research*, 92(C13), 14449–61.
- Rein, B., Lückge, A. & Sirocko, F. (2004). A major Holocene ENSO anomaly during the Medieval period. *Geophys. Res. Lett.*, 31(17), L17, 211. doi: 10. 1029/2004GL020161
- Rein, B., Lückge, A., Reinhardt, L., Sirocko, F., Wolf, A. & Dullo, W.-C (2005). El Niño variability off Peru during the last 20,000 years. *Paleoceanography*, 20(4). doi: 10.1029/2004PA001099
- Rodriguez, R., Mabres, A., Luckman, G., Evans, M., Masiokas, M. & Ektvedt, T.M. (2005). El Niño events recorded in dry-forests species of the lowlands of northwest Peru. *Dendrochronologia*, 22, 181-186.
- Sandweiss, D. H., Andrus, C. F. T., Kelley, A. R., Maasch, K. A. & Reitz, E. J. (2020). Archaeological climate proxies and the complexities of reconstructing Holocene El Niño in coastal Peru. *Proceeding of National Academy of Sciences*, 117(15), 8271–8279. doi:10.1073/pnas.1912242117

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>

Thompson, L., Moseley-Thompson, E., Bolzan, J. & Koci, B. (1986). A 1500 year record of tropical precipitation records in ice cores from the Quelccaya ice cap, Peru. *Science*, 229, 971–973.

Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E., Davis, M. E., Zagorodnov, V. S., Howat, I. M., Mikhalenko, V. N. & Lin, P.-N. (2013). Annually resolved ice core records of tropical climate variability over the past ~1800 years. *Science*, 340(6135), 945–950. doi: 10.1126/science.1234210

Uceda, S., Gayoso, H., Castillo, F. & Rengifo, C. (2021). Climate and Social Changes: Reviewing the Equation with Data from the Huacas de Moche Archaeological Complex, Peru. *Latin America Antiquity*, 32, 705–722.

Wells, L.E. (1992). Holocene landscape change on the Santa Delta, Peru: impact on archaeological site distribution. *Holocene*, 2, 193–204.