



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



IGP

Instituto
Geofísico
del Perú

BOLETÍN CIENTÍFICO EL NIÑO

Vol. 11 n.º 01 enero 2024

PROGRAMA PRESUPUESTAL n.º 068

«Reducción de la vulnerabilidad y
atención de emergencias por desastres»

En este boletín

- 4** | Cuando el clima y las interacciones
pág. humanas amenazan los recursos
suelo y agua a través de la
hipersedimentación: caso del
embalse de Poechos, Perú
- 12** | Variabilidad bienal e interanual
pág. de la temperatura superficial del mar
de la región tropical de los océanos
Pacífico y Atlántico
- 18** | Resumen del informe técnico de El Niño
pág.
- 19** | Resumen de los comunicados ENFEN
pág.



BICENTENARIO
PERÚ
2024



Créditos

Juan Castro Vargas
Ministro del Ambiente

Hernando Tavera
Presidente ejecutivo

Edmundo Norabuena Ortiz
Director científico

Ken Takahashi Guevara
Director de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera

Antonella Condorena Franco
Jefatura de la Unidad Funcional de Comunicaciones

Ivonne Katherine Montes Torres
Ken Takahashi Guevara
Jorge Andrés Concha Calle
Editores

Jorge Andrés Concha Calle
Diseño y diagramación

Carátula: Especialistas del IGP realizando la extracción de muestras de sedimentos aguas abajo del embalse de Poechos
Fuente: Kithner Espinoza

El boletín científico “El Niño” es generado en el marco del Programa Presupuestal n.o 068 “Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”

Producto 1: Estudios para la estimación del riesgo de desastres
Actividad 5: Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño
Instituto Geofísico del Perú

Calle Badajoz 169 Mayorazgo, Ate, 15012

Teléfono: +51-1-3172300

Lima, abril de 2024

Puedes acceder a la colección completa de los [boletines científicos El Niño](#) escaneando el siguiente código QR.



Introducción

Los eventos El Niño y La Niña corresponden, a grandes rasgos, a situaciones en las que la temperatura de la superficie del mar está por encima o por debajo del promedio en el océano Pacífico ecuatorial. Estas fluctuaciones están fuertemente influenciadas por El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), el cual es uno de los modos de variabilidad climática más importantes en el océano Pacífico que ejerce una gran influencia sobre el clima a nivel global y regional. La fase cálida de ENOS se puede denominar El Niño “global”.

En el Perú, los impactos de El Niño y La Niña son particularmente complejos debido a que recibimos influencias tanto costeras, asociadas a las fluctuaciones en el mar peruano en el Pacífico oriental, así como influencias remotas a través de teleconexiones atmosféricas desde el Pacífico central. En particular, El Niño en el Pacífico oriental o costero puede producir lluvias y altas temperaturas en la costa y alterar el ecosistema marino-costero, mientras que El Niño en el Pacífico central o global puede reducir las precipitaciones e incrementar la temperatura en los Andes y en la Amazonía. Por el contrario, La Niña tendría efectos aproximadamente opuestos. Así, El Niño en el Pacífico oriental es el que causa mayores impactos para el Perú, ya que tiene el potencial de provocar grandes daños a infraestructuras, actividades económicas y, más importante, la seguridad y bienestar de las personas, además de sus medios de vida.

El Perú, como parte de la estrategia de gestión pública para enfrentar los peligros naturales, especialmente respecto a El Niño, establece el Programa Presupuestal por Resultados (PPR) 068 “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”. A partir de 2014, el Instituto Geofísico del Perú (IGP), al igual que otras instituciones que conforman la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), participa en este PPR con el producto denominado “Estudios para la estimación del riesgo de desastres”. Este consiste en la entrega en forma oportuna de información científica sobre el monitoreo y pronóstico de este evento natural oceánico-atmosférico, mediante informes técnicos mensuales, que permita la toma de decisiones de las autoridades a nivel nacional y regional.

A este producto, el IGP contribuye con la actividad “Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño”, la cual

incluye la síntesis y evaluación de los modelos de pronóstico de El Niño generados internacionalmente, como es el caso de los modelos climáticos globales, así como de aquellos obtenidos a partir de modelos propios como el de predicción de ondas oceánicas ecuatoriales, y los recientemente desarrollados modelo de inteligencia artificial y modelo Sistema Tierra regional de pronóstico para el territorio peruano y el océano Pacífico (IGP RESM-COW v1). Asimismo, incluye el desarrollo de investigaciones y estudios científicos que permiten entender la variabilidad climática y los procesos asociados al cambio climático, a fin de fortalecer, en forma continua, las capacidades para el pronóstico de El Niño.

En esta línea, el IGP ha estructurado y desarrollado el Boletín Científico El Niño, un producto que contiene, en gran medida, los aportes científicos en el estudio y vigilancia de El Niño, así como La Niña y otros fenómenos relacionados. El Boletín, que se publica mensualmente desde 2014, cuenta con aportes nacionales e internacionales en diversos temas asociados a El Niño, sus impactos, procesos vinculados, temas asociados y otros igual de relevantes, artículos que se presentan en las secciones de “Divulgación Científica” y “Avances Científicos”. De igual forma, se comparte en el Boletín una versión resumida del informe técnico que el IGP elabora mensualmente para cumplir con los compromisos asumidos en el marco del PPR 068 (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5356>). Dicho informe contiene información actualizada operativamente que el IGP proporciona como insumo para que el ENFEN genere en forma colegiada la evaluación final que será entregada a los usuarios. Finalmente, el Boletín presenta los comunicados ENFEN publicados durante el periodo correspondiente.

El IGP busca consolidar al Boletín Científico El Niño como una publicación técnica-científica de referencia, tanto para la comunidad científica y académica, así como para instituciones y autoridades vinculadas a la gestión del riesgo de desastres ávidas de conocimientos e información actualizada sobre El Niño, sus impactos y procesos asociados.

Puede consultar la colección completa de Boletines Científicos El Niño en este enlace: <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4974>

CUANDO EL CLIMA Y LAS INTERACCIONES HUMANAS AMENAZAN LOS RECURSOS SUELO Y AGUA A TRAVÉS DE LA HIPERSEDIMENTACIÓN: CASO DEL EMBALSE DE POECHOS, PERÚ

Sergio Morera^{1,2,3}, Anthony Foucher⁴,
Michael Sánchez¹, Jhon Orrillo¹ y
Oliver Evrard⁴

¹ Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú

² Programa de Maestría en Recursos Hídricos,
Universidad Nacional Agraria La Molina, 15024,
Lima, Perú

³ Programa de Doctorado en Ciencias e Ingeniería
Ambiental, Universidad Nacional de Ingeniería,
15333, Rimac, Perú

⁴ Laboratoire des Sciences du Climat et de
l'Environnement (LSCE-IPSL), UMR 8212
(CEA-CNRS-UVSQ), Université Paris-Saclay, 91191
Gif-sur-Yvette CEDEX, France



Sergio Morera es investigador científico del IGP, enfocado en erosión hídrica de los suelos, transporte de sedimentos y sedimentación. Mediante la formulación y liderazgo de nueve proyectos de investigación ha logrado formar un equipo científico especializado en las líneas antes expuestas, y ha implementado el único laboratorio en el Perú dedicado al análisis físico y químico de sedimentos y suelos. Además, es también docente invitado en postgrado en la UNALM y UNI.

Palabras clave: Hipersedimentación, eventos El Niño extremos, expansión agrícola, sedimentación, embalses, reconstrucción

Citar como Morera, S., Foucher, A., Sanchez, M., Orrillo, J., & Evrard, O. (2024). Cuando el clima y las interacciones humanas amenazan los recursos suelo y agua a través de la hipersedimentación: caso del embalse de Poechos, Perú. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 11 n.º 01, págs. 4-11.

¿Cuál es la **contribución** de esta investigación para los tomadores de decisiones?

Basado en los resultados que identifican los eventos El Niño extremos y la expansión agrícola como principales factores de hipersedimentación en el embalse Poechos, los tomadores de decisiones podrían implementar acciones de conservación de suelos y control de la erosión en áreas agrícolas para mitigar los aportes de sedimentos. Asimismo, es preciso desarrollar planes de contingencia y gestión de riesgos ante eventos climáticos extremos tipo El Niño, así como regular la expansión agrícola no planificada en cuencas vulnerables para prevenir mayores tasas de erosión.

Resumen

Mediante un enfoque retrospectivo, se reconstruyó el impacto de las fases extremas de El Niño Oscilación del Sur (ENOS), los cambios en la cobertura del suelo y la expansión agrícola en la dinámica de los sedimentos entre 1978 a 2019. A través del análisis físico y químico de las láminas de sedimentación en varios testigos de sedimentos, se reconstruyó de manera continua las propiedades y la dinámica de los sedimentos aguas arriba del reservorio de Poechos, así como las tasas de sedimentación en el mismo reservorio. Se identificaron a los eventos El Niño extremos (EENE) y la expansión agrícola como los principales factores que contribuyen a la hipersedimentación del embalse de Poechos. Nuestros hallazgos contribuyen a una mejor comprensión de la dinámica de los sedimentos en regiones montañosas densamente pobladas, regiones consideradas como las más vulnerables ante el cambio climático, donde la sostenibilidad de los recursos de suelo y agua es una preocupación importante para todos los pobladores en la cuenca alta, media y baja. Finalmente, se superaron las limitaciones de los vacíos de información y se demostró que las fuentes de sedimentos y su relación con las tasas de sedimentación pueden generar herramientas para la gestión de cuencas, así como para la planificación y priorización a nivel local de los programas de conservación del suelo para mitigar los efectos adversos de la erosión acelerada del suelo en cuencas de montañas tropicales.

1. Introducción

Durante las últimas décadas, se ha observado en muchas regiones del mundo el cambio de los ecosistemas de montaña a tierras agrícolas para satisfacer la demanda local y global de alimentos y otros productos básicos de una población en crecimiento (Winkler et al., 2021). El monitoreo de la degradación o conservación a escala de cuenca es todo un reto, sobre todo en la cordillera de los Andes centrales, donde se encuentra la población más vulnerable ante la presencia del cambio climático y el cambio del uso del suelo (expansión agrícola, minería, etc.) (Schmeller et al., 2022). La interconexión de estos procesos antrópicos con el cambio climático genera impactos ambientales y socioeconómicos adversos (Zador et al., 2015), los cuales intensifican la erosión hídrica (Montanarella et al., 2016; Wuepper et al., 2020) y el transporte de sedimentos (Morera et al., 2013; 2017).

Sudamérica depende en gran medida del agua almacenada en represas para el riego, la producción agrícola y la producción de energía hidroeléctrica. A partir de 30 años de registros del transporte de sedimentos disponibles en Perú, se han demostrado altas variaciones en la producción de sedimentos suspendidos en el norte de los Andes peruanos occidentales (3-6 °S) que varían de 123 a 1200 toneladas por kilómetro cuadrado por año ($t\ km^{-2}\ año^{-1}$; Morera et al., 2017). Morera et al. (2017) identificaron que, a lo largo de la vertiente del Pacífico peruano, durante los eventos El Niño extremos (EENE) de 1982-1983 y 1997-1998, el transporte de sedimentos se incrementó entre 3 y 60 veces respecto a la magnitud de lo que se transporta durante un año hidrológico promedio. El EENE registrado en 1997-1998 causó, por ejemplo, más de 100 millones de dólares en daños (Organización Panamericana de la Salud, 2000).

Finalmente, las proyecciones climáticas avizoran un cambio en la distribución, frecuencia e intensidad de las precipitaciones, incluyendo periodos más largos de sequía y eventos de lluvia más intensos en esta parte del mundo. A esto se suma la falta de registros hidro-sedimentológicos frecuentes y con una longitud mayor a 20 años, lo que dificulta la evaluación de los daños asociados a fenómenos meteorológicos extremos como inundaciones y deslizamientos de tierra. Por lo tanto, es necesario explorar métodos alternativos que permitan reconstruir registros pasados, ya que cuantificar y comprender los eventos climáticos extremos son cruciales para la gestión de los riesgos y desastres a nivel nacional. En tal sentido, la presente investigación tiene como objetivo mostrar las propiedades y la dinámica de los sedimentos aguas arriba del reservorio de Poechos, así como las tasas de sedimentación en el mismo reservorio.

2. Geografía de la región de estudio

La cuenca Catamayo-Chira, ubicada aguas arriba del reservorio Poechos (80 m s. n. m.), presenta una superficie de 13 565 km^2 y está situada en la parte norte del Perú (46 %), en la frontera con Ecuador (54 %), donde alcanza elevaciones de 3958 m s. n. m. (Figura 1). Su curva hipsométrica la clasifica como una cuenca de configuración antigua (vieja), con amplias llanuras en la cuenca baja. Las tierras agrícolas (4775 km^2) cubren la mayor parte de la cuenca (35.2 %) y prevalecen en toda su extensión, con una mayor

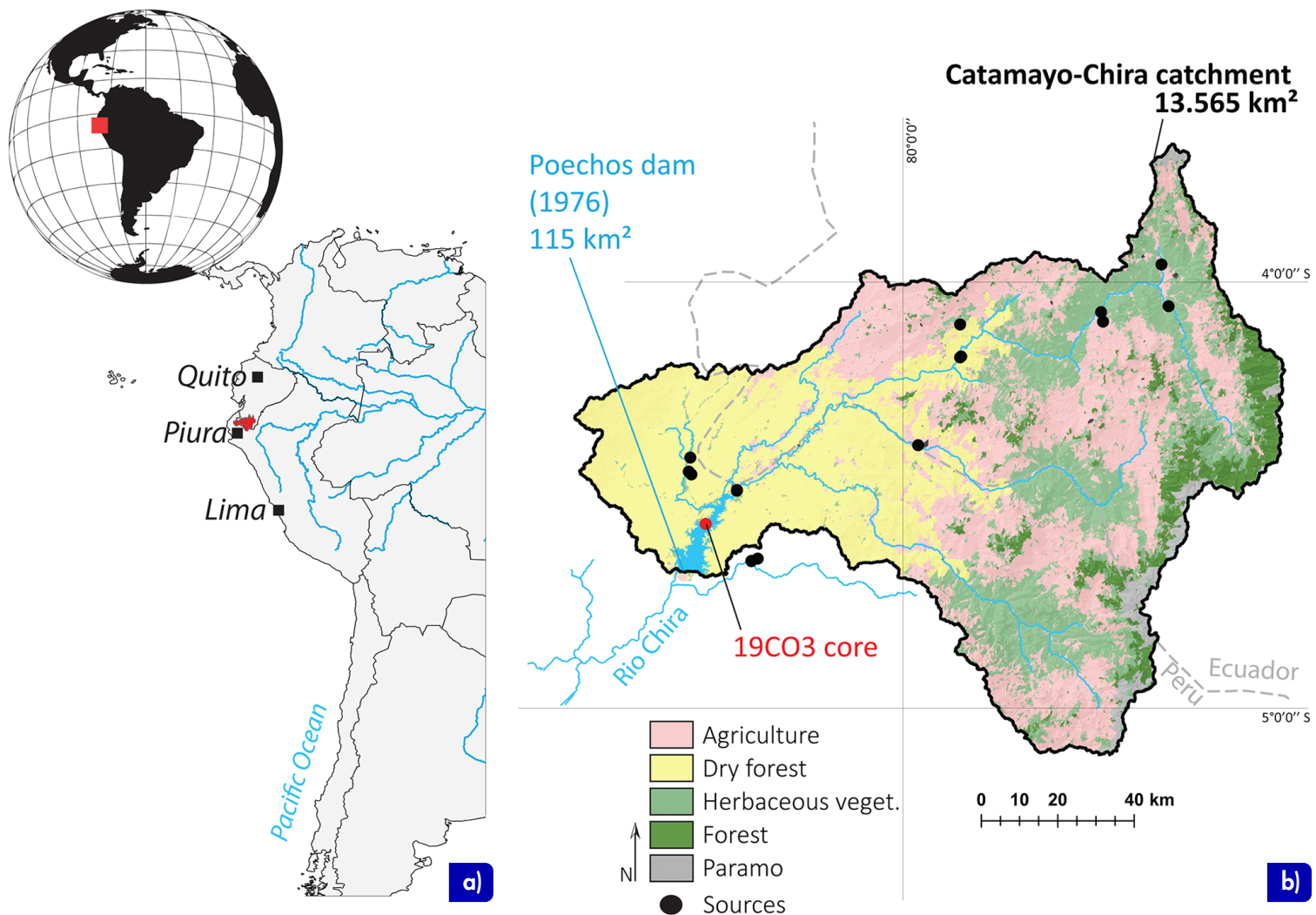


Figura 1. (a) Ubicación de la cuenca Catamayo-Chira a lo largo de los Andes occidentales, en el límite entre Ecuador y Perú. (b) Cobertura y uso del suelo de la cuenca Catamayo-Chira en 2016. El bosque seco (color amarillo) predomina en la cuenca baja, aguas arriba del reservorio de Poechos.

concentración en las partes media y alta, donde se registra la mayor acumulación de precipitaciones. En cambio, la parte baja de la cuenca tiene áreas agrícolas limitadas, restringidas a regiones con acceso al agua de los ríos o del embalse de Poechos. En la cuenca se cultivan una variedad de cultivos, incluidos arroz, algodón, maíz, frijoles, yuca, papas, camote, café y cacao (Kotov & Paelike, 2018). El bosque seco (41 42 km²), que cubre el 30.5 % de la cuenca, se sitúa principalmente en la parte baja. Este tipo de cobertura terrestre se adapta bien al clima y a las condiciones ambientales locales. La cuenca, que drena las aguas del río Chira, alimenta al embalse de Poechos, el cual ocupa una superficie de 115 km² durante los periodos húmedos. Esta presa, construida en 1976, tiene como objetivo principal proporcionar agua para la agricultura y la producción eléctrica, además de prevenir riesgos de inundaciones. Sin embargo, el embalse ha experimentado una disminución constante en su capacidad debido al suministro excesivo de sedimentos naturales durante las fases extremas del fenómeno ENSO. Según estudios batimétricos, se ha registrado una reducción significativa en su capacidad, cercana al 60 % para el año 2017 (Marin, 2020).

3. Análisis de la región de estudio

Para obtener datos e información gráfica que permita dar a conocer las propiedades y la dinámica de los sedimentos, así como las tasas de sedimentación, fue necesario realizar cuatro actividades científicas clave que incluyeron el muestreo, el análisis de laboratorio, la datación del núcleo de sedimentos y la elaboración de un mapa de cobertura vegetal y uso de suelo, las cuales se detallan a continuación.

a) Muestreo

El muestreo de núcleos de sedimentos en el embalse de Poechos implicó un análisis exhaustivo de datos batimétricos para identificar zonas de deposición y acumulación de sedimentos en función de la velocidad del flujo de agua. A lo largo de dos años, y gracias al vacío temporal del embalse, se recogieron alrededor de diez núcleos de sedimentos. El núcleo de sedimento resultante, 19CO3, representa con precisión la distribución de sedimentos en el embalse de Poechos.

c) Datación del núcleo de sedimentos

La cronología se estableció ajustando el índice E (Pacífico Oriental; Takahashi et al., 2011) con números del escáner de Tomografía Computarizada (TC) extraídos de las imágenes del TC, las cuales ayudaron a describir eventos cálidos y fríos (Figura 3). Las correlaciones se determinaron manualmente utilizando el software Analyseries (Paillard et al., 1996) y Qanalyseries (Kotov & Paelike, 2018). La validación del modelo de edad-profundidad implicó comparar las tasas de sedimentación reconstruidas por el Qanalyseries con mediciones anuales del volumen de sedimentos y comparar la edad base del núcleo con las batimetrías del embalse (Marin, 2020). La espectrometría gamma midió radionucleidos en muestras de sedimentos, pero no se utilizó para modelar la edad.

d) Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo

Para la clasificación de la cobertura del suelo, se recolectó información en el campo durante los años 2018 y 2019. Este proceso nos permitió caracterizar las distintas categorías de cobertura del suelo a considerar y obtener muestras de referencia para su clasificación y validación. Se empleó una clasificación digital multivariable, fundamentada en el protocolo del Ministerio del Ambiente de Perú (MINAM, 2014). Además, se utilizó el modelo "Random Forest" como un clasificador multivariable orientado a objetos. El proceso de clasificación se llevó a cabo utilizando el software R, aplicando específicamente el modelo "Random Forest" del paquete RandomForest.

4. Resultados y discusiones

a) Litología

El núcleo, codificado como 19CO3, consistía en una sucesión de capas alternas de sedimentos más gruesos y finos. Se observaron capas más gruesas notables en 1997, 2008, 2011 y 2016. El análisis geoquímico reveló una tendencia positiva en los valores de Ca/Ti y Sr, con fluctuaciones que se correlacionaban con periodos positivos del índice E, mientras que los elementos Ti y K mostraron tendencias negativas.

Los principales cambios en los contenidos de Ti se observaron durante los periodos 1982-1984, 1991-1992, 1996-1998 y 2016-2017, que corresponden a eventos El Niño, así como entre 2007 y 2012.

b) Cronología del testigo de sedimentos

El índice E se correlacionó con la densidad relativa del núcleo de sedimento para establecer la cronología del núcleo 19CO3 (periodo de 1978 a 2019). No se observó una disminución significativa en $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ni en la detección de ^{137}Cs , lo que impidió su uso en la validación de edades.

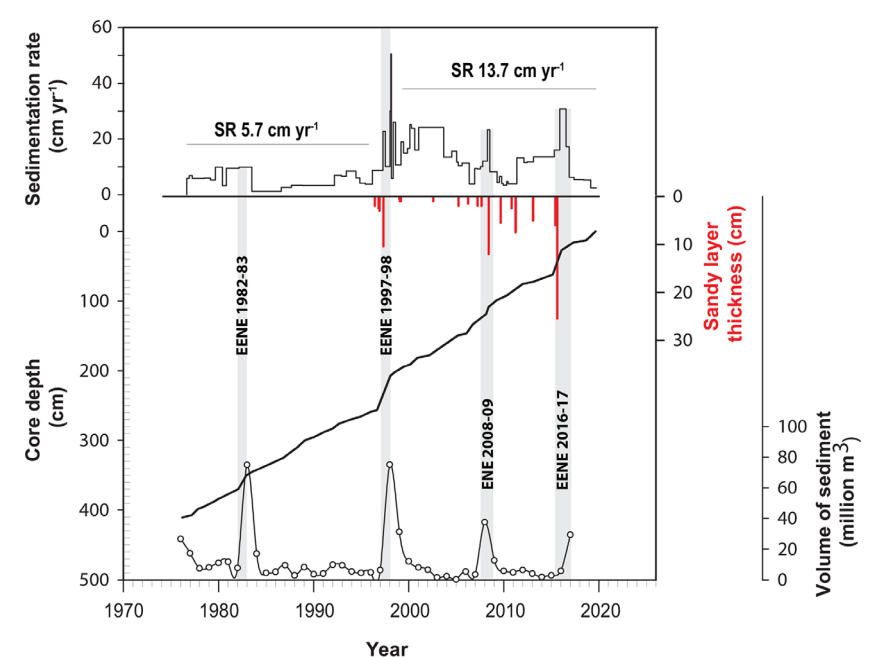


Figura 3. Cronología del testigo de sedimento 19CO3 establecida después de la correlación entre el número de TC y el índice del Pacífico oriental (SR: tasa de sedimentación). Volumen de sedimento de Marin (2020).

Los picos en la tasa de sedimentación se asociaron con eventos históricos de El Niño, lo que valida la cronología del testigo con un aumento significativo en la tasa de sedimentación (medida en cm/año) del 140 % después de 1997. La secuencia sedimentaria en el embalse de Poechos muestra las transferencias de sedimentos impulsadas por el clima y la actividad humana antes y después del periodo EP-ENOS (El Niño Oscilación del Sur del Pacífico Oriental). Los primeros años mostraron tasas de sedimentación predominantemente consistentes, con fluctuaciones causadas por eventos importantes.

Se estableció un modelo de edad reciente que permite identificar la conexión entre el ENE (eventos El Niño), EENE y CENE (El Niño Costero), y el índice E desarrollado por Takahashi et al. (2011).

La correlación entre las propiedades del testigo de sedimentos, los datos de levantamientos batimétricos y los flujos de sedimentos de las estaciones de medición dan como resultado un modelo parcialmente consistente ($r^2 = 0.9$). Cabe destacar la importante reducción de la capacidad de los embalses inducida por sedimentos durante eventos importantes.

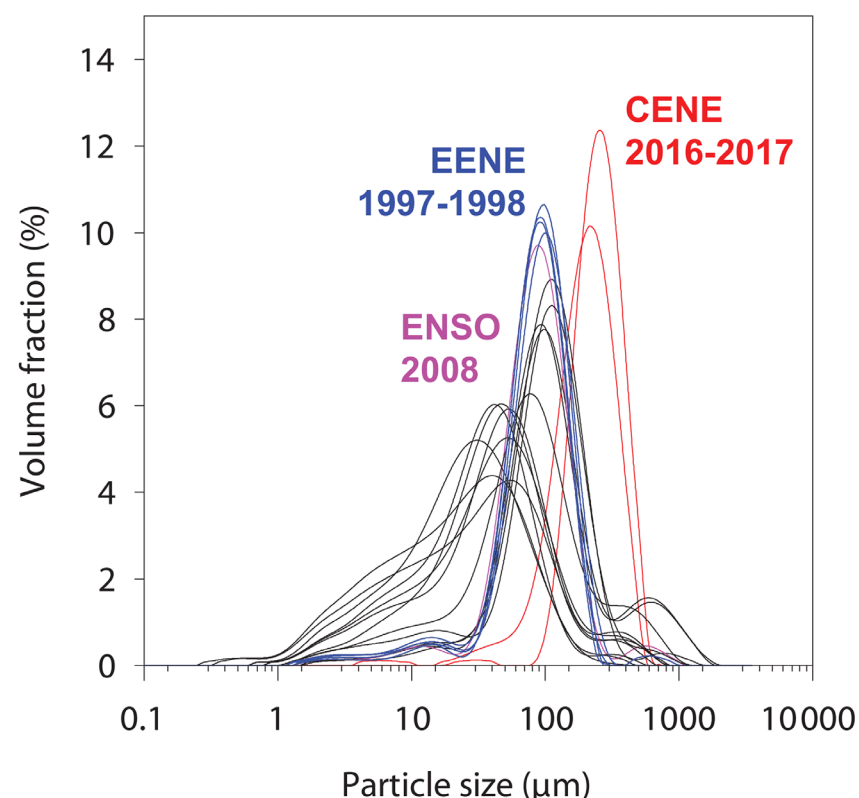


Figura 4. Distribuciones del tamaño de partículas de las 19 capas más gruesas detectadas en el testigo de sedimento 19C03.

Eventos como ENE, EENE y CENE, con temperaturas más cálidas a lo largo de la costa peruana, provocan un aumento de las precipitaciones, especialmente en regiones propensas a la erosión debido a la baja cubierta vegetal. Esto, especialmente influenciado por ENOS, da como resultado contribuciones variadas de sedimentos al embalse de Poechos a lo largo de las fases climáticas (fase cálida y fría). Durante la década de 1990, hubo un aumento significativo en la entrega de sedimentos, especialmente alrededor de 1997-1998. Los periodos posteriores al EP-ENOS mostraron dinámicas distintas, con una disminución del flujo de sedimentos seguida de una agradación de los ríos. La transferencia de los sedimentos disminuyó durante varios años hasta que se restableció el equilibrio. Este patrón se observó a mayor escala y durante un periodo de tiempo más largo. Los sedimentos se acumularon durante los años secos y fueron movilizados durante las EENE o CENE. La ausencia de un evento EP-ENOS fuerte (en su fase cálida) durante más de 14 años permitió el almacenamiento de sedimentos en llanuras aluviales, los que fueron

posteriormente movilizados por la EENE 1997-1998. Esto provocó una degradación significativa del delta del embalse de Poechos y, en consecuencia, una afectación a las tasas de sedimentación. Una mayor conectividad y eventos EP-ENOS más frecuentes dieron como resultado una deposición de partículas más gruesas en la sedimentación, tal como lo demuestran los cambios en el tamaño de los granos en el núcleo examinado (Figura 4).

c) Procedencia de los sedimentos

Se seleccionaron dos propiedades de rastreo (Potasio K y Rubidio Rb) mediante un procedimiento estadístico FingerPro para descomponer las contribuciones de las fuentes de sedimento a lo largo de la secuencia del testigo 19C03. Los contenidos de K variaron en las muestras de suelo, siendo más altos en las posibles fuentes de sedimento andinas y más bajos en la fuente de bosque seco de tierras bajas. Se observó una tendencia similar para el contenido de Rb.

Los resultados de FingerPro mostraron que, una parte del sedimento acumulado (31 %) en el núcleo, provenía de la fuente andina, mientras que la mayor parte del material era suministrado por la fuente de bosque seco de tierras bajas (69 %). Según la prueba de Mann-Kendall, la contribución de sedimentos del bosque seco siguió una tendencia positiva entre 1978 y 2019.

En promedio, la fuente de bosque seco contribuyó con la mayor parte del sedimento acumulado (76 %) en el embalse durante las fases positivas del índice E. Durante los periodos de índice E negativo, la contribución de la fuente andina aumentó y suministró una parte del material acumulado (40 %) en el embalse.

La contribución de las fuentes de bosque seco durante los eventos EENEs y CENE alcanzó porcentajes altos de 94 % y 65%, respectivamente.

Una serie de eventos pre y posEP-ENSO, asociados con la gestión del paisaje durante el periodo posEP-ENSO después de mediados de la década de 1990, podría explicar la aceleración de las tasas de sedimentación y la mayor contribución de la fuente de bosque seco a la sedimentación del embalse. Otros procesos que tuvieron lugar en la cuenca superior y estuvieron asociados con la tala de árboles para desarrollar la agricultura o explotar la madera, que aumentaron en

los últimos años, también pueden explicar una parte de estas dinámicas de sedimentación acelerada. Factores socioeconómicos, incluyendo la oferta y demanda de ciertos productos agrícolas, la migración, las condiciones económicas de la región, las decisiones políticas, etc., así como la ocurrencia de eventos climáticos como sequías o inundaciones, controlan la expansión de las áreas cultivadas, lo que complicó el establecimiento del modelo de la evolución del cambio de uso de la tierra y particularmente la extensión de las tierras de cultivo en esta área.

Desde 1997, varios factores han acelerado la dinámica de sedimentación en el embalse de Poechos, rodeado por ríos en Perú. La existencia de un flujo de agua bajo pero constante permite la agricultura en esta región árida y semiárida. Los agricultores han tomado posesión de la llanura aluvial para cultivar, utilizando maquinaria pesada para transportar suelo y sedimentos de ríos y laderas cercanas cuando los sedimentos disponibles son insuficientes. La construcción del embalse de Poechos ha generado un canal de agua más amplio para la agricultura, lo que ha aumentado la disponibilidad de sedimentos en los ríos principales. Además, la actividad humana ha hecho disponibles grandes volúmenes de sedimento para el transporte al embalse durante las primeras inundaciones de los períodos húmedos. Este proceso se repite anualmente, lo que eleva el nivel topográfico del lecho del río y genera más transporte de sedimentos.

5. Conclusiones

El estudio demuestra que, a partir de una reconstrucción retrospectiva de la laminación en los testigos de sedimentos, se logró identificar los vínculos entre los ENOS, la cobertura vegetal y las prácticas agrícolas, y su impacto en la sedimentación del embalse de Poechos en Perú (1978-2019).

La expansión de la agricultura, junto con la falta de EENE entre 1982 y 1997, aumentó la deposición de sedimentos en los ríos y en las llanuras de captación más bajas. Durante la presencia de los eventos extremos de El Niño, la cuenca semiárida (cuenca baja), con predominancia del bosque seco, contribuye entre el 90 % a 76 % del total de sedimentos que ingresan al reservorio de Poechos. A partir de 1997, la tasa de sedimentación se incrementó en 140 % debido a las actividades de expansión agrícola,

muchas de ellas asociadas al traslado, mediante el empleo de maquinaria, de suelo y sedimento de las laderas al río principal donde cultivan hortalizas y maíz. Esto se debe a que, durante la época seca, el río presenta una escorrentía base que provee humedad para el desarrollo de cultivos.

El cambio climático y la expansión agrícola en América del Sur, especialmente en Perú, amenazan la vida útil de los embalses y las actividades socioeconómicas en las regiones montañosas pobladas. Una mejor gestión de la tierra y la conservación del suelo son vitales para reducir las transferencias de sedimentos, lo que permitirá salvaguardar los recursos de suelo y agua en estos entornos frágiles.

Esta investigación evidencia la necesidad urgente de una gestión sostenible de la tierra y la conservación del suelo para garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos en la región.

Referencias

- Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Plan de Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca Chira-Piura*. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/87>
- Liaw, A. L., & Wiener, M. A. (2022). Classification and Regression by randomForest. *R News*, 2, 18–22. <https://CRAN.R-project.org/package=randomForest>
- Croudace, I. W., & Rothwell, R. G. (2015). Future Developments and Innovations in High-Resolution Core Scanning. En I. W. Croudace & R. G. Rothwell (Eds.), *Micro-XRF Studies of Sediment Cores: Applications of a non-destructive tool for the environmental sciences* 17 (pp. 627–647). *Springer Netherlands*. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9849-5_27
- Kotov, S., & Paelike, B., J. (2018). QAnalySeries – a cross-platform time series tuning and analysis tool. En: *AGU Fall Meeting*. <https://agu.confex.com/agu/fm18/meetingapp.cgi/Paper/349843>
- Lowman, L. E. L., & Barros, A. P. (2014). Investigating links between climate and orography in the central Andes: Coupling erosion and precipitation using a physical-statistical model. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 119(6), 1322–1353. <https://doi.org/10.1002/2013JF002940>
- Marín, A. Y. E. (2020). *Cuantificación y clasificación de las tasas de sedimentación en el reservorio Poechos*. Universidad Nacional de Piura.
- Montanarella, L., Pennock, D. J., McKenzie, N., Badraoui, M., Chude, V., Baptista, I., Mamo, T., Yemefack, M., Singh Aulakh, M., Yagi, K., Young Hong, S., Vijarnsorn, P., Zhang, G.-L., Arrouays, D., Black, H., Krasilnikov, P., Sobocká, J., Alegre, J., Henriquez, C. R., ... Vargas, R. (2016). World's soils are under threat. *Soil*, 2(1), 79–82. <https://doi.org/10.5194/soil-2-79-2016>

Morera, S. B., Condom, T., Crave, A., Steer, P., & Guyot, J. L. (2017). The impact of extreme El Niño events on modern sediment transport along the western Peruvian Andes (1968–2012). *Scientific Reports*, 7(1), 11947. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12220-x>

Morera, S. B., Condom, T., Vauchel, P., Guyot, J. L., Galvez, C., & Crave, A. (2013). Pertinent spatio-temporal scale of observation to understand suspended sediment yield control factors in the Andean region: The case of the Santa River (Peru). *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17(11), 4641–4657. <https://doi.org/10.5194/hess-17-4641-2013>

Organización Panamericana de la Salud (2000). *Fenómeno El Niño, 1997-1998. Crónicas de Desastres* (8). <https://iris.paho.org/handle/10665.2/46050>

Paillard, D., Labeyrie, L., & Yiou, P. (1996). Macintosh Program performs time-series analysis. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 77(39), 379–379. <https://doi.org/10.1029/96EO00259>

Schmeller, D. S., Urbach, D., Bates, K., Catalan, J., Cogălniceanu, D., Fisher, M. C., Friesen, J., Füreder, L., Gaube, V., Haver, M., Jacobsen, D., Le Roux, G., Lin, Y.-P., Loyau, A., Machate, O., Mayer, A., Palomo, I., Plutzer, C., Sentenac, H., ... Ripple, W. J. (2022). Scientists' warning of threats to mountains. *Science of The Total Environment*, 853, 158611–158611. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158611>

Takahashi, K., Montecinos, A., Goubanova, K., & Dewitte, B. (2011). ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño. *Geophysical Research Letters*, 38(10), L10704. <https://doi.org/10.1029/2011GL047364>

Winkler, K., Fuchs, R., Rounsevell, M., & Herold, M. (2021). Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nature Communications*, 12(1), 2501. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>

Wuepper, D., Borrelli, P., & Finger, R. (2020). Countries and the global rate of soil erosion. *Nature Sustainability*, 3(1), 51–55. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0438-4>

Zador, M., Young, B. E., Josse, C., Stern, M., Vasconez, S., Olander, J., Sanchez A., Smyth, R., Comer, P. J., Moull, K., Echavarría, M. & Hak, J. (2015). Ecosystem profile: Tropical Andes biodiversity hotspot. Critical Ecosystem Partnership Fund. *NatureServe and EcoDecisión*. https://www.cepf.net/sites/default/files/tropical_andes_profile_final_4_2015.pdf

VARIABILIDAD BIENAL E INTERANUAL DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR DE LA REGIÓN TROPICAL DE LOS OCÉANOS PACÍFICO Y ATLÁNTICO

Juan Sulca¹, Ken Takahashi¹ y José Tacza^{2,3,4}

¹ Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú
² Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences, Warsaw, Poland
³ HUN-REN Institute of Earth Physics and Space Science, Sopron, Hungary
⁴ Center of Radio Astronomy and Astrophysics Mackenzie, Engineering School, Mackenzie Presbyterian University, São Paulo, Brazil

Palabras clave: Temperatura superficial del mar (TSM), océano Pacífico tropical, océano Atlántico tropical, oscilación bienal, oscilación interanual, ondeletas continua del tipo Morlet, espectro global de potencia

Citar como Sulca, J., Takahashi, K., & Tacza, J. (2024). Variabilidad bienal e interanual de la temperatura superficial del mar de la región tropical de los océanos Pacífico y Atlántico. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 11 n.º 01, págs. 12-17.

¿Cuál es la **contribución** de esta investigación para los tomadores de decisiones?

Basado en los resultados de la investigación que señala que los índices Niño 3 y Niño 3.4 presentan una clara señal cada 2 a 3 años, los tomadores de decisiones pueden utilizarlos como referencia para monitorear la variabilidad de la temperatura superficial del mar en el océano Pacífico tropical, ya que sus fluctuaciones pueden evidenciar la presencia y desarrollo de condiciones El Niño. Esta información puede ser clave para la planificación de medidas de adaptación y mitigación frente a posibles impactos climáticos asociados con El Niño en el Perú y el resto del mundo.

Resumen

La temperatura superficial del mar (TSM) de los océanos Pacífico y Atlántico tropicales oscila en las bandas de periodos cortos, como ciclos que se repiten cada 2-3 años (bienales) y variaciones que ocurren en intervalos de 3 a 7 años (interanuales). Los cambios de la TSM en los océanos Pacífico y Atlántico provocan cambios en los patrones de temperaturas y lluvias de todo el mundo, pero los más severos están asociados con las del océano Pacífico tropical. Por tanto, el presente avance de investigación busca describir la variabilidad de la TSM de los océanos Pacífico y Atlántico tropicales

mediante la identificación de las principales frecuencias en las bandas bienal e interanual aplicando la técnica de ondeletas continua del tipo Morlet I. Para ello se utilizaron las series de tiempo de los índices mensuales de TSM de los océanos Pacífico y Atlántico tropicales para el periodo 1921-2023. Los resultados revelaron que los índices de la regiones Niño 3 y Niño 3.4 son los mejores índices para la TSM del océano Pacífico tropical, ya que ellos presentan un espectro continuo en toda la banda bienal. Por el contrario, la TSM del océano Atlántico norte tropical fluctúa en la banda bienal de periodos largos (2.45 años) y en la banda interanual de periodos cortos (3.46 años).

1. Introducción

El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es el principal impulsor de la variabilidad interanual de la temperatura y las precipitaciones en el mundo. El ENOS presenta una fase cálida y fría de la temperatura superficial del mar (TSM) que son conocidos como El Niño y La Niña, respectivamente. Las investigaciones señalan que el ENOS fluctúa cada 2 a 7 años, observándose ciclos que se repiten cada 2-3 años (denominado como componente bienal), mientras que otros se repiten cada 3-7 años (denominado como componente interanual) (Rasmusson et al., 1990; An & Wang, 2000; Kim & Lau, 2001; Kao & Yu, 2009; Wang et al., 2017; Achuthavarier et al., 2016; Ren & Wang, 2023). Por ejemplo, en la investigación de Rasmusson et al. (1990) se encontró que, entre 1950 y 1987, el ENOS presentó un patrón que se repetía cada 2 años (componente bienal), además de otro más largo que se repetía cada 4 a 5 años (es decir, un componente de baja frecuencia). Utilizando el análisis de ondeletas, An & Wang (2000) descubrieron que el índice Niño 3.4 mostró, entre 1962 y 1975, un patrón de cambios rápidos cada 2 a 4 años (conocido también como modo de alta frecuencia), así como cambios más lentos cada 4 a 6 años (conocido también como modo de baja frecuencia) entre 1980 y 1993. Haciendo uso de los 350 años de datos numéricos provenientes del modelo AOGCM del Sistema de Observación de la Tierra Goddard (GEOS-5), Achuthavarier et al. (2016) encontraron que el índice SST de El Niño 3 en el modelo GEOS-5 muestra un patrón bienal pronunciado de 2.4 años durante el periodo 1871-2011.

Debido a que el ENOS induce eventos extremos de lluvias en todo el mundo, la comunidad científica ha identificado regiones específicas en el océano Pacífico ecuatorial que capturan la señal del ENOS. Estas regiones son El Niño 1+2 (N1+2; entre 0° y 10° de latitud sur, y entre 90° y 80° de longitud oeste), Niño 3 (N3; entre 5° de latitud norte y 5° de latitud sur, y entre 150° y 90° de longitud oeste), Niño 3.4 (N3.4; entre 5° de latitud norte y 5° de latitud sur, y entre 170° y 120° de longitud oeste) y Niño 4 (N4; entre 5° de latitud norte y 5° de latitud sur, y 160° de longitud este y 150° de longitud oeste). Todas estas regiones son utilizadas para desarrollar modelos estadísticos de pronóstico y monitorear el ENOS. Por ejemplo, Lagos et al. (2008) construyeron un modelo de

pronóstico para las lluvias de diciembre de la costa norte peruana utilizando la predicción de la TSM de diciembre de la región El Niño 3.4. Asimismo, Wu et al. (2018) utilizaron el índice El Niño 3.4 como predictor para el pronóstico de las lluvias de los Andes del sur.

En las últimas décadas, se ha destacado la necesidad de utilizar dos índices independientes para describir el comportamiento no lineal del ENOS (Takahashi et al., 2011; Capotondi et al., 2015). En particular, Takahashi et al. (2011) observaron que los eventos de El Niño del este y central se caracterizan por las anomalías cálidas de la TSM confinadas en el océano Pacífico oriental y central, respectivamente. Recientemente, los índices C y E se emplearon como predictores para pronosticar las precipitaciones en los Andes centrales peruanos (Sulca et al., 2021) y en la Amazonía peruana del noroeste (Sulca et al., 2024a).

Tourre et al. (2011) reportaron que las anomalías de la TSM del océano Atlántico muestran un patrón o modo bienal con una duración de 2-3 años durante el periodo 1676-2004. Por otro lado, varios experimentos numéricos recientes han mostrado que los cambios de la TSM del océano Atlántico norte influyen al modular la intensidad de la circulación de Walker (Rodríguez-Fonseca et al., 2009; Ham et al., 2013; Wang et al., 2017). Por ejemplo, Rodríguez-Fonseca et al. (2009) documentaron que El Niño (La Niña) Atlántico favorece el desarrollo de La Niña (El Niño) en el invierno siguiente a través de la intensificación de la celda de Walker, lo cual reduce la profundidad de la termoclina ecuatorial y desencadena un proceso acoplado que favorece el desarrollo de La Niña.

Debido a que estos estudios evidencian una interacción entre el ENOS y los cambios de la TSM del océano Atlántico en escalas temporales de periodos cortos, es prioritario identificar las frecuencias relevantes de los modos bienal e interanual de la zona tropical de los océanos Pacífico y Atlántico en el periodo 1921-2023. Nuestra expectativa es que estos nuevos conocimientos nos permitan construir modelos de pronósticos para las lluvias del Perú en las escalas bienales.

2. Datos y metodología

Para desarrollar esta investigación se hace uso de los datos mensuales de TSM extraídos del HadISST versión

Localización de los índices de anomalías de TSM

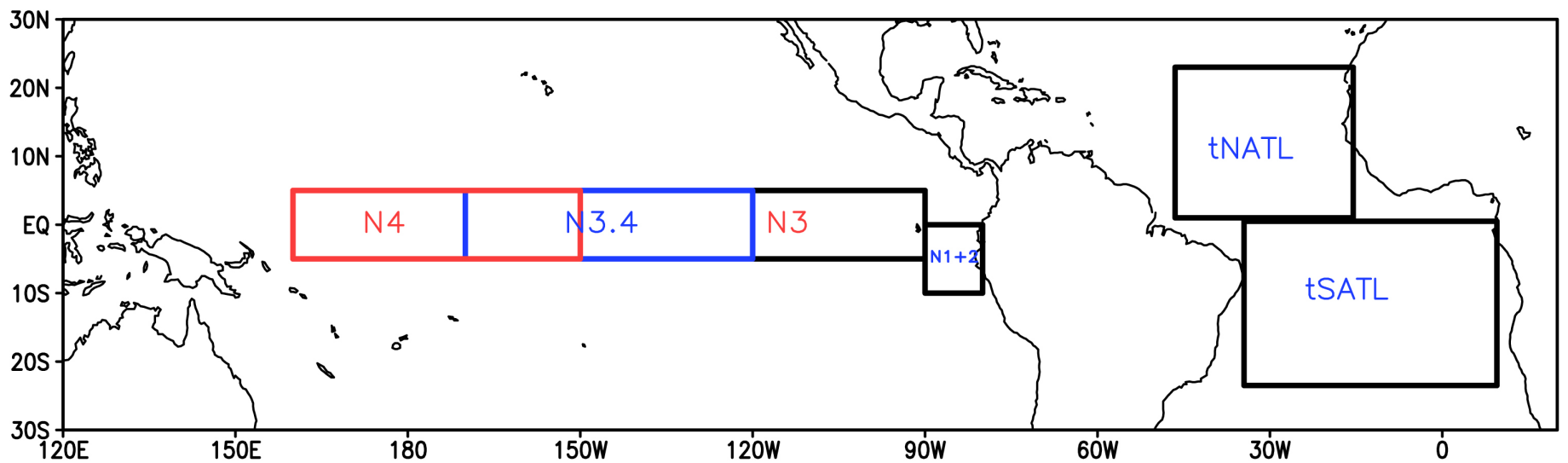


Figura 1. Localización de las regiones de los índices de anomalías de temperatura superficial del mar: Niño 1+2 (N1+2), Niño 3 (N3), Niño 3.4 (N3.4), Niño 4 (N4), Atlántico norte tropical (tNATL) y Atlántico sur tropical (tSATL).

1.1, los cuales son proporcionado gratuitamente por la Met Office Hadley Center (Rayner et al., 2003). La resolución espacial de los datos es de $1^\circ \times 1^\circ$, y cubren el periodo 1921-2023 (103 años).

Además, se utilizaron las series mensuales de los índices E y C que representan las anomalías de TSM del océano Pacífico ecuatorial oriental y central, respectivamente, propuestos en Takahashi et al. (2011). Los índices E y C, que tienen una pobre correlación entre ellos mismos, se calcularon a partir de los datos de TSM (que reciben la denominación de ERSST v3b), disponibles gratuitamente en el sitio web del IGP (http://met.igp.gob.pe/datos/ecindex_ersstv5.txt). Se utilizaron también los índices de TSM del océano Pacífico tropical de las regiones Niño 1+2 (N1+2), Niño 3 (N3), Niño 3.4 (N3.4) y Niño 4 (N4) (Figura 1), los cuales se obtuvieron de la página web de la NOAA y del Laboratorio de Ciencias Físicas de ESRL (https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries). Adicionalmente, se utilizó el índice TSM del Atlántico norte tropical (tNATL; entre 1° y 23° de latitud norte, y entre 10° y 60° de longitud oeste) propuesto en An et al. (2021). Por último, nosotros definimos el índice SST del Atlántico sur tropical (tSATL; entre 40° de longitud oeste y 10° de longitud este, y entre 0° y 23° de latitud sur).

Con la finalidad de evitar influencias de regiones remotas o ruidos, se removió la tendencia lineal. Por otra parte, para identificar los modos principales de

las anomalías mensuales de la TSM del Pacífico y Atlántico tropical se utilizó la técnica de las ondeletas continuas del tipo Morlet (CWT; Torrence & Compo, 1998; Grinsted et al., 2004; Liu et al., 2007). El nivel de confianza del perfil del espectro de potencia se basa en el modelo de ruido rojo, como es sugerido en Torrence & Compo (1998). La técnica CWT es una herramienta robusta para identificar los modos dominantes de oscilación de las anomalías de la TSM (Dewitte et al., 2011; Illig et al., 2014), las anomalías de precipitación (Mortensen et al., 2018; Sulca et al., 2022; Sulca et al., 2024a) e, incluso, del nivel del agua del lago Titicaca (Ángulo y Pereira-Filho, 2022; Sulca et al., 2024b).

3. Resultados y conclusiones preliminares

Para los índices de TSM del océano Pacífico ecuatorial, el índice N1+2 exhibe una banda significativa entre los 16 y 70 meses, con picos en 24.41 meses, 43.34 meses y 58.69 meses (Figura 2a). Se observa que el índice N1+2 oscila en la banda bienal (21-25 meses) y en los periodos largos de la banda interanual (36-70 meses). Las Figuras 2b-d muestran que los índices N3, N3.4 y N4 presentan modos significativos dentro la banda 12-70 meses, pero con picos entre 16-59.33 meses. Esto revela que estos índices de la TSM ecuatorial, al oeste de 90° E, oscilan en las bandas bienal y en los periodos cortos de la banda

interanual, pero sus espectros son más uniformes que en el índice N1+2. Con respecto a los índices El Niño Pacífico (E y C), la Figura 2e ilustra que el índice E reproduce el perfil del espectro de potencia del índice N1+2, con tres picos a los 23.63 meses, 43.34 meses y 59.97 meses, lo que revela que el índice E solo

captura los periodos cortos de la banda bienal. En contraste, el perfil del espectro de potencia del índice C es significativo en la banda 20 y 70 meses, con picos a 29.03 meses y 59.97 meses, lo cual muestra que el índice C solo captura los periodos largos de la banda bienal.

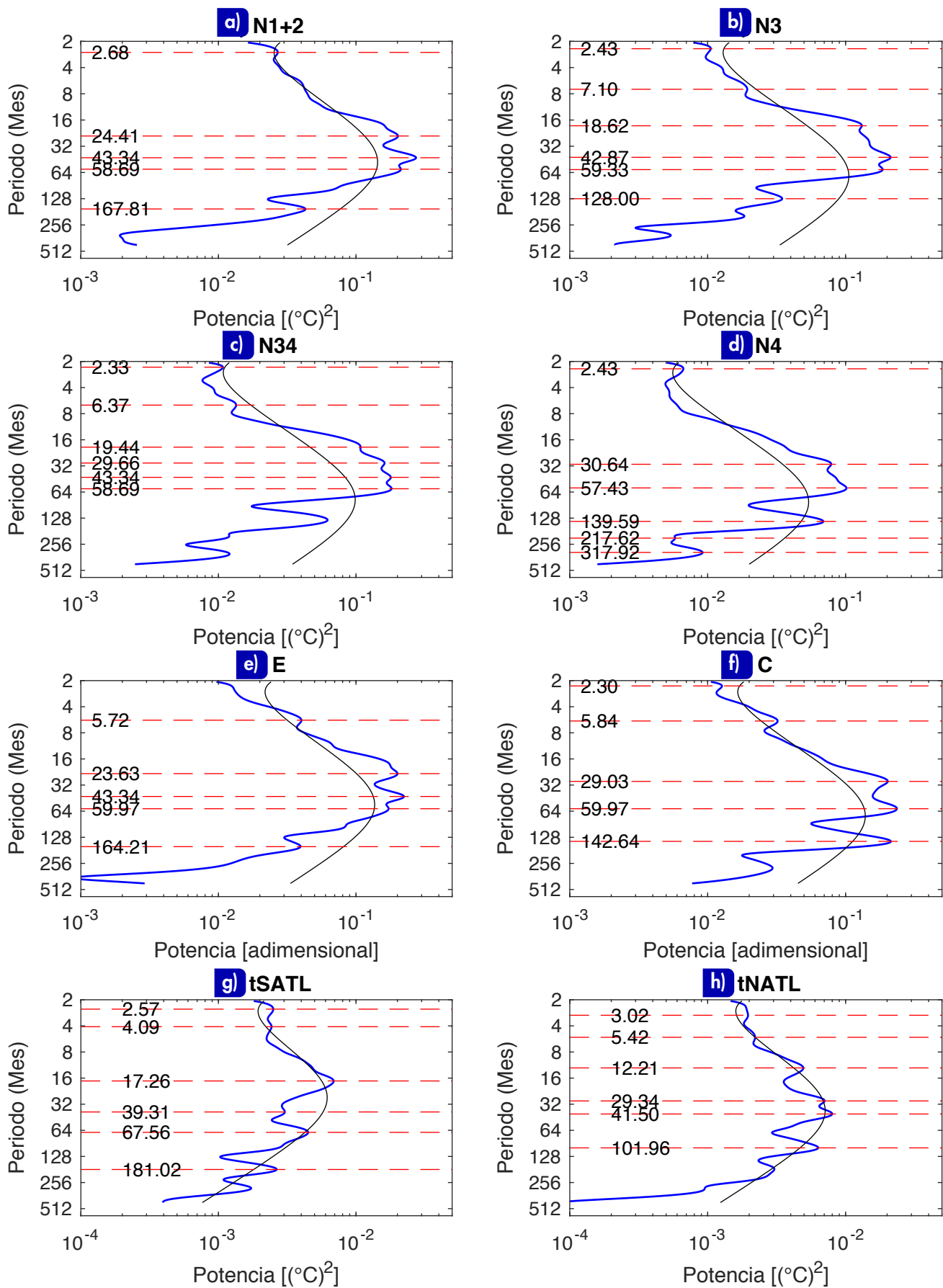


Figura 2. Perfil del espectro de potencia global de la serie temporal de las anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar de las regiones Niño 1+2 (N1+2, a), Niño 3 (N3, b), Niño 3.4 (N34, c), Niño 4 (N4, d), El Niño del Este (E, e), El Niño Central (C, f), Atlántico sur tropical (tSATL, g) y Atlántico norte tropical (tNATL, h). Las líneas tachadas horizontales en rojo representan los periodos principales con un nivel de confianza al 95 % (intervalo de confianza en color negro). El análisis se basa en el periodo 1921-2023.

En cuanto a los índices de TSM del océano Atlántico tropical, el índice tSATL exhibe una potencia significativa en 17.26 meses y 67.56 meses (Figura 2g), lo que muestra que la TSM del Atlántico sur tropical solo captura los periodos largos de la banda interanual. La Figura 2h expone que el índice tNATL oscila en dos picos 29.34 meses y 41.50 meses; esto indica que la TSM del Atlántico norte tropical oscila en los periodos largos de la banda bienal y en los periodos cortos de la banda interanual, respectivamente.

En conclusión, los índices N3 y N34 son los índices que oscilan más consistentemente en toda la banda bienal (24-36 meses) de las anomalías de la TSM del océano Pacífico tropical. En contraste, las anomalías de la TSM del océano Atlántico norte tropical oscilan, preferencialmente, en los periodos largos de la banda bienal. Nuestra expectativa es que estos nuevos resultados nos permitirán identificar los índices que mejor capturan uniformemente la banda bienal de la TSM de la región tropical de los océanos Pacífico y Atlántico. Esta información será idónea para la construcción de modelos estadísticos que pronostiquen las lluvias del Perú, tanto en la banda bienal como en la banda interanual (por ej., Lagos et al., 2008; Wu et al., 2018; Sulca et al., 2021).

Referencias

- Achuthavarier, D., Schubert, S. D., & Vikhliav, Y. (2017). North Pacific decadal variability: insights from a biennial ENSO environment. *Climate Dynamics*, 49(4), 1379-1397. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3391-1>
- An, S. I., & Wang, B. (2000). Interdecadal Change of the Structure of the ENSO Mode and Its Impact on the ENSO Frequency. *Journal Of Climate*, 13(12), 2044-2055. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<2044:ICOTSO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<2044:ICOTSO>2.0.CO;2)
- An, X., Wu, B., Zhou, T., & Liu, B. (2021). Atlantic Multidecadal Oscillation Drives Interdecadal Pacific Variability via Tropical Atmospheric Bridge. *Journal Of Climate*, 34(13), 5543-5553. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-20-0983.1>
- Ângulo, E. C., & Filho, A. J. P. (2022). Ocean Forcing on Titicaca Lake Water Volume. *Open Journal of Modern Hydrology*, 12(01), 1-10. <https://doi.org/10.4236/ojmh.2022.121001>
- Capotondi, A., Wittenberg, A. T., Newman, M., Di Lorenzo, E., Yu, J., Braconnot, P., Cole, J. E., Dewitte, B., Giese, B. S., Guilyardi, É., Jin, F., Karnauskas, K. B., Kirtman, B., Lee, T., Schneider, N., Xue, Y., & Yeh, S. (2015). Understanding ENSO diversity. *Bulletin of The American Meteorological Society*, 96(6), 921-938. <https://doi.org/10.1175/bams-d-13-00117.1>
- Dewitte, B., Illeg, S., Renault, L., Goubanova, K., Takahashi, K., Gushchina, D., Mosquera, K., & Purca, S. (2011). Modes of covariability between sea surface temperature and wind stress intraseasonal anomalies along the coast of Peru from satellite observations (2000–2008). *Journal of Geophysical Research*, 116(C4). <https://doi.org/10.1029/2010jc006495>
- Grinsted, A., Moore, J. C., & Jevrejeva, S. (2004). Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11(5/6), 561-566. <https://doi.org/10.5194/npg-11-561-2004>
- Ham, Y., Kug, J., & Park, J. Y. (2013). Two distinct roles of Atlantic SSTs in ENSO variability: North Tropical Atlantic SST and Atlantic Niño. *Geophysical Research Letters*, 40(15), 4012-4017. <https://doi.org/10.1002/grl.50729>
- Illeg, S., Dewitte, B., Goubanova, K., Cambon, G., Boucharel, J., Monetti, F., Romero, C. Y., Purca, S., & Flores, R. (2014). Forcing mechanisms of intraseasonal SST variability off central Peru in 2000–2008. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119(6), 3548-3573. <https://doi.org/10.1002/2013jc009779>
- Kao, H., & Yu, J. (2009). Contrasting Eastern-Pacific and Central-Pacific Types of ENSO. *Journal of Climate*, 22(3), 615-632. <https://doi.org/10.1175/2008jcli2309.1>
- Kim, K., & Lau, K. (2001). Dynamics of monsoon-induced biennial variability in ENSO. *Geophysical Research Letters*, 28(2), 315-318. <https://doi.org/10.1029/2000gl012465>
- Lagos, P., Silva, Y., Nickl, E., & Mosquera, K. (2008). El Niño – related precipitation variability in Perú. *Advances in Geosciences*, 14, 231-237. <https://doi.org/10.5194/adgeo-14-231-2008>
- Liu, Y., San Liang, X., & Weisberg, R. H. (2007). Rectification of the Bias in the Wavelet Power Spectrum. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 24(12), 2093-2102. <https://doi.org/10.1175/2007jtecho511.1>
- Mortensen, E., Wu, S. H., Notaro, M., Vavrus, S. J., Montgomery, R. J., De Piérola, J., Sánchez, C., & Block, P. (2018). Regression-based season-ahead drought prediction for southern Peru conditioned on large-scale climate variables. *Hydrology And Earth System Sciences*, 22(1), 287-303. <https://doi.org/10.5194/hess-22-287-2018>
- Rasmusson, E. M., Wang, X., & Ropelewski, C. F. (1990). The biennial component of ENSO variability. *Journal of Marine Systems*, 1(1-2), 71-96. [https://doi.org/10.1016/0924-7963\(90\)90153-2](https://doi.org/10.1016/0924-7963(90)90153-2)
- Rayner, N. A., Parker, D. E., Horton, E. B., Folland, C. K., Alexander, L. V., Rowell, D. P., Kent, E. C., & Kaplan, A. (2003). Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D14). <https://doi.org/10.1029/2002jd002670>
- Ren, H., & Wang, R. (2023). Diagnosing the Linear Periodicity Dynamics of ENSO for Its Two Spatiotemporal Modes. *Geophysical Research Letters*, 50(22). <https://doi.org/10.1029/2023gl105756>

Rodríguez-Fonseca, B., Polo, I., García-Serrano, J., Losada, T., Mohino, E., Mechoso, C. R., & Kucharski, F. (2009). Are Atlantic Niños enhancing Pacific ENSO events in recent decades? *Geophysical Research Letters*, 36(20). <https://doi.org/10.1029/2009gl040048>

Takahashi, K., Montecinos, A., Goubanova, K., & Dewitte, B. (2011). ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño. *Geophysical Research Letters*, 38(10). <https://doi.org/10.1029/2011gl047364>

Torrence, C., & Compo, G. P. (1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bulletin of The American Meteorological Society*, 79(1), 61-78. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2)

Tourre, Y. M., Rousseau, D., Jarlan, L., Le Roy Ladurie, E., & Daux, V. (2011). Western European climate, and Pinot noir grape harvest dates in Burgundy, France, since the 17th century. *Climate Research*, 46(3), 243–253. <https://doi.org/10.3354/cr00991>

Sulca, J., Vuille, M., Timm, O. E., Dong, B., & Zubieta, R. (2021). Empirical–Statistical Downscaling of Austral Summer Precipitation over South America, with a focus on the Central Peruvian Andes and the Equatorial Amazon Basin. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 60(1), 65-85. <https://doi.org/10.1175/jamc-d-20-0066.1>

Sulca, J., Takahashi, K., Espinoza, J. C., Tacza, J., Zubieta, R., Mosquera, K., Apaéstegui, J. (2024a). A multiple linear regression model for the prediction of summer rainfall in the northwestern Peruvian Amazon using large-scale indices. *Climate Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/s00382-023-07044-7>

Sulca, J., Apaéstegui, J., & Tacza, J. (2024b). New insights into the biennial-to-multidecadal variability of the water level fluctuation in Lake Titicaca in the 20th century. *Frontiers in Climate*, 5. <https://doi.org/10.3389/fclim.2023.1325224>

Wang, L., Yu, J., & Paek, H. (2017). Enhanced biennial variability in the Pacific due to Atlantic capacitor effect. *Nature Communications*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/ncomms14887>

Wu, S. H., Notaro, M., Vavrus, S. J., Mortensen, E., Montgomery, R. J., De Piérola, J., & Block, P. (2018). Efficacy of tendency and linear inverse models to predict southern Peru's rainy season precipitation. *International Journal of Climatology*, 38(5), 2590-2604. <https://doi.org/10.1002/joc.5442>

RESUMEN INFORME TÉCNICO

n.º PPR/EL NIÑO-IGP/2023-12

Publicado el 12 de enero de 2024

En noviembre, según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), se presentó la condición climática cálida fuerte (1.96 °C). Los valores del ICEN temporal (ICEN-tmp) de diciembre (1.47 °C) y enero (0.96 °C) corresponden a condiciones cálida moderada y cálida débil, respectivamente. Por otro lado, en el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de noviembre (1.94 °C) indica la condición cálida fuerte. Los valores temporales (ONI-tmp) de diciembre (1.95 °C) y enero (1.73 °C) coinciden en condiciones cálidas fuertes.

Según la información remota e in situ, aún se espera el arribo de ondas de Kelvin cálidas a la costa peruana, pero es probable que pierdan energía conforme se aproximan a la costa americana debido a la actual estructura vertical del océano en la zona oriental del Pacífico. Asimismo, es probable que el paquete de ondas de Kelvin frías, localizadas actualmente en el Pacífico central, alcancen la costa peruana a partir de marzo.

Los modelos de pronósticos indican que es muy probable que El Niño costero se extienda solo hasta enero o febrero del año en curso y continuaría con valores negativos aunque dentro del rango normal. Por otro lado, El Niño en el Pacífico central aún se mantendría durante todo el verano para luego pasar a un estado de La Niña en junio. Sin embargo, hay que tener en cuenta que a partir de abril los pronósticos son menos confiables como consecuencia de la barrera de predictibilidad.

El informe técnico completo se encuentra disponible en <https://bit.ly/InfTecnElNino2023-12IGP>





"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia,
y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

PP 068 "Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencia por Desastres"

Producto: "Estudios para la estimación de los riesgos de desastres"

Actividad: "Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño"

Instituto Geofísico del Perú

INFORME TÉCNICO N° PpR/El Niño-IGP/2023-12

12/01/2024

Advertencia: El presente informe sirve como insumo para la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño" (ENFEN). El pronunciamiento colegiado de la comisión multisectorial del ENFEN es la información oficial definitiva. La presente información podrá ser utilizada bajo su propia responsabilidad.

Resumen

En noviembre, según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), se presentó la condición climática cálida fuerte (1.96 °C). Los valores del ICEN temporal (ICEN-tmp) de diciembre (1.47 °C) y enero (0.96 °C) corresponden a condiciones cálida moderada y cálida débil, respectivamente. Por otro lado, en el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de noviembre (1.94 °C) indica la condición cálida fuerte. Los valores temporales (ONI-tmp) de diciembre (1.95 °C) y enero (1.73 °C) coinciden en condiciones cálidas fuertes.

Según la información remota e in situ, aún se espera el arribo de ondas de Kelvin cálidas a la costa peruana, pero es probable que pierdan energía conforme se aproximan a la costa americana debido a la actual estructura vertical del océano en la zona oriental del Pacífico. Asimismo, es probable que el paquete de ondas de Kelvin frías, localizadas actualmente en el Pacífico central, alcancen la costa peruana a partir de marzo.

Los modelos de pronósticos indican que es muy probable que El Niño costero se extienda solo hasta enero o febrero del año en curso y continuaría con valores negativos aunque dentro del rango normal. Por otro lado, El Niño en el Pacífico central aún se mantendría durante todo el verano para luego pasar a un estado de La Niña en junio. Sin embargo, hay que tener en cuenta que a partir de abril los pronósticos son menos confiables como consecuencia de la barrera de predictibilidad.

www.igp.gob.pe

Calle Badojox N° 169
Urb. Mayrazgo IV Etapa
Ate, Lima 15012 - Perú.
(51) 13172300



Advertencia: El presente informe sirve como insumo para la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño" (ENFEN). El pronunciamiento colegiado de la comisión multisectorial del ENFEN es la información oficial definitiva. La presente información podrá ser utilizada bajo su propia responsabilidad.

COMUNICADO OFICIAL

ENFEN n.º 01-2024



ESTUDIO NACIONAL DEL
FENÓMENO "EL NIÑO"

COMISIÓN MULTISECTORIAL ENCARGADA
DEL ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO "EL NIÑO" – ENFEN
Decreto Supremo n.º 007-2017-PRODUCE

Estado del sistema de alerta: Alerta de El Niño costero¹

Publicado el 12 de enero de 2024

La Comisión Multisectorial del ENFEN mantiene el estado de "Alerta de El Niño Costero", ya que es más probable que El Niño costero (región Niño 1+2, Figura 1) continúe hasta fines de verano, como consecuencia de la evolución de El Niño en el Pacífico central y a la variabilidad de las condiciones climáticas regionales.

Conforme al juicio experto del ENFEN, basado en los datos observados, así como de los pronósticos de los modelos climáticos internacionales que se tienen hasta la fecha, en la región Niño 1+2 son más probables las condiciones cálidas débiles hasta marzo, mientras que a partir de abril serían más probables las condiciones neutras (Figura 2).

Por otro lado, en el Pacífico central (región Niño 3.4, Figura 1) es más probable que las condiciones cálidas varíen de fuertes en enero a débiles en marzo, siendo abril un mes de transición a condiciones neutras, las cuales serían más probables en mayo y junio (Figura 2).

Para lo que resta del verano, el pronóstico estacional

vigente² indica que persistirían temperaturas del aire por encima de lo normal a lo largo de la costa norte y centro, principalmente. Es más probable que las lluvias en la costa norte y sierra norte registren valores entre normal y sobre lo normal, sin descartar lluvias de moderada intensidad en estos sectores, principalmente en enero. En el sur del país se prevén lluvias por debajo de lo normal, particularmente en la sierra sur oriental.

Entre enero y mayo se prevén caudales de normal a sobre lo normal en los ríos de la zona noroccidental del país, con la posible ocurrencia de crecidas principalmente entre enero y febrero. En la zona centro-occidental, las condiciones hidrológicas serían en promedio normales, sin descartar eventos de crecidas repentinas que podrían afectar las actividades en los ríos y zonas aledañas, además de posibles activaciones de quebradas. Se prevé que los caudales de la región hidrográfica del Pacífico sur y Titicaca se encuentren en el rango de lo normal a debajo de lo normal³.

¹ Alerta de El Niño costero: Según las condiciones recientes, usando criterio experto en forma colegiada, el Comité ENFEN considera que el evento El Niño costero ha iniciado y/o el valor del ICENTmp indica condiciones cálidas, y se espera que se consolide El Niño costero. Al inicio del texto del CO se indicará un rango de magnitudes tentativas y su posible duración, así como una indicación sobre los posibles impactos en la lluvia y temperaturas.

² Perspectivas climáticas enero-marzo 2024: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02262SENA-42.pdf>

³ Pronóstico hidrológico a nivel nacional enero-mayo 2024: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02694SENA-41.pdf>

En cuanto a los recursos pesqueros pelágicos, se espera que los indicadores reproductivos de la anchoveta del stock norte-centro, asociados al periodo secundario de desove en el verano, se desarrollen de acuerdo a su patrón histórico. Por otro lado, en el caso de las especies transzonales, para las próximas semanas, se prevé que continúe la disponibilidad de bonito, caballa y perico, de acuerdo a su estacionalidad. En relación a los recursos demersales, para las próximas semanas, se espera que, mientras se mantengan las condiciones ambientales ocasionadas por el arribo de la onda Kelvin cálida, persista la alta dispersión de la merluza. Asimismo, se espera que el calamar gigante o pota mantenga su disponibilidad a la pesquería, especialmente frente a la costa norte.

Se recomienda a los tomadores de decisiones tener en cuenta los posibles escenarios de riesgo, de acuerdo con el pronóstico estacional vigente y las proyecciones para el verano de 2024, con la finalidad de que se adopten las acciones que correspondan para la reducción del riesgo y la preparación para la respuesta.

La Comisión Multisectorial del ENFEN continuará informando sobre la evolución de las condiciones oceánicas-atmosféricas y actualizando las perspectivas. El ENFEN emitirá su próximo comunicado oficial el viernes 26 de enero de 2024.

- Para mayor información, consultar el Informe Técnico Mensual en el siguiente enlace: <https://bit.ly/InfTecENFEN01-2024>
- Puede acceder a leer en comunicado en su totalidad a través del siguiente enlace: <https://bit.ly/comunicadoENFEN01-2024>

INSTITUCIONES MIEMBROS DEL ENFEN



COMUNICADO OFICIAL

ENFEN n.º 02-2024



ESTUDIO NACIONAL DEL
FENÓMENO "EL NIÑO"

COMISIÓN MULTISECTORIAL ENCARGADA
DEL ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO "EL NIÑO" – ENFEN
Decreto Supremo n.º 007-2017-PRODUCE

Estado del sistema de alerta: Alerta de El Niño costero¹

Publicado el 26 de enero de 2024

La Comisión Multisectorial del ENFEN mantiene el estado de "Alerta de El Niño Costero", ya que es más probable que El Niño costero (región Niño 1+2, Figura 1) continúe hasta fines de verano, como consecuencia de la evolución de El Niño en el Pacífico central y a la variabilidad de las condiciones climáticas regionales.

Conforme al juicio experto del ENFEN, basado en los datos observados, así como de los pronósticos de los modelos climáticos internacionales que se tienen hasta la fecha², en la región Niño 1+2 es más probable que las condiciones cálidas débiles continúen hasta febrero. Entre marzo y abril habría una transición a condiciones neutras, estas últimas serían más probables en mayo, seguidas de condiciones frías por lo pronto hasta julio (Figura 2).

Por otro lado, en el Pacífico central (región Niño 3.4, Figura 1) es más probable que las condiciones cálidas se mantengan hasta marzo variando de moderadas a débiles. En abril ocurriría una transición de condiciones cálidas a neutras, estas últimas serían más

probables en mayo y junio. En julio es más probable un escenario de condiciones frías (Figura 2).

Según el pronóstico estacional febrero-abril 2024³, en lo que resta del verano persistirían temperaturas del aire por encima de lo normal a lo largo de la costa norte y centro, principalmente. Asimismo, es más probable que las lluvias en la costa norte registren valores normales; mientras que, en la sierra norte estarían entre valores normales y sobre lo normal, sin descartar lluvias puntuales de moderada intensidad en ambos sectores. En la región andina sur del país se prevén lluvias de normal a bajo lo normal.

Entre febrero y mayo se prevén caudales de normal a sobre lo normal en los ríos de la zona noroccidental del país, con la posible ocurrencia de crecidas, principalmente en febrero. En la zona centro-occidental, las condiciones hidrológicas serían en promedio normales, sin descartar eventos de crecidas repentinas que podrían afectar las actividades en los ríos y zonas aledañas, además de posibles

¹ Alerta de El Niño costero: Según las condiciones recientes, usando criterio experto en forma colegiada, el Comité ENFEN considera que el evento El Niño costero ha iniciado y/o el valor del ICENtmp indica condiciones cálidas, y se espera que se consolide El Niño costero. Al inicio del texto del CO se indicará un rango de magnitudes tentativas y su posible duración, así como una indicación sobre los posibles impactos en la lluvia y temperaturas.

² Hay que tomar en cuenta que los pronósticos de los modelos climáticos son menos confiables desde abril para adelante, esto como consecuencia de la barrera de predictibilidad (<https://doi.org/10.1002/joc.3513>). Esta situación mejorará cuando los pronósticos se realicen a partir de mayo o junio.

³ Perspectivas climáticas febrero-abril 2024: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02262SENA-43.pdf>

activaciones de quebradas. Se prevé que los caudales de la región hidrográfica del Pacífico sur y Titicaca se encuentren en el rango de lo normal a debajo de lo normal⁴.

En cuanto a los recursos pesqueros, se espera que la anchoveta del stock norte-centro continúe con el incremento de su actividad desovante, asociada al periodo secundario de desove en el verano. Por otro lado, en lo que resta del verano se mantendría la disponibilidad de perico, caballa y jurel, de acuerdo a su estacionalidad. En relación a la merluza, para las próximas semanas se espera que se mantengan los niveles de captura por unidad de esfuerzo, al norte de Punta La Negra. Asimismo, es probable que el calamar gigante o pota mantenga su distribución preferencial frente a la costa norte en lo que resta del verano.

Se recomienda a los tomadores de decisiones tener en cuenta los posibles escenarios de riesgo, de acuerdo con el pronóstico estacional vigente y las proyecciones hasta julio, con la finalidad de que se adopten las acciones que correspondan para la reducción del riesgo y la preparación para la respuesta.

La Comisión Multisectorial del ENFEN continuará informando sobre la evolución de las condiciones oceánicas-atmosféricas y actualizando las perspectivas. El ENFEN emitirá su próximo comunicado oficial el viernes 16 de febrero de 2024.

- Para mayor información, consultar el Informe Técnico Mensual en el siguiente enlace: <https://bit.ly/InfTecENFEN02-2024>
- Puede acceder a leer en comunicado en su totalidad a través del siguiente enlace: <https://bit.ly/comunicadoENFEN02-2024>

INSTITUCIONES MIEMBROS DEL ENFEN



⁴ Pronóstico hidrológico a nivel nacional enero-mayo 2024: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02694SENA-41.pdf>



-  @igp.peru
-  @igp_peru
-  @igp.peru
-  @igp_videos
-  @institutogeofisicodelperu
-  @igp.peru