



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



IGP

Instituto
Geofísico
del Perú



BOLETÍN CIENTÍFICO

EL NIÑO

Vol. 10 n.º 04 abril 2023

PROGRAMA PRESUPUESTAL n.º 068

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

En este boletín ◆◆◆

4

pág.

Modos interdecenales de las precipitaciones
de los Andes centrales en el siglo XX

11

pág.

Reserva Nacional Dorsal de Nasca: experimento
numérico bajo condiciones climatológicas

16

pág.

Resumen del informe técnico de El Niño

17

pág.

Resúmenes de los comunicados ENFEN



BICENTENARIO
DEL PERÚ
2021 - 2024

CRÉDITOS

Albina Ruiz Ríos
Ministra del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú:

Hernando Tavera Huarache
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: Nubes de lluvia en los Andes
Foto: Jorge Andrés Concha Calle

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, julio de 2023

Puedes acceder a la colección completa de los boletines científicos El Niño escaneando el siguiente código QR.



INTRODUCCIÓN

El Programa Presupuestal por Resultados (PPR) es una estrategia de gestión pública que vincula la asignación de recursos a productos y resultados medibles a favor de la población. Dichos resultados se vienen implementando progresivamente a través de los programas presupuestales, las acciones de seguimiento del desempeño sobre la base de indicadores, las evaluaciones y los incentivos a la gestión, entre otros instrumentos que determina el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), a través de la Dirección General de Presupuesto Público, en colaboración con las demás entidades del Estado.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) viene participando en el Programa Presupuestal por Resultados 068: "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres". A partir del año 2014, algunas de las instituciones integrantes de la Comisión Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) participan en este PPR con el producto denominado "Estudios para la estimación del riesgo de desastres", el cual consiste en la entrega en forma oportuna de información científica sobre el monitoreo y pronóstico de este evento natural océano-atmosférico, mediante informes técnicos mensuales, que permita la toma de decisiones a 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 pronósticos de modelos climáticos internacionales, el desarrollo y validación de nuevos modelos de pronóstico, así como el desarrollo de estudios científicos que fortalecerán en forma continua la capacidad para este fin.

El presente boletín tiene como objetivo difundir conocimientos y avances científicos, además de noticias relacionadas, con la finalidad de mantener informados a los usuarios y proporcionarles las herramientas para un uso óptimo de la información presentada. Asimismo, comparte una versión resumida del Informe Técnico que el IGP elabora mensualmente para cumplir con los compromisos asumidos en el marco del PPR 068. Dicho Informe contiene información actualizada operativamente y proporcionada por el IGP como insumo para que el ENFEN genere en forma colegiada la evaluación final que será entregada a los usuarios. Se advierte que, en caso de discrepancias, el Informe Técnico del ENFEN prevalecerá.

Los resultados de esta actividad están disponibles en https://bit.ly/IGP-SCAH-informes_tecnicos

MODOS INTERDECENALES DE LAS PRECIPITACIONES DE LOS ANDES CENTRALES EN EL SIGLO XX

Juan Sulca¹, Mathias Vuille²,
Bo Dong³

¹ Instituto Geofísico del Perú,
Lima, Perú

² Department of Atmospheric and
Environmental Sciences, University at
Albany-SUNY, New York, US

³ National Centre for Earth Observation,
Department of Meteorology, University of
Reading, Reading, UK



Juan Sulca es máster en Ciencias de la University at Albany-SUNY (New York, EE. UU.) y Físico de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM, Perú). Actualmente es investigador asociado en el Instituto Geofísico del Perú (IGP). Autor de varios artículos científicos. Su investigación está centrada en los impactos de los océanos Pacífico y Atlántico en las lluvias de América del Sur a través de teleconexiones atmosféricas.

Palabras clave: Andes centrales, precipitación, variabilidad interdecenal, El Niño 4 interdecenal, Oscilación Multidecenal del Atlántico, Oscilación Interdecenal del Pacífico

Citar como Sulca, J., Vuille, M. & Dong, B. (2023). Modos interdecenales de las precipitaciones de los Andes centrales en el siglo XX. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 10 n.º 04, págs. 4-10.

Resumen

La variabilidad de la precipitación de verano en los Andes centrales (10-30° S, AC) en escala interdecenal (varias decenas de años), entre 1921 y 2010, se describe aplicando un filtro pasabanda para retener la variabilidad de más de 20 años en los índices de El Niño-Oscilación del Sur (Niño 1+2 [IN1+2] y Niño 4 [IN4]), la Oscilación Interdecenal del Pacífico (OIP), la Oscilación Multidecenal del Atlántico (OMA) y el reanálisis ERA-20C. La variabilidad interdecenal de las precipitaciones de los AC se describe mediante las “funciones ortogonales empíricas rotadas” (REOF). Los dos primeros modos REOF de precipitación representan el 40.4 % y 18.6 % de la varianza interdecenal total. El REOF1 presenta un patrón de precipitación tipo dipolo, es decir, con señales opuestas entre el norte de Bolivia y el Altiplano chileno. El REOF2 presenta un patrón de precipitación con valores negativos altos sobre los Andes peruanos del sur. La fase positiva de REOF1 está asociada al transporte de humedad proveniente de la Amazonía hacia los Andes bolivianos norte por el fortalecimiento

de vientos del este sobre los Andes centrales en la alta tropósfera que incrementa la precipitación sobre el Altiplano boliviano y la parte norte de los Andes chilenos y argentinos (17-25° S). En contraste, la fase positiva de REOF2, con menor precipitación en los Andes centrales peruanos, está asociada con un debilitamiento del transporte de humedad del este causado por los vientos anómalos del oeste sobre el Perú en los niveles troposféricos altos. La fase caliente de la OIP se asocia a precipitaciones reducidas sobre los Andes centrales, aunque se encontró que el IN4 presenta una señal más fuerte que la OIP debido a vientos anómalos del oeste más intensos sobre los Andes centrales en la alta tropósfera. No se encontró una relación lineal significativa de la OMA con las precipitaciones de los Andes centrales.

1. Introducción

El sistema monzónico de América del Sur (SAMS, por sus siglas en inglés) es uno de los principales componentes de la circulación atmosférica del

hemisferio sur (Zhou y Lau, 1998) que determina el régimen de las precipitaciones en Sudamérica. El SAMS inicia en octubre, madura de diciembre a febrero y decae en abril (p. ej., Marengo et al., 2001; Raia y Cavalcanti, 2008; Garreaud et al., 2009; Marengo et al., 2012). Durante los meses de verano (diciembre-febrero, DEF), la precipitación cae principalmente sobre la región centro-sur de la Amazonia y la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS). La ZCAS es una banda de convección profunda orientada de noroeste a sureste que produce precipitaciones intensas, la cual se extiende desde América del Sur tropical hacia el sureste hasta el océano Atlántico Sur (Kodama, 1992). En la tropósfera alta, a 200 hPa, el sistema Alta de Bolivia y Baja del Nordeste (AB-BN) sobre América del Sur es la principal característica (Chen et al., 1999). Chen et al. (1999) muestran que el calor latente liberado durante la convección sobre la cuenca del Amazonas determina la estructura fundamental del sistema AB-BN. El sistema AB-BN se desvanece hasta el invierno cuando se establece el flujo zonal del oeste en la tropósfera alta sobre el continente sudamericano.

La variabilidad interdecenal, con periodos mayores a 20 años, de las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) sobre la cuenca del Pacífico ha sido documentada en varios estudios a través de diferentes índices, tales como la Oscilación Interdecenal del Pacífico (OIP; Zhang et al., 1997). La OIP es el modo dominante de variaciones decenales a multidecenales de las TSM en la cuenca del Pacífico, la cual se asemeja a los patrones de anomalías de la TSM relacionados con El Niño-Oscilación Sur (ENOS) (Zhang et al., 1997; Power et al., 1999). El mecanismo exacto detrás de la OIP no se comprende completamente, aunque se han proporcionado múltiples hipótesis (Liu, 2012).

Varios estudios encontraron que la OIP modula la precipitación de América del Sur (Dai, 2013; Dong y Dai, 2015; Dong et al., 2018). Grimm y Saboia (2015) encontraron que la OIP modula la intensidad de los dos principales modos de precipitación de verano en América del Sur. Por ejemplo, la fase cálida de la OIP reduce las precipitaciones de verano sobre el noroeste de Sudáfrica y la Amazonía ecuatorial oriental. Al mismo tiempo, aumentan las precipitaciones de verano sobre el centro de Argentina y partes de la cuenca sur del Amazonas. Por el contrario, la influencia de la OIP es mixta, sin una señal clara sobre los Andes centrales.

La Oscilación Multidecenal del Atlántico (OMA) se caracteriza por el calentamiento o enfriamiento de la TSM del Atlántico norte, en alrededor de 0.4 °C, con un periodo que oscila entre 65 y 80 años (Enfield et al., 2001). Varios estudios han demostrado que la OMA se correlaciona con la variabilidad de la TSM del Pacífico. Por ejemplo, Enfield et al. (2001) documentaron que la OMA tiene una correlación significativamente positiva con las TSM sobre el Pacífico norte, al norte de 30° N, y una correlación negativa, aunque insignificante, sobre el Pacífico central. Timmermann et al. (2007) encontraron que la fase fría (cálida) de la OMA está asociada con una fuerte (débil) variabilidad del ENOS y una magnitud reducida (aumentada) del ciclo anual de la TSM en el Pacífico tropical oriental.

La variabilidad interanual de la precipitación de verano austral sobre los Andes centrales (10-30° S) está influenciada por los cambios en la circulación atmosférica en respuesta a las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) del Pacífico tropical (Garreaud y Aceituno, 2001; Garreaud et al., 2003; Vuille y Keimig, 2004; Sulca et al., 2018; Segura et al., 2020). En contraste, poco se ha publicado sobre la variabilidad decenal y multidecenal de la precipitación y cómo puede estar relacionada con las variaciones de baja frecuencia de las anomalías de la TSM en los océanos Pacífico y Atlántico (Segura et al., 2016; He et al., 2021). Segura et al. (2016) encontraron que las anomalías calientes de la componente interdecenal del Pacífico occidental reducen las lluvias en el Altiplano peruano a través de las anomalías de vientos del oeste sobre los Andes centrales en la alta tropósfera. Recientemente, He et al. (2021) documentaron que la variabilidad multidecenal de los océanos Pacífico y Atlántico no presentan correlaciones significativas con las precipitaciones de verano de los Andes centrales. Los pocos estudios son una consecuencia de la escasez de observaciones con largos registros necesarios para investigar los mecanismos relacionados a los cambios de precipitación en los Andes. Sin embargo, estos estudios no han evaluado el rol de la componente interdecenal de las anomalías de la TSM del océano Pacífico (IN1+2, IN4 e OIP) y del océano Atlántico, tal como la OMA sobre la variabilidad interdecenal de la precipitación de verano sobre los Andes centrales a escalas interdecenales.

Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo describir

la variabilidad interdecenal de la precipitación de verano sobre los Andes centrales desde 1921 hasta 2010 y su relación con el componente interdecenal de los índices de TSM del Pacífico y del Atlántico. Nuestros resultados servirán como insumo para mejorar y desarrollar modelos de predicción de precipitación de verano sobre los Andes del Perú a escalas mayores a 20 años.

2. Datos y metodología

a) Datos

Para la presente investigación se utilizan datos del período 1920-2010, tales como los datos grillados mensuales de precipitación (P) sobre el continente obtenidos del Centro de Climatología de Precipitación Global (GPCC full v2020, https://opendata.dwd.de/climate_environment/GPCC/html/fulldata-monthly_v2020_doi_descargar.html; Schneider et al., 2020), con una resolución horizontal de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$. Los datos GPCC fueron elegidos debido a que contienen información de las lluvias de estaciones climáticas sobre los Andes centrales con más de 1000 meses

(Sulca et al., 2022a). Los datos de vientos y altura geopotencial a 200 hPa son extraídos del reanálisis ERA-20C (Poli et al., 2016), proporcionados por el Centro Europeo de Pronósticos Meteorológicos a Medio Plazo, a $1^\circ \times 1^\circ$ de resolución. Además, se emplean los datos mensuales de la TSM (HadISST v1.1) proporcionados por la oficina de meteorología del Centro Hadley (Rayner et al., 2003), de una resolución espacial de $1^\circ \times 1^\circ$. Adicionalmente, los índices Niño 1+2 y Niño 4 para las anomalías de la TSM del Pacífico ecuatorial oriental y occidental fueron obtenidos del Laboratorio de Ciencias Físicas de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA-PSL; https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries). El índice OMA se obtuvo de la NOAA-PSL (Enfield et al., 2001), la cual se puede descargar gratuitamente en <https://psl.noaa.gov/data/correlation/amon.us.long>.

b) Métodos

Las anomalías de todos los datos analizados se calculan como la diferencia entre el valor específico de verano y su valor climatológico (1921-2010). Luego, se remueve la tendencia lineal de las anomalías.

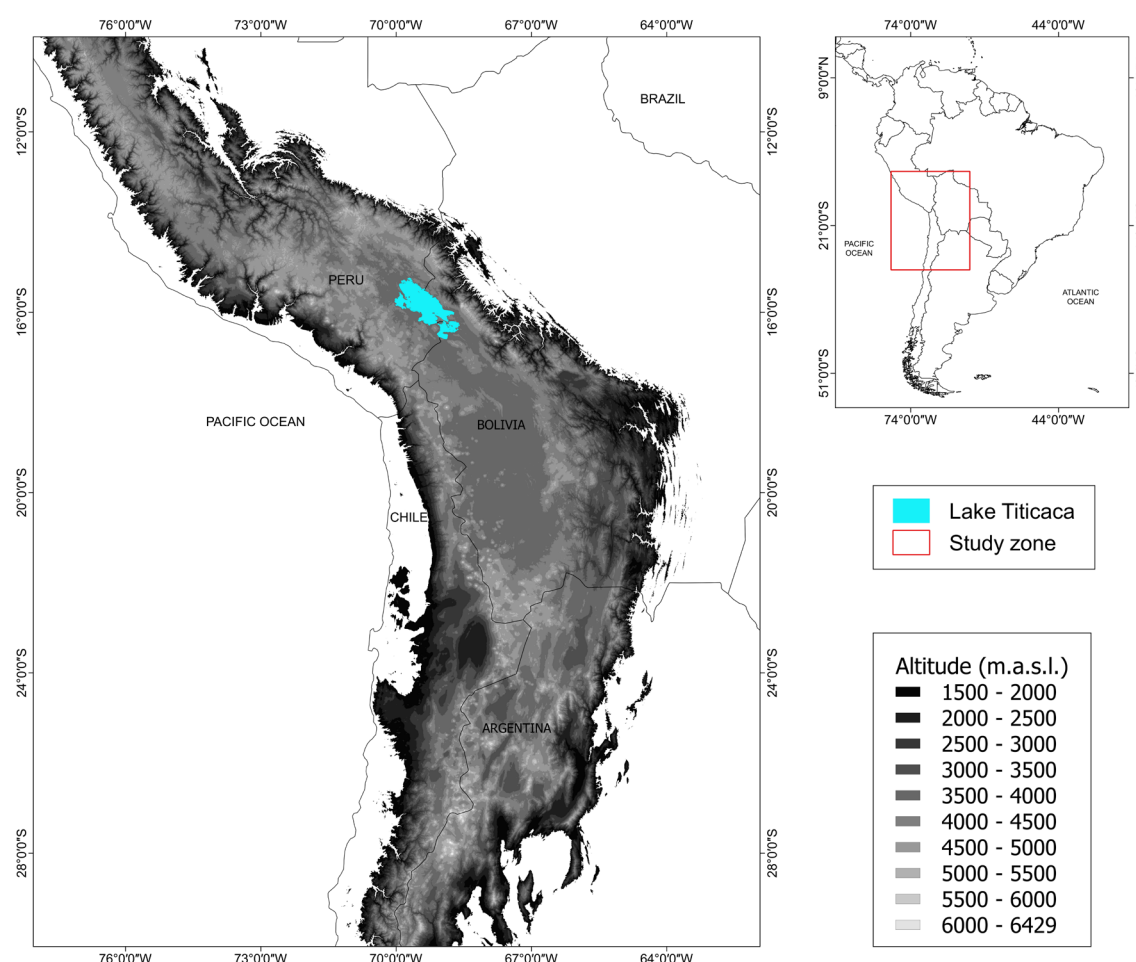


Figura 1. Ubicación de los Andes Centrales. En grises, se muestra la elevación topográfica de la cordillera de los Andes por encima de los 1500 m. Adaptado de Sulca et al. (2022b).

El índice OIP se calculó a través de una media móvil de 3 años de la primera componente principal de la TSM global para el período 1921-2010; luego, se aplicaron dos consecutivas medias móviles de 9 años a la serie de tiempo del componente principal (PC) (Dong y Dai, 2015 (DD15)). Debido que la metodología propuesta en DD15 nos permite centrarnos en la variabilidad interdecadal mayor a 20 años, elegimos este mismo filtro para obtener la componente interdecadal de las anomalías estandarizadas de la precipitación DEF sobre los Andes centrales (en adelante, IPRE), los índices ENOS (IN1+2 y IN4) y los índices de la Oscilación Interdecadal del Pacífico (OIP) y la Oscilación Multidecadal del Atlántico (OMA) durante DEF para el período 1921-2010.

Se aplicó el método función empírico ortogonal rotado para identificar los patrones espaciales de lluvias (en adelante REOFs) y sus respectivas series temporales (i. e., componentes principales; en adelante CPs) de la componente interdecadal de las lluvias DEF estandarizadas de los Andes centrales (10°S - 30°S , 80.125°W - 59.875°W ; Figura 1) para el período 1921-2010 para elevaciones topográficas mayores a 1500 m s. n. m.

Se realizó también la regresión lineal de las series de tiempo de las REOF1 y REOF2 con las anomalías de la componente interdecadal de los vientos y altura geopotencial sobre el continente sudamericano a 200 hPa durante DEF en el período 1921-2010. La significancia estadística de los coeficientes de regresión se basa en una prueba t-Student al 95 % de nivel de confianza (Chatterjee y Hadi, 1986).

3. Resultados y discusión

Para descomponer la variabilidad de la precipitación de los Andes centrales en patrones regionales, aplicamos un REOF a la componente interdecadal de las anomalías de precipitación sobre los Andes centrales entre 1921 y 2010. Los dos principales modos REOF explican 40.4 % y 18.6 % de la varianza total, con diferentes patrones de precipitación sobre los Andes centrales. Por ejemplo, la REOF1, en su fase positiva, presenta un dipolo de precipitación con señales negativas altas sobre los Andes chilenos (23°S - 30°S) y valores positivos altos sobre el Altiplano

boliviano entre 17°S y 23°S (Figura 2a). Esto indica que la precipitación DEF en el Altiplano boliviano y el Altiplano chileno está desfasada en escalas interdecenales. El patrón REOF2 presenta señales negativas altas y significativas sobre los Andes del sur del Perú (12.5°S - 17.5°S) (Figura 2b), semejante a uno de los patrones interanuales de lluvias de los Andes centrales (Vuille y Keimig, 2004). De acuerdo con estos resultados, la precipitación sobre la mayor parte del Altiplano boliviano está desfasada con la precipitación sobre las partes norte y sur de los Andes centrales en escalas interdecenales, lo que sugiere que la precipitación DEF sobre el Altiplano boliviano se ve afectada por dos diferentes forzantes de gran escala en las escalas interdecenales.

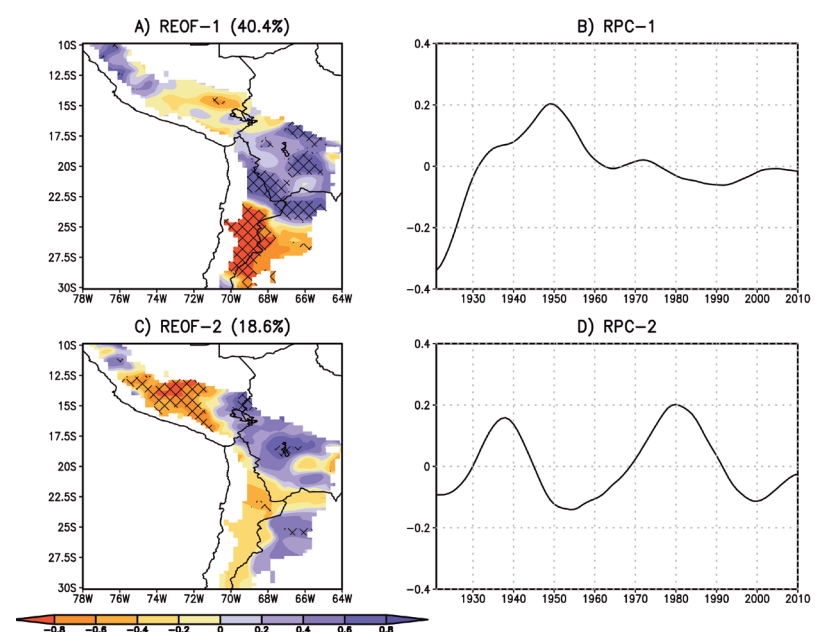


Figura 2. a) Patrón REOF 1 de las anomalías de la componente interdecadal de la precipitación DEF sobre los Andes centrales (IPRE). El número entre paréntesis indica la varianza total explicada. Se debe tener en cuenta que el análisis se limita a las regiones por encima de 1500 m s. n. m. b) La serie temporal de REOF1 de la componente interdecadal de la precipitación DEF sobre la región de los Andes centrales. c y d) Como en a) y b), pero para la REOF2. Las regiones tachadas muestran correlaciones estadísticamente significativa entre la IPRE DEF y sus REOFs al nivel de confianza del 95 %. Análisis está basado en el período 1921-2010. Adaptado de Sulca et al. (2022b).

La fase positiva de REOF1 está asociada con anomalías de los vientos del este en niveles altos sobre la parte central de los Andes centrales, a 200 hPa, mientras que los vientos del oeste prevalecen sobre la parte sur de los Andes centrales (al sur de 26°S), asociados con un desplazamiento hacia el suroeste de la Alta de Bolivia (Figura 3a). El aumento del flujo de humedad del este desde los niveles bajos hacia la parte central de los

Andes centrales indica un mayor movimiento vertical y actividad convectiva sobre la cordillera de los Andes, tal como se propone para los veranos húmedos sobre los Andes centrales en la escala interanual (Garreaud et al., 2003; Vuille y Keimig, 2004). Estos resultados sugieren que un mecanismo similar también puede ser dominante en escalas de tiempo interdecenales. El campo de correlación de la TSM indica un dipolo sobre el Atlántico, con correlaciones negativas sobre el Atlántico sur tropical y correlaciones positivas sobre el Atlántico norte, mientras que las correlaciones negativas dominan sobre el Pacífico ecuatorial central (Figura 3b). Las correlaciones negativas significativas de la TSM sobre el Pacífico central con la IPRE ratifican la relación negativa estadísticamente significativa entre la TSM del Pacífico central y la componente de baja frecuencia de la precipitación DEF de los Andes centrales en el periodo 1956-2014 (Segura et al., 2016).

La Figura 3a también muestra la presencia de anomalías significativas de los vientos del este sobre los Andes peruanos centrales a 200 hPa, consistentes con las señales positivas de precipitación para las regiones localizadas al norte de 14° S. Estas anomalías de viento del este de 200 hPa dan como resultado condiciones húmedas sobre los Andes peruanos centrales durante la fase positiva de REOF1 (Vuille et al., 2008) y son consistentes con las anomalías negativas de la TSM sobre el océano Pacífico central (Figura 3b).

La fase positiva de REOF2 está asociada con anomalías de vientos del oeste en niveles altos sobre las partes central y norte de los Andes centrales, a 200 hPa, mientras que los vientos del este prevalecen sobre la parte sur de los Andes centrales (al sur de 25° S) (Figura 3c). Estas anomalías del oeste en los niveles altos en escalas de tiempo interdecenales inducen

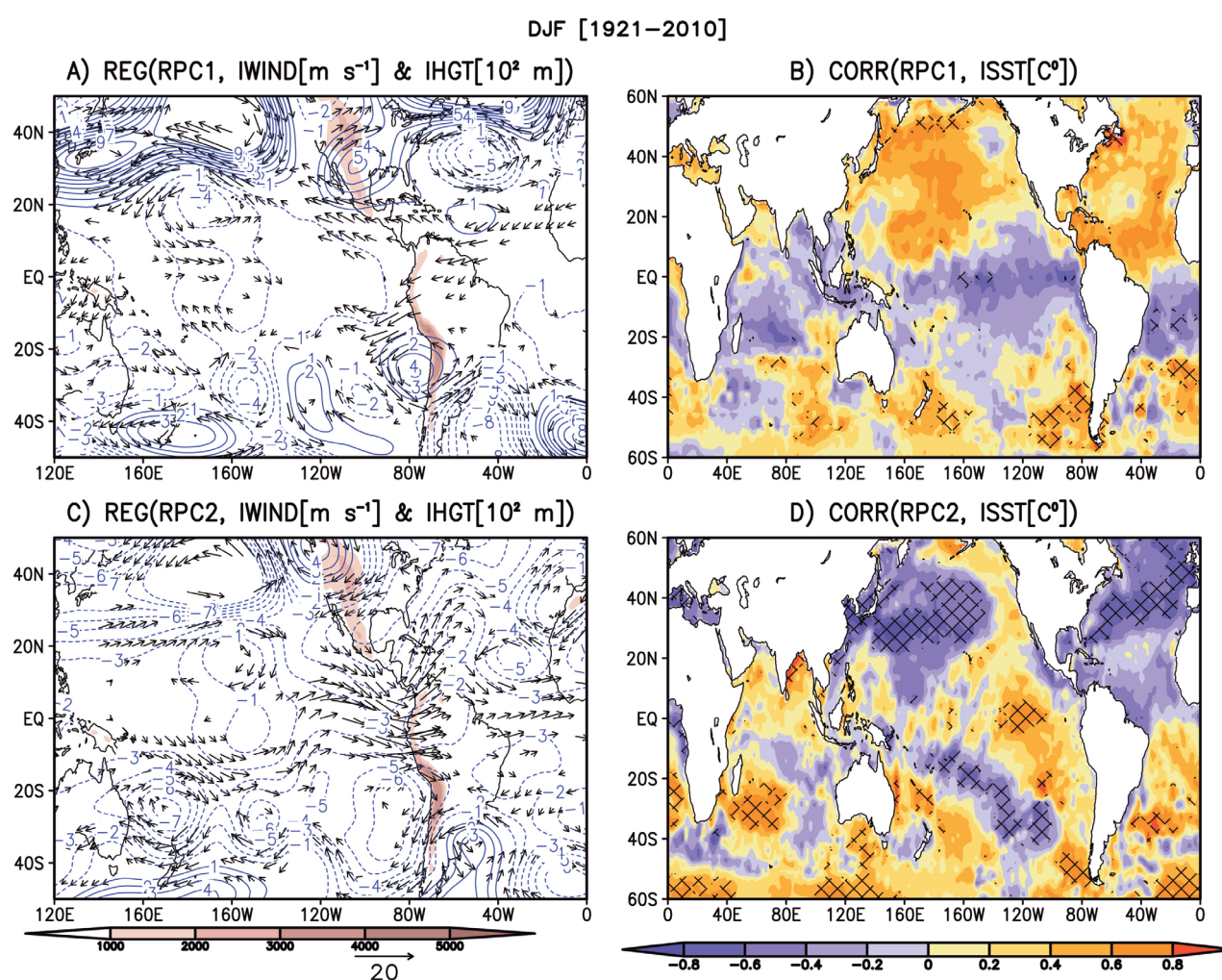


Figura 3. Los coeficientes de regresión lineal entre el componente interdecadal de las anomalías de los viento (m s^{-1}) y altura geopotencial (m) sobre América del Sur a 200 hPa y (A) el primer componente principal rotado de la componente interdecadal de la precipitación DEF (REOF1) sobre los Andes centrales. Los valores están en m s^{-1} y 100 m para una desviación estándar de la serie temporal REOF1. Se omitieron los contornos de las anomalías de altura geopotencial iguales a cero y los contornos negativos se puntúan. Los vectores negros tienen componentes de viento zonal y meridional estadísticamente significativos al 95 % de nivel de confianza. La topografía de los Andes por encima de los 1000 m se indica con sombreado marrón. (B) Los coeficientes de correlación entre REOF1 y el componente interdecadal de la TSM global DEF para el periodo 1921-2010. Las regiones tachadas indican una correlación estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95 %. (C y D) Como en (A y B) pero para el segundo componente principal rotado del componente interdecadal de la precipitación DEF (REOF2). El análisis basado en el reanálisis ERA-20C. El análisis cubre el periodo 1921-2010. Adaptado de Sulca et al. (2022b).

veranos secos sobre los Andes del sur del Perú a través de la reducción del flujo de humedad del este desde los niveles bajos hacia los Andes. Las anomalías de los vientos del este sobre el sur de los Andes centrales son parte de una anomalía de circulación anticiclónica centrada en 45° O, 35° S en la tropósfera superior (Figura 3c). Este anticiclón anómalo indica un desplazamiento hacia el sur de la ZCAS, consistente con las significativas anomalías positivas de la TSM sobre el sur del Atlántico sur. Al mismo tiempo, un dipolo de la TSM sobre el sudoeste del océano Pacífico es indicativo de un desplazamiento hacia el sur de la Zona de Convergencia del Pacífico Sur (Figura 3d). La Figura 3d también muestra anomalías negativas significativas de la TSM sobre el Atlántico norte. Sin embargo, la OMA y la REOF2 no presentan una correlación lineal significativa estadísticamente.

Finalmente, la fase cálida de los índices IN4, IN1+2 y OIP se asocian a anomalías secas significativas en gran parte de los Andes centrales occidentales, excepto en los Andes peruanos del sudoeste, donde el índice IN4 muestra la señal más fuerte (no mostrado). Estos resultados revelan que las anomalías cálidas de la TSM sobre el Pacífico ecuatorial central impactan sustancialmente la precipitación DEF sobre los Andes centrales en escalas de tiempo interdecenales, y el índice IN4 describe mejor esta relación que la OIP comúnmente empleada. Las anomalías de los vientos del oeste en los niveles troposféricos altos (200 hPa) sobre los Andes centrales inducen estas anomalías secas (no mostrado).

Referencias

- Chatterjee, S. and Hadi, A.S. (1986). Influential observations, high leverage points, and outliers in linear regression. *Statist. Sci.*, 1(3), 379–416. <https://doi.org/10.1214/ss/1177013622>
- Chen, T.-S., Weng, S.-P. and Schubert, S. (1999). Maintenance of austral summertime upper-tropospheric circulation over tropical South America: the Bolivian high–Nordeste low system. *J. Atmos. Sci.*, 56, 2081–2100. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1999\)056<2081:MOASUT.2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1999)056<2081:MOASUT.2.0.CO;2)
- Dai, A. (2013). The influence of the inter-decadal Pacific oscillation on US precipitation during 1923–2010. *Clim. Dyn.*, 41, 633–646. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1446-5>
- Dong, B., and Dai, A. (2015). The influence of the Interdecadal Pacific Oscillation on temperature and precipitation over the globe. *Clim. Dyn.*, 45, 2667–2681. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2500-x>
- Dong, B., Dai, A., Vuille, M., and Timm, O.E. (2018). Asymmetric modulation of ENSO teleconnections by the interdecadal Pacific oscillation. *J. Clim.*, 31, 7337–7361. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0663.1>
- Enfield, D.B., Mestas-Núñez, A.M., and Trimble, P. (2001). The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. *Geophys. Res. Lett.* 28(10), 2077–2080. <https://doi.org/10.1029/2000GL012745>
- Garreaud, R.D. and Aceituno, P. (2001). Interannual rainfall variability over the South American Altiplano. *J. Clim.*, 14, 779–789.
- Garreaud, R., Vuille, M. and Clement, A.C. (2003). The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. *Paleogeogr., Palaeoclimatol., Paleoecol.*, 194, 5–22.
- Garreaud, R., Vuille, M., Compagnucci, R. and Marengo, J. (2009). Present-day South American climate. *Paleogeogr., Palaeoclimatol., Paleoecol.*, 281, 180–195. <https://doi.org/10.1016/j.paleo.2007.10.032>
- Grimm, A.M., and Saboia, J.P.J. (2015). Interdecadal variability of the South American precipitation in the Monsoon season. *J. Clim.*, 28, 755–775. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00046.1>
- He, Z., Dai, A., and Vuille, M. (2021). The joint impacts of Atlantic and Pacific multidecadal variability on South American precipitation and temperature. *J. Clim.*, 34, 7959–7981. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0081.1>
- Kodama, Y. (1992). Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 70, 813–836. https://doi.org/10.2151/jmsj1965.70.4_813
- Liu, Z.Y. (2012). Dynamics of interdecadal climate variability: a historical perspective. *J. Clim.*, 25, 1963–1995. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI3980.1>
- Marengo, J.A., Liebmann, B., Kousky, V.E., Filizola, N.P. and Wainer, I.C. (2001). Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon basin. *J. Clim.*, 14, 833–852. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<0833:OAEOTR.2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<0833:OAEOTR.2.0.CO;2)
- Marengo, J., Liebmann, B., Grimm, A.M., Misra, V., Silva Dias, P.L., Cavalcanti, I.F.A., ... Alves, L.M. (2012). Recent developments on the South American monsoon system. *Int. J. Climatol.*, 32, 1–12. <https://doi.org/10.1002/joc.2254>
- Poli, P., Hersbach, H., Dee, D.P., Berrisford, P., Simmons, A.J., Vitart, F., ... Fisher, M. (2016). ERA-20C: an atmospheric reanalysis of the twentieth century. *J. Clim.*, 29, 4083–4097. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0556.1>
- Power, S., Folland, C., Colman, A., and Mehta, V. (1999). Inter-decadal modulation of the impact of ENSO on Australia. *Clim. Dyn.*, 15, 319–324. <https://doi.org/10.1007/s003820050284>

Raia, A. and Cavalcanti, I.F.A. (2008). The life cycle of the South American monsoon system. *J. Clim.*, 21, 6227–6246. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2249.1>

Rayner, N.A., Parker, D.E., Horton, E.B., Folland, C.K., Alexander, L.V., Rowell, ... Kaplan, A. (2003). Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 108, 4407. <https://doi.org/10.1029/2002JD002670>

Schneider, U., Becker, A., Finger, P., Rustemeier, E. and Ziese, M. (2020). GPCC Full Data Monthly Product Version 2020 at 0.25°: Monthly Land-Surface Precipitation from Rain-Gauges built on GTS-based and Historical Data. https://doi.org/10.5676/DWD_GPCC/FD_M_V2020_025

Segura, H., Espinoza, J.-C., Junquas, C. and Takahashi, K. (2016). Evidencing decadal and interdecadal hydroclimatic variability over the Central Andes. *Environ. Res. Lett.*, 11, 094016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/9/094016>

Segura, H., Espinoza, J.-C., Junquas, C., Lebel, T., Vuille, M., and Garreaud, R. (2020). Recent changes in the precipitation-driving processes over the southern tropical Andes/western Amazon. *Clim. Dyn.* 54, 2613–2631. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05132-6>

Sulca, J., Takahashi, K., Espinoza, J.-C., Vuille, M. y Lavado-Casimiro, W. (2018). Impacts of different ENSO flavors and tropical Pacific convection variability (ITCZ, SPCZ) on austral summer rainfall in South America, with a focus on Peru. *Int J Climatol*, 38, 420–435. <https://doi.org/10.1002/joc.5185>

Sulca, J., Vuille, M. and Dong, B. (2022a). Interdecadal variability of the austral summer precipitation over the Central Andes. *Front. Earth Sci.*, 10, 954954. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.954954>.

Sulca, J., Takahashi, K., Tacza, J., Espinoza, J.-C., and Dong, B. (2022b). Decadal variability in the austral summer precipitation over the Central Andes: Observations and the empirical-statistical downscaling model. *Int J Climatol*, 42 (16), 9836–9864. <https://doi.org/10.1002/joc.7867>

Vuille, M. y Keimig, F. (2004). Interannual variability of summertime convective cloudiness and precipitation in the Central Andes derived from ISCCP-B3 data. *J. Clim.*, 17, 3334–3348. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<3334:IVOSCC.2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<3334:IVOSCC.2.0.CO;2).

Vuille, M., Kaser, G., and Juen, I. (2008). Glacier mass balance variability in the Cordillera Blanca, Peru and its relationship with climate and the large-scale circulation. *Glob. Planet Change*, 62(1–2), 14–28. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.11.003>

Zhang, Y., Wallace, J.M., and Battisti, D.S. (1997). ENSO-like interdecadal variability: 1900–93. *J Clim.*, 10(5), 1004–1020. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1997\)010<1004:ELIV>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1997)010<1004:ELIV>2.0.CO;2)

Zhou, J. and Lau, K.M. (1998). Does a monsoon climate exist over South America?. *J. Clim.*, 11, 1020–1041. [https://doi.org/10.1175/15200442\(1998\)011<1020:DAMCEO.2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/15200442(1998)011<1020:DAMCEO.2.0.CO;2)

RESERVA NACIONAL DORSAL DE NASCA: EXPERIMENTO NUMÉRICO BAJO CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

Ivonne Montes¹, Roger Manay¹

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

Palabras clave: Reserva Nacional Dorsal de Nasca, modelado numérico, ROMS, partículas lagrangianas

Citar como Montes, I., & Manay, R. (2023). Reserva Nacional Dorsal de Nasca: experimento numérico bajo condiciones climatológicas. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 10 n.º 04, págs. 11-15.

Resumen

Se realiza un experimento numérico bajo condiciones climáticas empleando el modelo numérico del océano ROMS (Regional Ocean Modelling System) para examinar el origen de las fuentes de agua que se localizan en la Reserva Nacional Dorsal de Nasca (RNDN). Los resultados preliminares indican que la RNDN está fuertemente conectada con la zona del afloramiento costero y recibe, además, agua de las regiones oceánicas provenientes de la zona norte, sur y oeste del océano Pacífico este.

1. Introducción

El rol del océano es fundamental para mantener la vida en nuestro planeta, especialmente porque actúa como un regulador de la concentración de gases atmosféricos, la temperatura global y, por ende, del clima de la Tierra. El océano es, además, el hábitat de un gran número de organismos y ecosistemas marinos que sustentan una serie de bienes y servicios que se traducen en miles de millones de dólares por año (Hoegh-Guldberg et al., 2018). El reporte especial del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2018), que explica los impactos del calentamiento global de 1.5 °C (valor por encima de los niveles preindustriales), indica que, por el aumento del dióxido de carbono (CO₂) atmosférico y otros

gases de efecto invernadero, se han evidenciado cambios físicos y biogeoquímicos en el océano. A su vez, dichos cambios han causado alteraciones significativas en los sistemas oceánicos, los cuales continuarán a 1.5 °C y serán aún más severos a 2 °C. Por tanto, el océano está experimentando la acción de múltiples factores de estrés (calentamiento, cambios en la estratificación térmica, acidificación y desoxigenación) (Garcon et al., 2019), cuya combinación, a menudo, da forma a los ecosistemas marinos (Breitburg et al., 2018). Una de las medidas de adaptación para reducir el estrés y aumentar la resiliencia de los ecosistemas marinos es el establecimiento de áreas marinas protegidas (Breitburg et al., 2018), las cuales se instauran como zonas de refugio y regiones para desarrollar adaptación basada en la naturaleza, y permiten así mantener los servicios ecosistémicos que incluyen la absorción y almacenamiento de carbono (IPCC, 2019). En tal sentido, con el objetivo de conservar una muestra representativa del ecosistema marino que se encuentra en el dominio marítimo peruano, se crea, en 2021, la primera área natural protegida netamente marina del Perú, denominada Reserva Nacional Dorsal de Nasca (RNDN, Decreto Supremo N°008-2021-MINAM).

La RNDN está localizada frente a la costa peruana y corresponde al 8 % del área marina peruana. Se encuentra en la parte norte del Sistema de Corrientes

de Humboldt, el cual es también una de las regiones más productivas del planeta y que forma parte de los denominados Sistemas de Afloramiento de Bordes Orientales (EBUS por sus siglas en inglés). Los EBUS, geográficamente conformados por los Sistemas de Corrientes de Canarias y Benguela en el océano Atlántico y los Sistemas de Corrientes de California y Humboldt en el océano Pacífico, proporcionan más peces por unidad de área que cualquier otra parte del océano global, lo que contribuye a la seguridad alimentaria y el empleo (Chavez & Messié, 2009). Además, los EBUS respaldan valiosos servicios ecosistémicos para la biosfera y la humanidad. Actualmente, los EBUS son las áreas más vulnerables a los múltiples factores de estrés que experimenta el océano y hay una alta incertidumbre en la naturaleza de los cambios debido a su dinámica local que, además, está influenciada por la variabilidad climática remota.

Si bien la RNDN ha sido reconocida por su riqueza y así por su importancia económica y ecológica (p. ej., Wagner et al., 2021), existen aún preguntas no resueltas o pobremente entendidas, como por ejemplo: ¿cómo se conecta esa región oceánica con la región de afloramiento costero?, ¿cuáles son sus fuentes de variabilidad?, ¿qué influencia ejerce la variabilidad

interanual de El Niño-Oscilación Sur sobre la zona de reserva?, entre otras. Por lo tanto, el propósito de esta investigación es, primero, examinar el origen de las fuentes de agua que se localizan en la RNDN mediante la modelación numérica (e. g., Montes et al., 2010; 2011; 2014) a fin de establecer cuán conectada se encuentra con la región de afloramiento costero.

2. Metodología

Para el desarrollo de esta investigación, se ha configurado el modelo numérico del océano ROMS (Regional Ocean Modelling System, Shchepetkin and McWilliams 2003; 2005) bajo condiciones climatológicas para la región comprendida entre los 12° N-45° S y los 120° O hasta la costa de América (Figura 1). Con los datos numéricos generados a partir de este modelo, se han realizado experimentos lagrangianos que se basan en el uso del módulo de seguimiento de partículas, denominado Roff (ROMS-offline, Capet et al., 2004), para calcular las trayectorias lagrangianas numéricas a partir de los campos de velocidad almacenados por ROMS. Este tipo de aproximación lagrangiana es uno de los métodos más apropiados para estudiar el origen y

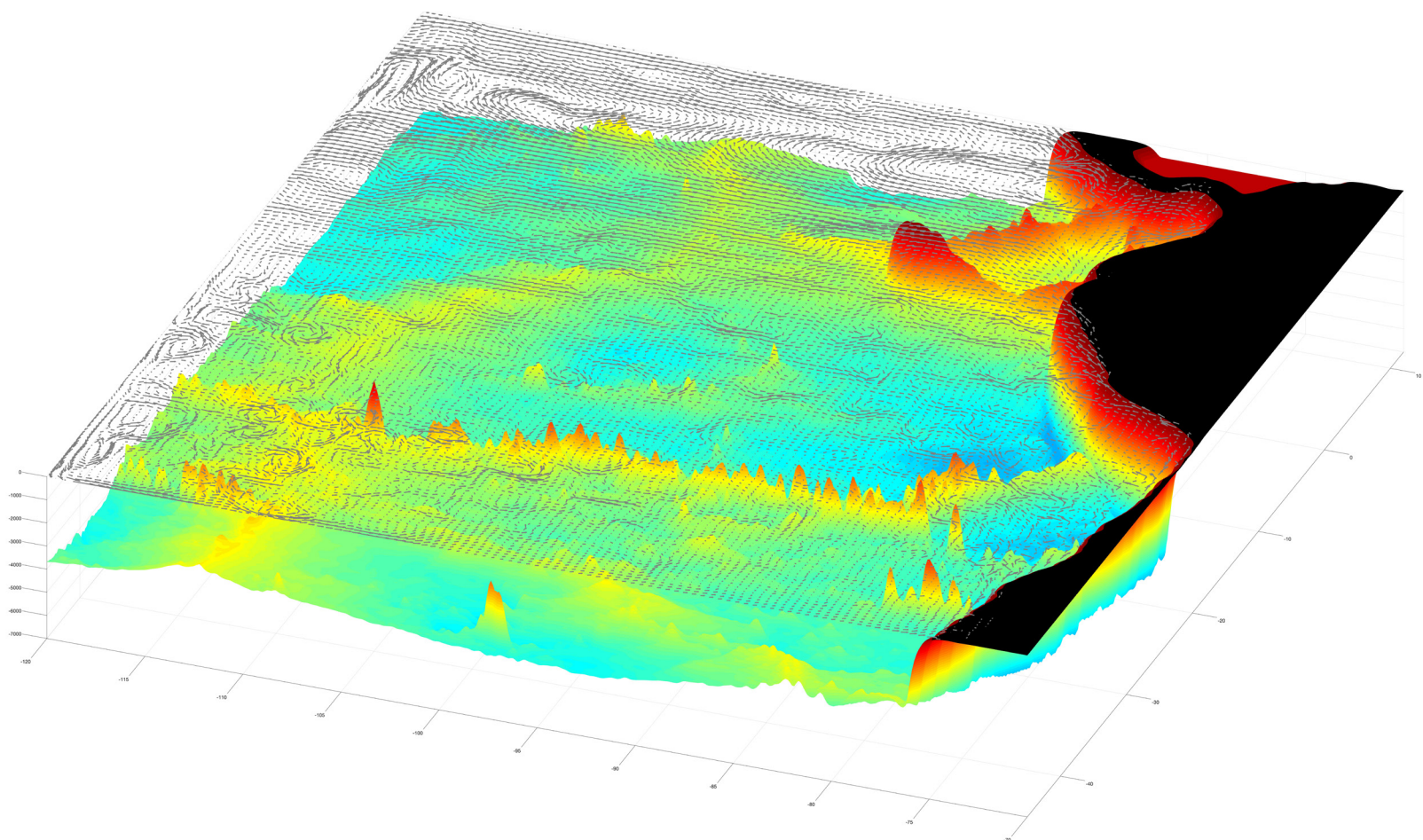


Figura 1. Ejemplo de las corrientes superficiales modeladas (en gris, 1 vector cada 4 puntos de grilla) para el día 3 de abril del año 15 del modelo que muestra la región de estudio y la batimetría (en colores) del modelo.

destino de las masas de agua (p. ej., Blanke et al., 2002; Montes et al., 2010; Hailegeorgis et al., 2021).

El experimento lagrangiano consistió en ubicar un gran número de partículas virtuales (5615) distribuidas aleatoriamente, entre los 2000 y 3000 metros de profundidad, en una región que representa la RNDN (Figura 2), y calcular sus trayectorias en forma retrospectiva, es decir, hacia atrás en el tiempo durante 4 años climatológicos, ello con el fin de identificar el origen de las masas de agua que influyen a la RNDN. Posteriormente, se aplicó una serie de criterios para clasificar las distintas regiones de origen del agua localizada sobre la RNDN, como por ejemplo seleccionar partículas que (1) cruzan la sección a los 90° O al norte de los 10° S, (2) a los 84° S entre los 14° S y 16° S, (3) a los 90° O al sur de los 17° S, (4) a los 24° S y (5) los que permanecen sobre la plataforma costera.

3. Resultados preliminares y perspectivas

El análisis preliminar de las trayectorias de los flotadores muestra que el agua localizada sobre la

RNDN está muy bien conectada con la dinámica del Sistema de Corrientes de Humboldt, por lo que tiene una contribución significativa con la zona costera de afloramiento. La Figura 2 muestra, además, que la RNDN estaría bien conectada con las regiones oceánicas provenientes de la zona norte, sur y oeste del océano Pacífico este. Por ejemplo, en la zona norte cerca a los 7° S-8° S y 90° O-84° O, se observa como punto de inicio una partícula lagrangiana y más al este un grupo de partículas (simuladas) cuyas trayectorias se dirigen de este hacia oeste (~2500 m de profundidad) para llegar a la zona de afloramiento costero frente a Perú (~8° S) de forma más subsuperficial (entre 500 y 1000 m). Esto indicaría, por ejemplo, un aporte del ramal sur secundario de la contracorriente subsuperficial (sSSCC) frente a Perú. Por otro lado, en la zona costera norte, (Perú-Ecuador), también es posible observar partículas lagrangianas subsuperficiales (>500 m) con dirección sur, lo que indicaría un aporte o influencia de la corriente ecuatorial subsuperficial (EUC) y, más cercana a la costa, el aporte de la corriente subsuperficial Perú-Chile (PCUC).

Como el océano es un subsistema acoplado a la atmósfera, el conocimiento del principal forzante

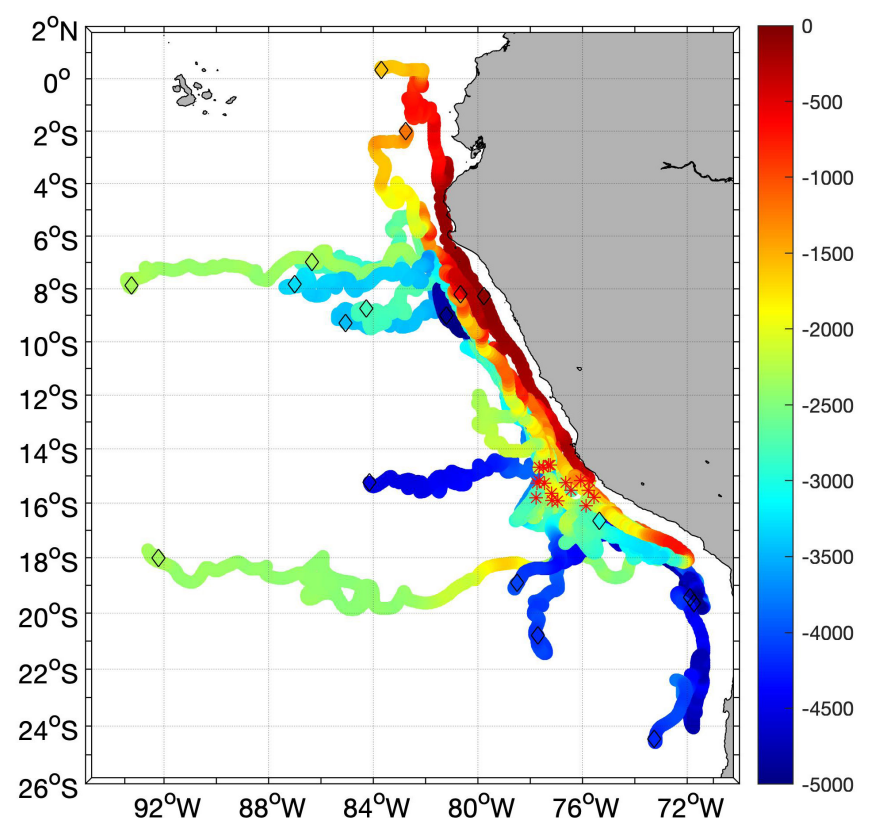
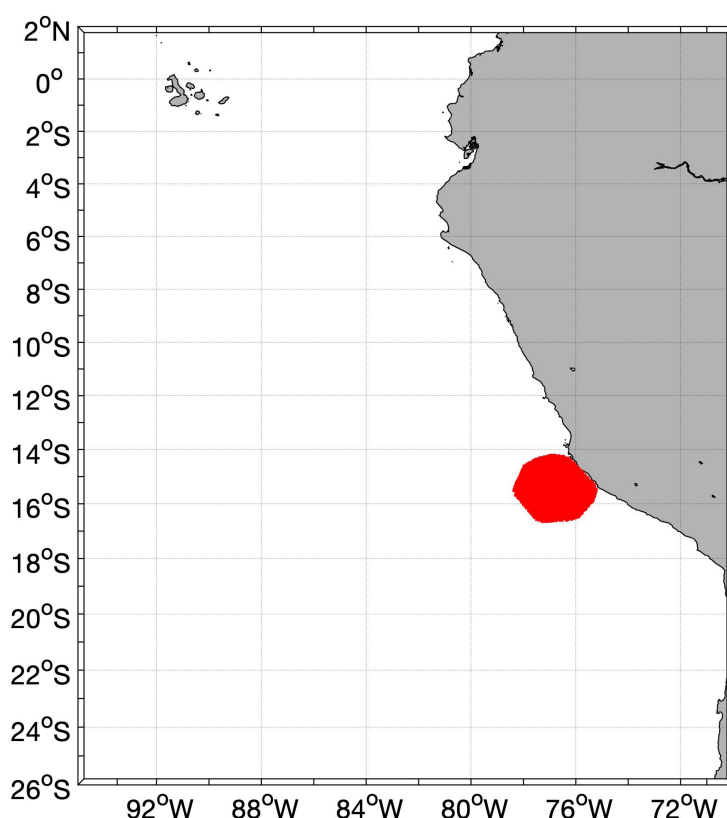


Figura 2. (Panel izquierdo) Posición inicial de los flotadores lagrangianos ubicados entre los 2000 y 3000 metros de profundidad por 4 años climatológicos bajo el modo retrospectivo para conocer el origen de las fuentes de agua que se localizan en la Reserva Nacional Dorsal de Nasca (RNDN). (Panel derecho) Diagrama espagueti que muestra las trayectorias de 18 flotadores que representan las rutas típicas de las fuentes de agua que alcanzan la RNDN. Las posiciones iniciales se marcan en asterisco rojo y las posiciones finales en rombos negros. Los colores representan la profundidad de los flotadores a lo largo de su trayectoria.

superficial, el viento y el esfuerzo del viento superficial al océano resulta de suma importancia. Esto es debido a que las corrientes superficiales se encuentran en función de la acción directa del viento, lo que significa que las propiedades y condiciones en las capas superficiales del océano (capa de mezcla) se ven muy influenciadas por el estado o acción del viento. Este acoplamiento océano-atmósfera tendría relevancia en la mezcla de las propiedades físicas y químicas de las masas de aguas, a través de la acción del viento, en la formación de procesos de mesoescala como filamentos y remolinos que otorgan características propias a la RNDN.

Por otro lado, teniendo como base estos resultados preliminares y con la intención de ampliar el conocimiento integral sobre la RNDN, podrían llevarse a cabo estudios y análisis sobre los campos biogeoquímicos en esta región del Pacífico. Por ejemplo, es sabido que la presión antrópica en la zona costera adyacente a la RNDN, donde se encuentran zonas de industrias pesqueras y metalúrgicas, además del asentamiento humano de ciudades y centros poblados, podría ser fuente de contaminantes como metales pesados (procedentes de relaves y desechos mineros, lixiviación), microplásticos y, potencialmente, plásticos y todo tipo de contaminantes o residuos sólidos, sustancias químicas (orgánicas e inorgánicas del tratamiento precario de aguas servidas), entre otros. Ya que se ha observado en los resultados preliminares que el origen de las masas de aguas incluye trayectorias superficiales cercanas a la costa, esto implicaría distintos grados de contaminación en los ecosistemas de la RNDN por las causas antes mencionadas.

Con el conocimiento del origen de las masas de aguas y sus trayectorias podríamos conocer los caminos o flujos por los que la materia orgánica ingresa/sale de RNDN, es decir, determinar la existencia de un intercambio de materia orgánica entre la zona del afloramiento costero y la propia RNDN que pueda explicar la importancia de mantener un área marina de conservación que sustente la riqueza biológica. Asimismo, el conocimiento de estos flujos o conexiones entre las masas de aguas y sus trayectorias permitirían tener una conceptualización sobre la ventilación o grado de saturación de las masas de agua, lo que es de gran importancia para el establecimiento de las

condiciones de la zona mínima de oxígeno y también para conocer el grado de contribución de esta área en el secuestro del carbono.

Todos estos nuevos conocimientos, basados en experimentación mediante modelos numéricos regionales del océano, sumados a tentativos muestreos in situ o análisis de muestras almacenadas, permitirán tener un conocimiento tridimensional real sobre la RNDN, sus condiciones o estado promedio hasta los modos en los que la variabilidad interanual podría afectar la reserva. Asimismo, permitirán conocer los alcances de la presión antropogénica de la zona costera colindante, potencialmente peligrosa para la salud del océano y de la misma RNDN que, en suma, serán de primer alcance para una gobernanza marino-costera más realista y enfocada al cuidado del medio ambiente. Con la premisa de ciencia para protegernos, ciencia para avanzar del IGP, la difusión del nuevo conocimiento será clave para la educación de estudiantes y grupos críticos de personas que se benefician directa e indirectamente de RNDN, de modo que inspire y motive a todos los involucrados en su conservación y uso a lo largo de los años venideros.

Finalmente, todo el esfuerzo, estrategias e inversión para el estudio de la RNDN podrán contribuir en la capacidad de desarrollo en análisis y estudio en estudiantes, investigadores de todo nivel y demás involucrados, dando como productos nuevas bases de datos de índole oceanográfica (temperatura, salinidad, nutrientes, corrientes, pH, entre otros), aprendizaje en la preparación y despliegue de equipos para mediciones, manejo de instrumentos especializados para análisis de matrices inorgánicas (agua, sedimentos, aerosoles), entrenamiento en el uso y desarrollo de códigos (scripts) en lenguajes de programación científica como MATLAB, Python, R, entre otros.

Referencias

Breitburg, D., Levin, A., Oschlies, A., Grégorie, M., Chavez, F.P., Conley, D.J., ... Zhang, J. (2018). Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, 359, doi:10.1126/science.aam7240

Capet, X. J., Marchesiello, P., & McWilliams, J.C. (2004). Upwelling response to coastal wind profiles. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13311, doi:10.1029/2004GL020123.

Chavez, F. P., & Messié, M. (2009). A comparison of Eastern Boundary Upwelling Ecosystems. *Progress in Oceanography*, 83(1), 80–96. doi:10.1016/j.pocean.2009.07.032

Garçon, V., Dewitte, B., Montes, I., & Goubanova, K. (2019). *Land-Sea-Atmosphere interactions exacerbating ocean deoxygenation in Eastern Boundary Upwelling Systems (EBUS)*, in *Ocean Deoxygenation: Everyone's problem, Causes, impacts, consequences and solutions*, Eds D. Laffoley and J.M. Baxter, IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources Report, Gland, Switzerland), pp 171-186.

Hailegeorgis, D., Lachkar, Z., Rieper, C., & Gruber, N. (2021). A Lagrangian study of the contribution of the Canary coastal upwelling to the nitrogen budget of the open North Atlantic. *Biogeosciences*, 18, 303–325, <https://doi.org/10.5194/bg-18-303-2021>

Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I., Diedhiou, A., Djalante, R., Ebi, K.L., Engelbrecht, F., Guiot, J., Hijioka, Y., Mehrotra, S., Payne, A., Seneviratne, S.I., Thomas, A., Warren, R. & Zhou, G. (2018). *Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems*. In: *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. In Press.

IPCC, 2018: *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. In Press.

IPCC, 2019: *Summary for Policymakers*. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–35.

Montes I., Colas, F., Capet, X., & Schneider, W. (2010). On the pathways of the Equatorial Subsurface Currents in the Eastern equatorial Pacific and their contributions to the Peru-Chile Undercurrent. *J. Geophys. Res. Oceans*, 115(C09003), doi:10.1029/2009JC005710.

Montes, I., Dewitte, B., Gutknecht, E., Paulmier, A., Dadou, I., Oschlies, A., & Garçon, V. (2014). High-resolution modeling of the Eastern Tropical Pacific oxygen minimum zone: Sensitivity to the tropical oceanic circulation. *J. Geophys. Res. Oceans*, 119, 5515–5532, doi:10.1002/2014JC009858.

Montes I., Schneider, W., Colas, F., & Blanke, B. (2011). Subsurface connections in the Eastern Tropical Pacific during La Niña 1999-2001 and El Niño 2002-2003. *J. Geophys. Res.*, 116 (C12022), doi: 10.1029/2011JC007624.

Shchepetkin, A.F., & McWilliams, J.C. (2003). A method for computing horizontal pressure-gradient force in an ocean model with a nonaligned vertical coordinate. *J. Geophys. Res.*, 108(C3), 3090, doi:10.1029/2001JC001047.

Shchepetkin, A. F., & McWilliams, J.C. (2005). The regional oceanic modeling system (ROMS): A split-explicit, free-surface, topography following-coordinate oceanic model. *Ocean Modell.*, 9, 347–404, doi:10.1016/j.ocemod.2004.08.002.

Wagner, D., van der Meer, L., Gorny, M., Sellanes, J., Gaymer, C. F., Soto, E. H., ... Morgan, L. E. (2021). The Salas y Gómez and Nazca ridges: A review of the importance, opportunities and challenges for protecting a global diversity hotspot on the high seas. *Marine Policy*, 126, 104377. doi:10.1016/j.marpol.2020.104377

RESUMEN INFORME TÉCNICO

n.º PPR/EL NIÑO-IGP/2023-03

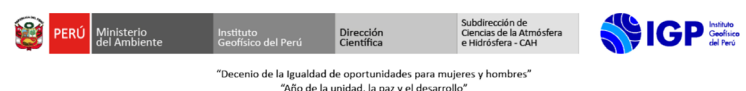
Para el mes de febrero, según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), se presentó la condición climática cálida débil (0.42°C), lo que indicaría que El Niño costero 2023 (ENFE, 2013) se habría iniciado en febrero. Los valores del ICEN temporal (ICEN-tmp) de marzo (1.19°C) y abril (1.75°C) indican condiciones cálida moderada y cálida fuerte, respectivamente. Por otro lado, en el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de febrero (-0.45°C) y los valores temporales (ONI-tmp) de marzo (-0.22°C) y abril (0.10°C) coinciden en mostrar la condición neutra.

Conforme a las observaciones, in situ y satelital, el núcleo de la onda de Kelvin cálida habría iniciado su arribo a la costa peruana durante marzo. Por otro lado, se espera en la siguiente semana el arribo de ondas de Kelvin cálidas días y, debido a un pulso de viento del oeste en el Pacífico occidental, según el pronóstico de los modelos de ondas, también se espera el arribo de otro paquete de ondas de Kelvin cálidas para los meses de junio-julio.

El promedio de las pronósticos de los seis modelos climáticos de NMME —inicializados con la información de abril de 2023— para el Pacífico oriental indica condiciones cálidas fuertes de abril a setiembre, y condiciones cálidas moderadas para octubre y noviembre. Por otro lado, para el Pacífico central, se esperarían condiciones neutras hasta mayo y condiciones cálidas, desde débiles a moderadas,

entre junio a octubre. Para noviembre alcanzaría la condición cálida fuerte.

El informe técnico completo se encuentra disponible en <https://bit.ly/InfTecnElNino2023-03IGP>



"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

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/2023-03

10/04/2023

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

Para el mes de febrero, según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), se presentó la condición climática cálida débil (0.42°C), lo que indicaría que El Niño costero 2023 (ENFE, 2013) se habría iniciado en febrero. Los valores del ICEN temporal (ICEN-tmp) de marzo (1.19°C) y abril (1.75°C) indican condiciones cálida moderada y cálida fuerte, respectivamente. Por otro lado, en el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de febrero (-0.45°C) y los valores temporales (ONI-tmp) de marzo (-0.22°C) y abril (0.10°C) coinciden en mostrar la condición neutra.

Conforme a las observaciones, in situ y satelital, el núcleo de la onda de Kelvin cálida habría iniciado su arribo a la costa peruana durante marzo. Por otro lado, se espera en la siguiente semana el arribo de ondas de Kelvin cálidas días y, debido a un pulso de viento del oeste en el Pacífico occidental, según el pronóstico de los modelos de ondas, también se espera el arribo de otro paquete de ondas de Kelvin cálidas para los meses de junio-julio.

El promedio de las pronósticos de los seis modelos climáticos de NMME —inicializados con la información de abril de 2023— para el Pacífico oriental indica condiciones cálidas fuertes de abril a setiembre, y condiciones cálidas moderadas para octubre y noviembre. Por otro lado, para el Pacífico central, se esperarían condiciones neutras hasta mayo y condiciones cálidas, desde débiles a moderadas, entre junio a octubre. Para noviembre alcanzaría la condición cálida fuerte.

www.igp.gob.pe
Calle Bolívar N° 149
Urb. Mayorga IV Etapa
Ate, Lima 15012 - Perú.
(51) 13172300

Gobierno del Perú

BICENTENARIO
DEL PERÚ
2021 - 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.

COMUNICADO OFICIAL

ENFEN n.º 05-2023



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**

La Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el estado de "Alerta de El Niño Costero", ya que se espera que las condiciones de El Niño costero continúen desarrollándose por lo menos hasta invierno del presente año y de acuerdo al último análisis, tendría una magnitud moderada, sin descartar que en abril alcance una magnitud fuerte. La intensificación de la temperatura superficial del mar por encima de sus valores normales en la región Niño 1+2, que abarca la zona norte y centro del mar peruano, es consecuencia de la interacción océano-atmósfera anómala que se ha observado entre marzo inicios de abril. Los factores que mantendrían el desarrollo de El Niño Costero son principalmente el arribo de ondas Kelvin cálidas hasta julio.

El pronóstico estacional de precipitación vigente para el trimestre abril-junio de 2023², se prevé precipitaciones superiores a lo normal, especialmente en el mes de abril, en la costa norte y centro, así como en la sierra norte y centro occidental del país. Se mantiene condiciones para la ocurrencia de lluvias de moderada a fuerte intensidad en las próximas semanas, principalmente en la costa norte, sin descartar algunos eventos lluviosos aislados en mayo. Las temperaturas del aire mantendrán sus valores por encima de lo normal en la costa norte y costa centro.

En cuanto a los recursos pelágicos, de acuerdo al escenario actual se prevé que, debería continuar la disponibilidad y accesibilidad de especies marinas ecuatoriales (samasa), especies transzonales (caballa y bonito) y oceánicas (barrilete y atún aleta amarilla) frente al mar peruano. Respecto a los recursos demersales, se espera que la población de merluza se desplace latitudinalmente hacia el sur, ampliando su área de distribución, lo que podría reflejarse en cambios de la estructura por tallas de las capturas de la flota de arrastre industrial, dependiendo de la intensidad y duración de las condiciones cálidas vigentes.

Para la región del Pacífico central, conforme al juicio experto del ENFEN y los pronósticos de los modelos climáticos internacionales, existe una mayor probabilidad del desarrollo de condiciones de El Niño a partir de julio, las cuales se prolongarían, por lo pronto, hasta setiembre del año en curso y con una magnitud débil. Sin embargo, cabe recordar que, en general, los pronósticos para más allá del otoño presentan menor grado de acierto.

En lo que resta de abril, se espera que algunos ríos de la región hidrográfica del Pacífico norte y centro presenten caudales por encima de lo normal, para

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 Pronóstico estacional AMJ 2023: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02262SENA-33.pdf>

luego normalizarse en los próximos meses acorde a la estacionalidad. Mientras que, entre abril y agosto, los ríos de la cuenca del Amazonas mantendrían condiciones hidrológicas normales y, la región hidrográfica del Titicaca continuaría con caudales por debajo de sus valores normales³.

Se recomienda a los tomadores de decisiones tener en cuenta los posibles escenarios de riesgo de acuerdo con el pronóstico estacional vigente para fines de atención y reducción del riesgo de desastres.

La Comisión Multisectorial del ENFEN continúa monitoreando e informando sobre la evolución de las condiciones oceánicas-atmosféricas y actualizando las perspectivas. El ENFEN emitirá su próximo comunicado oficial el 28 de abril de 2023.

- Para mayor información, consultar el Informe Técnico Mensual en el siguiente enlace: <https://bit.ly/InfTecnENFEN04-2023>
- Puede acceder a leer en comunicado en su totalidad a través del siguiente enlace: <https://bit.ly/comunicadoENFEN2023-005>

INSTITUCIONES MIEMBROS DEL ENFEN



³ Fuente: Reporte de Pronóstico hidrológico estacional a nivel nacional Abril-Agosto 2023. SENAMHI. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02694SENA-32.pdf>

COMUNICADO OFICIAL

ENFEN n.º 06-2023



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**

La Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el estado de "Alerta de El Niño Costero", ya que se considera que las condiciones de El Niño costero continúen desarrollándose por lo menos hasta invierno del presente año. La magnitud más probable del evento en general sería moderada. Sin descartar que podría tener característica de condición cálida fuerte en mayo. La persistencia de El Niño costero 2023 se debería, principalmente, al arribo de ondas Kelvin cálidas, las cuales mantendrían el calentamiento anómalo.

Para la región del Pacífico central, conforme al juicio experto del ENFEN, basado en los datos observados hasta la fecha, así como de los pronósticos de los modelos climáticos internacionales, existe una mayor probabilidad del desarrollo de El Niño a partir de junio. Se estima que este, por lo pronto, alcanzaría una magnitud débil hasta setiembre, con una tendencia creciente a moderada. Esto hace prever que su intensidad más alta será alcanzada en el último trimestre de 2023.

Para el próximo verano 2024, la comisión estima que para el Pacífico Central (región Niño 3.4), El Niño tiene una probabilidad de 65 % (28 % de magnitud débil, 23 % moderada, 13 % fuerte y 1 % muy fuerte). De la misma forma, para el Pacífico oriental (región

Niño 1+2) El Niño tiene una probabilidad de 67 % (33 % de magnitud débil, 24 % moderada, 9 % fuerte y 1 % extraordinaria). Los pronósticos son ajustados periódicamente de acuerdo a la disponibilidad de nuevos datos.++

En ese contexto, siendo probable un escenario El Niño en el verano 2024, tanto en el Pacífico oriental como el Pacífico central, se asume que sus efectos en las precipitaciones dependerán del calentamiento del mar en dichas regiones. En particular, en el caso de un calentamiento de débil a moderado asociado a El Niño en el Pacífico oriental, se esperarían eventos de lluvias de moderada a fuerte intensidad principalmente en la costa y sierra norte, así como temperaturas del aire por encima de sus valores normales en la costa.

El pronóstico estacional de precipitación vigente para el trimestre mayo-julio de 2023², prevé precipitaciones superiores a lo normal en la costa norte y centro, así como en la sierra norte occidental y selva norte del país, siendo las lluvias en mayo las determinantes para los departamentos de Tumbes y Piura principalmente. Asimismo, en lo que resta de abril e inicios de mayo se mantienen condiciones para la ocurrencia de lluvias aisladas de moderada a fuerte intensidad en la costa norte. Las temperaturas del aire mantendrán sus valores por encima de lo normal a lo largo de la costa.

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 Pronóstico estacional MJJ 2023: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02262SENA-34.pdf>

En cuanto a los recursos pesqueros pelágicos se prevé que debería continuar la disponibilidad y accesibilidad de especies ecuatoriales (samasa u otras), especies transzonales (caballa y bonito) y oceánicas (barrilete, atún aleta amarilla y otros túnidos) frente al mar peruano. Respecto a los recursos demersales, se espera que la población de merluza mantenga una alta dispersión al sur de Paita.

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 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 continúa monitoreando e informando sobre la evolución de las condiciones oceánicas-atmosféricas y actualizando las perspectivas. El ENFEN emitirá su próximo comunicado oficial el 12 de mayo de 2023.

- Para mayor información, consultar el Informe Técnico Mensual en el siguiente enlace: <https://bit.ly/InfTecnENFEN05-2023>
- Puede acceder a leer en comunicado en su totalidad a través del siguiente enlace: <https://bit.ly/comunicadoENFEN2023-006>

INSTITUCIONES MIEMBROS DEL ENFEN





@igp.peru



@igp_peru



@igp.peru



@igp_videos



@institutogeofisicodelperu



@igp.peru