



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



BOLETÍN CIENTÍFICO EL NIÑO

Vol. 12 n.º 08 agosto 2025

PROGRAMA PRESUPUESTAL n.º 068

"Reducción de la vulnerabilidad y
atención de emergencias por desastres"

En este boletín

- Influencia de estructuras topográficas locales en los mecanismos atmosféricos asociados a la zona más lluviosa de la cuenca Andino-Amazónica | **Pág. 4**
- Evaluación del desempeño de BASD-CMIP6-PE y proyecciones climáticas de precipitación y temperatura en la región de Cajamarca | **Pág. 11**
- Resumen del informe técnico de El Niño | **Pág. 22**
- Resumen de comunicado ENFEN | **Pág. 23**



Créditos

Miguel Angel Espichán Mariñas
Ministro del Ambiente

Hernando Tavera Huarache
Jefe institucional

James Apaéstegui Campos
Director de Ciencias de la Atmósfera, Hidrósfera y Cambio Climático

Lina Godoy Encarnación
Coordinadora de la Unidad Funcional de Comunicaciones

Fey Yamina Silva Vidal de Millones
Ken Takahashi Guevara
Joel Anicama Díaz
Editores

Fernanda Quispe Nakashima
Diseño y diagramación

Carátula: Fotografía de bosque amazónico nublado.
Fuente: Revista Caretas

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, diciembre de 2025

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 oportuna de información científica sobre el monitoreo y pronóstico de este evento natural oceánico-atmosférico, mediante informes técnicos mensuales, que permitan 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, el modelo de inteligencia artificial y el recientemente desarrollado modelo de Sistema Tierra regional de pronóstico para el territorio peruano y el océano Pacífico. 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 del ENOS, con énfasis en El Niño. 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, 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.

INFLUENCIA DE ESTRUCTURAS TOPOGRÁFICAS LOCALES EN LOS MECANISMOS ATMOSFÉRICOS ASOCIADOS A LA ZONA MÁS LLUVIOSA DE LA CUENCA ANDINO-AMAZÓNICA

Ricardo A. Gutierrez^{1,2}, Clémentine Junquas^{3,4}, Jhan-Carlo Espinoza^{3,5}, Patrice Baby⁶ y Elisa Armijos²

¹ Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

² Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú

³ Univ. Grenoble Alpes, IRD, CNRS, INRAE, Grenoble-INP, IGE, 38000 Grenoble, France

⁴ Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Lima, Perú

⁵ Instituto de Investigación sobre la Enseñanza de las Matemáticas, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima 15088, Perú

⁶ Géosciences Environnement Toulouse, Université Paul Sabatier, IRD, CNRS, 31400 Toulouse, France.



Ricardo Gutiérrez es ingeniero meteorólogo y magíster en Recursos Hídricos por la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Su área de investigación gira en torno a los procesos físicos asociados a la variabilidad y cambio climático en la región andino-amazónica a través del modelado numérico del clima. Actualmente, es asistente de investigación en el Instituto Geofísico del Perú (IGP), donde viene investigando las sensibilidades del sistema acoplado vegetación-atmósfera de la Amazonía a las sequías y deforestación.

Palabras clave: Hotspots de precipitación, región de transición Andes-Amazonía, modelo WRF, Topografía, experimentos de sensibilidad, Perú.

Citar como Gutierrez, R., Junquas, C., Espinoza, J.-C., Baby, P., & Armijos, E. (2025). Influencia de estructuras topográficas locales en los mecanismos atmosféricos asociados a la zona más lluviosa de la cuenca andino-amazónica. Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, vol. 12 n.º 08, págs. 4-10.

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

Este estudio es una contribución importante para el entendimiento científico de los mecanismos que influyen la precipitación en la transición Andes-Amazonía, particularmente en el *hotspot* de Quincemil, lo cual ofrece insumos para mejorar la representación de procesos atmosféricos en modelos climáticos y tener proyecciones más confiables de lluvias extremas, fundamentales para la planificación de medidas de prevención frente a inundaciones y deslizamientos, así como la conservación de los ecosistemas en esta región, que sostienen biodiversidad única y regulan el recurso hídrico regional.

Resumen

Los mecanismos físicos que explican la existencia del *hotspot* de Quincemil, la zona más lluviosa de la Amazonía, aún no son del todo entendidos, particularmente aquellos influenciados por la orografía andina. En este estudio se evalúa la sensibilidad de la precipitación de verano y los

procesos atmosféricos asociados al *hotspot* de Quincemil frente a estructuras orográficas locales que se formaron entre hace 5 y 10 millones años como resultado de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. Para ello, se realizaron experimentos con un modelo numérico de la atmósfera en el que se modificaron dichas estructuras. Los resultados sugieren que estructuras topográficas

vecinas al *hotspot*, como el arco de Fitzcarrald y la montaña de Camisea, canalizan los flujos de humedad amazónica, explicando entre un 16 % y el 40 % de la precipitación simulada en Quincemil, así como su ubicación actual. Asimismo, aproximadamente la mitad de la altitud moderna de los Andes sostiene cerca del 60 % de la precipitación en Quincemil, al generar un forzamiento mecánico que incrementa el flujo de humedad a escala regional.

1. Introducción

La región de transición andino-amazónica de Perú alberga a la zona más lluviosa de toda la cuenca amazónica. Allí, en el departamento de Cusco, se encuentra Quincemil, un *hotspot* de precipitación donde se registran acumulados anuales de precipitación en promedio de 7000 milímetros (Espinoza et al., 2015). Esta alta pluviosidad, en interacción con procesos geológicos como la tectónica de placas y la geodinámica superficial, ha favorecido una biodiversidad excepcional en la región (Antonelli et al., 2018; Hoorn et al., 2010). Los registros fósiles de mamíferos y palmas del Mioceno muestran que la riqueza de especies de esta zona cercana al *hotspot* de Quincemil se remonta a entre 5 y 10 millones de años (Roncal et al., 2015; Tejada-Lara et al., 2015). Coincidentemente, en esa época se formó el arco de Fitzcarrald, una estructura topográfica cuya máxima altitud no supera los 6000 m s.n.m., la cual es producto de la subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana (Espurt et al., 2009). Dicha estructura se localiza en el límite de la vertiente oriental de los Andes del sur del Perú, su origen se asocia con el de la montaña de Camisea y ambas son vecinas al *hotspot* de Quincemil (Figura 1). El arco de Fitzcarrald constituye uno de los primeros obstáculos topográficos que encuentra el flujo de humedad proveniente de la Amazonía. En conjunto con la montaña de Camisea, ubicada adyacente al *hotspot* de Quincemil, surge la pregunta de cuál es su contribución a la dinámica atmosférica asociada a este *hotspot*.

La precipitación en el *hotspot* de Quincemil durante el verano (entre diciembre y febrero, diciembre-febrero) es producto del flujo de humedad amazónica de gran escala asociado al Jet de Bajos Niveles Sudamericano (SALLJ, por sus siglas en inglés) y de su interacción con la topografía local (Junquas et al., 2018). El contraste del calentamiento diferencial entre las cimas y las pendientes de la vertiente oriental de los Andes produce la formación de vientos anabáticos

(pendiente arriba) durante el día y catabáticos (pendiente abajo) durante la noche. La alta convergencia de estos últimos con el SALLJ explica cerca del 70 % de la precipitación total en el *hotspot* de Quincemil y produce una máxima pluviométrica nocturna (Chavez & Takahashi, 2017; Junquas et al., 2018). Este mecanismo muestra cómo la circulación atmosférica regional y las particularidades de la topografía local son cruciales para explicar el régimen pluviométrico de esta región.

En el presente estudio, se busca dilucidar los controles de las estructuras topográficas locales —como el arco de Fitzcarrald y la montaña de Camisea— en los procesos atmosféricos asociados al *hotspot* de Quincemil. Para ello, se realizaron simulaciones numéricas con el modelo atmosférico Weather Research and Forecasting (WRF; Skamarock et al., 2021), a partir de una configuración “control” (CTRL), la cual fue obtenida tras la validación del modelo bajo pruebas de parametrizaciones físicas, y se realizaron experimentos de sensibilidad topográfica removiendo los relieves mencionados y reduciendo la altitud de los Andes.

2. Metodología

Modelo WRF

Se utilizó el modelo WRF, versión 4.3 (Skamarock et al., 2021), para simular el clima regional de la zona de transición Andes-Amazonía durante diciembre-febrero 2012-2013. Los datos de las condiciones iniciales y de frontera laterales provinieron del reanálisis ERA5 (Hersbach et al., 2020). El modelo fue inicializado con condiciones atmosféricas de ERA5 noviembre del 2012 y se descartó el primer mes de simulación con el fin de evitar los “shocks” asociados a la modificación de la topografía en los experimentos de sensibilidad topográfica. Se seleccionó diciembre-febrero 2012-2013 porque en este periodo no se registraron anomalías significativas de la precipitación en la región andina, tampoco en la temperatura superficial de los océanos Atlántico y Pacífico tropical, configurándose en un verano “normal”; es decir, dentro de su climatología (Mourre et al., 2016). El *dominio* 01 (d01) cubrió una parte importante de Sudamérica tropical a una resolución espacial de 15 km (Figura 1a) y fue forzado directamente por el reanálisis ERA5. El *dominio* d02 (d02), forzado por el d01, se centró en el *hotspot* de Quincemil a una resolución espacial de 5 km (Figura 1b).

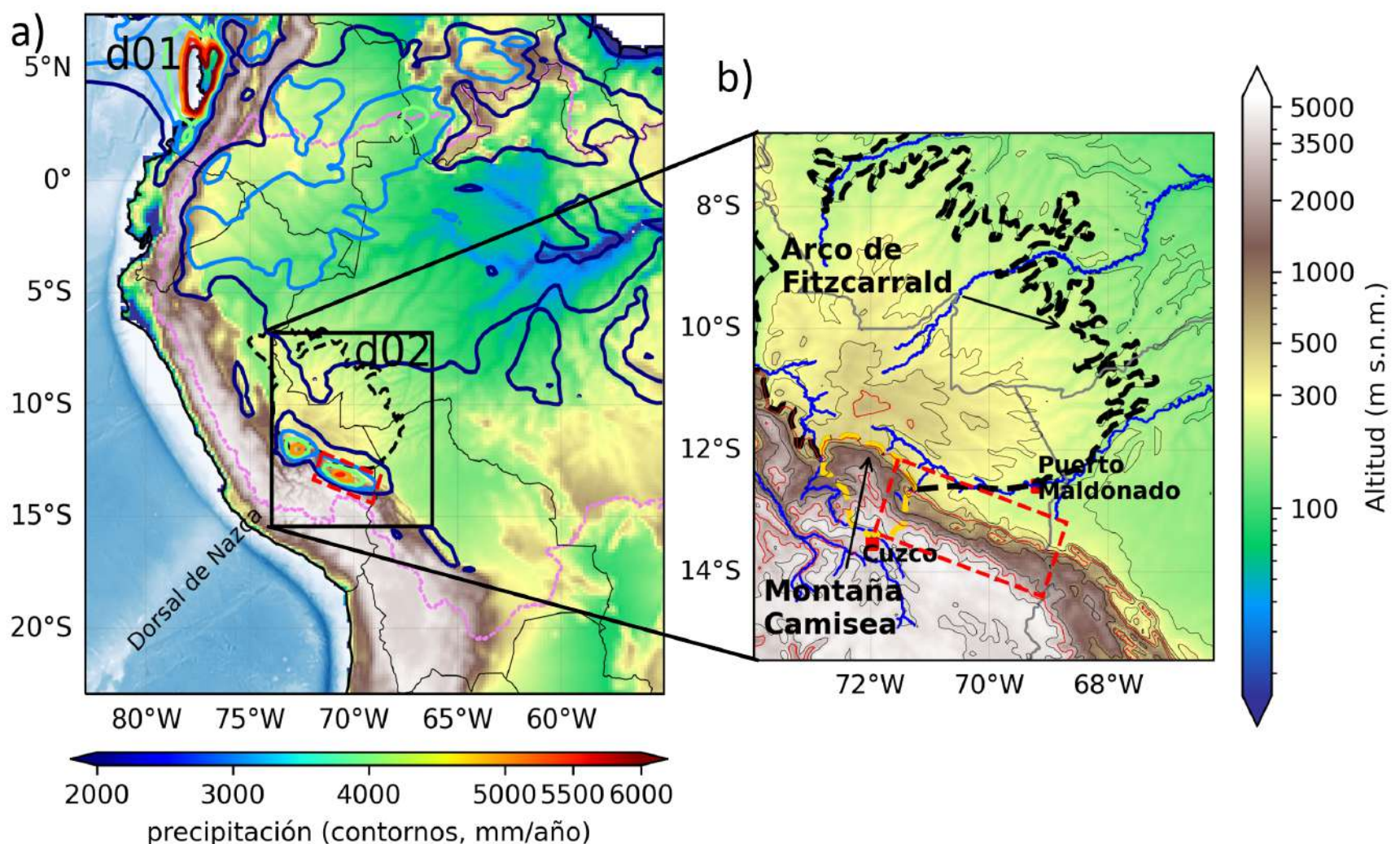


Figura 1. Dominios de la simulación en el modelo WRF (a). Las líneas violetas representan el límite de la cuenca amazónica y los contornos seleccionados (barra de colores inferior) representan a la climatología de la precipitación del producto CMORPH (2000-2020). La batimetría oceánica para representar la localización de la dorsal de Nazca fue obtenida del General Bathymetric Chart of the Oceans (<https://www.gebco.net>). Detalles geográficos de la región de transición Andes-Amazonia alrededor del arco de Fitzcarrald y la montaña de Camisea en el dominio d02 (b). La montaña de Camisea está representada por una línea dorada. Tanto en a) como en b), el arco de Fitzcarrald está delimitado por líneas negras discontinuas, el rectángulo oblicuo de líneas rojas discontinuas representa la localización aproximada del hotspot de Quincemil, y la altitud topográfica está representada por la barra de colores de la derecha.

Las parametrizaciones utilizadas en el modelo son las siguientes: el esquema de microfísica empleado fue Morrison (Morrison et al., 2009); para cumulus, New Tiedtke (Zhang & Wang, 2017); para la capa límite planetaria, Asymmetric Convective Model v2 (ACM2; Pleim, 2007); para el de superficie, Noah-MP (Yang et al., 2011); para la capa superficial, MM5 revisado (Paulson, 1970); y para radiación de onda larga y corta, RRTM y Dudhia, respectivamente (Dudhia, 1989; Mlawer et al., 1997). Esta elección de parametrizaciones físicas provino de un análisis de sensibilidad a esquemas de parametrización que incluyó simulaciones bajo tres parametrizaciones diferentes de capa límite planetaria: ACM2, Yonsei University (YSU; Hong et al., 2006) y Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino 2.5 (MYNN; Nakanishi & Niino, 2009). Las demás parametrizaciones fueron las mismas que las descritas. La simulación con ACM2 representó de mejor manera la ubicación de los máximos de precipitación nocturna en las altitudes que corresponden a las estimaciones satelitales y pluviómetros in-situ: 1000-2000 m s.n.m., así como la supresión de la sobrestimación de la precipitación

por encima de los 3000 m s.n.m. Esta configuración se denomina, en adelante, la simulación CTRL.

Experimentos de sensibilidad topográfica

Los experimentos de sensibilidad topográfica se realizaron en condiciones idénticas al CTRL salvo por la modificación de estructuras orográficas. Específicamente, en el experimento "No Lowlands" (NL, Figura 2b), se removió al arco de Fitzcarrald, aplanándolo a una altitud constante de 200 m s. n. m. En el experimento "No Lowlands No Camisea" (NLC, Figura 2c), además de remover al arco, se eliminó también la montaña de Camisea, asociada a la formación del arco de Fitzcarrald (Espurt et al., 2009). El experimento NLC50A (Figura 2d) replicó las condiciones de NLC, pero además se redujo a la mitad la altitud de los Andes. Estos cambios también se implementaron en el dominio d01 (no mostrado).

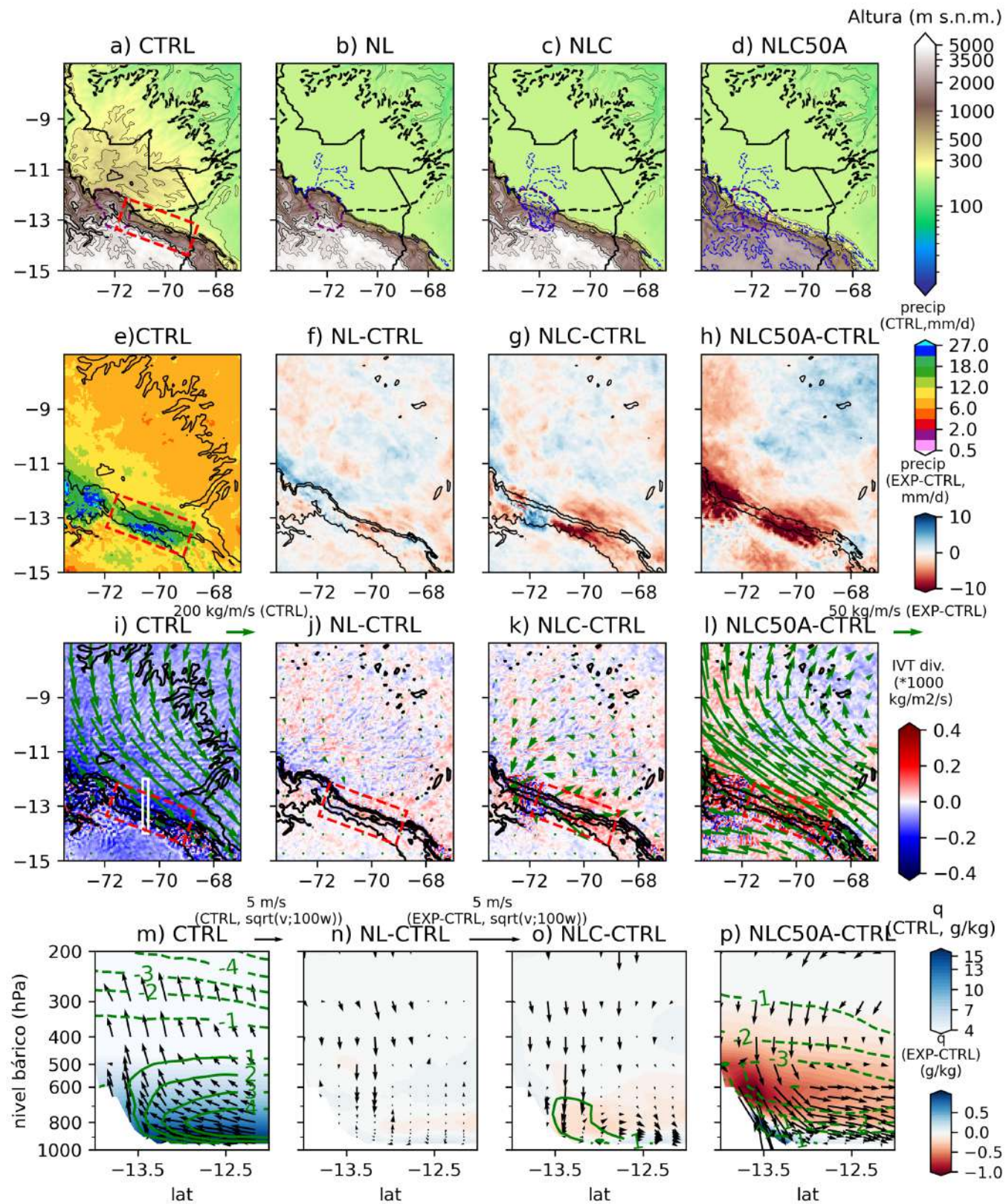


Figura 2. Experimentos de sensibilidad topográfica para los casos CTRL, NL, NLC y NLC50A en el dominio d02 (a-d). Las líneas azules discontinuas en a-d representan diferencias de -250, -1000 y -2500 m s.n.m. respecto de CTRL. Precipitación media durante diciembre-febrero 2012-13 en CTRL con isohipsas de 200, 500 y 3000 m s. n. m. (líneas negras) (e) y sus diferencias con los demás experimentos de sensibilidad topográfica (f-h). VIMF (vectores verdes) y su divergencia (barra de colores) para diciembre-febrero 2012-13 en CTRL (i) y sus diferencias con los demás experimentos de sensibilidad topográfica (j-l). Corte transversal de la humedad específica (barra de colores) vientos verticales (meridional; vertical x 100, vectores) y zonal (contornos) durante diciembre-febrero 2012-13 en la región delimitada por un rectángulo blanco en i) y sus diferencias con los demás experimentos de sensibilidad topográfica (n-p). El rectángulo oblicuo de líneas rojas discontinuas representa la localización aproximada del hotspot de Quincemil.

3. Resultados

La remoción del arco de Fitzcarrald en NL produjo una disminución de cerca de 4 mm/d en la precipitación total en el *hotspot* de Quincemil, lo cual corresponde al 16 % respecto de CTRL (~25 mm/d), especialmente en altitudes intermedias por debajo de los 1000 m s. n. m. (Figura 2f). En NLC, estas disminuciones son más pronunciadas (~ 9 mm/d, 40% de CTRL) y abarcan una mayor extensión espacial

(Figura 2g). El aumento de la precipitación (~6 mm/d) al oeste de la ubicación del *hotspot* de Quincemil en NLC sugiere que la montaña de Camisea, además de controlar la intensidad del *hotspot*, también controla su localización, anclándola hacia el este. En NLC50A se produce una disminución de hasta 13 mm/d en la precipitación de la vertiente oriental de los Andes, lo que representa una disminución de hasta el 60 % respecto de CTRL (Figura 2h). Estas señales de disminución respecto de CTRL son más intensas durante la noche, que es el periodo más lluvioso del día en el *hotspot* (no mostrado).

Los mecanismos atmosféricos que explican estas diferencias pueden estar asociados con el Flujo de Humedad Verticalmente Integrado (VIMF, por sus siglas en inglés) y su divergencia (Figura 2i-l), así como con posibles cambios en los procesos vinculados a la convección local en la vertical (Figura 2m-p). Tanto en NL como en NLC, se observa una anomalía anticiclónica centrada en la concavidad de la montaña de Camisea, donde se registran disminuciones de VIMF hacia el *hotspot* en el orden del 4 % y 10 %, respectivamente (Figura 2j,k). Estos cambios parecen relacionarse con una disminución en la convergencia de VIMF (Figura 2j,k), con menores valores de humedad específica en niveles bajos y medios, y con un debilitamiento de la velocidad vertical a lo largo del corte transversal, particularmente en NLC (Figura 2n-o). En NLC50A, el flujo de humedad se reduce hasta en un 70% respecto de CTRL alrededor del *hotspot* (Figura 2l), lo que sugiere una reducción notable del suministro de humedad específica —en especial en niveles medios— y, en consecuencia, de la convección (menor velocidad vertical, Figura 2p).

4. Discusiones

Los resultados obtenidos dan luces sobre los patrones climáticos que ejercen algunas estructuras topográficas locales sobre el *hotspot* de Quincemil. Además, la interacción entre la topografía local y las circulaciones atmosféricas, tanto locales como regionales, podría haber contribuido en la formación de los paisajes únicos que favorecieron el desarrollo de la gran biodiversidad local (Antonelli et al., 2018).

No obstante, se debe considerar que las modificaciones implementadas en los experimentos de sensibilidad se basaron en idealizaciones de condiciones ambientales ocurridos hace entre 5 y 10 millones de años, cuando la altura de los Andes era aproximadamente la mitad de la actual (Boschman, 2021; Espurt et al., 2009). Por ejemplo, en NLC50A se redujo la altura de los Andes a la mitad, pero su levantamiento real fue diacrónico y no uniforme (Boschman, 2021). Por ello, estas simulaciones no deben interpretarse como representaciones paleoclimáticas exactas, ya que otros factores geográficos o numéricos (condiciones de frontera), que no se consideraron en el estudio, podrían haber influido en el clima local. Entre ellos se incluyen los cambios en la insolación asociados a la deriva continental, la composición química de la atmósfera, la circulación oceánica de gran escala y la existencia

de otros tipos de cobertura del suelo, como el gran humedal del sistema Pebas (Hoorn et al., 2022).

Asimismo, la representación de los mecanismos aquí analizados en simulaciones de modelos climáticos y sus proyecciones futuras puede resultar crucial, dada la resolución espacial gruesa y la “suavización” de la orografía que fuerza a estos modelos. Sesgos en esta representación podrían traducirse en estimaciones incorrectas de la intensidad y extensión del *hotspot* de Quincemil. Además, este error podría trasladarse a proyecciones del clima futuro bajo escenarios de gases de efecto invernadero y deforestación, aumentando las incertidumbres de dichas proyecciones.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos apuntan a que estructuras orográficas locales vecinas al *hotspot* de Quincemil, como el arco de Fitzcarrald y la montaña de Camisea, desempeñan un rol importante en la modulación de la intensidad y localización al canalizar el flujo de humedad hacia la zona del *hotspot* de Quincemil. Estos mecanismos inducidos a escala local, en cuanto a que el arco de Fitzcarrald y la montaña de Camisea, explicarían entre un 16 % y un 40 % de la precipitación en el *hotspot* de Quincemil, respectivamente. Por otra parte, la presencia de los Andes parece modular de manera notable el flujo de humedad amazónico a escala regional, lo que se evidencia en el experimento en el que se redujo a la mitad su altura. En este escenario, los Andes controlan en mayor medida la precipitación sobre la región de transición Andes-Amazonía, donde una reducción de la mitad de su altura contemporánea corresponde a, aproximadamente, una reducción del 60 % de la precipitación en el *hotspot* de Quincemil.

Cabe señalar que los resultados presentados en esta investigación forman parte del artículo científico “Influence of local topographic structures on the atmospheric mechanisms related to the Andean-Amazon rainiest zone” de Gutiérrez-Villarreal et al. (2025).

Referencias

- Antonelli, A., Kissling, W. D., Flantua, S. G. A., Bermúdez, M. A., Mulch, A., Muellner-Riehl, A. N., Kreft, H., Linder, H. P., Badgley, C., Fjeldså, J., Fritz, S. A., Rahbek, C., Herman, F., Hooghiemstra, H., & Hoorn, C. (2018). Geological and climatic influences on mountain biodiversity. *Nature Geoscience*, 11(10), 718–725.
<https://doi.org/10.1038/s41561-018-0236-z>
- Boschman, L. M. (2021). Andean mountain building since the Late Cretaceous: A paleoelevation reconstruction. *Earth-Science Reviews*, 220, Article 103640.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103640>
- Chavez, S. P., & Takahashi, K. (2017). Orographic rainfall hot spots in the Andes-Amazon transition according to the TRMM precipitation radar and in situ data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(11), 5870–5882.
<https://doi.org/10.1002/2016JD026282>
- Dudhia, J. (1989). Numerical Study of Convection Observed during the Winter Monsoon Experiment Using a Mesoscale Two-Dimensional Model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 46(20), 3077–3107.
[https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1989\)046<3077:NSOCOD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1989)046<3077:NSOCOD>2.0.CO;2)
- Espinoza, J. C., Chavez, S., Ronchail, J., Junquas, C., Takahashi, K., & Lavado, W. (2015). Rainfall hotspots over the southern tropical Andes: Spatial distribution, rainfall intensity, and relations with large-scale atmospheric circulation. *Water Resources Research*, 51(5), 3459–3475.
<https://doi.org/10.1002/2014WR016273>
- Espurt, N., Baby, P., Brusset, S., Roddaz, M., Hermoza, W., & Barbarand, J. (2009). The Nazca Ridge and Uplift of the Fitzcarrald Arch: Implications for Regional Geology in Northern South America. En C. Hoorn & F. P. Wesselingh (Eds.), *Amazonia: Landscape and Species Evolution* (pp. 89–100). John Wiley & Sons.
<https://doi.org/10.1002/9781444306408.ch6>
- Gutiérrez-Villarreal, R. A., Junquas, C., Espinoza, J.-C., Baby, P., & Armijos, E. (2025). Influence of local topographic structures on the atmospheric mechanisms related to the Andean-Amazon rainiest zone. *Atmospheric Research*, 320, 108068.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2025.108068>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., ... Thépaut, J.-N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999–2049.
<https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Hong, S.-Y., Noh, Y., & Dudhia, J. (2006). A New Vertical Diffusion Package with an Explicit Treatment of Entrainment Processes. *Monthly Weather Review*, 134(9), 2318–2341.
<https://doi.org/10.1175/MWR3199.1>
- Hoorn, C., Boschman, L. M., Kukla, T., Sciumbata, M., & Val, P. (2022). The Miocene wetland of western Amazonia and its role in Neotropical biogeography. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 199(1), 25–35.
<https://doi.org/10.1093/botlinnean/boab098>
- Hoorn, C., Wesselingh, F. P., ter Steege, H., Bermudez, M. A., Mora, A., Sevink, J., Sanmartín, I., Sanchez-Meseguer, A., Anderson, C. L., Figueiredo, J. P., Jaramillo, C., Riff, D., Negri, F. R., Hooghiemstra, H., Lundberg, J., Stadler, T., Särkinen, T., & Antonelli, A. (2010). Amazonia Through Time: Andean Uplift, Climate Change, Landscape Evolution, and Biodiversity. *Science*, 330(6006), 927–931.
<https://doi.org/10.1126/science.1194585>
- Junquas, C., Takahashi, K., Condom, T., Espinoza, J.-C., Chavez, S., Sicart, J.-E., & Lebel, T. (2018). Understanding the influence of orography on the precipitation diurnal cycle and the associated atmospheric processes in the central Andes. *Climate Dynamics*, 50(11–12), 3995–4017.
<https://doi.org/10.1007/s00382-017-3858-8>
- Mlawer, E. J., Taubman, S. J., Brown, P. D., Iacono, M. J., & Clough, S. A. (1997). Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D14), 16663–16682.
<https://doi.org/10.1029/97JD00237>
- Morrison, H., Thompson, G., & Tatarskii, V. (2009). Impact of Cloud Microphysics on the Development of Trailing Stratiform Precipitation in a Simulated Squall Line: Comparison of One- and Two-Moment Schemes.

Monthly Weather Review, 137(3), 991–1007.
<https://doi.org/10.1175/2008MWR2556.1>

Mourre, L., Condom, T., Junquas, C., Lebel, T., E. Sicart, J., Figueroa, R., & Cochachin, A. (2016). Spatio-temporal assessment of WRF, TRMM and in situ precipitation data in a tropical mountain environment (Cordillera Blanca, Peru). *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(1), 125–141.
<https://doi.org/10.5194/hess-20-125-2016>

Nakanishi, M., & Niino, H. (2009). Development of an Improved Turbulence Closure Model for the Atmospheric Boundary Layer. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 87(5), 895–912.
<https://doi.org/10.2151/jmsj.87.895>

Paulson, C. A. (1970). The Mathematical Representation of Wind Speed and Temperature Profiles in the Unstable Atmospheric Surface Layer. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 9(6), 857–861.
[https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1970\)009<0857:TMROWS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1970)009<0857:TMROWS>2.0.CO;2)

Pleim, J. E. (2007). A Combined Local and Nonlocal Closure Model for the Atmospheric Boundary Layer. Part I: Model Description and Testing. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46(9), 1383–1395.
<https://doi.org/10.1175/JAM2539.1>

Roncal, J., Couderc, M., Baby, P., Kahn, F., Millán, B., Meerow, A. W., & Pintaud, J.-C. (2015). Palm diversification in two geologically contrasting regions of western Amazonia. *Journal of Biogeography*, 42(8), 1503–1513.
<https://doi.org/10.1111/jbi.12518>

Skamarock, C., Klemp, B., Dudhia, J., Gill, O., Liu, Z., Berner, J., Wang, W., Powers, G., Duda, G., Barker, D., & Huang, X. (2021). A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4.3 (NCAR Technical Note NCAR/TN-588+STR).
<https://doi.org/10.5065/1dfh-6p97>

Tejada-Lara, J. V., Salas-Gismondi, R., Pujos, F., Baby, P., Benammi, M., Brusset, S., De Franceschi, D., Espurt, N., Urbina, M., & Antoine, P.-O. (2015). Life in proto-Azononia: Middle Miocene mammals from the Fitzcarrald Arch (Peruvian Amazonia). *Palaeontology*, 58(2), 341–378.
<https://doi.org/10.1111/pala.12147>

Yang, Z.-L., Niu, G.-Y., Mitchell, K. E., Chen, F., Ek, M. B., Barlage, M., Longuevergne, L., Manning, K., Niyogi, D., Tewari, M., & Xia, Y. (2011). The community Noah land surface model with multiparameterization options (Noah-MP): 2. Evaluation over global river basins. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D12), Article D12110.
<https://doi.org/10.1029/2010JD015140>

Zhang, C., & Wang, Y. (2017). Projected Future Changes of Tropical Cyclone Activity over the Western North and South Pacific in a 20-km-Mesh Regional Climate Model. *Journal of Climate*, 30(15), 5923–5941.
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0597.1>

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE BASD-CMIP6-PE Y PROYECCIONES CLIMÁTICAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN LA REGIÓN DE CAJAMARCA

Pedro I. Díaz Ramirez¹ y James E. Apaéstegui Campos^{1,2}

¹Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú

²Maestría en Recursos Hídricos, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Palabras clave: Proyecciones futuras del clima, BASD-CMIP6-PE, temporadas húmedas/calientes y secas/frías

Citar como Díaz, P. & Apaéstegui, J., (2025). Evaluación del desempeño de BASD-CMIP6-PE y proyecciones climáticas de precipitación y temperatura en la región de Cajamarca. Boletín Científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, vol 12 n.º 08, págs. 11-21.

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

Para la gestión pública en Cajamarca, es importante anticipar cómo el cambio climático podría modificar las lluvias y las temperaturas a escalas útiles para la planificación. Este estudio aporta una herramienta de diagnóstico y proyección: BASD-CMIP6-PE, que reproduce el clima observado (1981–2010) y estima cambios futuros —incremento de temperatura, intensificación de precipitaciones en temporada húmeda y mayor variabilidad en la seca. Los resultados varían según el escenario de emisiones, por lo que se recomienda prudencia al usarlos. Para las autoridades públicas, estos hallazgos pueden ayudar a tomar decisiones sobre las inversiones hídricas, cómo organizar el calendario agrícola y qué medidas tomar para reforzar las acciones de prevención de riesgos.

Resumen

El presente trabajo evalúa el desempeño del conjunto de datos BASD-CMIP6-PE, derivado de 10 Modelos Climáticos Globales (GCMs) del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 6 (CMIP6), en el departamento de Cajamarca. Se utilizaron registros del pasado reciente (1981–2010) como periodo de referencia y se analizaron las proyecciones de cambio climático bajo tres escenarios considerados SSP1-2.6, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 considerando tres períodos (corto plazo: 2015–2040, mediano plazo: 2041–2070 y largo plazo: 2071–2100), en comparación con el periodo de referencia. Los resultados muestran que el conjunto BASD-CMIP6-PE reproduce adecuadamente las principales características del clima de Cajamarca en el periodo de referencia. Asimismo, las proyecciones

climáticas indican un aumento de la temperatura, asociado a una intensificación de las precipitaciones, con mayor variabilidad en las temporadas secas. Se proyecta un incremento en la amplitud del ciclo estacional de precipitaciones y una reducción del ciclo térmico estacional, lo que sugiere mayores precipitaciones durante la temporada húmeda e inviernos con temperaturas más cercanas a las de verano. Bajo el escenario SSP126, la tasa de cambio en la temperatura y la precipitación se mantiene baja; en contraste, los escenarios SSP370 y SSP585 proyectan, a mediano y largo plazo, incrementos significativos que reflejan una mayor inestabilidad climática y un aumento de los riesgos asociados. Estos hallazgos aportan una base científica relevante para el diseño de estrategias de prevención y adaptación al cambio climático, especialmente en la gestión de los recursos hídricos de la región de Cajamarca.

1. Introducción

Los Modelos de Circulación General (GCM, por sus siglas en inglés) constituyen una herramienta fundamental para investigar los impactos futuros del cambio climático (IPCC, 2013). El proyecto de Intercomparación de Modelos acoplados en su fase 6 (Coupled Model Intercomparison CMIP6; Eyring et al., 2016) representa la versión más reciente y avanzada de resultados de los GCM, consolidándose como el estado del arte en el estudio de proyecciones climáticas. Esta nueva generación de modelos incorpora un conjunto de escenarios que combinan las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP, por sus siglas en inglés; Riahi et al., 2017) y las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés; van Vuuren et al., 2011), con el fin de explorar la respuesta futura de los sistemas naturales y socioeconómicos bajo distintos niveles de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

En este contexto, la base de datos BASD-CMIP6-PE, desarrollada recientemente para el dominio espacial que incluye Perú y Ecuador (Fernández-Palomino et al., 2024), constituye un avance significativo al proporcionar proyecciones climáticas de alta resolución (10 km, a nivel diario). No obstante, su potencial aún no ha sido suficientemente aprovechado, ya que los estudios basados en estas proyecciones son escasos (Fernández-Palomino et al., 2023). En particular, persiste una clara brecha de conocimiento respecto a la evaluación de los cambios proyectados en temperatura y precipitación durante las temporadas lluviosas/cálidas y secas/frías en el norte del Perú, especialmente en la región de Cajamarca, bajo los escenarios más recientes del CMIP6.

La región de Cajamarca, ubicada en el norte peruano, concentra una amplia diversidad de zonas ecológicas y actividades económicas (Gobierno Regional de Cajamarca, 2012), entre las que destaca la producción agropecuaria (INEI, 2024), lo que le confiere una especial relevancia. Su localización en la cordillera de los Andes genera un contraste marcado: hacia el oeste, un clima frío y seco, y hacia el este, condiciones cálidas y húmedas propias de la región amazónica (Espinoza et al., 2020). Esta compleja interacción entre relieve y atmósfera plantea un desafío para la representación adecuada de la temperatura y la precipitación en los modelos climáticos. Asimismo, analizar el comportamiento futuro de estas variables bajo diferentes escenarios del

CMIP6 resulta esencial para comprender los cambios en el ciclo anual y sus implicancias en actividades económicas claves de la región (Gobierno Regional de Cajamarca, 2012; Giráldez et al., 2020; Atalaya-Marín et al., 2025).

En este estudio se evalúa el desempeño de la base de datos BASD-CMIP6-PE en la región de Cajamarca durante el periodo histórico y se analizan las proyecciones futuras de la temperatura y precipitación hasta finales del siglo XXI bajo tres escenarios de cambio climático. El análisis se desarrolló a partir de promedios climatológicos mensuales y anuales, considerando un dominio espacial centrado en Cajamarca. Asimismo, se evaluó la capacidad de las simulaciones frente a un conjunto de datos observacionales grillados y se compararon los cambios futuros de las temporadas húmedas/cálidas y secas/frías en relación con las condiciones climáticas actuales.

2. Metodología

Área de estudio

El área de estudio se ubica al noroeste de Perú, en el departamento de Cajamarca. Abarca un rango altitudinal que va de ~255 a ~3 500 m s. n. m. (GEBCO, 2024) (Fig. 1 –a, c y d). Por el lado oeste de la cordillera de los Andes, la variabilidad climática está influenciada por los modos de variabilidad del océano Pacífico, lo que genera un clima frío y seco, con excepción de los años de ocurrencia de eventos El Niño (Takahashi et al., 2004). En contraste, hacia el este se presenta una Amazonía caliente y húmeda (Espinoza et al., 2020) (Fig. 1 – d). Entre los procesos de gran escala que influyen en clima de Cajamarca destacan el desplazamiento estacional de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI) (Waliser y Gautier, 1993), el Sistema de Monzón Sudamericano (SMS) (Vera et al., 2006), asociados a los ciclos de insolación en el hemisferio austral. La climatología (1981-2010) muestra una precipitación total anual de 1020 mm/año, con una mayor concentración de la precipitación durante el verano austral (máximos en febrero-abril; línea celeste, eje inferior: mm/mes), al cual denominaremos temporada húmeda/cálida. Entre mayo y septiembre se establece una temporada seca y fría (temporada seca/fría), con las temperaturas más bajas en junio-agosto (línea roja, eje superior: °C).

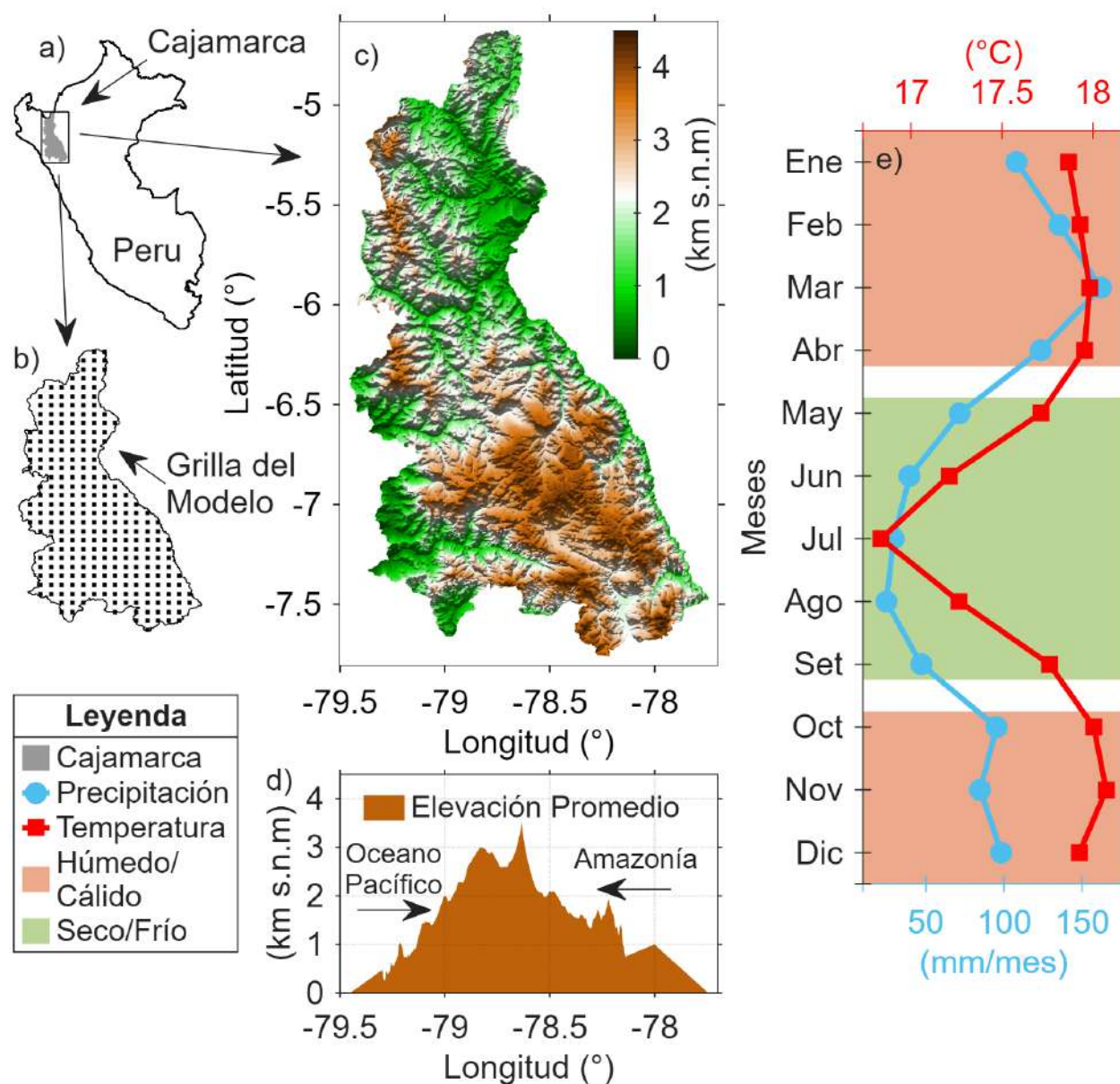


Figura 1. Área de estudio. a) Perú. b) Puntos de grilla del conjunto de modelos BASD-CMIP6-PE en el dominio espacial de Cajamarca. c) Dominio espacial de la región Cajamarca representando la elevación del terreno respecto del nivel de mar (km s.n.m). d) Sección representativa de la elevación del terreno en el dominio espacial de Cajamarca. e) Ciclo anual de precipitación (línea celeste, eje inferior; mm/mes) y temperatura (línea roja, eje superior; °C) para el periodo 1981-2010, obtenido por el conjunto de modelos BASD-CMIP6-PE.

Datos

Para el análisis comparativo de las simulaciones durante el periodo histórico, se usaron datos mensuales de precipitación y temperatura de CHIRPS v2.0 (Funk et al., 2015) y del reanálisis ERA5 (Hersbach et al., 2023), respectivamente (Tabla 1). La base de datos CHIRPS v2.0 fusiona datos infrarrojos de satélite con lecturas tomadas directamente, enriqueciendo así la visualización espacial de las lluvias en áreas con pocos puntos de medición. Así mismo, ERA5, creado por el Centro Europeo de Predicciones Meteorológicas a Plazo Medio (ECMWF), brinda cálculos atmosféricos muy detallados usando la asimilación de datos por medio del sistema IFS-CY41R2, que reúne datos de tierra, satélites y radares. Se ha comprobado que ambos datos grillados funcionan bien al evaluar los modelos CMIP para la proyección del clima en Sudamérica y otras regiones del mundo (como en Arias et al., 2021; Almazroui et al., 2021; Li et al., 2021; Zhao et al., 2021), lo que refuerza que son válidas como

punto de referencia observacional para evaluar las simulaciones históricas en este estudio.

Los datos simulados obtenidos corresponden a datos basados en las proyecciones climáticas CMIP6 de 10 modelos del GCM regionalizado denominado BASD-CMIP6-PE (Fernandez-Palomino et al., 2024) (Tabla 2). BASD-CMIP6-PE aplicó el método de ajuste de sesgo y reducción de escala estadística (Lang, 2019), utilizando como forzantes físicos datos de temperatura de PISCO (Huerta et al., 2018) y precipitación de RAIN4PE (Fernandez-Palomino et al., 2021) para generar un conjunto de 10 modelos de alta resolución con proyecciones climáticas que incluyen un periodo histórico (1850 - 2014) y tres escenarios futuros: SSP1-2.6 (SSP126), vinculado con políticas sostenibles de calentamiento global; SSP3-7.0 (SSP370), representativo de un calentamiento global intermedio-alto; y SSP5-8.5 (SSP585), que proyecta un escenario de calentamiento global extremo con un continuo desarrollo de combustibles fósiles (IPCC, 2021).

Tabla 1. Datos grillados usados en este estudio.

VARIABLE	CONJUNTO DE DATOS	RESOLUCIÓN (lon x lat)	ENLACE WEB
Precipitación (mm/mes)	Climate Hazards group Infra-Red Precipitation with Stations (CHIRPS v2.0)	0.05° x 0.05°	https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/global_monthly/netcdf/byYear/
Temperatura 2m sobre el suelo (°C)	ERA5 – reanalysis	0.25° x 0.25°	https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/Reanalysis-era5-single-levels-monthly-means?tab=download

Tabla 2. Detalle de los 10 modelos BASD-CMIP6-PE usados en este estudio.

N°	NOMBRE DEL MODELO CMIP6	TEMPORALIDAD	RESOLUCIÓN (lon x lat)	ENLACE WEB
1	CanESM5	Histórico (1850-2014); SSP 126, SSP 370 y SSP 585 (2015-2100)	0.1° x 0.1°	https://dataservices.gfz-potsdam.de/pik/showshort.php?id=473f27a6-86dd-11ed95b8-f851ad6d1e4b
2	IPSL-CM6A-LR			
3	CNRM-CM6-1			
4	CNRM-ESM2-1			
5	UKESM1-0-LL			
6	GFDL-ESM4			
7	MIROC6			
8	MRI-ESM2-0			
9	MPI-ESM1-2-HR			
10	EC-Earth3			

Procedimiento y métodos

Se evaluó la capacidad de los modelos BASD-CMIP6-PE para representar el clima de la región Cajamarca en el periodo histórico. Posteriormente, se analizaron los cambios futuros de las temporadas húmedas/cálidas y secas/frías en los escenarios del clima futuro (SSP126, SSP370 y SSP585) respecto del clima presente. La evaluación consideró cuatro ventanas temporales: el periodo 1981-2010 como clima de referencia (Ref), y tres periodos futuros: corto plazo (ST, 2015-2040), mediano plazo (MT, 2041-2070) y largo plazo (LT, 2071-2100).

Para la evaluación, todos los modelos BASD-CMIP6-PE y los datos grillados (CHIRPS y ERA5 reanálisis) fueron escalados a una resolución espacial común de 0.1° de longitud y latitud, mediante interpolación bilineal usando la función `griddedInterpolant` de MATLAB R2025a (MathWorks, 2025).

En relación al análisis de validación de los datos de precipitación y temperatura en el periodo de referencia se incluyó la comparación del ciclo anual (Fig. 1e) y del patrón espacial, definido como la serie formada por los promedios anuales en cada punto de grilla (Fig. 1b). Para esta comparación se emplearon métricas estadísticas como la desviación estándar (σ), el coeficiente de correlación (ρ , con prueba de significancia $p < 0.01$) y la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE).

La definición de las temporadas se realizó a partir de los promedios mensuales: la temporada húmeda (R)/cálida (C) se consideró entre octubre y abril, mientras que la temporada seca (S)/fría (F) se definió entre mayo y septiembre (Fig. 1 – e). Asimismo, se evaluó la amplitud estacional, definida como la diferencia entre las temporadas húmedas (cálidas) y secas (frías).

Finalmente, dichas temporadas se analizaron mediante la variación porcentual entre el periodo de referencia (Ref) y los tres horizontes futuros considerados: corto plazo (ST), mediano plazo (MT) y largo plazo (LT), bajo los tres escenarios de cambio climático evaluados.

3. Resultados

Validación de los modelos BASD-CMIP6-PE en el periodo de referencia (1981-2010)

La comparación entre los 10 modelos climáticos y los datos grillados para el periodo histórico mostró altos niveles de concordancia, con coeficientes de correlación de 0.99 para el ciclo anual y de 0.95–0.96 para el patrón espacial de la precipitación (p -valor < 0.01). De manera complementaria, los valores de error cuadrático medio (RMSE) se situaron en rangos de 6.95–9.91 mm y 0.11–0.13 mm, respectivamente (Fig. 2 a y c).

Para la temperatura, las correlaciones alcanzaron valores de 0.95 para el ciclo anual y 0.87 para el patrón espacial, con RMSE de 12.64–13.90 °C y 1.71–1.72 °C, respectivamente (Fig. 2 b y d).

La evaluación del promedio multimodelo (ME) mostró correlaciones similares a las obtenidas con los modelos individuales, tanto para el ciclo anual como para el patrón espacial de precipitación y temperatura (Fig. 2). No obstante, se observó una reducción sistemática del RMSE en el ME, lo que indica una mejora en la representación de las variables analizadas. En conjunto, estos resultados confirman la capacidad de los modelos BASD-CMIP6-PE para reproducir adecuadamente la variabilidad de la precipitación y la temperatura, tanto en su ciclo anual como en el patrón espacial promedio en la región de Cajamarca.

En función de esta evaluación, los análisis posteriores se realizaron empleando los resultados del promedio multimodelo (ME), al considerarse la representación más consistente y cercana al clima observado en comparación con los modelos individuales.

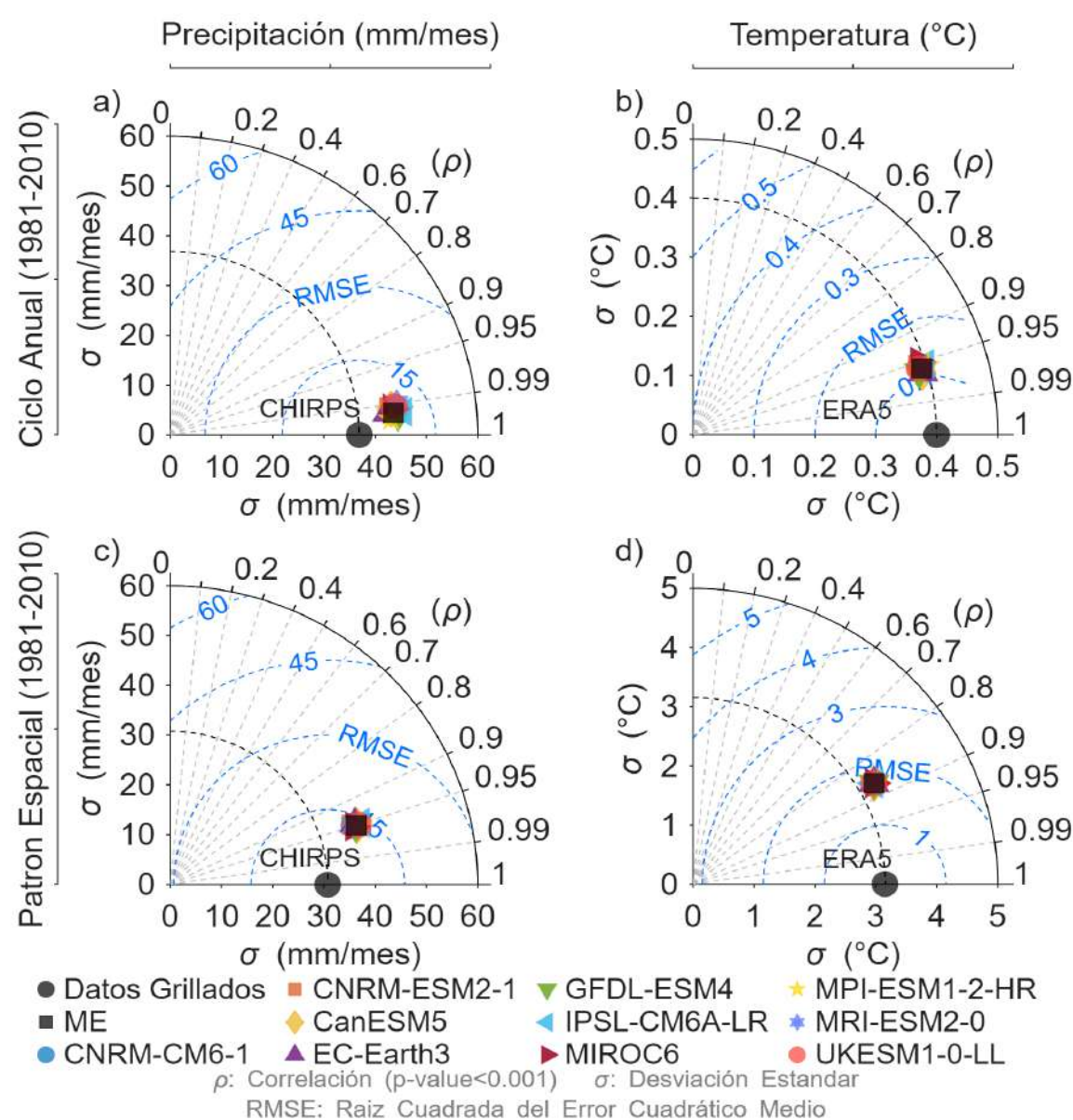


Figura 2. Diagramas de Taylor (Taylor, 2001) que muestra las métricas estadísticas del ciclo anual de la precipitación y la temperatura (a y b respectivamente), y del patrón espacial (c y d respectivamente) entre los 10 modelos BASD-CMIP6-PE y los datos grillados (CHIRPS y ERA5) para el periodo 1981-2010. ME es el promedio multimodelo. La coordenada radial indica la desviación estándar (σ , línea negra discontinua), y la coordenada angular muestra la correlación (ρ , p -valor < 0.01, líneas grises discontinuas). Las líneas azules concéntricas discontinuas representan la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE).

Variaciones porcentuales de las temporadas húmedas y secas

La variación porcentual de la precipitación acumulada con respecto a la tendencia central mostró cambios futuros de 1.6 % durante la temporada húmeda y 1.2 % en la temporada seca desde el periodo ST al LT para el escenario de cambio climático SSP126 (Fig. 3a). Así mismo, bajo los escenarios SSP370 y SSP585, las tasas de cambio fueron de 6.0 % y 5.8 %, y 9.7 % y 7.8 % para las temporadas húmeda y seca, respectivamente (Fig. 3 b y c). Estos resultados indican un incremento de la cantidad de las precipitaciones futuras, particularmente durante la temporada húmeda. Por otro lado, la distribución espacial de la precipitación mostró un rango promedio de variación respecto a la tendencia central de 4.5 %-7.8 % en la

temporada seca y 2 %-2.8 % en la temporada húmeda bajo el escenario SSP126 (Fig. 3a). Para el escenario SSP370, los valores oscilaron entre 6.6 %-11 % en la temporada seca y 4 % en la temporada húmeda (Fig. 3b), mientras que en el escenario SSP585 se observaron valores de 9.6 %-18 % y 5.5 %-5 % en las temporadas seca y húmeda, respectivamente. Estos resultados evidencian una mayor dispersión en las proyecciones de la precipitación en la temporada seca que en la húmeda en Cajamarca, desde el periodo de corto plazo hasta finales de siglo.

Finalmente, la amplitud estacional presentó incrementos de 1.2 % bajo el escenario SSP126, 5.8 % en SSP370 y 9.7 % en SSP585 (Fig. 3d, 3e y 3f), lo que evidencia un mayor contraste entre la temporada húmeda y seca hacia finales de siglo.

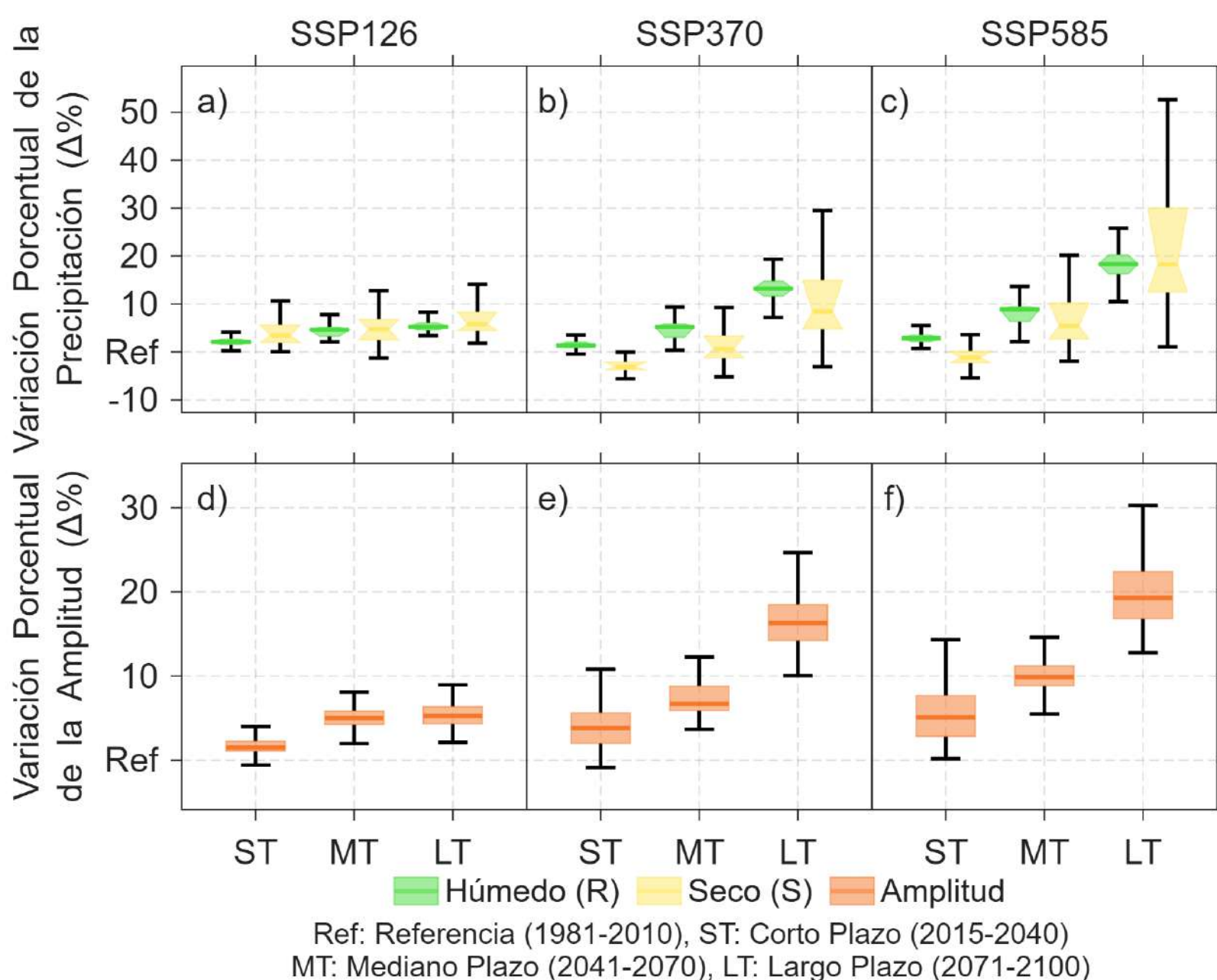


Figura 3. Variaciones porcentuales en la precipitación ($\Delta\%$) de las temporadas húmeda y seca entre los periodos futuros (ST, MT y LT) con respecto al periodo de referencia (Ref) bajo los tres escenarios futuros SSP126 (a), SSP370 (b) y SSP585 (c) respectivamente. (d, e y f) Similar que a, b y c pero para variaciones porcentuales en la amplitud ($\Delta\%$). Cada diagrama de caja representa, los valores extremos límite inferior y superior, el cuartil 25 (Q25), el cuartil 50 (Q50 o mediana o término central) y el cuartil 75 (Q75).

Variaciones porcentuales de las temporadas cálidas y frías

Los cambios proyectados en la temperatura evidenciaron una variación de la tendencia central de 0.3°C para la temporada fría y 0.27°C para la temporada cálida bajo el escenario de cambio climático SSP126 desde el periodo a corto plazo (ST) hasta finales de siglo (Fig. 4a). En el escenario SSP370, los incrementos fueron de 1.39°C y 1.25°C, y en el escenario SSP585 alcanzaron 1.82°C y 1.62°C para las temporadas fría y cálida, respectivamente (Fig. 4b y 4c). Estos resultados muestran que el aumento de las temperaturas futuras sería más pronunciado durante la temporada fría que en la cálida.

La distribución espacial de la temperatura en el dominio de Cajamarca presentó un rango de

variación promedio respecto a la tendencia central de 2.4 %-4.6 % en la temporada fría y 2 %-4 % en la cálida bajo el escenario SSP126 (Fig. 4a). Para el escenario SSP370, los valores oscilaron entre 4 %-8 % y 3.4 %-6.7 %, mientras que en el SSP585 fueron de 5 %-9.6 %, respectivamente (Fig. 4 b y 4c). Estos resultados indican que la variabilidad espacial de la temperatura será mayor en la temporada fría que en la cálida a lo largo del periodo de análisis.

Respecto a la amplitud térmica estacional, se identificaron reducciones en la tendencia central de -3.0 %, -15.3 % y -22.5 % en los escenarios SSP126, SSP370 y SSP585, respectivamente (Fig. 4 d, e y f). Tales disminuciones apuntan a un debilitamiento progresivo de la amplitud térmica, de modo que hacia finales de siglo las temperaturas de la temporada fría tenderán a asemejarse cada vez más a las de la temporada cálida.

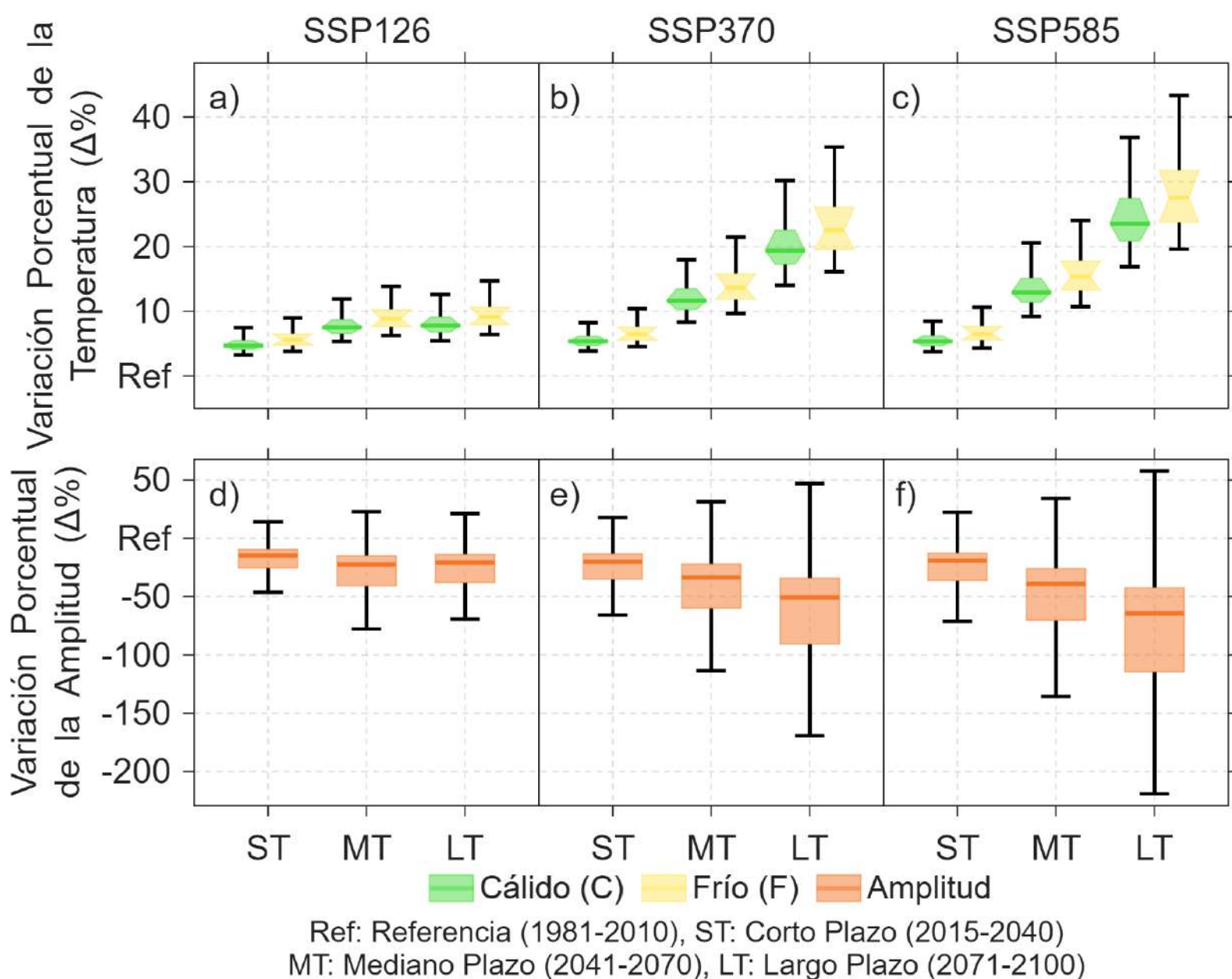


Figura 4. Variaciones porcentuales en la temperatura ($\Delta\%$) de las temporadas húmeda y seca entre los periodos futuros (ST, MT y LT) con respecto al periodo de referencia (Ref) bajo los tres escenarios futuros SSP126 (a), SSP370 (b) y SSP585 (c) respectivamente. (d, e y f) Similar que a, b y c pero para variaciones porcentuales en la amplitud ($\Delta\%$). Cada diagrama de caja representa, los valores extremos límite inferior y superior, el cuartil 25 (Q25), el cuartil 50 (Q50 o mediana o término central) y el cuartil 75 (Q75).

4. Discusión

Desempeño histórico de los modelos BASD-CMIP6-PE

A partir de los cálculos de medias climatológicas mensuales y anuales en el dominio espacial de Cajamarca, se demostró que el conjunto de datos BASD-CMIP6-PE reproduce de manera consistente el clima observado, en términos de precipitación y temperatura para el periodo de referencia 1981–2010, mostrando altas correlaciones y bajos valores de RMSE (Fig. 2). Estos hallazgos confirman que el conjunto de datos BASD-CMIP6-PE constituye una herramienta robusta para el análisis de la variabilidad climática y puede aplicarse no sólo en dominios espaciales a escala regional, sino también en contextos subnacionales, como el caso de Cajamarca, caracterizado por una marcada variabilidad altitudinal.

Asimismo, se evidenció que el promedio multimodelo (ME) reduce los errores en comparación con los modelos individuales, lo que otorga una mayor confiabilidad para el análisis de proyecciones climáticas. Este resultado es consistente con hallazgos previos reportados en otras regiones (Ge et al., 2021; Kurniadi et al., 2022; Zhang et al., 2024; Marengo et al., 2024).

Cambios futuros de la precipitación y temperatura en Cajamarca

La intensificación simultánea de las temporadas húmedas y cálidas podría alterar de manera significativa el equilibrio entre evaporación y evapotranspiración, debido al aumento proyectado de las temperaturas (Marengo et al., 2024). Este incremento conjunto durante dichas temporadas favorecería la ocurrencia de precipitaciones más intensas en periodos cortos. Considerando este contexto, sería idóneo realizar una validación espacial acompañada de un análisis de tendencias en todo el dominio de estudio, con el objetivo de identificar las regiones con mayor probabilidad de experimentar un incremento en las lluvias y por ende en su productividad agrícola y ecológica.

Por otra parte, el aumento de la temperatura durante la temporada fría a valores cercanos a los de la temporada cálida en la época seca podría intensificar la escasez hídrica del suelo, afectar la vegetación y

reducir la disponibilidad de agua para los cultivos. Esta situación incrementaría también la probabilidad de incendios forestales (Aragão et al., 2018).

Adicionalmente, el aumento simultáneo de la sequedad y la precipitación acumulada bajo condiciones de altas temperaturas contribuiría a la disminución del caudal de ríos y lagos durante la época de estiaje debido a la irregularidad de las lluvias. En conjunto, este escenario configuraría un clima futuro altamente inestable, asociado a riesgos significativos derivados del cambio climático, incluyendo impactos en las personas y comunidades, pérdidas económicas y consecuencias profundas en los ámbitos ambiental, social y económico (IPCC, 2014).

Estos cambios en el clima de Cajamarca podrían ocurrir con mayor impacto bajo escenarios de alta misión, como el SSP370 y el SSP585, particularmente durante los periodos de mediano y largo plazo (Fig. 3 y 4b, 4c, 4e y 4f). En este contexto, desde una perspectiva preventiva, resulta fundamental implementar políticas de adaptación al cambio climático que integren estos escenarios, los cuales proyectan variaciones más severas en la precipitación y la temperatura.

5. Conclusiones

El análisis de validación mostró que los modelos BASD-CMIP6-PE reproducen de manera adecuada el ciclo anual, así como el patrón espacial promedio de la precipitación y la temperatura en la región de Cajamarca.

El análisis de las proyecciones climáticas indica una intensificación progresiva de las precipitaciones, caracterizada por un aumento de su magnitud durante las temporadas húmedas y una mayor heterogeneidad espacial de las lluvias durante las temporadas secas. En cuanto a la temperatura, los escenarios futuros evidencian un incremento más pronunciado durante las temporadas frías, lo que conlleva a una reducción de la amplitud térmica, dado que los valores invernales tienden a aproximarse de manera sostenida a los registros característicos de las temporadas cálidas desde el corto plazo hasta finales de siglo. Estos cambios se mantienen en niveles mínimos de intensidad bajo el escenario SSP126; no obstante, a partir del mediano y largo plazo, los escenarios SSP370 y SSP585 proyectan incrementos

significativos en dichas intensidades, lo que evidencia una mayor inestabilidad del clima hacia finales de siglo y un aumento de los riesgos asociados.

En conjunto, estos resultados ofrecen un aporte significativo para la evaluación del impacto del cambio climático en Cajamarca y pueden extrapolarse a otras regiones del Perú con características similares, fortaleciendo la toma de decisiones informadas para el diseño de estrategias de prevención, adaptación y resiliencia relacionadas con los recursos hídricos.

Referencias

- Almazroui, M., Ashfaq, M., Islam, M., Rashid, I., Shahzad, K., Abid, M. A., O'Brien, E., Ismail, M., Reboita, M., Sörensson, A., Arias, P., Alves, L., Tippet, M., Saeed, S., Haarsma, R., Doblas, F., Saeed, F., Kucharski, F., Nadeem, I., & Sylla, M. (2021). Assessment of CMIP6 performance and projected temperature and precipitation changes over South America. *Earth Systems and Environment*, 5, 1–20.
<https://doi.org/10.1007/s41748-021-00233-6>
- Aragão, L. E. O. C., Anderson, L. O., Fonseca, M. G., Rosan, T. M., Vedovato, L. B., Wagner, F. H., Silva, C. V. J., Silva Junior, C. H. L., Arai, E., Aguiar, A. P., Barlow, J., Berenguer, E., Deeter, M. N., Domingues, L. G., Gatti, L., Gloor, M., Malhi, Y., Marengo, J. A., Miller, J. B., Phillips, O. L. & Saatchi, S. (2018). 21st century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications*, 9(1), 536.
<https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>
- Arias, P. A., Ortega, G., Villegas, L. D., & Martínez, J. A. (2021). Colombian climatology in CMIP5/CMIP6 models: Persistent biases and improvements. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (100), 75–96.
<https://doi.org/10.17533/udea.redin.20210525>
- Atalaya-Marin, N., Goñas, M., Tineo, D., Chuquibala-Checan, B., Arce-Inga, M., Tarrillo, E., Alvarez-Robledo, Y. A., Tafur-Culqui, J., Cabrera-Hoyos, H., & Gómez-Fernández, D. (2025). Integrating remote sensing and in-situ data to determine climate diversity and variability in cocoa systems in the provinces of Jaén and San Ignacio, Cajamarca (NW Perú). *Trees, Forests and People*, 19, 100749.
<https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100749>
- Espinoza, J.-C., Garreaud, R., Poveda, G., Arias, P. A., Molina-Carpio, J., Masiokas, M., Viale, M., & Scaff, L. (2020). Hydroclimate of the Andes. Part I: Main climatic features. *Frontiers in Earth Science*, 8, 64.
<https://doi.org/10.3389/feart.2020.00064>
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organisation. *Geoscientific Model Development*, 8, 10539–10583.
<https://doi.org/10.5194/gmdd-8-10539-2015>
- Fernandez-Palomino, C. A., et al. (2021). Rain for Peru and Ecuador (RAIN4PE) (Version 1.0) [Dataset]. GFZ Data Services.
<https://doi.org/10.5880/pik.2020.010>
- Fernandez-Palomino, C., Hattermann, F., Krysanova, V., Vega, F., Lavado, W., Santini, W., Gutierrez, R., & Bronstert, A. (2023). Pan-Peruvian simulation of present and projected future hydrological conditions using novel data products and CMIP6 climate projections. *Social Science Research Network*.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.4602668>
- Fernandez-Palomino, C. A., Hattermann, F. F., Krysanova, V., et al. (2024). High-resolution climate projection dataset based on CMIP6 for Peru and Ecuador: BASD-CMIP6-PE. *Scientific Data*, 11(1), 34.
<https://doi.org/10.1038/s41597-023-02863-z>
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2(1), 150066.
<https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- GEBCO Compilation Group. (2024). GEBCO 2024 Grid [Data set].
<https://doi.org/10.5285/1c44ce99-0a0d-5f4f-e063-7086abc0ea0f>
- Ge, F., Zhu, S., Luo, H., Zhi, X., & Wang, H. (2021). Future changes in precipitation extremes over Southeast Asia: Insights from CMIP6 multi-model ensemble. *Environmental Research Letters*, 16(2), 24013.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd7ad>
- Giráldez, L., Silva, Y., Zubieta, R., & Sulca, J. (2020). Change of the rainfall seasonality over Central

Peruvian Andes: Onset, end, duration and its relationship with large-scale atmospheric circulation. *Climate*, 8(2), 23.

<https://doi.org/10.3390/cli8020023>

Gobierno Regional de Cajamarca. (2012). Zonificación ecológica y económica: Base para el ordenamiento territorial del departamento de Cajamarca.

<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/zonificacion-ecologica-economica-base-ordenamiento-territorial>

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., & Thépaut, J.-N. (2023). ERA5 monthly averaged data on single levels from 1940 to present [Data set]. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS).

<https://doi.org/10.24381/cds.f17050d7>

Huerta, A., Aybar, C., & Lavado-Casimiro, W. (2018). PISCO temperatura v1.1 [Dataset]. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

http://iridl.ldeo.columbia.edu/documentation/.pisco/.PISCOt_report.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática - [INEI]. (2024). Compendio estadístico departamental: Cajamarca 2024. Instituto Nacional de Estadística e Informática.

Intergovernmental Panel on Climate Change - [IPCC]. (2014). Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change - [IPCC]. (2014). Summary for policymakers. In C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, & L. L. White (Eds.), *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects* (pp. 1–32). Cambridge University Press.

Kurniadi, A., Weller, E., Kim, Y., & Min, S. (2022). Evaluation of coupled model intercomparison project phase 6 model-simulated extreme precipitation over

Indonesia. *International Journal of Climatology*, 43(1), 174–196.

<https://doi.org/10.1002/joc.7744>

Lange, S. (2019). Trend-preserving bias adjustment and statistical downscaling with ISIMIP3BASD (v1.0). *Geoscientific Model Development*, 12, 3055–3070.

<https://doi.org/10.5194/gmd-12-3055-2019>

Li, C., Zwiers, F., Zhang, X., Li, G., Sun, Y., & Wehner, M. (2020). Changes in annual extremes of daily temperature and precipitation in CMIP6 models. *Journal of Climate*, 34(1), 1–61.

<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-1013.1>

Marengo, J., Espinoza, J., Fu, R., Jimenez, J.-C., Alves, L., Rocha, H., & Schöngart, J. (2024). Long-term variability, extremes and changes in temperature and hydrometeorology in the Amazon region: A review. *Acta Amazonica*, 54(spe1), e54es22098.

<https://doi.org/10.1590/1809-4392202200980>

MathWorks. (2025). griddedInterpolant (MATLAB R2025a). The MathWorks, Inc.

<https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/corrcoef.html>

Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J. C., Kc, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., ... Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42(C), 153–168.

<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>

Taylor, K. E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D7), 7183–7192.

<https://doi.org/10.1029/2000JD900719>

Takahashi, K. (2004). The atmospheric circulation associated with extreme rainfall events in Piura, Peru, during the 1997–1998 and 2002 El Niño events. *Annales Geophysicae*, 22(11), 3917–3926.

<https://doi.org/10.5194/angeo-22-3917-2004>

Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J. F., Masui, T., Meinshausen, M.,

Nakicenovic, N., Smith, S. J., & Rose, S. K. (2011). The representative concentration pathways: An overview. *Climatic Change*, 109(1), 5–31.
<https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>

Vera, C., Higgins, W., Amador, J., Ambrizzi, T., Garreaud, R., Gochis, D., Gutzler, D., Lettenmaier, D., Marengo, J., Mechoso, C., Nogues-Paegle, J., Silva Diaz, P. L., & Zhang, C. (2006). Towards a unified view of the American Monsoon System. *Journal of Climate*, 19(20), 4977–5000.
<https://doi.org/10.1175/JCLI3896.1>

Waliser, D. E., & Gautier, C. (1993). A satellite-derived climatology of the ITCZ. *Journal of Climate*, 6(11), 2162–2174.
[https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1993\)006<2162:ASDCOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006<2162:ASDCOT>2.0.CO;2)

Zhang, W. Q., Liu, L., Li, X. P., Cheng, L., Cheng, Y. C., & Li, H. (2024). Intensified response of extreme precipitation to rising temperature over the Tibetan Plateau from CMIP6 multi-model ensembles. *Journal of Hydrology*, 637, 131397.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131397>

Zhao, L., Jin, S., Liu, X., Wang, B., Song, Z., Hu, J., & Guo, Y. (2021). Assessment of CMIP6 model performance for wind speed in China. *Frontiers in Climate*, 3, 735988.
<https://doi.org/10.3389/fclim.2021.735988>

RESUMEN INFORME TÉCNICO

n.º PPR/EL NIÑO-IGP/2025-07

Publicado el 18 de agosto de 2025

Se espera el arribo de ondas de Kelvin frías a la costa americana hasta inicios de octubre, y existe la posibilidad de que continúen arribando más ondas de Kelvin frías si se mantienen los pulsos de viento del este en el Pacífico ecuatorial. De no ser así, se esperaría el arribo de una onda de Kelvin cálida en octubre. El Índice Costero El Niño (ICEN) de junio se ubica en la categoría Neutra (0.11), al igual que los ICEN temporales (ICEN-tmp) de julio (0.13) y agosto (0.12).

Por otro lado, el promedio de los pronósticos de los modelos climáticos de NMME indican, a la fecha, que las anomalías de la temperatura superficial del mar frente a la costa norte y centro del Perú oscilarían dentro de la categoría Neutra hasta marzo de 2026; sin embargo, en abril de 2026 se iniciaría un evento El Niño costero. En el Pacífico central, el Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de junio (-0.08), así como sus temporales de julio (-0.18) y agosto (-0.31), corresponden aún a la categoría Neutra. El promedio de los pronósticos de los modelos climáticos de NMME indican el desarrollo de un periodo de condiciones frías débiles entre octubre y diciembre. Luego, se observa una tendencia positiva del ONI que alcanza la categoría Cálida Débil en junio de 2026.

El informe técnico completo se encuentra disponible en: <https://bit.ly/3JWuBic>



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

EFEN n.º 09 - 2025



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: No activo¹

Publicado el 15 de agosto de 2025

La Comisión Multisectorial del ENFEN, en base al análisis de las condiciones oceánicas y atmosféricas observadas hasta la fecha, así como de los pronósticos de los modelos climáticos nacionales e internacionales actualizados a la fecha, mantiene el Estado del Sistema de Alerta ante El Niño Costero y La Niña Costera en "No Activo" para la región Niño 1+2 (Figura 1), que abarca la costa norte y centro del país. Se estima que la condición neutra² continúe hasta abril de 2026, aunque con una tendencia a disminuir su probabilidad hacia el final de este período.

Para la temporada de verano (diciembre 2025 a marzo 2026), se proyecta una probabilidad de 65 % de que persista la condición neutra y 25 % de condiciones cálidas³ (Tabla 1, Figura 2).

Por otro lado, en el Pacífico central (región Niño 3.4,

Figura 1) se prevé que la condición neutra continúe en los próximos meses, sin embargo, la probabilidad de condiciones frías se incrementaría entre lo que resta del invierno y primavera, alcanzando una máxima probabilidad en noviembre (Figura 2). Asimismo, es más probable que la condición neutra se extienda durante el verano de 2026 (61%) (Tabla 2).

Para el trimestre agosto-octubre⁶ de 2025, se prevé que las temperaturas y las precipitaciones en la costa peruana se mantengan dentro de sus rangos normales. En la vertiente oriental se espera que las lluvias acumulen cantidades de normal a sobre lo normal. Se prevé que en los ríos de la vertiente occidental norte y centro predominen caudales normales.

En cuanto a los recursos pesqueros, para las próximas

¹ No activo: Ocurre cuando se presentan condiciones neutras o, cuando de acuerdo al análisis de las condiciones oceánicas y atmosféricas observadas y de la predicción de los modelos climáticos, el pronóstico probabilístico mensual del Índice Costero El Niño (ICEN) indica que la probabilidad de la categoría neutra superará el 50% durante al menos los siguientes tres meses consecutivos (Nota Técnica ENFEN 02-2024; <https://enfen.imarpe.gob.pe/download/nota-tecnica-enfen-02-2024-sistema-de-alerta-ante-el-nino-y-la-nina-costera/>)

² Las condiciones mensuales se establecen en base al valor del ICEN. En el caso de la condición neutra, esta corresponde cuando el valor del ICEN es mayor o igual que -0,7 y menor o igual que +0,5 (Nota Técnica ENFEN 01-2024; <https://enfen.imarpe.gob.pe/download/notatecnica-enfen-01-2024-definicion-operacional-de-los-eventos-el-nino-costero-y-la-nina-costera-en-el-peru/>). Para el caso del Pacífico central, la condición neutra se considera cuando el valor del ONI es mayor que -0.5 y menor que +0,5 (https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)

³ Condición cálida: Cuando el valor de ICEN es mayor que 0.5 y menor o igual que 1.3 (Nota Técnica ENFEN 01-2024, <https://enfen.imarpe.gob.pe/download/nota-tecnica-efen-01-2024-definicion-operacional-de-los-eventos-el-nino-costero-y-la-ninacostera-en-el-peru/?wpdmdl=1905&refresh=689e163ecfc841755190846>)

semanas se espera que en la región norte-centro del litoral la anchoveta incremente los procesos de maduración gonadal y desove. En el caso de los recursos transzonales, se mantendrá la disponibilidad de caballa y bonito a lo largo del litoral peruano.

Se recomienda a los tomadores de decisiones que adopten medidas correspondientes a la prevención y reducción del riesgo de desastres. Asimismo, se sugiere mantener un seguimiento constante a los avisos meteorológicos⁴ y pronósticos estacionales⁵, para las acciones correspondientes. Por otro lado, se exhorta a la población a mantenerse informada a través de las fuentes oficiales del ENFEN.

La Comisión Multisectorial del ENFEN continuará monitoreando la evolución de las condiciones oceánicas, atmosféricas y biológicas-pesqueras, y

actualizando las perspectivas. La emisión del próximo Comunicado Oficial ordinario será el martes 16 de setiembre de 2025.

- Para más información, consultar el Informe Técnico en el siguiente enlace: <https://bit.ly/48nscFk>

INSTITUCIONES MIEMBROS DEL ENFEN



⁴ <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=aviso-meteorologico>

⁵ <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-climatico&pro=trimestral>

⁶ <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02694SENA-60.pdf>



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