PERÚ Ministerio del Ambiente

IGP Instituto Geofísico del Perú

BOLETÍN CIENTÍFICO EL NIÑO

Vol. 13 n.° 06 junio 2026

PROGRAMA PRESUPUESTAL n.° 068
"Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres"



En este boletín

- Simulación de la distribución espacial de la precipitación y la temperatura del aire en la región del Lago Titicaca durante un verano austral con el modelo WRF | **Pág. 4**
- Sistema integrado basado en el radar SOPHy con potencial aplicación en el Perú para monitoreo y pronóstico de lluvias intensas e inundaciones pluviales | **Pág. 11**
- Resumen del informe técnico de El Niño | **Pág. 19**
- Resumen de comunicado ENFEN | **Pág. 20**

Créditos

Nelly Paredes del Castillo
Ministra 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

Roberto Carlos Encinas Colan
Diseño y diagramación

Carátula: Fotografía del lago Titicaca
Fuente: cuscoperu.com

El boletín científico "El Niño" es generado en el marco del Programa Presupuestal n.° 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, junio de 2026

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 (IGP RESM-COW v1). Asimismo, incluye el desarrollo de investigaciones y estudios científicos que permiten entender la variabilidad climática y los procesos asociados al cambio climático, a fin de fortalecer, en forma continua, las capacidades para el pronóstico de El Niño.

En esta línea, el IGP ha estructurado y desarrollado el Boletín científico El Niño, un producto que contiene, en gran medida, los aportes científicos en el estudio y vigilancia 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 compromisos asumidos en el marco del PPR 068 (https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4974). 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.

parte en el Boletín una versión resumida del informe técnico que el IGP elabora mensualmente para cumplir con los com-

SIMULACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA DEL AIRE EN LA REGIÓN DEL LAGO TITICACA DURANTE UN VERANO AUSTRAL CON EL MODELO WRF

Alan Gerardo Llacza Rodriguez[1], Jonathan Paredes[2], Jorge Llamocca Huamani[1], Miguel Saavedra Huanca[3], Lluís Fita[4], Carlos Ruiz[5] & Clémentine Junquas[6]

[1] Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), Lima, Perú
[2] Instituto de Astronomía, Geofísica e Ciencias Atmosféricas, Universidad de Sao Paulo, Brasil
[3] Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima, Perú
[4] Universidad de Buenos Aires, Argentina
[5] Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Puno, Perú
[6] Universidad Grenoble Alpes, Francia



Alan Llacza es físico por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Sus áreas de interés incluyen la modelación atmosférica regional con los modelos ETA y WRF, la modelización química-atmosférica con el WRF-Chem, así como la modelización climática a largo plazo para generar escenarios de cambio climático.

Palabras clave: precipitación, temperatura del aire en la superficie, modelo WRF, Andes tropicales, Lago Titicaca.

Citar como: Llacza, A., Paredes, J., Llamocca, J., Saavedra, H., M., Fita, L., Ruiz, C., & Junquas, C. (2026). Simulación de la distribución espacial de la precipitación y la temperatura del aire en la región del lago Titicaca durante un verano austral con el modelo WRF. Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, vol.13 n.° 06, págs. 4-10.

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

Esta investigación muestra qué datos sobre la forma y altura del terreno, el uso del suelo y la temperatura superficial del lago permiten representar mejor la precipitación y la temperatura alrededor del lago Titicaca con el modelo atmosférico WRF. También muestra que una forma de representar los procesos atmosféricos puede dar mejores resultados para la precipitación, pero no necesariamente para la temperatura. Para las instituciones encargadas del pronóstico meteorológico, estos resultados pueden orientar la mejora de pronósticos más detallados en esta zona, aunque todavía debe comprobarse si estos resultados se mantienen en otros años y bajo otras condiciones climáticas antes de incorporarlos de forma rutinaria al pronóstico.

Resumen

La región del Lago Titicaca, en los Andes tropicales del sur, presenta grandes desafíos para el modelado atmosférico debido a su compleja topografía. Este estudio evaluó cómo mejorar la representación de la precipitación y la temperatura superficial del aire mediante el modelo Weather Research and Forecasting (WRF), con una resolución de 2 km, durante el verano austral de 2020. Se realizaron once experimentos en los que se modificaron la topografía, el uso de suelo, las parametrizaciones físicas y la temperatura superficial del lago (LST, por sus siglas en Inglés). Los resultados se contrastaron con datos de estaciones meteorológicas de Perú y Bolivia y con productos de precipitación grillados.

Para la precipitación, la configuración óptima con un sesgo cercano a cero mm utilizó la topografía GMTED2010 sin suavizar, los datos de uso de suelo de Eva et al. (2004), la microfísica Purdue Lin y el esquema de cúmulos Grell 3D. En cuanto a la temperatura del aire, la configuración con el mejor desempeño presentó una subestimación de hasta 0,5 °C. Esta utilizó la misma topografía y los mismos datos de uso de suelo, pero incorporó la configuración del Modelo Operativo del SENAMHI (SOM), que incluye la microfísica WSM3 y el esquema cúmulos de Kain-Fritsch.

El experimento con actualización de la temperatura superficial del mar (SST), la cual permite el cálculo de la LST por interpolación en el preproceso, elevó la temperatura del lago en + 1,8 °C y aumentó en un 82 % el sesgo de precipitación, debido a una mayor evaporación y convección sobre el lago y a un menor transporte de humedad hacia el suroeste. Estos hallazgos subrayan la alta sensibilidad del modelo WRF a las parametrizaciones y al forzamiento de la SST, evidenciando que

cualquier ajuste en estas variables es determinante para una buena aproximación de las variables climáticas a escala regional.

1. Introducción

La temporada de lluvias es importante en los Andes tropicales del sur, cuando las condiciones meteorológicas y climáticas influyen en las actividades socioeconómicas. Simular la variabilidad espacial de la precipitación y la temperatura superficial, a una escala de pocos kilómetros, es un reto para los modelos atmosféricos regionales (Junquas et al., Martinez et al., 2024). Esta región alberga el Altiplano, una cuenca inter-montaña situada a 3 800 m s. n. m. y rodeada de cordilleras y glaciares (Garreaud, 1999; Garreaud et al., 2003). Es una zona vulnerable a eventos hidrológicos y climáticos extremos, como inundaciones (Lavado-Casimiro et al., 2010) y a riesgos hídricos derivados del retroceso glaciar (Vuille et al., 2008; Rabatel et al., 2013). Además, aquí se ubica el Lago Titicaca, considerado el lago navegable más alto del mundo.

Las interacciones entre los procesos atmosféricos y la compleja orografía del Altiplano son cruciales para entender su diversidad meteorológica (Garreaud, 2009). Asimismo, la precipitación es influenciada por El Niño-Oscilación Sur (ENOS), lo que añade complejidad a los procesos regionales (Espinoza et al., 2009; Lavado-Casimiro y Espinoza, 2014). Modelar el clima del Altiplano es difícil debido a los gradientes de humedad entre la Amazonía y la costa del Pacífico. Por ello, mejorar la precisión de estos modelos es esencial para estudiar los procesos físicos (Junquas et al., 2018).

La estación húmeda se extiende de diciembre a marzo (Vuille, 2004; Segura et al., 2019). La precipitación de estos meses está asociada al Sistema del Monzón Sudamericano (e.g., Vera et al., 2006), la Alta de Bolivia, y del flujo del este modula la precipitación (Garreaud, 1999; Espinoza et al., 2020). Estudios recientes muestran una tendencia al aumento de lluvias y temperatura máxima en el Titicaca (Imfeld et al., 2020; Segura et al., 2020).

La cobertura del suelo puede influir notablemente en la variación climática. Mediante el modelo Weather Research and Forecasting (WRF) se ha evidenciado cómo los valles interandinos afectan el transporte de humedad (Junquas et al., 2018; Saavedra et al., 2020). Otros estudios indican que los cambios en el uso de suelo y la temperatura superficial del lago (LST) pueden afectar el clima local (Sierra et al., 2022; Zamuriano-Carbajal, 2019).

Sin embargo, para simular adecuadamente la precipitación con WRF a escala de kilómetros, es necesario evaluar diferentes parametrizaciones físicas, ya que no existe un esquema único para los Andes (Moya-Álvarez et al., 2019; Gonzáles-Rojí et al., 2022). Aunque se han identificado configuraciones regionales con resultados favorables (Sierra et al., 2022), aún no se ha determinado si superan a las configuraciones estándar "CONUS" o "TROPICAL" en la región del Titicaca.

El objetivo principal de este estudio es identificar la mejor configuración del modelo WRF evaluando forzamientos de superficie (topografía, uso de suelo y LST) y diversos esquemas físicos. Se analizan los procesos atmosféricos de niveles bajos asociados a cambios en la superficie para identificar los mecanismos que rigen la precipitación y temperatura. El estudio se estructura en Datos y Métodos (Sección 2), Resultados y Discusión (Sección 3), y Conclusiones (Sección 4). Este artículo de divulgación es una adaptación del estudio de Llacza et al. (2025), "Improved spatial representation of precipitation and air surface temperature over highlands of the southern tropical Andes (Lake Titicaca region) during an austral summer using the WRF model", publicado en la revista Atmospheric Research.

2. Datos y métodos

2.1. Datos observados y grillados

Para evaluar los resultados del periodo comprendido entre diciembre de 2019 y febrero de 2020, se utilizaron datos diarios de 38 estaciones in situ (36 del SENAMHI-Perú y 2 del SENAMHI-Bolivia). De estas, 29 registraron precipitación y temperatura, mientras que las restantes sólo miden una de las variables. Respecto a la temperatura superficial del lago (LST), se obtuvo información horaria y diaria de 5 puntos estratégicos: 4 estaciones limnológicas del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), en el lado peruano, y la boya HidroMet del Observatorio del Lago Titicaca, en el lado boliviano (Figura 1). Además, se emplearon productos satelitales y grillados de precipitación diaria para el mismo periodo de estudio: Global Precipitation Measurement (GPM) y Peruvian Interpolated data of SENAMHI Climatological Observations (PISCO), con resolución de 0,1°, Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) a 0,05°; y CPC MORPHing technique (CMORPH), a 0,25°. Estos datos permiten contrastar la variabilidad espacial de las lluvias (Skofronick-Jackson et al., 2016; Huerta et al., 2022).

Debido a que las estaciones in situ se distribuyen en un terreno complejo, se definieron dos secciones transversales de 9 estaciones cada una: las "Cercanas al Lago" (NL) y las "Lejanas al Lago" (FFL). Para definir estas secciones, las estaciones se agruparon mediante la técnica k-means, el número óptimo de clústeres se determinó con el método de codo y el coeficiente de silueta (Marutho et al., 2018; Nicholas, 2020). Para el agrupamiento se utilizaron las variables de precipitación, temperatura y altitud.

2.2. Experimentos

Se utilizó la versión 4.3 del modelo WRF (Skamarock et al., 2019), forzada con datos de reanálisis ERA5 (Hersbach et al., 2020). Se establecieron dos dominios anidados, el primero con una resolución de 10 km (Perú), y el segundo, de 2 km, centrado en el lago Titicaca (Figura 1). Ambos cuentan con 38 niveles verticales y un tope atmosférico de 50 hPa, y se desactivó la parametrización de cúmulos en el dominio interno. Las simulaciones abarcaron el verano austral de 2019–2020 (DJF), con un mes (noviembre) de spin-up. Se eligió este periodo por la disponibilidad de datos de estaciones y las condiciones de ENSO neutral. El estudio identifica la configuración óptima en cuatro etapas: optimización de las condiciones estáticas (topografía y uso del suelo), selección de parametrizaciones físicas y evaluación del impacto de la temperatura superficial del lago (LST).

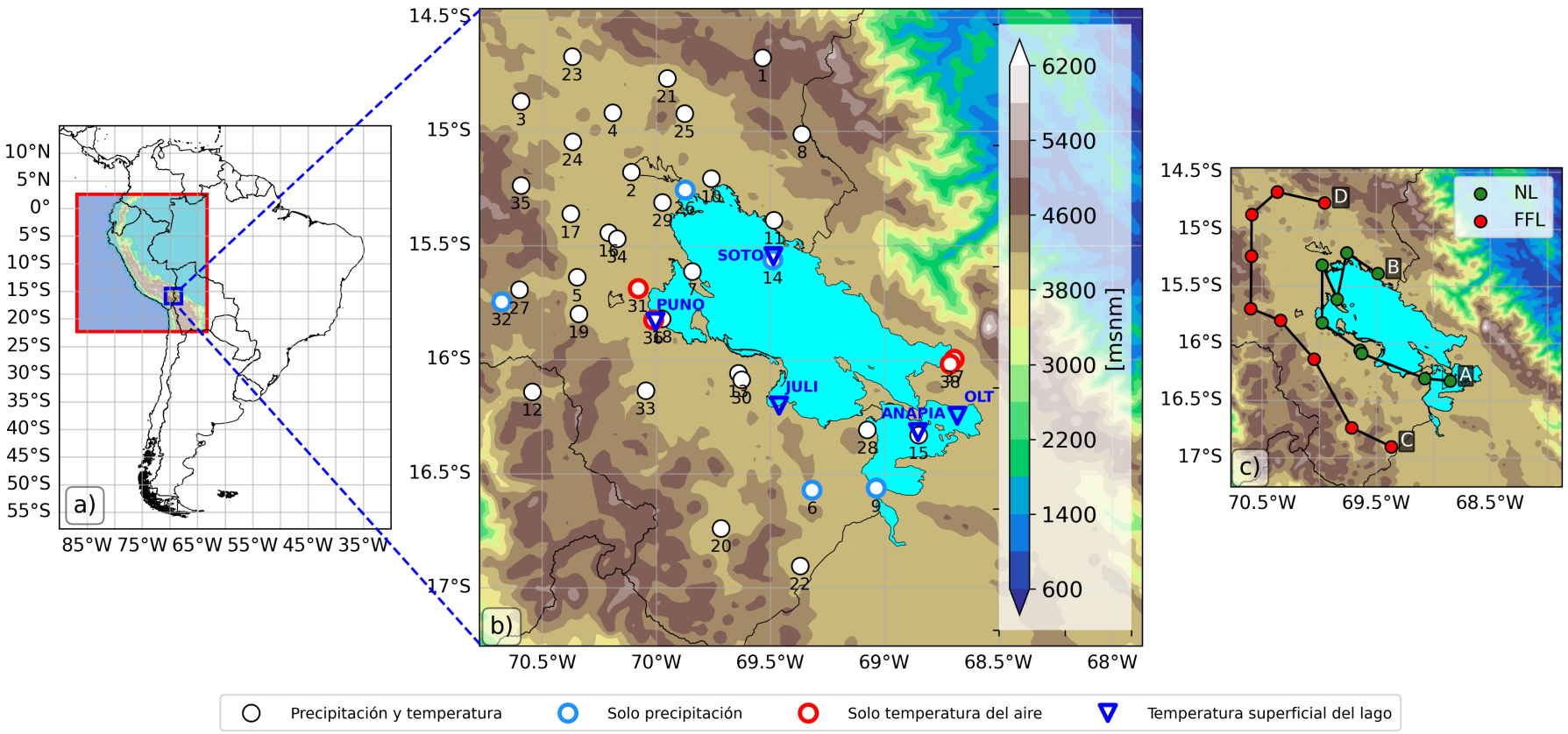


Figura 1. a) Dominios de simulación; los cuadros rojo y azul indican las resoluciones de 10 km y 2 km. b) Estaciones in situ: solo precipitación (cian), solo temperatura (rojo), ambas (negro) y temperatura del lago (triángulos azules). c) Grupos de estaciones "Cercanas al Lago" (NL) y "Lejanas al Lago" (FFL) conectados por una línea de sección. El sombreado representa la altitud según GMTED2010 (m s. n. m.).

En la primera etapa, el experimento Control usó la configuración del Modelo Operativo del SENAMHI (SOM), que incluye microfísica WSM3 y el esquema de cúmulos Kain-Fritsch (Hong et al., 2004; Kain, 2004). Se evaluaron fuentes de topografía como GMTED2010 y SRTM3s, con y sin suavizado (Figura 2). La segunda etapa comparó tres bases de datos de uso del suelo: MODIS (500 m y 1 km) y la de Eva et al. (2004). En la tercera etapa, se probaron parametrizaciones basadas en estudios del Altiplano (Sierra et al., 2022; Mamani & Hendrick, 2021) y las configuraciones estándar TROPICAL y CONUS del modelo WRF (Tablas 1 y 2).

Finalmente, la cuarta etapa analizó la variación temporal de la temperatura superficial del mar (SST) mediante la opción sst_update=1 del modelo WRF. La LST se derivó interpolando datos de SST de ERA5 [base de datos OSTIA (Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis)]. Se realizaron 11 experimentos en total, nombrados según sus componentes (topografía, suelo, física). Por ejemplo, GMTs_MOD30_SOM indica topografía GMTED suavizada, suelo MODIS y física SOM. El experimento final, GMTns_EVA_SIE_SST, integró topografía no suavizada, suelo de Eva et al. (2004), física de Sierra et al. (2022) y actualización de SST. Cada etapa seleccionó la mejor configuración para ser empleada en la fase subsiguiente.

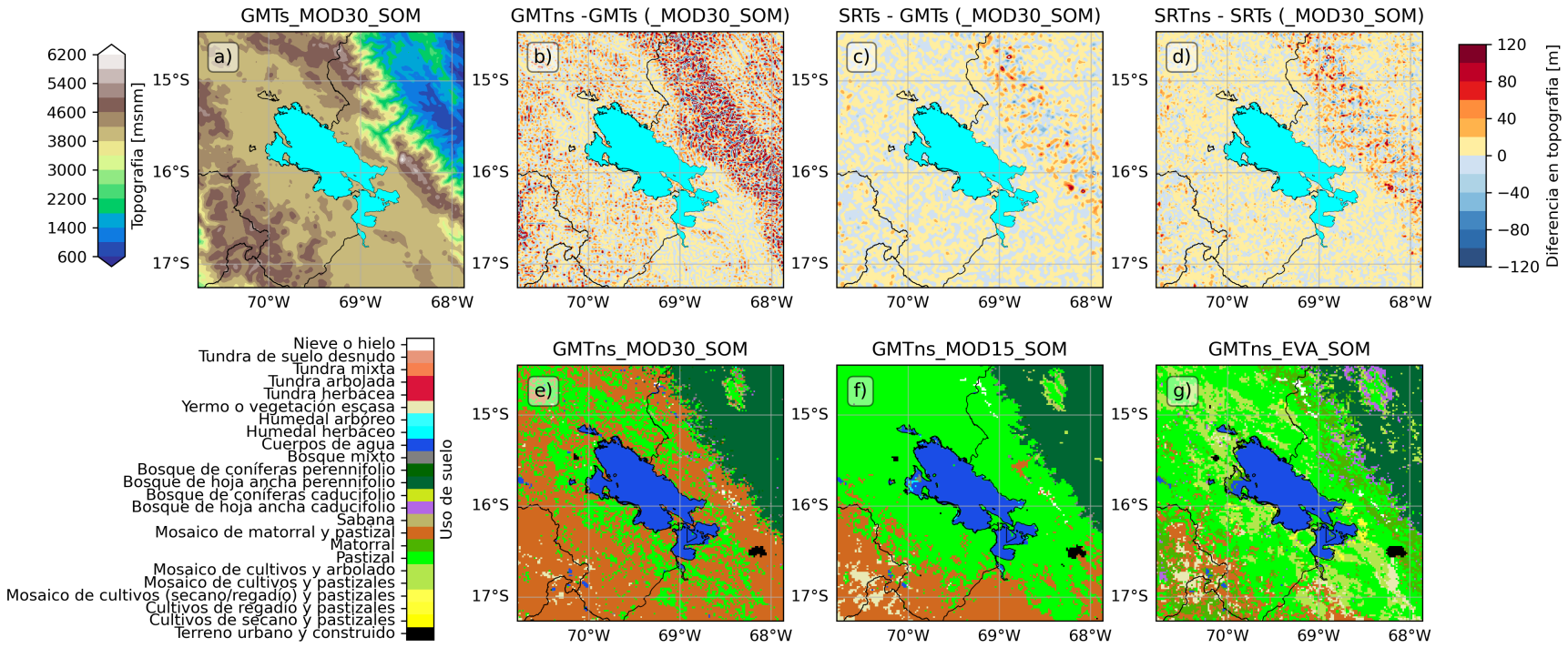


Figura 2. Productos de forzamiento para los experimentos de 2 km. Topografía: a) GMTED2010 suavizada; b, c, d) diferencias entre GMTED2010 y SRTM3s (suavizadas y no suavizadas). Uso de suelo: e) MODIS 30s, f) MODIS 15s y g) Eva et al. (2004). La altitud (m s. n. m.) se sombreó fuera del lago y las categorías de suelo siguen las definiciones de USGS, representadas por colores según la leyenda.

3. Resultados y discusión

3.1. Distribución espacial

La Figura 3 muestra los sesgos de precipitación y temperatura del aire por experimento. Para la precipitación (Figura 3a), en la primera etapa, correspondiente a los cambios en la topografía, GMTED2010 no suavizada (GMTns_MOD30_SOM) presentó los menores errores. En la etapa 2, el empleo de la base de datos de uso del suelo de Eva et al. (2004) mejoró levemente los resultados, aunque aumentó la dispersión en estaciones cercanas al lago (NL) (GMTns_EVA_SOM).

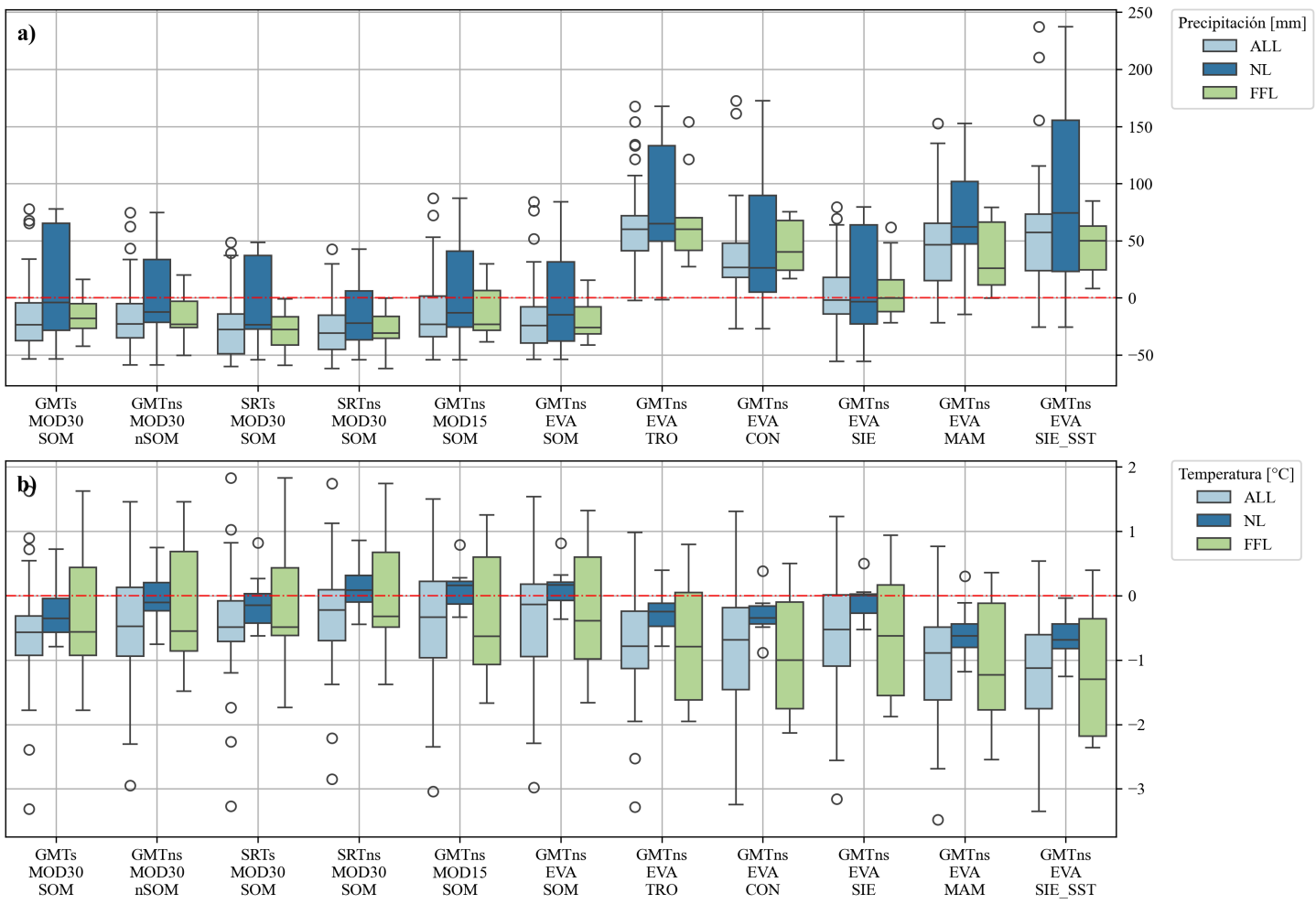


Figura 3. Dispersión de sesgos mediante diagramas de caja para todas las estaciones (ALL) y los grupos NL y FFL. En estos, la línea central indica la mediana, la caja el 50 % de los valores centrales (Q1 y Q3) y los diamantes representan los valores atípicos (outliers).

Por su parte, la mayor sensibilidad se observó en la etapa 3, al cambiar las parametrizaciones físicas. Mientras que la configuración SOM mostró sesgos negativos, los esquemas TROPICAL (TRO), CONUS (CON) y MAM (Mamani & Hendrick, 2021) sobreestiman la precipitación en un 50 %. La configuración de Sierra et al. (2022), denominada SIE, resultó ser la óptima, con medianas de sesgo cercanas a cero en todas las estaciones (GMTns_EVA_SIE). Finalmente, en la etapa 4, la actualización de la temperatura del lago (LST) incrementó la lluvia en un 82 % debido a un aumento de +1.8 °C en la superficie lacustre. En resumen, la mejor configuración para la precipitación combina la topografía GMTED2010 no suavizada, el uso de suelo de Eva et al. (2004) y la física de Sierra et al. (2022).

Los sesgos de temperatura del aire (Figura 3b) mostraron menor variabilidad espacial que los de precipitación. La simulación Control tendió a subestimar la temperatura, especialmente en las estaciones alejadas del lago (FFL). En la etapa 1, se hallaron menores errores, con valores alrededor de cero, en las estaciones cercanas al lago (NL). En la Etapa 2, el empleo del conjunto de suelo Eva et al. (2004) disminuyó los errores en todos los puntos evaluados.

Durante la etapa 3, los cambios en las parametrizaciones físicas empeoraron los sesgos negativos, y la configuración CONUS presentó el menor rendimiento. La actualización de SST en la etapa 4 también intensificó la subestimación térmica. En conclusión, los mejores resultados para la temperatura se obtuvieron con la configuración GMTns_EVA_SOM, seguida de cerca por la de Sierra et al. (2022), que ya había sido identificada como la mejor para representar la precipitación.

3.2. Distribución espacial

El estudio muestra que el producto topográfico GMTED2010 sin suavizar (GMTns) es el que mejor se ajusta a las observaciones, aunque existe una marcada carencia de estaciones in situ en altitudes superiores a los 3 900 m s. n. m., lo que limita su validación en estas zonas. La relación entre la precipitación y la altitud resultó compleja y dependiente de la ubicación: mientras que en las zonas cercanas al lago (NL) se observó una correlación negativa, en las zonas alejadas (FFL) la relación fue positiva. El modelo WRF logró replicar estos patrones, aunque presenta algunas subestimaciones en los gradientes. Respecto a la temperatura, todas las correlaciones con la altitud fueron negativas, el modelo mostró una tendencia a acentuar el enfriamiento en las zonas NL y a suavizarlo en las FFL.

Estos resultados evidencian la marcada no linealidad de los sesgos del modelo y el desafío persistente que supone simular variables atmosféricas en regiones con una topografía

tan accidentada como los Andes. Más detalles sobre los resultados, así como de los procesos físicos pueden encontrarse en Llacza et al. (2025).

4. Conclusiones

Este estudio con el modelo WRF 4.3 encontró que la configuración GMTns_EVA_SIE —topografía GMTED2010 sin suavizar, uso del suelo de Eva et al. y física de Sierra et al., 2022— presentó los mejores resultados para la simulación de la precipitación y temperatura en el Lago Titicaca. Asimismo, se halló que microfísicas sofisticadas tendieron a sobreestimar las lluvias, en concordancia con lo reportado por Saavedra et at. (2026).

Por otro lado, la actualización de la temperatura superficial del lago (LST) usando la temperatura superficial del mar incrementó los sesgos positivos en la precipitación y los negativos en la temperatura. El modelo reprodujo de manera consistente procesos físicos complejos, como el enfriamiento del aire asociado con una mayor nubosidad diurna, aunque persisten dificultades para representar con precisión la distribución espacial de las lluvias. Los resultados muestran una alta sensibilidad de las simulaciones a los forzamientos locales y señalan la necesidad de validar adecuadamente la LST antes de ser incorporada en las simulaciones. Estos hallazgos pueden contribuir a mejorar los sistemas de pronóstico operativo y aportar información para la gestión de los recursos hídricos en el entorno del lago Titicaca.

Referencias

Garreaud, R. D. (1999). Multiscale analysis of the summertime precipitation over the Central Andes. Monthly Weather Review. 127(5), 901–921. https://doi.org/10.1175/1520-0493(1999)127<0901:MAOTSP>2.0.CO;2

Garreaud, R., Vuille, M., Clement, A.C. (2003). The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 194(1–3), 5–22. https://doi.org/10.1016/s0031-0182(03)00269-4

Garreaud, R. D. (2009). The Andes climate and weather. Advances in geosciences, 22, 3–11. https://doi.org/10.5194/adgeo-22-3-2009

Espinoza, J.-C., Ronchail, J., Guyot, J., Cochonneau, G., Filizola, N., Lavado, W., De Oliveira, E., Pombosa, R., & Vauchel, P. (2009). Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). International Journal Climatology, 29(11), 1574–1594. https://doi.org/10.1002/joc.1791

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, Article 64. https://doi.org/10.3389/feart.2020.00064.

Eva, H., Belward, A., De Miranda, E.E., Di Bella, C.M., Gond, V., Huber, O., Jones, S., Sgrenzaroli, M., & Fritz, S. (2004). A land cover map of South America. Global Change Biology, 10(5), 731–744. https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00774.x

Imfeld, N., Sedlmeier, K., Gubler, S., Marrou, K. C., Dávila, C. P., Huerta, A., Lavado-Casimiro, W., Rohrer, M., Scherrer, S. C., & Schwierz, C. (2020). A combined view on precipitation and temperature climatology and trends in the Southern Andes of Peru. International Journal Climatology, 41(1), 679–698. https://doi.org/10.1002/joc.6645

González-Rojí, S. J., Messmer, M., Raible, C. C., & Stocker, T. F. (2022). Sensitivity of precipitation in the highlands and lowlands of Peru to physics parameterization options in WRFV3.8.1. Geoscientific Model Development, 15(7), 2859–2879. https://doi.org/10.5194/gmd-15-2859-2022

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñnoz-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., Dudhia, J., Chen, S.-H. (2004). A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation. Monthly Weather Review, 132(1), 103–120. https://doi.org/10.1175/1520-0493(2004)132<0103:aratim>2.0.co;2

Huerta, A., Lavado-Casimiro, W., & Felipe-Obando, O. (2022). High-resolution gridded hourly precipitation dataset for Peru (PISCOp_h). Data Brief, 45, 108570. https://doi. org/10.1016/j.dib.2022.108570

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

Junquas, C., Martinez, J. A., Bozkurt, D., Viale, M., Fita, L., Trachte, K., Campozano, L., Arias, P. A., Boisier, J. P., Condom, T., Goubanova, K., Pabón-Caicedo, J. D., Poveda, G., Solman, S. A., Sörensson, A. A., & Espinoza, J.-C. (2024). Recent progress in atmospheric modeling over the Andes – part II: projected changes and modeling challenges. Frontiers in Earth Science, 12. https://doi.org/10.3389/feart.2024.1427837

Kain, J.S., 2004. The Kain–Fritsch convective parameterization: an update. Journal of Applied Meteorology, 43(1), 170–181. https://doi.org/10.1175/1520-0450(2004)043

Lavado-Casimiro, W. S., Silvestre, E., & Pulache, W. (2010). Tendencias en los extremos de lluvias cerca a la ciudad del Cusco y su relación con las inundaciones de enero del 2010. Revista Peruana Geo-Atmosférica, 2, 89–98. https://hdl.handle.net/20.500.12542/1049

Lavado-Casimiro, W., & Espinoza, J.-C. (2014). Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007). Revista Brasileira de Meteorología. 29(2), 171–182. https://doi.org/10.1590/S0102-77862014000200003

Llacza, A., Paredes, J., Llamocca, J., Saavedra, M., Fita, L., Ruiz, C., & Junquas, C. (2025). Improved spatial representation of precipitation and air surface temperature over highlands of the southern tropical Andes (Lake Titicaca region) during an austral summer using the WRF model. Atmospheric Research, 325, 108262. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2025.108262

Mamani, R., & Hendrick, P. (2021). WRF model parameterization around the Highland Titicaca Lake. Earth and Space Science, 8(12). https://doi.org/10.1029/2021ea001649

Martinez, J. A., Junquas, C., Bozkurt, D., Viale, M., Fita, L., Trachte, K., Campozano, L., Arias, P. A., Boisier, J. P., Condom, T., Goubanova, K., Pabón-Caicedo, J. D., Poveda, G., Solman, S. A., Sörensson, A. A., Espinoza, J.-C. (2024). Recent progress in atmospheric modeling over the Andes – part I: review of atmospheric processes. Frontiers in Earth Science, 12. https://doi.org/10.3389/feart.2024.1427783

Marutho, D., Handaka, S. H., Wijaya, E., & Muljono, N. (2018). The determination of cluster number at k-mean using elbow method and purity evaluation on headline news. In: 2018 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication, 533–538. https://doi.org/10.1109/isemantic.2018.8549751

Shahapure, K. R., & Nicholas, C. (2020). Cluster Quality Analysis Using Silhouette Score. In: 2020 IEEE 7th International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA), 747–748. https://doi.org/10.1109/dsaa49011.2020.00096

Moya-Álvarez, A. S., Martínez-Castro, D., Kumar, S., Estevan, R., & Silva, Y. (2019). Response of the WRF model to different resolutions in the rainfall forecast over the complex Peruvian orography. Theoretical Applied Climatology, 137 (3–4), 2993–3007. https:// doi.org/10.1007/s00704-019-02782-3

Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gomez, J., Cáceres, B., Ceballos, J. L., Basantes, R., Vuille, M., Sicart, J. E., Huggel, C., Scheel, M., Lejeune, Y., Arnaud, Y., Collet, M., Condom, T., Consoli, G., Favier, V., Jomelli, V., Galarraga, R., … & Wagnon, P. (2013). Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. The Cryosphere, 7, 81–102. https://doi.org/10.5194/tc-7-81-2013

Saavedra, M., Junquas, C., Espinoza, J.-C., & Silva, Y. (2020). Impacts of topography and land use changes on the air surface temperature and precipitation over the central Peruvian Andes. Atmospheric Research, 234, 104711. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104711

Saavedra, M., Junquas, C., Takahashi, K., Silva, Y., Espinoza, J. C., & Sierra, J. P. (2026). Impacts of the future Amazon deforestation on the precipitation over the Peruvian central Andes and related atmospheric features. Atmospheric Research, 340, 109016. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2026.109016

Segura, H., Junquas, C., Espinoza, J.-C., Vuille, M., Jauregui, Y. R., Rabatel, A., & Lebel, T. (2019). New insights into the rainfall variability in the tropical Andes on seasonal and interannual time scales. Climate dynamics, 53(1), 405–426. https://doi.org/10.1007/s00382-018-4590-8

Segura, H., Espinoza, J.-C., Junquas, C., Lebel, T., Vuille, M., Garreaud, R. D. (2020). Recent changes in the precipitation-driving processes over the southern tropical Andes/western Amazon. Climate Dynamics, 54(5–6), 2613–2631. https://doi.org/10.1007/s00382-020-05132-6

Sierra, J. , Espinoza, J. C., Junquas, C., Polcher, J., Saavedra, M., Molina Carpio, J. A., Andrade, M., Condom, T., & Ticona, L. (2021, April 19–30). Deforestation impacts on Amazon- Andes hydroclimatic connectivity [Conference abstract]. EGU General Assembly 2021, Online. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-9251

Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Liu, Z., Berner, J., Wang, W., Powers, J., Duda, M., Barker, D., & Huang, X.-Y (2019). A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4 (No. NCAR/TN-556+STR). National Center for Atmospheric Research. https://doi.org/10.5065/1dfh-6p97

Skofronick-Jackson, G., Petersen, W.A., Berg, W., Kidd, C., Stocker, E.F., Kirschbaum, D. B., Kakar, R., Braun, S. A., Huffman, G.J., Iguchi, T., Kirstetter, P. E., Kummerow, C., Meneghini, R., Oki, R., Olson, W. S., Takayabu, Y. N., Furukawa, K., & Wilheit, T. (2017). The Global Precipitation Measurement (GPM) mission for science and society. Bulletin of the American Meteorological Society, 98(8), 1679–1695. https://doi.org/10.1175/bams-d-15-00306.1

Vera, C., Baez, J., Douglas, M., Emmanuel, C.B., Marengo, J., Meitin, J., Nicolini, M., Nogues-Paegle, J., Paegle, J., Penalba, O., Salio, P., Saulo, C., Silva Dias, M. A., Dias, P. S., & Zipser, E., 2006. The South American low-level jet experiment. Bulletin of the American Meteorological Society, 87(1), 63–78. https://doi.org/10.1175/bams-87-1-63

Vuille, M., & Keimig, F. (2004). Interannual variability of summertime convective cloudiness and precipitation in the central andes derived from ISCCP-B3 data. Journal of Climate, 17(17), 3334–3348. https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<3334:ivoscc>2.0.co;2

Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B. G., & Bradley, R. S. (2008). Climate change and tropical Andean glaciers: past, present and future. Earth-Science Reviews, 89(3-4), 79–96. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.04.002

Zamuriano-Carbajal, J. M. (2019). Atmospheric Circulation during Heavy Precipitation Episodes over the Central Andes. [Doctoral dissertation, University of Bern]. http://permalink.snl.ch/bib/sz991018082525103976

SISTEMA INTEGRADO BASADO EN EL RADAR SOPHY CON POTENCIAL APLICACIÓN EN EL PERÚ PARA EL MONITOREO Y PRONÓSTICO DE LLUVIAS INTENSAS E INUNDACIONES PLUVIALES

Yamina Silva Vidal[1], Carlos Del Castillo Velarde[1], Andres Goyburo Peña[2], André Juárez Castro[1], Maryann Alata Chambilla[1], Jonathan Qquenta[2], Ken Takahashi Guevara[1], Juan Carlos Espinoza Guerra[1] y Danny Scipión Castillo[1]

[1] Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú
[2] Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)

Palabras clave: radar SOPHy, estimación cuantitativa de precipitación (QPE), nowcasting, aprendizaje profundo, modelamiento hidráulico

Citar como: Silva, Y., Del Castillo, C., Goyburo, A., Juárez, A., Alata, M., Qquenta, J., Takahashi, K., Espinoza, J.-C., & Scipión, D. (2026). Sistema integrado basado en el radar SOPHy con potencial aplicación en el Perú para el monitoreo y pronóstico de lluvias intensas e inundaciones pluviales. Boletín Científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, vol. 13 n.° 06, págs. 11-18.

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

Este artículo presenta un sistema integrado que combina datos del radar meteorológico SOPHy, estimaciones de precipitación, pronósticos de lluvia a corto plazo mediante aprendizaje profundo y modelos hidráulicos para simular escenarios de inundaciones pluviales. Para las instituciones responsables de la gestión del riesgo de desastres, como los COER y los gobiernos locales, esta solución tecnológica puede contribuir a fortalecer los sistemas de alerta temprana, identificar zonas potencialmente afectadas y orientar acciones de preparación y mitigación ante eventos de lluvias intensas. Aunque la solución alcanzó un nivel de madurez tecnológica TRL 4, todavía requiere validaciones adicionales en condiciones operativas reales antes de su implementación rutinaria, así como adaptación a las características geográficas y climáticas de cada región.

Resumen

En el Perú, la variabilidad climática y las lluvias extremas asociadas a El Niño plantean la necesidad de contar con herramientas de vigilancia con alta resolución espacial y temporal. Este trabajo presenta el diseño de una solución tecnológica modular integrada basada en el radar meteorológico SOPHy, de banda X y doble polarización. La solución comprende cuatro componentes: i) adquisición y procesamiento de datos radar, control de calidad y estimación cuantitativa de precipitación con corrección por atenuación; ii) pronóstico inmediato (nowcasting) mediante aprendizaje profundo; iii) modelamiento hidráulico para simular escenarios de inundaciones pluviales en Piura; iv) fortalecimiento de capacidades y transferencia tecnológica como componente transversal.

La solución pasó de un prototipo conceptual con nivel de madurez TRL 2 a una plataforma de demostración experimental validada en entornos controlados, nivel de madurez TRL 4. Los resultados muestran avances en la integración de los componentes, aunque su aplicación operacional requiere de validaciones adicionales. En su estado actual, la solución presenta potencial de transferencia y adaptación a otras regiones del Perú para apoyar la gestión del riesgo de desastres y de los recursos hídricos.

1. Introducción

El Perú está expuesto a peligros de origen hidrometeorológico, entre ellos lluvias intensas, tormentas convectivas, inundaciones y huaicos, que pueden afectar a la población, la infraestructura, las actividades productivas y los recursos hídricos. En particular, los eventos de precipitación extrema constituyen un importante peligro tanto en la costa norte como en los Andes peruanos (CENEPRED, 2026; Moya-Álvarez et al., 2025). Para vigilar y pronosticar estos eventos, se necesita información con alta resolución espacial y temporal. Los radares meteorológicos permiten observar la distribución de la precipitación, identificar núcleos convectivos, estimar intensidades de lluvia y generar información para modelos hidrológicos e hidráulicos (Guallpa et al., 2019, Villalobos-Puma et al., 2019). Estas capacidades son particularmente relevantes en el territorio peruano, donde la topo-

grafía de los Andes y la alta variabilidad espacial y temporal de la precipitación pueden dificultar su caracterización mediante redes convencionales de pluviómetros (Guallpa et al., 2019; Chávez et al., 2017).

La experiencia del Instituto Geofísico del Perú (IGP) con radares meteorológicos se fortaleció en 2018 con la operación del radar polarimétrico de banda X PX-1000 en la cuenca del río Rímac. Esta campaña permitió obtener datos de alta resolución espacial y temporal sobre las lluvias en las cuencas de los ríos Rímac, Chillón y Lurín, contribuyendo al estudio de la distribución de las lluvias en zonas con topografía compleja (Valdivia et al., 2021). Posteriormente, estos datos fueron complementados con modelamiento numérico para estudiar procesos físicos asociados a eventos de precipitación extrema en la vertiente occidental de los Andes peruanos (Moya-Álvarez et al., 2025).

Sobre la base de estas experiencias, el IGP desarrolló el radar meteorológico SOPHy, un sistema de doble polarización que opera en banda X que utiliza tecnología Doppler, y una arquitectura basada en tecnologías abiertas (Espinoza et al., 2021). Esta banda permite obtener información con alta resolución espacial, pero la señal puede atenuarse durante episodios de precipitación intensa (Del Castillo et al., 2024). Por ello, su uso requiere una cadena de procesamiento que incluye control de calidad, corrección de atenuación y estimación cuantitativa de precipitación. En el proyecto, estos procesos se articulan con la información se articulan con el pronóstico inmediato (nowcasting), el modelamiento de escenarios de inundación y las actividades de fortalecimiento de capacidades y transferencia tecnológica.

En 2023, el IGP y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) plantearon el proyecto «Aplicaciones del radar meteorológico SOPHy para la gestión del riesgo de desastres y recursos hídricos en el Perú: caso El Niño en Piura». El proyecto busca desarrollar e implementar herramientas para monitorear y pronosticar lluvias mediante el radar SOPHy y generar información en apoyo para la gestión del riesgo de desastres y los recursos hídricos en el Perú.

Este artículo presenta el diseño y la integración de la solución tecnológica desarrollada, que comprende el procesamiento y la estimación cuantitativa de la precipitación, el pronóstico inmediato mediante aprendizaje profundo, el modelamiento hidráulico de inundaciones pluviales y el fortalecimiento de capacidades.

2. Metodología

La solución tecnológica se estructuró como una cadena integrada, cuya arquitectura se presenta en la Figura 1.

C1.1 Radar SOPHy: Reflectividad y polarimetría. Recepción de barridos PPI (Plan Position Indicator)/RHI (Range Height Indicator), almacenamiento de archivos HDF5 y organización temporal de volúmenes radar.

C1.2 Procesamiento de datos radar. Importación mediante módulos Readers, construcción de volúmenes, conversión a estructuras compatibles con Py-ART y formato CF/Radial. El control de calidad comprende la detección y el filtrado de valores no meteorológicos, así como la preservación de máscaras para reprocesamiento.

C1.3 Estimación cuantitativa de la Precipitación (QPE). Aplicación de la corrección por atenuación mediante formulaciones tipo Hitschfeld-Bordan/Jacobi y parámetros locales derivados de disdrómetro. Generación de productos: grillado CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator), precipitación estimada, productos superficiales siguiendo el modelo digital de elevación (DEM, Digital Elevation Model) y salidas para modelos posteriores.

C2. Nowcasting. Generación de secuencias espacio-temporales a partir de productos CAPPI y QPE (Quantitative Precipitation Estimation) para el pronóstico inmediato de precipitación. Se aplicaron técnicas de aprendizaje profundo, incluyendo modelos como EarthFormer (Gao et al., 2022) y CasCast (Gong et al., 2024). Estas técnicas se complementan con estrategias de adaptación de dominio, que permiten transferir conocimiento desde dominios con mayor volumen de datos hacia las condiciones específicas de observación del radar SOPHy mediante procesos de ajuste fino (fine-tuning).

C3. Modelado hidráulico. Incorporación de datos de precipitación observada y/o pronosticada, ejecución de modelos bidimensionales (2D) y generación de mapas de profundidad y extensión de inundación, así como escenarios.

C4. Transferencia tecnológica. Capacitación, operación y soporte de la tecnología. Usuarios de la información: COER y Gobiernos locales. Los productos generados por el sistema SOPHy, incluyendo la precipitación cuantificada y pronosticada, así como mapas de inundación, proporcionarán información para identificar zonas potencialmente afectadas, evaluar escenarios de riesgo y apoyar la toma de decisiones de los Centros de Operaciones de Emergencia Regional (COER) y los gobiernos locales. Su utilización contribuirá a fortalecer la vigilancia, preparación y respuesta ante lluvias intensas e inundaciones.

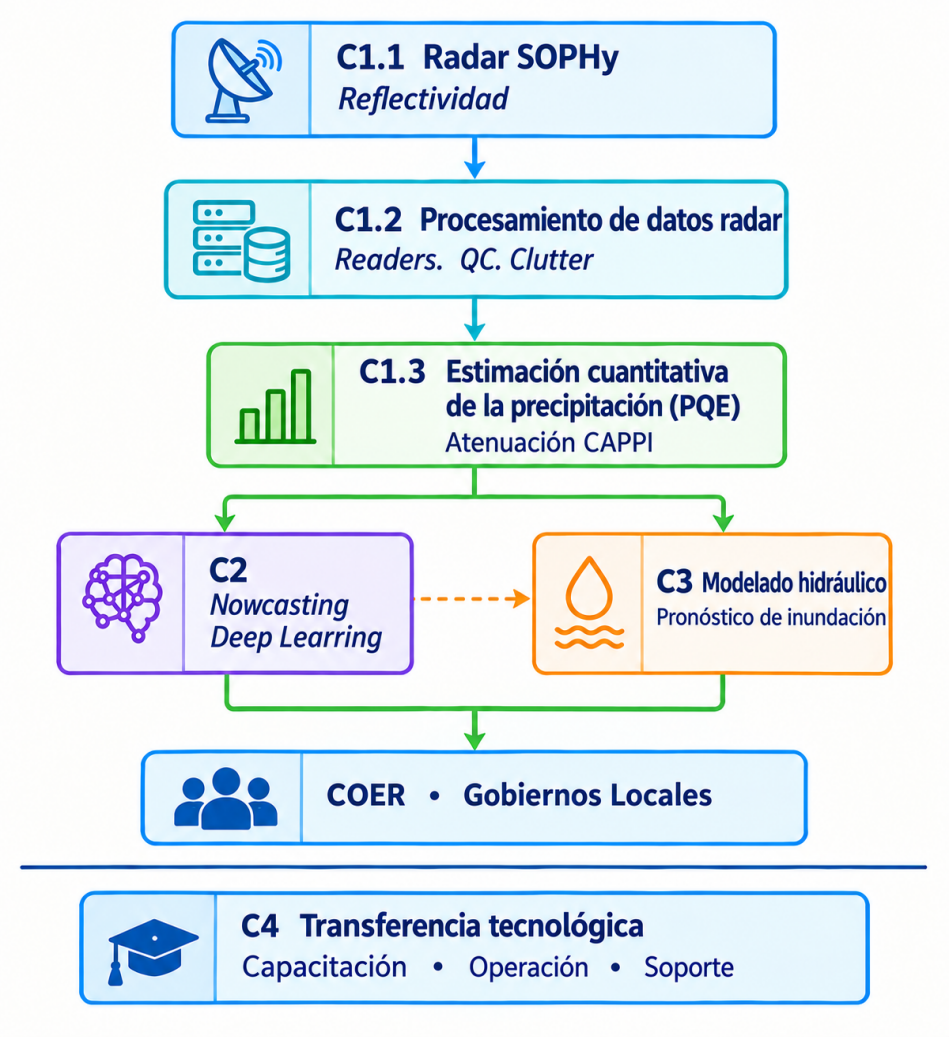


Figura 1. Arquitectura funcional de la solución tecnológica SOPHy.

3. Resultados y discusión

La solución tecnológica combina cuatro clases de tecnología: producto, equipo, proceso y operación. Esta clasificación permite organizar su transferencia y articularla con paquetes tecnológicos institucionales.

C1.1 Radar meteorológico SOPHy

El radar SOPHy es un sistema de observación atmosférica de doble polarización que opera en banda X, con tecnología Doppler y diseño móvil. Permite realizar barridos volumétricos en azimut y elevación para detectar intensidad, la estructura y la velocidad de la precipitación. Su diseño utiliza radio definida por software y lenguajes abiertos, lo que facilita la mejora continua y la adaptación a nuevas metodologías de procesamiento (Espinoza et al., 2021; Scipión & Espinoza, 2026; Evangelista et al., 2026). Las características técnicas del Radar SOPHy se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Características técnicas del Radar SOPHy.

Parámetro	Valor o descripción
Frecuencia de operación	9345 MHz
Banda	X
Rango de observación	Hasta 75 km, configurable
Cobertura angular	Azimut 0° a 360°; elevación -5° a 185°
Antena	Ganancia 38.5 dBi; diámetro 1.21 m; ancho de haz 1.8°; doble polarización
Potencia pico	200 W
Ancho de pulso	1 µs a 100 µs
Ciclo de trabajo	Hasta 15%; pruebas chirp con 12% en pulso largo
RF / digitalización	USRP N200; ADC 14-bit @ 100 MS/s; DAC 16-bit @ 400 MS/s
Estado operativo	Instalado en el Observatorio de Sicaya y con adquisición continua de datos

C1.2 Software de procesamiento de datos radar

El procesamiento de los datos del radar SOPHy se implementa con bibliotecas científicas de código abierto, principalmente Py-ART y wradlib. La arquitectura se organiza en tres módulos principales: Readers, QC y Products (Tabla 2). Esta separación facilita el mantenimiento, la ampliación, las pruebas unitarias y la transferencia del código a usuarios técnicos.

Tabla 2. Características del Software de procesamiento de datos radar.

Módulo	Función	Entradas	Salidas
Readers	Lectura, definición de volúmenes y estandarización de datos SOPHy.	Archivos HDF5 y .tar.gz por barrido/elevación.	Volúmenes radar compatibles con Py-ART/CF-Radial.
QC	Control de calidad, clasificación de ecos, remoción de clutter y corrección de atenuación.	Volúmenes radar y variables polarimétricas disponibles.	Datos depurados, máscaras de calidad y reflectividad corregida.
Products	Generación de productos derivados: CAPPI, reflectividad 2D, precipitación, productos superficiales y salidas para otros modelos.	Datos QC y corregidos.	Mapas radar, campos grillados, precipitación estimada y archivos interoperables.

El flujo conserva la información original mediante máscaras de calidad, lo que permite el reprocesamiento y la auditoría de decisiones. En el módulo de atenuación se aplican restricciones físicas para evitar reflectividades irreales y sobrecorrecciones (Del Castillo, 2026).

C1.3 Estimación cuantitativa de precipitación

La estimación cuantitativa de precipitación transforma la reflectividad de radar (Z) en tasas y acumulados de lluvia (R). Debido a la sensibilidad de la banda X, la atenuación es un factor que debe considerarse. El módulo incorpora una corrección física basada en la atenuación integrada en el trayecto y parametrización local apoyada en datos de disdrómetro.

El producto final fue validado por Alata (2026) con datos de estaciones meteorológicas convencionales del SENAMHI —Ingenio, Santa Ana y Vique— y disdrómetros OTT Parsivel2 del Observatorio Geofísico de Huancayo. Los principales resultados fueron una reducción del RMSE en acumulados diarios hasta rangos de 1,90 - 4,03 mm y correlaciones de superficie hasta r = 0,91 después de ajuste empírico.

La consistencia de los acumulados de lluvias depende de la continuidad temporal, la sincronización con las mediciones de superficie, la estabilidad de las referencias y la representatividad espacial. Por tanto, el producto QPE debe incluir metadatos sobre la cobertura temporal y la calidad por evento. Los principales componentes metodológicos empleados para la estimación cuantitativa de precipitación se resumen en la Tabla 3. Un ejemplo de la cuantificación de la precipitación mediante los coeficientes de Marshall-Palmer se muestra en la Figura 2.

Tabla 3. Componentes metodológicos de la estimación cuantitativa de precipitación (QPE).

Aspecto	Descripción
Corrección de atenuación	Método de Jacobi/Krämer basado en la solución de Hitschfeld-Bordan (Solución implementada en la librería wradlib)
Calibración local	Parámetros derivados con apoyo de disdrómetro
Relaciones Z-R	Conversión de reflectividad a tasa de precipitación, con posibilidad de coeficientes Marshall-Palmer o ajustes por régimen local.

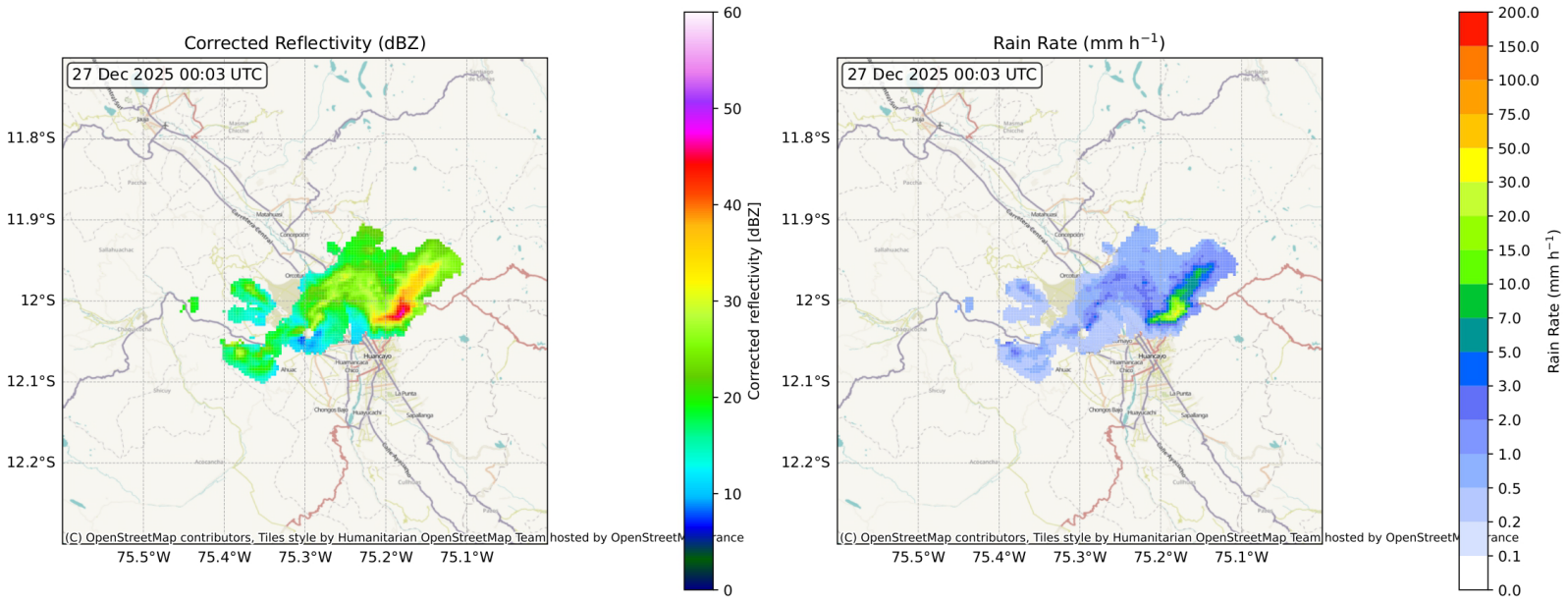


Figura 2. Ejemplo de transformación de reflectividad a intensidad de lluvia mediante los coeficientes de Marshall-Palmer (Del Castillo, 2026).

C2 Nowcasting con deep learning

Este componente desarrolla un sistema de nowcasting de precipitación entrenado con datos de radar mediante transferencia de aprendizaje desde radares en banda C del IDEAM hacia el radar SOPHy banda X. La arquitectura combina EarthFormer como predictor determinístico y CasCast como refinador probabilístico. Esta estrategia responde al menor volumen de datos históricos disponible para SOPHy y a su mayor sensibilidad instrumental por operar en banda X (Juarez & Takahashi, 2026). Los principales componentes, datos empleados, modelos implementados y resultados obtenidos se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4. Principales componentes del sistema de nowcasting de precipitación basado en deep learning.

Elemento	Descripción
Datos fuente	Volúmenes radar IDEAM en banda C; aproximadamente 93 938 secuencias válidas.
Datos objetivo	Productos QC_PPI del radar SOPHy en banda X; 3 944 secuencias utilizables.
Preprocesamiento	Control de calidad, CAPPI, generación de parches, secuencias espacio-temporales, filtrado y balance de muestras.
Modelo determinístico	EarthFormer con atención espacio-temporal cuboidal y pérdida ponderada para mejorar detección de eventos relevantes.
Modelo probabilístico	CasCast como refinador de difusión latente condicionado, orientado a calibración, variabilidad local y representación de incertidumbre.
Resultado operativo	El ajuste fino completo hacia los datos del radar SOPHy mejora avg-CSI frente a transferencia directa; CasCast mejora calibración probabilística, FSS-16 y CRPS.

El nowcasting obtenido, aún no debe presentarse como una solución operacional para eventos intensos (≥ 10 mm h ^{1}), debido a la escasez de casos de esta intensidad en los datos disponibles del radar SOPHy en el valle del Mantaro. En su estado actual, se recomienda utilizarlo como sistema de apoyo y validación progresiva, priorizando las lluvias débiles a moderadas y los eventos con suficiente cobertura de radar, hasta disponer de suficientes eventos intensos para realizar un ajuste adecuado. Este proceso deberá replicarse en nuevas zonas de estudio (Juarez, 2026; Juarez & Takahashi, 2026).

C3 Modelo hidráulico para inundaciones

El componente hidráulico integra la precipitación observada o pronosticada por radar con modelos hidrodinámicos bidimensionales para estimar la extensión y la profundidad de escenarios de inundación. En Piura, el prototipo considera precipitación grillada, un DEM de 30 m, rugosidad de Manning e infiltración. Se ha empleado RIM2D (Rapid Inundation Model 2D) (Apel et al., 2024) y referencias de modelamiento RRI (Rainfall-Runoff-Inundation) (Sayama et al., 2015) para representar la escorrentía y la inundación sobre dominios extensos con apoyo de GPU/HPC.

Este componente requiere datos específicos de la región que se desea modelar. Para modelar el casco urbano se requieren DEM a escala fina de al menos 4 metros de resolución espacial. Por lo tanto, para implementar el componente en una nueva región o ciudad, se debe disponer de un DEM con esa resolución o generarlo como parte del proceso de implementación (Goyburo & Qquenta, 2026). Las principales características, datos de entrada, configuración y productos de salida del modelo hidráulico se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5. Características metodológicas del modelo hidráulico para la simulación de inundaciones

Parámetro	Valor o descripción
Área de aplicación	Cuenca y ciudad de Piura, con alcance asociado a cobertura radar.
Evento de prueba	30/03/2025, simulado con datos radar UDEP durante 24 horas; precipitación acumulada destacada de 53,2 mm en Morropón.
Conversión de datos radar a lluvia	Uso de relación basada en KDP: R = a KDPb, con a = 47,2 y b = 0,73 para precipitación convectiva.
Resolución espacial	30 m para precipitación y capas base; grillas de gran extensión.
Capas base	Precipitación, DEM, rugosidad de Manning e infiltración.
Cómputo	Ejecución con GPU; ejemplo operacional con 20 826 234 grillas, 86 400 s simulados e intervalo de 1 s.
Salida	Profundidad de agua, extensión de inundación, escenarios pluviales/fluviales y soporte para plataforma web ARES.

La Figura 3 sintetiza la articulación entre el componente meteorológico y la simulación hidráulica para la estimación de inundaciones pluviales. La primera etapa, correspondiente al radar meteorológico, parte de la medición realizada por el radar. Los datos se procesan mediante un algoritmo de conversión a mm h^{-1} para transformar la reflectividad a precipitación. A partir de este resultado, se genera un pronóstico a corto plazo de 3 a 6 horas, que deriva en un pronóstico de precipitación grillado. En la segunda etapa, correspondiente a la simulación hidráulica, dicho pronóstico de precipitación se emplea como dato de entrada del modelo hidrodinámico RIM2D, que genera un pronóstico de inundaciones. Finalmente, en la tercera etapa, orientada a los tomadores de decisiones y la sociedad civil, este pronóstico alimenta un proceso de respuesta que se traduce en tres líneas de acción: la emisión de alertas tempranas, la organización civil y la implementación de acciones de mitigación. De esta manera, el esquema integra información meteorológica por radar y el modelamiento hidráulico con la gestión operativa del riesgo, y articula la información técnica con la toma de decisiones para reducir el impacto de eventos de inundación.

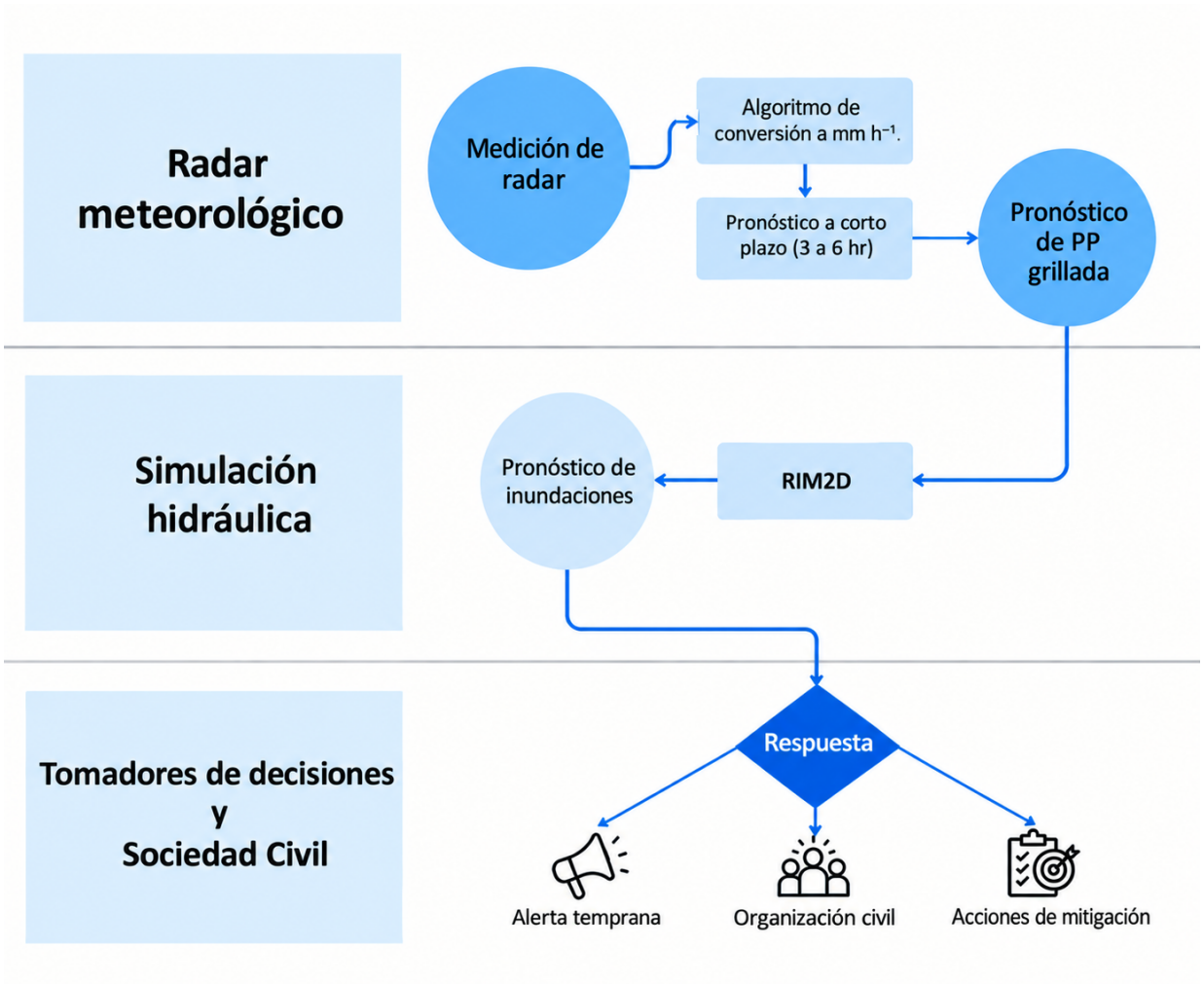


Figura 3. Flujo de procesos para la estimación de inundaciones pluviales (Goyburo & Qquenta, 2026).

4. Conclusiones

El proyecto demostró la factibilidad científica y tecnológica de desarrollar una solución integrada basada en el radar meteorológico SOPHy, en banda X. Esta solución articula el procesamiento de datos radar, la corrección de atenuación, la estimación cuantitativa de precipitación, la aplicación de técnicas de aprendizaje profundo para el nowcasting y el modelamiento hidráulico. En conjunto, estos componentes generan productos con potencial de aplicación en el monitoreo y pronóstico de lluvias intensas, así como en el pronóstico de inundaciones, contribuyendo al fortalecimiento de la gestión del riesgo de desastres y de los recursos hídricos. La solución alcanzó un nivel de madurez tecnológica TRL 4, de acuerdo con los lineamientos del CONCYTEC, aunque algunos componentes presentan niveles de madurez superiores.

La solución tecnológica desarrollada presenta potencial de aplicación en el monitoreo y el pronóstico hidrometeorológico, así como en la gestión del riesgo de desastres y de los recursos hídricos. Podría ser útil para instituciones y gobiernos regionales y locales responsables de la gestión del riesgo de desastre, así como para entidades vinculadas a la gestión del agua. Su potencial de transferencia y escalamiento a otras regiones del Perú depende de la adaptación de sus componentes a diferentes condiciones climáticas y geográficas. El uso de herramientas, reproducibles y open source, la generación de productos de alta resolución y su integración con modelos de inundación pueden facilitar este proceso.

En una siguiente etapa, se recomienda ampliar la validación operacional de la solución, priorizando la QPE, el nowcasting y su integración automática con los modelos hidráulicos. Esta validación debería considerar series temporales de radar más extensas y representativas de diversos eventos de precipitación, así como observaciones de pluviómetros, disdrómetros y otras fuentes independientes, considerando particularmente los regímenes convectivo, estratiforme y mixtos. Asimismo, se recomienda implementar una estrategia gradual de transferencia tecnológica utilizando el radar SOPHy, que incluya las etapas de piloto técnico, piloto operacional y operación ampliada, a fin de evaluar progresivamente el desempeño y la aplicabilidad de la solución en condiciones reales.

Asimismo, las regiones interesadas en implementar esta tecnología deberán considerar la inversión necesaria para la adquisición o el desarrollo de radares meteorológicos, así como para su operación, mantenimiento y sostenibilidad. Estas inversiones deberán acompañarse del fortalecimiento de las capacidades técnicas y de la articulación con los sistemas de monitoreo y gestión del riesgo de desastres, a fin de garantizar el aprovechamiento de la información generada y su incorporación en los procesos de toma de decisiones.

5. Información complementaria

Para acceder a más detalles sobre la solución tecnológica, así como a los resultados y productos técnicos generados en el proyecto «Aplicaciones del radar meteorológico SOPHy para la gestión del riesgo de desastres y recursos hídricos en el Perú: caso El Niño en Piura», puede consultar la documentación disponible en el siguiente enlace: ***RESULTADOS DEL PROYECTO.***

6. Agradecimientos

El proyecto «Aplicaciones del radar meteorológico SOPHy para la gestión del riesgo de desastres y recursos hídricos en el Perú: caso El Niño en Piura», fue subvencionado por el CONCYTEC a través del programa PROCIENCIA en el marco del concurso E041-2023-04 Proyectos de Investigación científica AECID para reducir la vulnerabilidad ante los efectos de la crisis climática, alimentaria y/o sanitaria en el Perú desde los IPIs 2023-04, según contrato PE501087421-2024 en el marco del Acuerdo de Concesión de Subvención Exp N°021/SPE/0000400012 con la AECID. El radar SOPHy fue construido gracias al apoyo financiero del Fondo Para Intervenciones ante la Ocurrencia de Desastres Naturales FONDES (D.S. N° 312-2017-EF, N°168-2018-EF).

Referencias

Alata, M., Del Castillo, C., Silva Vidal, Y., Martínez-Castro, D., & Moya, A. (2025). Método de corrección de atenuación para el radar de banda X SOPHy. Boletín Científico El Niño, 13(1), 10–17. http://hdl.handle.net/20.500.12816/5667

Alata Chambilla, M. A. (2026). Validación del algoritmo de corrección de atenuación del radar SOPHy considerando su impacto en la estimación de intensidad de lluvia [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria La Molina. https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/c9599948-8ce8-4ed5-8e95-23a77fc1c885

Apel, H., Benisch, J., Helm, B., Vorogushyn, S. & Merz, B. (2024) Fast urban inundation simulation with RIM2D for flood risk assessment and forecasting. Frontiers in Water, 6, Article 1310182. https://doi.org/ 10.3389/frwa.2024.1310182

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED] (2026, junio). Estudio de escenarios de riesgo por inundaciones y movimientos en masa ante lluvias intensas asociadas al Fenómeno El Niño (Actualizado en base al Informe Técnico N° 69-2026/SENAMHI-DMA-SPC).

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

Del-Castillo, C., Reinoso-Rondinel, R., Scipion, D., & Silva Vidal, Y. (2024). Método de corrección de atenuación para el radar de banda X SOPHy. Boletín Científico El Niño, 11(7), 15–19. http://hdl.handle.net/20.500.12816/5667

Del-Castillo Velarde, C., Scipion, D. E., Valdivia-Prado, J. M., Martínez-Castro, D., Silva-Vidal, Y., & Reinoso-Rondinel, R. (2026). Toward operational use of the SOPHy X-band radar in Peru: A Bayesian fuzzy logic approach for ground clutter filtering in complex orography. IEEE Access, 14, 105740–105752. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2026.3710444

Del-Castillo Velarde, C. (2026). Informe técnico: Procesamiento de datos del radar SOPHy. Proyecto SOPHy. Informe Técnico de la Solución Tecnológica: Sistema de monitoreo y pronóstico de lluvias intensas e inundaciones pluviales, basado en datos de radares meteorológicos aplicados a la gestión del riesgo de desastres y gestión del agua en el Perú. Instituto Geofísico del Perú. https://drive.google.com/file/d/19m_-vuZX14Rtx7VQNAoLDeyw1C0ww_ekn/view?usp=drive_link

Evangelista, D., Espinoza, J.-C., & Scipión, D. (2026). Optimización de técnicas de compresión de pulsos para fortalecer los estudios de precipitación mediante el radar meteorológico SOPHy. Boletín Científico El Niño, 13(2), 13–16. https://hdl.handle.net/20.500.12816/5875

Espinoza, J. C., Scipión, D., Valdez, A., & Verástegui, J. (2021). SOPHy: Scanning-system for observations of Peruvian hydrometeorological-events. In 2021 IEEE International Conference on Aerospace and Signal Processing (INCAS) (pp. 1–4). IEEE. https://doi.org/10.1109/incas53599.2021.9666928

Gao, Z., Shi, X., Wang, H., Zhu, Y., Wang, Y., Li, M., & Yeung, D.-Y. (2022). Earthformer: Exploring space-time transformers for Earth system forecasting. Advances in Neural Information Processing Systems, 35, 25390–25403. https://doi.org/10.52202/068431-1841

Gong, J., Bai, L., Ye, P., Xu, W., Liu, N., Dai, J., Yang, X., & Ouyang, W. (2024). CasCast: Skillful high-resolution precipitation nowcasting via cascaded modelling. Proceedings of the 41st International Conference on Machine Learning, 235, 15809–15822. https://proceedings.mlr.press/v235/gong24a.html

Goyburo Peña, A., & Qquenta Chambi, J. G. (2026). Informe técnico: Modelo hidráulico operativo para la prevención de inundaciones en la cuenca del río Piura. Proyecto SOPHy. Informe Técnico de la Solución Tecnológica: Sistema de monitoreo y pronóstico de lluvias intensas e inundaciones pluviales, basado en datos de radares meteorológicos aplicados a la gestión del riesgo de desastres y gestión del agua en el Perú. Instituto Geofísico del Perú. https://drive.google.com/file/d/1dgfQlrbW7I54Uoo7VSXeH-BR9z7r1dLoC/view?usp=drive_link

Guallpa, Orellana-Alvear y Bendix (2019). Tropical Andes Radar Precipitation Estimates Need High Temporal and Moderate Spatial Resolution. Water, 11(5), 1038. https://doi.org/10.3390/w11051038

Juárez Castro, A. S. (2026). Pronóstico inmediato de lluvias intensas usando deep learning en el Perú: Un enfoque de adaptación de dominio del radar IDEAM al radar SOPHy [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. En proceso de sustentación.

Juárez Castro, A. S., & Takahashi, K. (2026). Informe técnico: Solución de pronóstico inmediato de precipitación con aprendizaje profundo para el radar SOPHy. Proyecto SOPHy. Informe Técnico de la Solución Tecnológica: Sistema de monitoreo y pronóstico de lluvias intensas e inundaciones pluviales, basado en datos de radares meteorológicos aplicados a la gestión del riesgo de desastres y gestión del agua en el Perú. Instituto Geofísico del Perú. https://drive.google.com/file/d/1V8x2JTvco2cJkQJtn_Ip1zmrIijWl3cB/view?usp=drive_link

Moya-Álvarez, A. S., Silva, Y., Villalobos-Puma, E., Saavedra-Huanca, M., Del Castillo, C., Kumar, S., & Valdivia-Prado, J. M. (2025). Extreme precipitation events associated with summer rains in the western slope of the Peruvian Andes using numerical modeling and weather radar data: Case studies. Pure and Applied Geophysics, 182(11), 4743–4769. https://doi.org/10.1007/s00024-025-03834-8

Sayama, T., Tatebe, Y., Iwami, Y., & Tanaka, S. (2015). Hydrologic sensitivity of flood runoff and inundation: 2011 Thailand floods in the Chao Phraya River basin. Natural Hazards and Earth System Sciences, 15(7), 1617–1630. https://doi.org/10.5194/nhess-15-1617-2015

Scipión, D., & Espinoza, J. C. (2026). Informe técnico: Radar meteorológico en banda X. Proyecto SOPHy. Informe Técnico de la Solución Tecnológica: Sistema de monitoreo y pronóstico de lluvias intensas e inundaciones pluviales, basado en datos de radares meteorológicos aplicados a la gestión del riesgo de desastres y gestión del agua en el Perú. Instituto Geofísico del Perú. https://drive.google.com/file/d/10qwEg_6yC9hZAp7-vWknbDihSMFd3t2LC/view?usp=drive_link

Succlupe Navarro, A. J. (2026). Diseño de línea de base para el manejo de inundaciones en el distrito de Piura: Escenarios de peligro y vulnerabilidad mediante la modelación hidráulica en zonas urbanas [Tesis de pregrado, Universidad de Ingeniería y Tecnología]. https://drive.google.com/file/d/1k5coZlAltoaWF7v6WGjo0XPA7_AMXgcO/view?usp=drive_link

Valdivia, J., Prado, J., Silva, Y., & Scipión, D. (2018). Observando las precipitaciones en Lima con un radar meteorológico. Boletín Técnico: Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño, Instituto Geofísico del Perú, 5(8), 10–12. http://hdl.handle.net/20.500.12816/5137

Valdivia, J. M., Scipión, D. E., Milla, M., Prado, J. J., Espinoza, J. C., Cordova, D., Saavedra, M., Villalobos, E., Callañaupa, S., & Silva, Y. (2021). Dataset on the first weather radar campaign over Lima, Peru. Data in Brief, 35, Article 106937. https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.106937

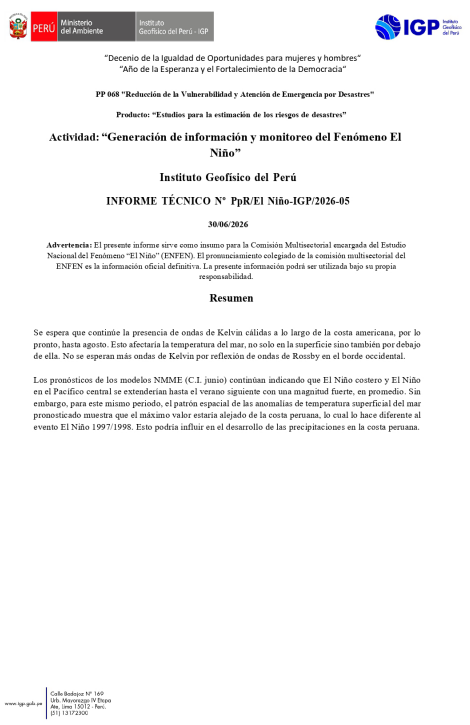
Villalobos, E. E., Martinez-Castro, D., Kumar, S., Silva, Y., & Fashe, O. (2019). Estudio de tormentas convectivas sobre los Andes Centrales del Perú usando los radares PR-TRMM y KuPR-GPM. Revista Cubana de Meteorología, 25 (1), 59-75. http://hdl.handle.net/20.500.12816/4741

RESUMEN INFORME TÉCNICO n.° PPR/EL NIÑO-IGP/2026-05

Publicado el 30 de junio de 2026

Se espera que continúe la presencia de ondas de Kelvin cálidas a lo largo de la costa americana, por lo pronto, hasta agosto. Esto afectaría la temperatura del mar, no solo en la superficie sino también por debajo de ella. No se esperan más ondas de Kelvin por reflexión de ondas de Rossby en el borde occidental. Los pronósticos de los modelos NMME (C.I. junio) continúan indicando que El Niño costero y El Niño en el Pacífico central se extenderían hasta el verano siguiente con una magnitud fuerte, en promedio. Sin embargo, para este mismo periodo, el patrón espacial de las anomalías de temperatura superficial del mar pronosticado muestra que el máximo valor estaría alejado de la costa peruana, lo cual lo hace diferente al evento El Niño 1997/1998. Esto podría influir en el desarrollo de las precipitaciones en la costa peruana.

El informe técnico completo se encuentra disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12816/5848



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

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/2026-05

30/06/2026

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

Se espera que continúe la presencia de ondas de Kelvin cálidas a lo largo de la costa americana, por lo pronto, hasta agosto. Esto afectaría la temperatura del mar, no solo en la superficie sino también por debajo de ella. No se esperan más ondas de Kelvin por reflexión de ondas de Rossby en el borde occidental.

Los pronósticos de los modelos NMME (C.I. junio) continúan indicando que El Niño costero y El Niño en el Pacífico central se extenderían hasta el verano siguiente con una magnitud fuerte, en promedio. Sin embargo, para este mismo periodo, el patrón espacial de las anomalías de temperatura superficial del mar pronosticado muestra que el máximo valor estaría alejado de la costa peruana, lo cual lo hace diferente al evento El Niño 1997/1998. Esto podría influir en el desarrollo de las precipitaciones en la costa peruana.

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.° 11 – 2026

ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO "EL NIÑO"

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

Estado del sistema de alerta: Alerta de El Niño Costero[1]

Publicado el 15 de junio de 2026

La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño" (ENFEN), mantiene el estado de "Alerta de El Niño Costero". Tras analizar la persistencia de las condiciones anómalas del océano y la atmósfera en el Pacífico Tropical (Figura 1), así como los últimos pronósticos climáticos de los modelos nacionales e internacionales, el ENFEN considera que:

- Para la región Niño 1+2, el Niño Costero iniciado en marzo de 2026 se prolongaría hasta el próximo verano de 2027, con una mayor probabilidad de presentar una magnitud fuerte[2] entre junio y septiembre, para luego disminuir a moderado hasta diciembre. Para el verano 2026 - 2027, se prevé que el evento alcance una magnitud entre fuerte (48 %) y moderada[2] (46 %).

- Para la región Niño 3.4 (Pacífico ecuatorial central), El Niño se desarrollaría desde junio de 2026 hasta marzo de 2027, inclusive, con mayor probabilidad de alcanzar una magnitud fuerte de noviembre a diciembre del presente año. Para el verano 2026 - 2027 se estima que el evento alcance una magnitud entre fuerte (44 %) y moderada (36 %).

Para el trimestre junio – agosto[3] se prevé que, las temperaturas del aire se mantengan por encima de sus valores climatológicos a lo largo de la costa peruana debido a la persistencia del calentamiento del mar en el litoral. En cuanto a las lluvias en la costa, se espera un comportamiento dentro de lo habitual durante el invierno, considerando episodios de lluvias ligeras especialmente en la costa norte. En cuanto al pronóstico hidrológico, se prevé el predominio de caudales normales en la Región Hidrográfica del Pacífico. En relación a los recursos pesqueros, para las próximas semanas, se espera que la intensificación de las condiciones cálidas continúe alterando la distribución vertical y latitudinal de la anchoveta del stock norte-centro. Además, en la zona norte y centro del litoral peruano

---

[1] Alerta de El Niño Costero: De acuerdo al análisis de las condiciones oceánicas y atmosféricas observadas y de la predicción de los modelos climáticos, la Comisión ENFEN considera que El Niño Costero es inminente, ya se ha iniciado o continuará en los siguientes meses. Al inicio del texto del CO se indicará la magnitud más probable del evento y su posible duración. (Nota Técnica ENFEN 02-2026; https://enfen.imarpe.gob.pe/download/nota-tecnica-enfen-02-2026sistema-de-alerta-ante-el-nino-costero-y-la-nina-costera/?wpdmdl=1988&refresh=698e1316b93ee1770918678)

[2] Las condiciones mensuales para la región Niño 1+2, que abarca el mar peruano al norte de los 10°S, se establecen en base al valor del ICEN. En el caso de la magnitud cálida moderada, esta corresponde cuando el valor del ICEN es mayor a +1,3 y menor o igual que +2,1; y para la magnitud cálida fuerte, corresponde el valor del ICEN mayor a +2,1 y menor o igual a +3,5 (Nota Técnica ENFEN 01-2024; https://enfen.imarpe.gob.pe/download/nota-tecnica-enfen-01-2024-definicion-operacional-de-los-eventos-el-nino-costero-yla-nina-costera-en-el-peru/?wpdmdl=1905&refresh=6a2eedc00eb9917814

[3] https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02262SENA-72.pdf

[4] https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso/roni/announcement.php

continuaría la presencia inusual de especies de peces asociadas a aguas cálidas y oceánicas. Se recomienda a los tomadores de decisiones tener en cuenta los escenarios de riesgo basados en los avisos meteorológicos[3] y pronósticos estacionales[4] vigentes a fin de adoptar las medidas correspondientes para la reducción del riesgo de desastres, así como acciones de preparación para la respuesta ante peligros inminentes, debido a la continuidad de El Niño Costero y el desarrollo de El Niño (Pacifico ecuatorial central), ante la próxima temporada de lluvias (setiembre 2026 a abril 2027). Asimismo, se exhorta a las autoridades y población en general a mantenerse informados por las entidades competentes oficiales del ENFEN, así como por los organismos del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD). La Comisión Multisectorial del ENFEN continuará monitoreando la evolución de las condiciones oceánicas, atmosféricas, hidrológicas y biológicas-pesqueras, y actualizando las perspectivas. La emisión del próximo Comunicado Oficial ENFEN será el viernes 26 de junio de 2026.

Para más información, consultar el Informe Técnico en el siguiente enlace:

https://enfen.imarpe.gob.pe/download/informe-tecnico-enfen-ano-12-n09-al-13-de-mayo-de-2026/?wpdmdl=2052&refresh=6a07a467c4b871778885735

INSTITUCIONES MIEMBROS DEL ENFEN

IMARPE INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

Senamhi SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ

DIHIDRONAV DIRECCIÓN DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN MARINA DE GUERRA DEL PERÚ

INDECI INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL

ANA Autoridad Nacional del Agua

CENEPRED

IGP Instituto Geofísico del Perú

IGP
Instituto Geofísico del Perú

@igp.peru

@igp_peru

@igp.peru

@igp_videos

@institutogeofisicodelperu

@igp.peru