



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



BOLETÍN CIENTÍFICO EL NIÑO

Vol. 13 n.º 01 enero 2026

PROGRAMA PRESUPUESTAL n.º 068

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

En este boletín

- Base de datos nacional de isótopos estables en aguas meteóricas y terrestres en el Perú | **Pág. 4**
- Evaluación de la corrección de atenuación del radar SOPHy en la estimación de precipitación | **Pág. 10**
- Resumen del informe técnico de El Niño | **Pág. 18**
- Resumen de comunicado ENFEN | **Pág. 19**



Créditos

Miguel Ángel 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

Roberto Carlos Encinas Colan
Diseño y diagramación

Carátula: Fotografía del volcán y del lago Casiri
Fuente: Instituto Geofísico del Perú

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, enero 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 aque-

llos 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 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/20.500.12816/4974>). 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.

BASE DE DATOS NACIONAL DE ISÓTOPOS ESTABLES EN AGUAS METEÓRICAS Y TERRESTRES EN EL PERÚ

Carol Romero¹ y James Apaéstegui^{1,2}

¹ Dirección de Ciencias de la Atmósfera, Hidrósfera y Cambio Climático, Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima, Perú

² Programa de Maestría en Recursos Hídricos, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú



Licenciada en Física por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Actualmente cursa estudios doctorales en Ciencias Atmosféricas en la Universidad de Purdue (Estados Unidos). Su investigación se centra en el análisis de isótopos estables en aguas meteóricas como herramienta para comprender la circulación atmosférica a escala local y regional.

Palabras clave: Isótopos estables, ciclo del agua, base de datos

Citar como Romero, C., & Apaéstegui, J. Base de datos nacional de isótopos estables en aguas meteóricas y terrestres en el Perú. Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 13 n.º 01, págs. 4-9.

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

Esta investigación organiza y pone a disposición información clave sobre el agua en el Perú —lluvias, ríos y aguas subterráneas— lo que permite entender de dónde proviene y cómo circula en el territorio. El estudio integra datos recopilados entre 2000 y 2021 en 489 puntos del país y los presenta en una base de datos pública y fácil de usar. Esto facilita ubicar la información en el mapa y analizar, con mayor precisión, la disponibilidad de agua y sus cambios en el tiempo. En la práctica, esta herramienta permite mejorar la evaluación de riesgos hídricos, fortalecer la planificación territorial y respaldar decisiones frente a sequías y otros impactos de la variabilidad climática.

Resumen

Los isótopos estables del agua ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ y Dxs – exceso de deuterio) son herramientas valiosas para rastrear las fuentes y las interacciones en el ciclo del agua, ya que proporcionan información relevante para comprender los mecanismos físicos asociados. Esta información es clave para analizar fenómenos como la disponibilidad hídrica, las sequías y la variabilidad climática en el Perú. Sin embargo, a nivel nacional, la investigación en isótopos se ha visto limitada por la escasez y dispersión de datos disponibles. Para subsanar esta carencia, hemos creado un conjunto de datos a nivel nacional sobre isótopos estables del agua que integra diferentes fuentes hídricas en Perú (WSIPeruDDB). Este conjunto incluye datos generados por los autores e incorpora registros previamente publicados por otros autores, correspondientes a diversas ubicaciones, recopilados entre 2000–2021.

WSIPeruDDB comprende 489 sitios de recolección de agua y permite un uso integral mediante el uso de plantillas de metadatos estandarizadas que contienen información geográfica (latitud, longitud, altitud y desde el nivel del mar hasta los 5000 m s. n. m.) y datos de muestreo, como el tipo de muestra (p. ej., agua subterránea, precipitación, río, manantial y

otros) y la frecuencia de muestreo (p. ej., quincenal, diaria, mensual). El conjunto de datos WSIPeruDDB se encuentra disponible públicamente en Zenodo. Esta base de datos constituye un recurso clave para fortalecer la investigación y mejorar el conocimiento sobre los recursos hídricos en el Perú.

1. Introducción

Comprender la dinámica del ciclo del agua es esencial en el contexto de la variabilidad climática actual y de la creciente presión humana sobre los recursos hídricos (Oki et al., 2004; IPCC, 2021). En este marco, los isótopos estables del agua ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ y Dxs) constituyen una herramienta clave para rastrear el origen y el movimiento del agua a distintas escalas espaciales y temporales (Aggarwal et al., 2004; Zhou et al., 2021). A través del fraccionamiento isotópico asociado a procesos como la evaporación, la condensación y la precipitación, estos trazadores aportan información relevante sobre la circulación atmosférica, las fuentes de humedad y los procesos hidrológicos (Fiorella et al., 2015; Rodgers et al., 2005).

En el Perú, la aplicación de estas herramientas resulta especialmente pertinente debido a la complejidad geográfica y

protocolos estándares del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) para el muestreo de agua y el análisis isotópico. Las muestras se almacenaron en botellas de polietileno de alta densidad para evitar procesos de evaporación y fueron analizadas mediante espectrómetros de absorción láser (Picarro L2120i y L2130i) en laboratorios asociados.

El posprocesamiento de los datos se realizó mediante un Sistema de Gestión de Información de Laboratorio (LIMS). Todas las mediciones fueron calibradas respecto al estándar internacional VSMOW, y los valores isotópicos se reportaron en relación con esta referencia. La precisión analítica para cada conjunto de datos se detalla en los archivos de metadatos asociados.

Para asegurar la calidad de los datos, se implementó un procedimiento de validación basado en la Línea Local de Agua Meteorítica (LMWL), que describe la relación entre $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ en las precipitaciones de una región determinada. Se aplicó una regresión de la LMWL y los valores que se ubicaron fuera de $\pm 3\sigma$ respecto a la línea de regresión fueron considerados atípicos y excluidos, siguiendo las directrices del OIEA. Además, los resultados se compararon con la Línea Global de Agua Meteorítica (GMWL: $\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10$) para verificar la coherencia de los datos. Solo aquellos registros que superaron estos criterios de validación fueron incorporados en el conjunto de datos WSIPeruDDB.

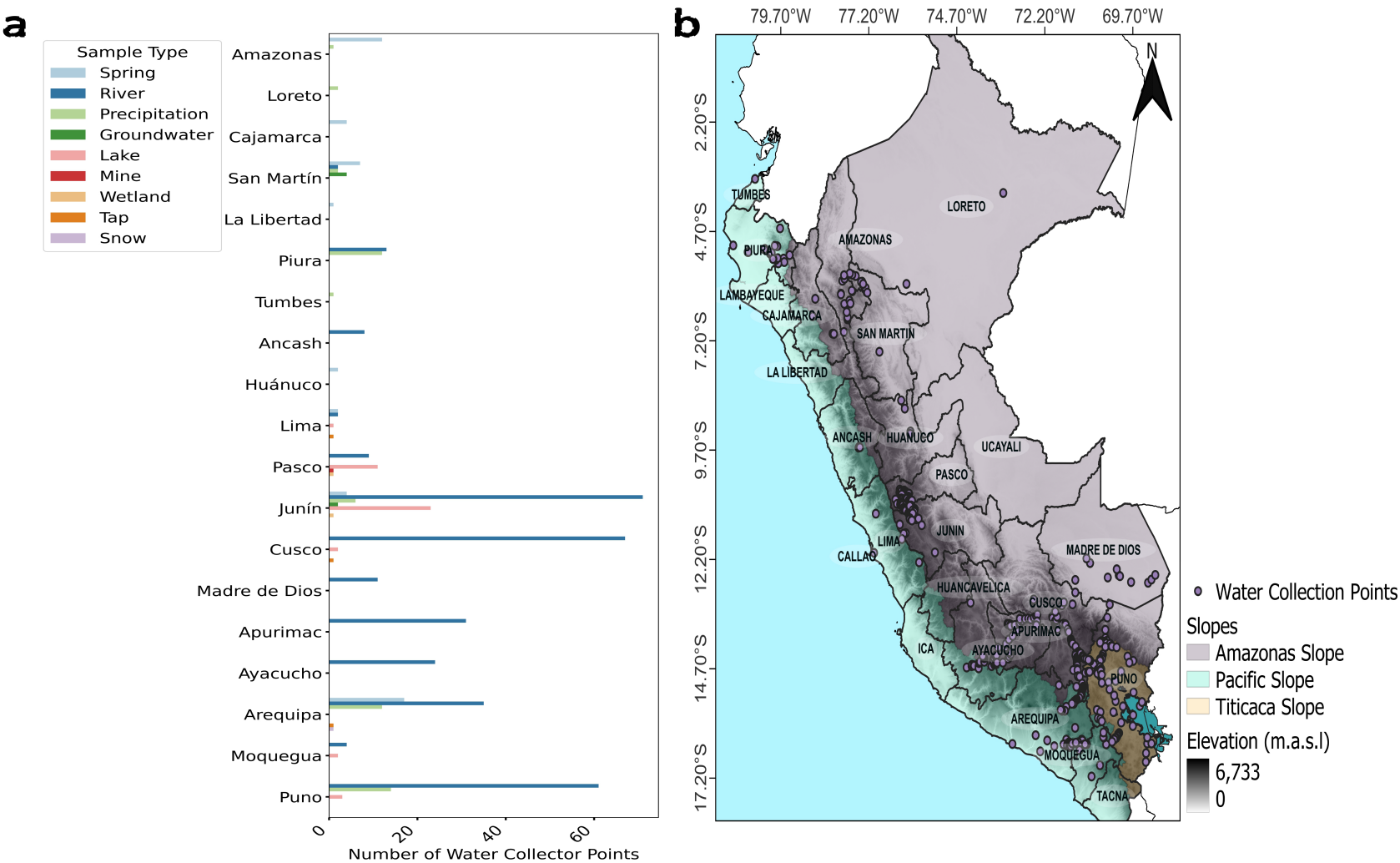


Figura 2. (a) Distribución de puntos de captación de agua en Perú según el tipo de muestra. (b) Distribución geoespacial de los colectores de agua (círculos morados) en el Perú. Las áreas sombreadas representan las vertientes: la vertiente amazónica (color gris), la vertiente del Pacífico (color cyan) y la vertiente del Titicaca (color marrón). La topografía se obtuvo a partir de datos del SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) con una resolución de 90 metros.

2.2. Registro de datos

El conjunto de datos está disponible públicamente a través del repositorio Zenodo e incluye información de isótopos estables y metadatos de 489 puntos de colectores de agua en 19 regiones de Perú, para el periodo 2000 –y 2021. Este conjuntos de datos está organizado en cuatro archivos principales, todos en formatos abiertos para su acceso, uso y reutilización:

[WSIPeruDDB_site_information.xlsx](#)

Contiene metadatos de cada punto de recolección, incluyendo el nombre de la estación, las coordenadas geográficas, la

altitud, la región, el tipo de muestra, el periodo y la frecuencia de muestreo, así como los identificadores del proyecto de origen.

[WSIPeruDDB_dataset_information.xlsx](#)

Incluye las mediciones de los isótopos estables ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ y Dxs) en agua, junto con la fecha de muestreo, los datos de ubicación y las variables meteorológicas asociadas.

[WSIPeruDDB_template.xlsx](#)

Plantilla estandarizada en formato Excel para la incorporación de nuevos datos. Contiene cuatro hojas: dos destinadas

a descriptores de metadatos (información del sitio y del conjunto de datos) y dos hojas editables para el registro de nuevos datos por parte de los usuarios. Las categorías y las descripciones de los campos se presentan en las Tablas 1 y 2.

[Site_information_numeral.geojson](#)
Archivo geoespacial compatible con plataformas SIG, que representa la distribución espacial de los puntos de recolección e incorpora sus metadatos principales.

Tabla 1. Categorías de información de los colectores de agua.

Campo	Descripción
ID	Código único del punto de recolección, basado en la clasificación de tipos de agua basada y en el proyecto de origen
Estación	Nombre del colector de agua
Latitud	Latitud en grados decimales
Longitud	Longitud en grados decimales
Altitud	Elevación en metros
Región	Región del área de estudio
Fecha de inicio	Fecha/Hora de recogida de la muestra, en hora local, hora en formato de 24 horas.
Fecha de finalización	Fecha/Hora de finalización.
Frecuencia de muestreo	Resolución temporal de la muestra: horario, diario, quincenal, mensual, anual.
Tipo de muestra	Precipitación, río, manantial, lago, hielo, grifo, mina, humedal, agua subterránea, suelo, nieve, agua de goteo de cuevas.
Número de datos de $\delta^{18}\text{O}$	# de datos $\delta^{18}\text{O}$
Número de datos de $\delta^2\text{H}$	# de datos $\delta^2\text{H}$
Precisión analítica de $\delta^{18}\text{O}$	Desviación estándar de $\delta^{18}\text{O}$
Precisión analítica de $\delta^2\text{H}$	Desviación estándar de $\delta^2\text{H}$
Contacto	Nombre de contacto
Email	Correo electrónico de contacto
Referencias	Cita del artículo o la página donde se encuentra la base de datos.
ID proyecto	Se refiere al ID utilizado si está almacenado en otro repositorio.
Base de datos	Nombre o enlace de la base de datos relacionada con el ID del proyecto.

El conjunto de datos WSIPeruDDB incluye diversos tipos de muestras ambientales. Para su identificación, se asignaron códigos numéricos: 01 (agua de lluvia), 02 (agua de río), 03 (manantial), 04 (lago), 05 (hielo), 06 (agua de grifo), 07 (agua de mina), 08 (humedal), 09 (agua subterránea), 10 (suelo), 11 (nieve) y 12 (agua de goteo de cuevas).

La distribución de estos tipos de muestras se muestra en la Figura 2a. Estos códigos se integran en el ID mediante un sistema de numeración basado en los identificadores de proyecto de los colectores de agua. Este esquema asegura la unicidad de los registros , reduce las posibilidades de ambigüedades y permite la incorporación de nuevos datos sin alterar la estructura existente.

Tabla 2. Categorías para la información de datos isotópicos.

Campo	Descripción
ID	Codificación de los colectores de agua con clasificación de tipos de agua basada en proyectos. Nosotros nos encargamos de la codificación.
Fecha de inicio	Fecha/Hora de la recogida de la muestra en hora local
$\delta^{18}\text{O}$	# de datos $\delta^{18}\text{O}$
$\delta^2\text{H}$	# de datos $\delta^2\text{H}$
Dxs	# de datos Dxs
Tipo de muestra	Precipitación, río, manantial, lago, hielo, grifo, mina, humedal, agua subterránea, suelo, nieve, agua de goteo de cuevas.
Fecha de finalización	Fecha/Hora de finalización.
Frecuencia de muestreo	Resolución temporal de la muestra: horario, diario, quincenal, mensual, anual.
Tipo de muestra	Precipitación, río, manantial, lago, hielo, grifo, mina, humedal, agua subterránea, suelo, nieve, agua de goteo de cuevas.
Región	Región del área de estudio
Latitud	Latitud en grados decimales
Longitud	Longitud en grados decimales
Altitud	Elevación en metros
Datos meteorológicos	Vientos, humedad relativa, precipitación, nieve.

2.3. Validación técnica

Para garantizar la fiabilidad del conjunto de datos, las mediciones internas de isótopos estables fueron sometidas a un procedimiento de control de calidad basado en el LMWL, descrito en la sección previa. En el caso de fuentes externas, como la GNIP y la base de datos WaterIsotopes, sólo se incorporó metadatos sobre los colectores, como se muestra en la Tabla 1. Los datos isotópicos procedentes de estas fuentes no fueron incluidos debido a restricciones derivadas de las políticas de intercambio de datos de dichas plataformas.

2.4. Disponibilidad el código

El paquete WSIPeruDB, desarrollado en Python y de código abierto, proporciona herramientas para visualizar la regresión lineal de los datos internos de isótopos estables. El código y la documentación están disponibles en GitHub en <https://github.com/karoru23/WSI-PeruDB>. También se puede acceder a una visualización pública de los datos a través del visor geoespacial institucional del Instituto Geofísico del Perú (IGP) en <https://ide.igp.gob.pe/geovisor/isotopicas/visor/isotopicas>. El acceso a estas herramientas es libre y no presenta restricciones de uso.

Referencias

- Alvarez-Campos, O., Olson, E. J., Welp, L. R., Frisbee, M. D., Zuñiga Medina, S. A., Díaz Rodríguez, J., Roque Quispe, W. R., Salazar Mamani, C. I., Arenas Carrión, M. R., Jara, J. M., Ccanccapa-Cartagena, A., & Jafvert, C. T. (2022). Evidence for high-elevation salar recharge and interbasin groundwater flow in the western Cordillera of the Peruvian Andes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(2), 483–503. <https://doi.org/10.5194/hess-26-483-2022>
- Aggarwal, P. K., Fröhlich, K., Kulkarni, K. M., & Gourcy, L. L. (2004). Stable isotope evidence for moisture sources in the Asian summer monsoon under present and past climate regimes. *Geophysical Research Letters*, 31(8), L08203. <https://doi.org/10.1029/2004GL019911>
- Drenkhan, F., Carey, M., Huggel, C., Seidel, J., & Oré, M. T. (2015). The changing water cycle: Climatic and socioeconomic drivers of water-related changes in the Andes of Peru. *WIREs Water*, 2(6), 715–733. <https://doi.org/10.1002/wat2.1105>
- Fiorella, R. P., Poulsen, C. J., Pillco Zolá, R. S., Barnes, J. B., Tabor, C. R., & Ehlers, T. A. (2015). Spatiotemporal variability of modern precipitation $\delta^{18}\text{O}$ in the central Andes and implications for paleoclimate and paleoaltimetry estimates. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(10), 4630–4656. <https://doi.org/10.1002/2014JD022893>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Water cycle changes. In *Climate change 2021: The physical science basis* (pp. 1055–1210). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.010>
- Oki, T., Entekhabi, D., & Harrold, T. I. (2004). The global water cycle. In *The global water system: Past, present and future* (Vol. 150, pp. 225–237). American Geophysical Union. <https://doi.org/10.1029/150GM18>
- Peng, Q., Xie, S.-P., Wang, D., Zheng, X. T., & Zhang, H. (2019). Coupled ocean–atmosphere dynamics of the 2017 extreme coastal El Niño. *Nature Communications*, 10, 298. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08258-8>
- Rodgers, P., Soulsby, C., & Waldron, S. (2005). Stable isotope tracers as diagnostic tools in upscaling flow path understanding and residence time estimates in a mountainous mesoscale catchment. *Hydrological Processes*, 19(11), 2291–2307. <https://doi.org/10.1002/hyp.5677>
- Somers, L. D., Gordon, R. P., McKenzie, J. M., Lautz, L. K., Wigmore, O., Glose, A., Glas, R., Aubry-Wake, C., Mark, B., Baraer, M., & Condom, T. (2016). Quantifying groundwater–surface water interactions in a proglacial valley, Cordillera Blanca, Peru. *Hydrological Processes*, 30(17), 2915–2929. <https://doi.org/10.1002/hyp.10912>
- Wei, X., Garcia-Chevesich, P., Alejo, F., García, V., Martínez, G., Daneshvar, F., Bowling, L. C., Gonzáles, E., Krahenbuhl, R., & McCray, J. E. (2021). Hydrologic analysis of an intensively irrigated area in southern Peru using a crop-field scale framework. *Water*, 13(3), 318. <https://doi.org/10.3390/w13030318>
- Welp, L. R., Olson, E. J., Valdivia, A. L., Larico, J. R., Arhuire, E. P., Paredes, L. M., DeGraw, J. T., & Michalski, G. M. (2022). Reinterpreting precipitation stable water isotope variability in the Andean western cordillera due to sub-seasonal moisture source changes and sub-cloud evaporation. *Geophysical Research Letters*, 49(18), e2022GL099876. <https://doi.org/10.1029/2022GL099876>
- Zhou, J., Liu, G., Meng, Y., Xia, C., Chen, K., & Chen, Y. (2021). Using stable isotopes as tracer to investigate hydrological condition and estimate water residence time in a plain region, Chengdu, China. *Scientific Reports*, 11, Article 82349. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82349-3>

EVALUACIÓN DE LA CORRECCIÓN DE ATENUACIÓN DEL RADAR SOPHY EN LA ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN

Maryann Alata Chambilla^{1,2}, Carlos Del-Castillo Velarde¹, Yamina Silva Vidal¹, Daniel Martínez-Castro¹, y Aldo Moya Álvarez²

¹ Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima, Perú
² Departamento de Física y Meteorología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

Palabras clave: Radar meteorológico SOPHy, atenuación, precipitación líquida, eco de terreno

Citar como Alata, M., Del-Castillo, C., Silva Vidal, Y., Martinez-Castro, D. & Moya, A. (2025). Evaluación de la corrección de atenuación del radar SOPHy en la estimación de precipitación. Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 13 n.º 01 págs. 10-17.

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

Esta investigación mejora la estimación de la precipitación en el Valle del Mantaro al evaluar y ajustar un método de corrección de atenuación en el radar meteorológico SOPHy. El estudio muestra que, bajo condiciones adecuadas, es posible recuperar señales de lluvia más precisas, lo que reduce errores en los acumulados diarios y mejora su concordancia con mediciones en superficie. Estos resultados permiten contar con información más confiable para el monitoreo de lluvias intensas y la gestión del riesgo. En la práctica, esto contribuye a fortalecer los sistemas de alerta temprana, mejorar la planificación ante eventos extremos y respaldar decisiones basadas en datos más precisos en contextos de alta variabilidad climática.

Resumen

El radar meteorológico SOPHy, de banda X e instalado en el Observatorio de Sicaya, presenta atenuación durante lluvias intensas. Se evaluó el algoritmo de corrección basado en el método de Hitschfeld–Bordan modificado. Para ello, se empleó una calibración local de la relación entre atenuación específica y reflectividad, derivada a partir de observaciones con un disdrómetro. La recuperación de señal se evaluó mediante un eco terrestre fijo y series coincidentes radar–disdrómetro obtenidas mediante extracciones puntuales y promedios espaciales de 3 × 3. En eventos intensos con referencias estables, la corrección redujo el RMSE en más de 3,5-6 dBZ y estabilizó el BIAS desde valores negativos hacia condiciones cercanas a la neutralidad; en presencia de retornos residuales se evidenciaron sobrecorrecciones superiores a 3 dBZ. Las comparaciones con el disdrómetro mostraron cambios mínimos en la reflectividad en lluvias ligeras a moderadas, con alta coherencia entre mediciones, mientras que en eventos más intensos la corrección evidenció mejoras en el RMSE, el sesgo y el índice NSE, aunque con limitaciones asociadas al muestreo del radar. La estimación diaria de precipitación evidenció una mejor concordancia tras el ajuste empírico, con una reducción del RMSE a 1,90–4,03 mm y un aumento de la correspondencia con superficie hasta $r = 0.91$. Parte de las discrepancias en los acumulados diarios de precipitación entre radar y mediciones en superficie podría explicarse por la disponibilidad temporal incompleta de los datos radar y por diferencias en el muestreo espacial.

1. Introducción

El radar meteorológico SOPHy, instalado en el Observatorio de Sicaya (IGP), opera en banda X (9,345 GHz) y monitorea eventos hidrometeorológicos (Espinoza et al., 2021). Sin embargo, debido a su corta longitud de onda, esta banda es altamente susceptible a la atenuación producida por los mismos hidrometeoros que se están midiendo, lo que incrementa el error en la estimación de la precipitación, especialmente durante lluvias intensas (Kim & Kwon, 2020).

A pesar de que el radar SOPHy posee capacidades de doble polarización, durante el periodo de estudio (enero a marzo del 2025) la polarización vertical no se encontraba operativa. Bajo estas condiciones, la estimación de la precipitación se basó exclusivamente en el uso de la polarización horizontal, lo que impide el aprovechamiento de variables polarimétricas como la reflectividad diferencial (ZDR) o la fase diferencial específica (KDP). Este último parámetro es de especial relevancia en banda X debido a que al derivarse de la fase de la onda y no de su potencia, permite estimar la atenuación específica (k) de forma directa. Ante la disponibilidad única de la reflectividad horizontal (ZH), se hace indispensable la aplicación de correcciones basadas en relaciones empíricas para compensar la pérdida de señal en el trayecto.

Para abordar este problema, Del Castillo et al. (2024) implementaron un método basado en el algoritmo de Hitschfeld y Bordan (1954), centrado en la Atenuación Integrada en el

Trayecto (PIA, por sus siglas en inglés). La atenuación específica (k) se relaciona con la reflectividad mediante la ley potencial $k = Z$. El algoritmo utiliza las adaptaciones de Krämer & Jacobi (2009) y Jacobi et al. (2016) e integra la función `atten.correct_attenuation_constrained` del software `wradlib`, para estabilizar el cálculo del PIA y evitar sobrecorrecciones. Los coeficientes empíricos α y β se determinaron mediante mediciones de disdrómetro (Park et al., 2005).

Debido a que el desempeño de estos métodos depende de parámetros microfísicos locales, como la distribución del tamaño de gotas, que varían en climas altoandinos (Park et al., 2005), la validación en sitio es fundamental. No obstante, aún es necesario validar en condiciones locales la capacidad de este algoritmo para recuperar la señal atenuada. En este marco, el presente estudio evalúa su efecto en la estimación de la precipitación en el Valle del Mantaro.

2. Metodología

2.1. Caracterización de la microfísica local

Para representar el clima local, se analizaron las características microfísicas de la precipitación utilizando datos del disdrómetro OTT Parsivel2 del Observatorio Geofísico de Huancaayo en Huayao (2017–2024). Estos datos se ingresaron en simulaciones T-matrix (Mishchenko y Travis, 1998; Leinonen, 2014) mediante la librería PyTMatrix para evaluar el efecto de la forma y el tamaño de las gotas en la dispersión electromagnética. A partir de estas simulaciones, se derivó la relación $Z = aR^b$, usada para convertir la reflectividad en tasa de intensidad de precipitación (R , en mm.h⁻¹), sensible a la distribución del tamaño de gotas (DSD, por sus siglas en inglés). Las categorías ligera, moderada y fuerte se definieron según umbrales de R (Chebaane et al., 2024).

2.2. Análisis de sensibilidad y validación

El estudio aplicó el algoritmo de corrección de atenuación de Hitschfeld y Bordan (1954), mejorado con las adaptaciones de Krämer & Jacobi (2009) y Jacobi et al. (2016) implementado por Del Castillo et al. (2024) mediante la librería `wradlib`. Se evaluó eventos ocurridos entre enero y marzo del 2025. La validación se realizó en dos niveles:

a) Con ecos de tierra:

Se utilizaron blancos de terreno persistentes como referencia estable (Duda & Turner, 2021). Se emplearon volúmenes sin supresión de clutter para clasificar los datos en dos escenarios: Seco (sin precipitación en la trayectoria ni en el objetivo, usado como base no atenuada) y Lluvioso (con precipitación entre el radar y el objetivo para cuantificar la pérdida). La evaluación comparó la mediana de reflectividad en los bins 175-210 (celdas de resolución de ~60 m que conforman el segmento de distancia de 10.5 a 13 km) de la señal corregida frente a la referencia seca durante los eventos del 04/02, 08/03, 13/03 y 30/03.

b) Con disdrómetro:

Se comparó la reflectividad del radar corregido con las mediciones in situ de los eventos del 08, 12 y 28 de febrero de 2025 (destacando el caso del 12 de febrero de 2025 por su representatividad). Se empleó tanto el píxel coincidente (modelo puntual) como en un promedio espacial de 3 x 3 píxeles (Adirosi et al., 2021). El desempeño se evaluó mediante el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), que cuantifica la capacidad del radar para reproducir la variabilidad observada en los datos del disdrómetro, donde valores cercanos a 1 indican alta concordancia (McCuen et al., 2006).

2.3. Precisión en la Estimación de Precipitación

Evaluamos la precisión de los acumulados de lluvia comparando el radar con datos de las estaciones meteorológicas convencionales Ingenio, Santa Ana y Viques del SENAMHI. Estos puntos se seleccionaron por su ubicación estratégica dentro del radio de cobertura del radar y por la disponibilidad de sus series diarias durante el periodo analizado. Dado que estas estaciones reportan únicamente acumulaciones en 24 horas, fue necesario reconstruir el ciclo diario desde el radar mediante un proceso de integración temporal.

Para ello, se procesaron los campos de reflectividad (Z) obtenidos cada ~5 minutos interpolados al barrido de elevación más bajo (0.99°), permitiendo extraer series temporales del volumen atmosférico exactamente sobre cada punto de validación in situ. Debido a que el radar no mide directamente la lluvia acumulada, cada valor de reflectividad (previamente corregido por atenuación) se convirtió primero en una tasa de intensidad (mm.h⁻¹) mediante la aplicación de dos esquemas Z-R: por clasificación de estructuras (convectiva/estratiforme) (Steiner et al., 1995), y por rangos de reflectividad (lluvia) (Baelen et al., 2009). Estas tasas se integraron temporalmente para generar acumulados diarios (mm) asegurando la validación con pluviómetros convencionales. Finalmente, se usó el filtro de corrección de sesgo (MFB) (He et al., 2011) y se realizó un ajuste lineal a los acumulados estimados para confirmar la ganancia de precisión de la calibración empírica.

3. Resultados y discusión

3.1. Microfísica de la precipitación

Las lluvias estuvieron dominadas por gotas pequeñas y medianas, con diámetro medio $D_m = 0,49$ mm y concentración total de 250 m⁻³, en concordancia con estudios previos en la región (Villalobos & Silva, 2020). Las simulaciones T-matrix evidenciaron alta sensibilidad de los coeficientes electromagnéticos a gotas mayores de 3 mm. Las relaciones Z-R ajustadas reflejaron baja variabilidad en lluvias ligeras y mayor dispersión en lluvias moderadas e intensas. Dicha dispersión confirma que los procesos convectivos, aunque menos frecuentes, alteran significativamente la firma electromagnética en Banda X debido al aumento del diámetro medio de las gotas.

3.2 Desempeño del algoritmo de corrección

a) Ecos de tierra:

El evento del 13 de marzo (Figura 1) presentó núcleos de reflectividad intensos que provocaron una atenuación significativa de la señal, manifestada en el descenso del nivel del

eco de terreno respecto a su referencia seca. La aplicación del algoritmo de corrección por atenuación permitió recuperar estos niveles, aproximándolos a la potencia observada en periodos sin lluvia. En contraste, el evento del 30 de marzo (Figura 2) exhibió una mayor estabilidad en la referencia seca, lo que facilitó una restauración de la señal más consistente y con menores fluctuaciones durante el periodo de precipitación.

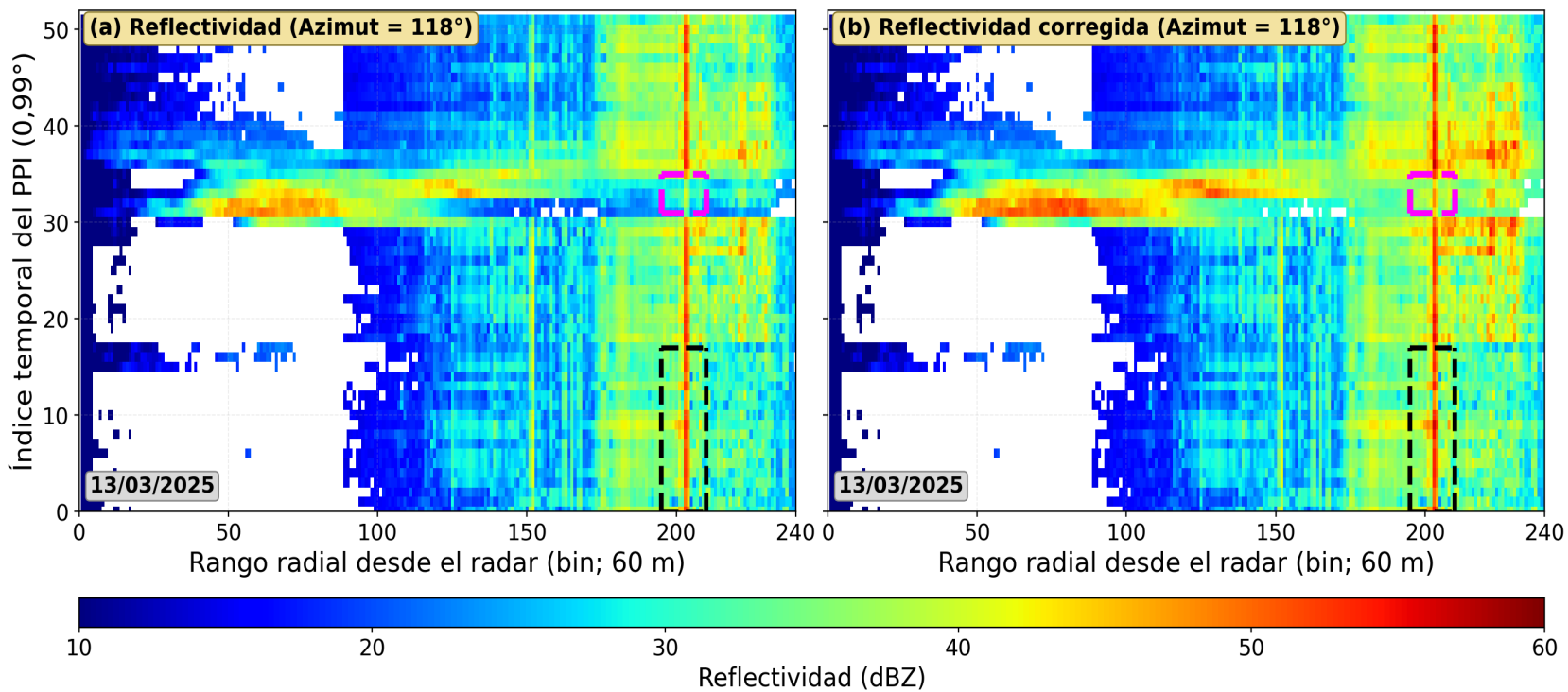


Figura 1. Comparación de la evolución temporal de la reflectividad radar a un azimuth constante 118° (0,99° de elevación) para el evento del 13 de marzo del 2025: (a) reflectividad sin corrección y (b) reflectividad corregida por atenuación. Los rectángulos discontinuos delimitan los ecos de terreno en periodo seco (negro) y lluvioso (rosado).

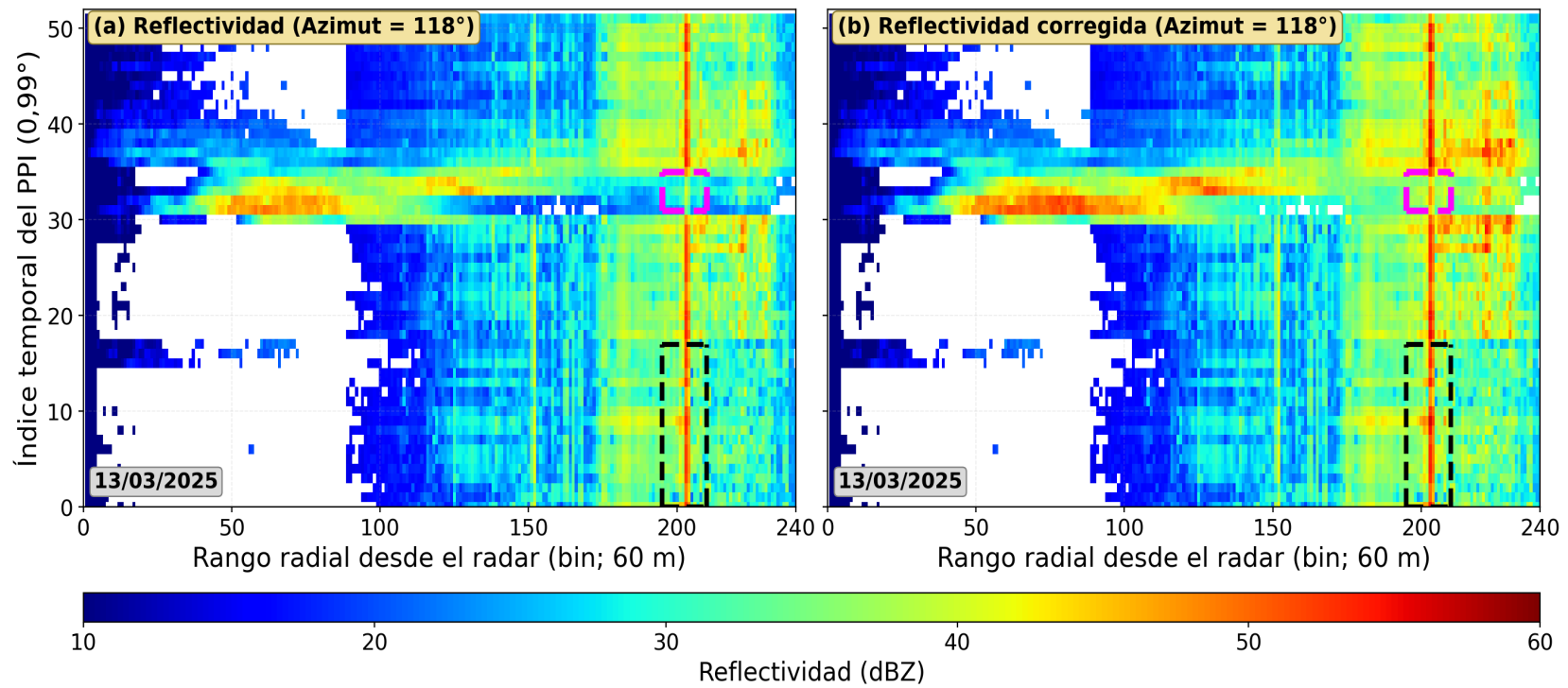


Figura 2. Comparación de la evolución temporal de la reflectividad radar a un azimuth constante 118° (0,99° de elevación) para el evento del 30 de marzo del 2025: (a) reflectividad sin corrección y (b) reflectividad corregida por atenuación. Los rectángulos discontinuos delimitan los ecos de terreno en periodo seco (negro) y lluvioso (rosado).

Para el evento del 13 de marzo (Figura 3a), se observó una reducción drástica del RMSE de 8.42 a 2.38 dBZ y del MAE de 8.01 a 1.99 dBZ, logrando estabilizar el BIAS de -8.01 a 0.32 dBZ. Asimismo, la correlación aumentó de 0.73 a 0.78, reflejando una mayor consistencia entre la señal recuperada y la referencia seca.

En el evento del 30 de marzo (Figura 3b), el desempeño mostró una tendencia similar de optimización. El RMSE

disminuyó de 6.31 a 2.70 dBZ y el MAE de 5.94 a 2.02 dBZ, mientras que el BIAS pasó de una subestimación severa de -5.92 dBZ a un valor residual de 1.73 dBZ. En este caso, el coeficiente de correlación alcanzó un valor de 0.81 tras la corrección, confirmando una convergencia estadística superior hacia la firma de potencia del blanco fijo.

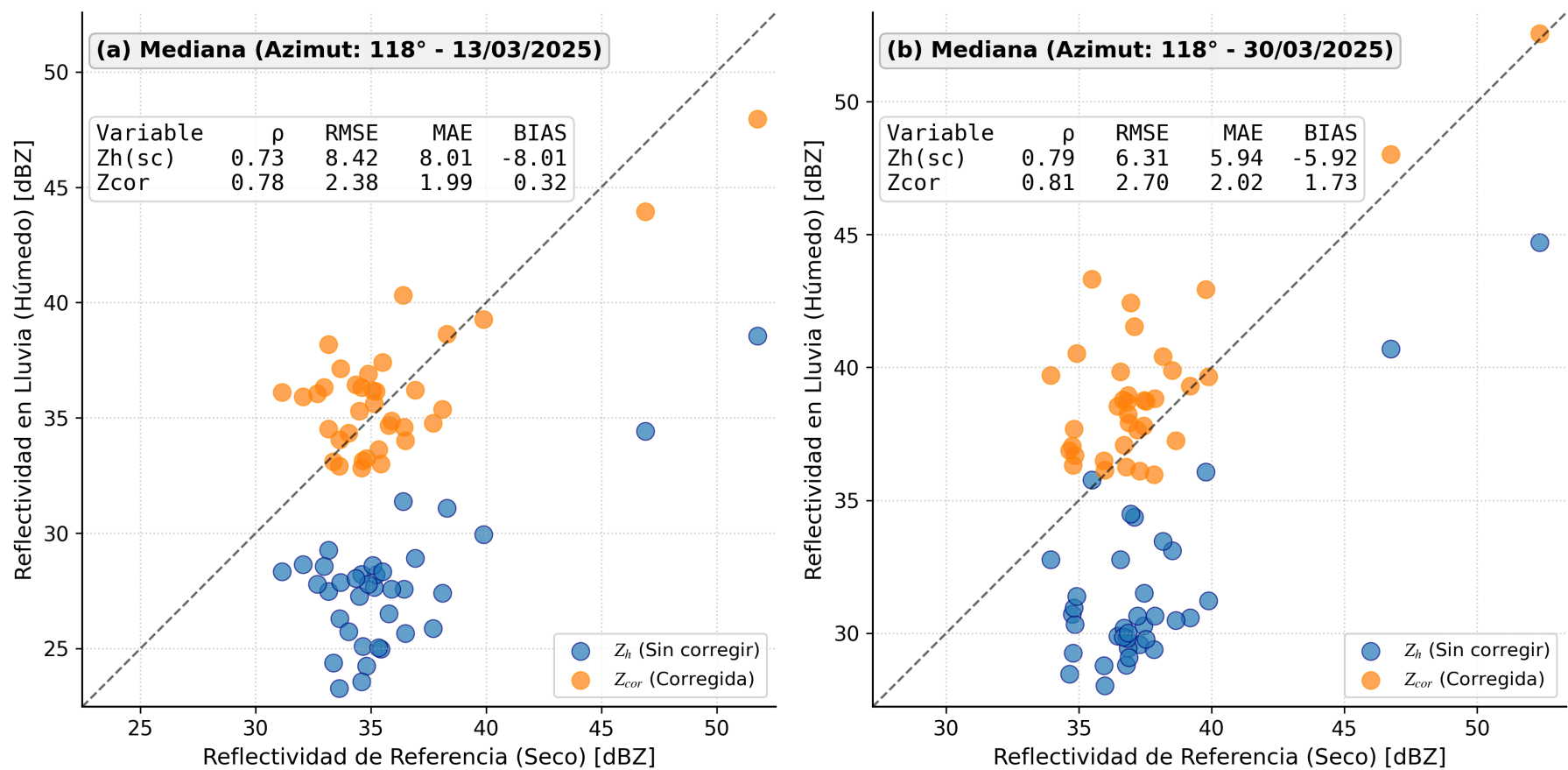


Figura 3. Diagrama de dispersión de reflectividad para la evaluación de la recuperación de señal. Se presenta la relación entre la mediana del eco de suelo en condiciones secas (referencia) frente a los valores observados (Z_h) y corregidos (Z_{corr}) durante eventos de precipitación en el azimut 118° para el: (a) 13 de marzo de 2025 y (b) 30 de marzo de 2025. La línea punteada representa la relación de intensidad 1:1.

La transición de los valores de BIAS desde magnitudes negativas hacia rangos cercanos a la neutralidad cuantifica la capacidad de la técnica para compensar la extinción de la señal en banda X. En el valle del Mantaro, la presencia de hidrometeoros con diámetros que inducen un régimen de esparcimiento de Mie incrementa la sección eficaz de extinción, resultando en una atenuación de mayor magnitud que la observada en frecuencias menores. La reducción del RMSE en niveles superiores a 3.5 y 6 dBZ para los casos evaluados evidencia que la utilización de ecos de terreno como referencia externa permite una restauración de la potencia atmosférica.

La eficacia de esta corrección está supeditada a la estabilidad del eco de terreno. Por consiguiente, la aplicación de un prefiltrado que asegure objetivos estrictamente estacionarios y libres de interferencias no meteorológicas es una condición necesaria para la consistencia física de la señal. Conforme a lo planteado por Nicol y Austin (2003),

este control metodológico permite que la variabilidad de la potencia recibida sea atribuible a la atenuación del medio, validando la integridad de los datos de reflectividad del radar SOPHy.

b) Comparación radar-disdrómetro de Concepción:

En el evento del 12 de febrero (Figura 4), correspondiente a lluvias ligeras a moderadas (10-30 dBZ), la corrección no modificó significativamente la señal, con diferencias de apenas 0.2-0.6 dBZ entre los casos corregidos y no corregidos. Las métricas estadísticas mostraron una alta coherencia entre ambas mediciones ($r \approx 0.76$ -0.77; $RMSE \approx 4$ dB), mientras que las discrepancias observadas se asocian principalmente a la diferencia entre el muestreo volumétrico del radar y la medición puntual del disdrómetro (Jang et al. (2011); Lee & Zawadzki (2006)).

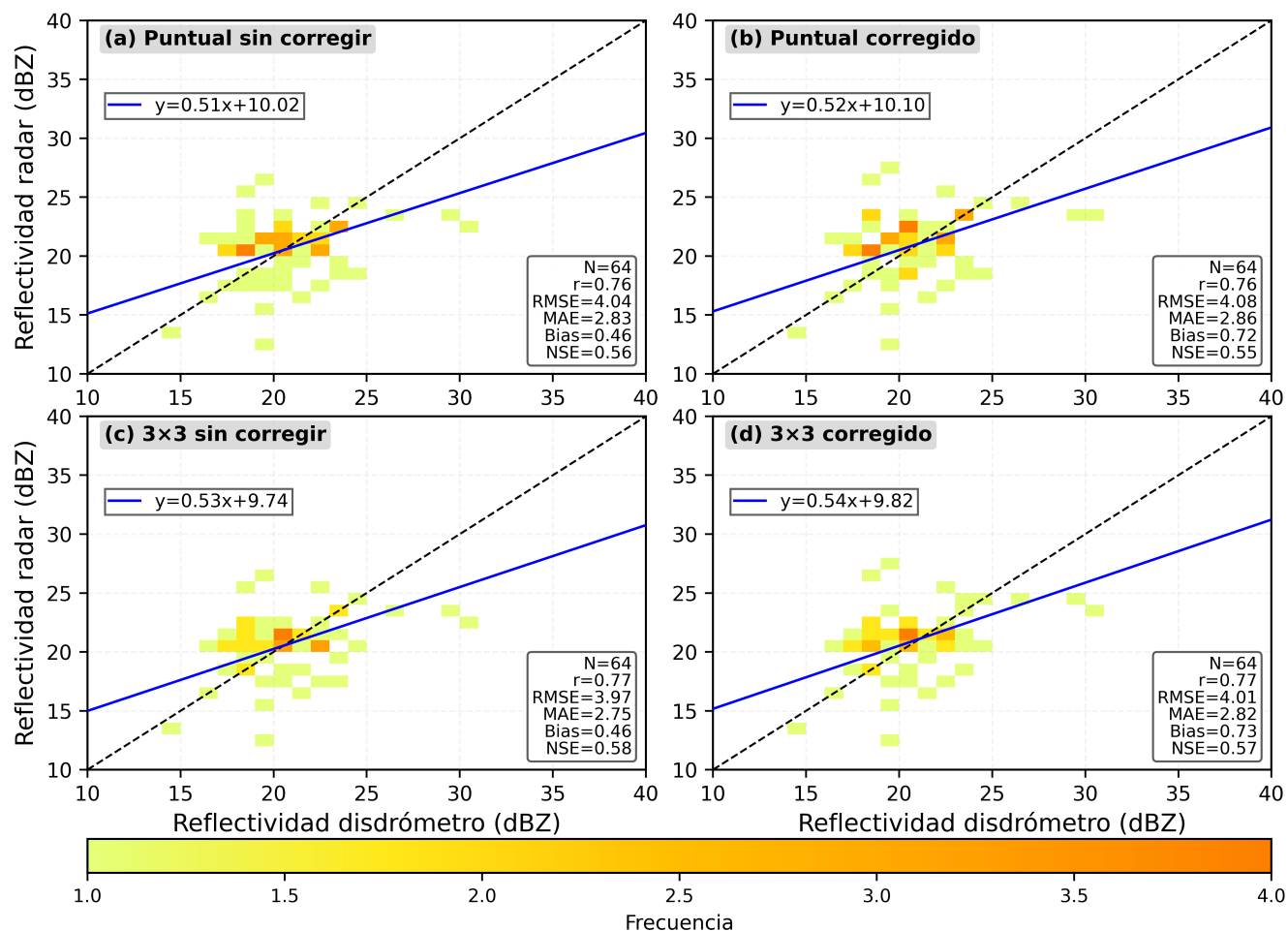


Figura 4. Dispersión de reflectividad radar vs disdrómetro (12/02/2025): (a) puntual sin corregir; (b) puntual corregida; (c) 3x3 sin corregir; (d) 3x3 corregida.

En contraste, en el evento del 28 de febrero (Figura 5), caracterizado por precipitaciones de mayor intensidad (hasta ~65 dBZ en el disdrómetro), la corrección por atenuación evidenció una mejora en el desempeño del radar, reflejada en la reducción del RMSE y del sesgo, así como en el incremento del índice NSE. No obstante, el radar continuó subestimando los picos de reflectividad, lo que indica que factores como el ensanchamiento del haz a la distancia de observación (~14 km) y el promediado volumétrico limitan la

capacidad de reproducir la variabilidad puntual de la precipitación (Gabella et al. (2013).

La sensibilidad del algoritmo depende del régimen de precipitación, con efecto limitado en lluvias de baja a moderada intensidad y mayor impacto en eventos intensos, donde la atenuación afecta significativamente la señal radar aunque condicionada por la representatividad espacial y las diferencias entre las mediciones.

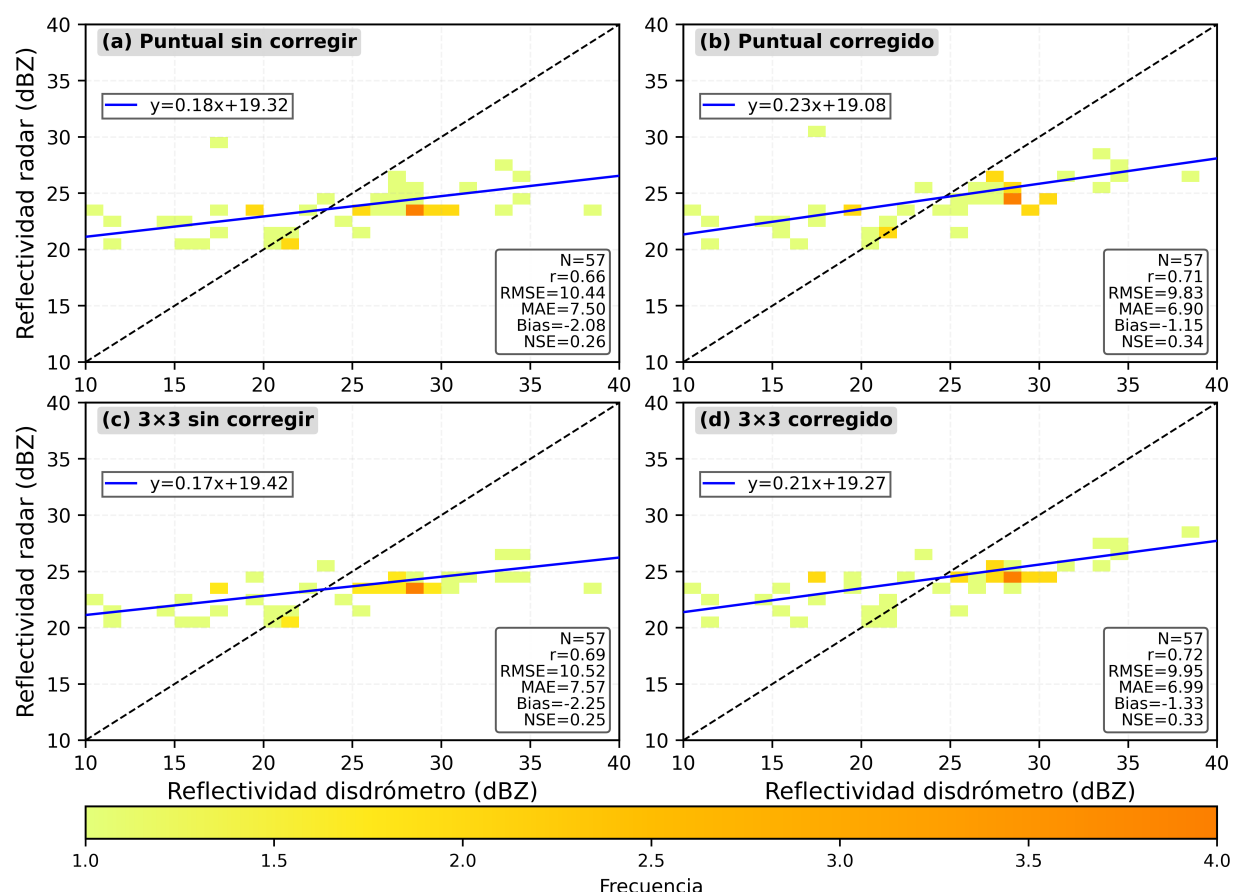


Figura 5. Dispersión de reflectividad radar vs disdrómetro (28/02/2025): (a) puntual sin corregir; (b) puntual corregida; (c) 3x3 sin corregir; (d) 3x3 corregida.

c) Estimación de acumulados diarios

El radar SOPHy presentó una subestimación inicial en los acumulados diarios, especialmente en días con lluvias moderadas e intensas. Este comportamiento es consistente con lo descrito por Wang et al. (2021) y Seo et al. (2013), quienes señalan que la atenuación de la señal y la variabilidad en la relación Z-R son fuentes críticas de error que conducen a la subestimación en la estimación cuantitativa de precipitación (QPE) en sistemas de polarización simple.

Tras aplicar ajustes empíricos (MFB), se observó una mejora en la precisión de las estimaciones, con reducciones del RMSE entre 2,15 y 3,86 mm, dependiendo de la estación meteorológica. En la estación de Ingenio, el ajuste permitió reducir el RMSE de 6,55 mm a 2,50 mm, mientras que en Santa Ana y Viques se observaron mejoras similares, con RMSE ajustados de 3,75 mm y 1,90 mm, respectivamente. Esto evidencia que el ajuste empírico es efectivo para corregir la subestimación inicial y mejorar la correspondencia entre las estimaciones radar y las mediciones in situ (Villarini & Krajewski, 2008).

Tabla 1. Métricas de desempeño de los acumulados estimados por el radar meteorológico SOPHy frente a estaciones meteorológicas (clasificación convectiva-estratiforme).

Radar SOPHy / Estaciones Meteorológicas Convencionales	Métrica	Ingenio	Santa Ana	Viques
SOPHy (Sin corrección de atenuación)	Bias	-5.17	-3.8	-4.06
	MAE	5.2	4.37	4.06
	RMSE	6.33	6.02	4.71
	r	0.76	0.57	0.89
SOPHy Corregido (Con corrección de atenuación + MFB)	Bias	-4.59	-3.37	-3.54
	MAE	4.65	4.24	3.64
	RMSE	5.61	5.84	4.29
	r	0.79	0.56	0.84
SOPHy Ajustado (Sin Corrección de atenuación)	Bias	0	0	0
	MAE	1.95	2.84	1.5
	RMSE	2.53	3.88	1.86
	r	0.85	0.71	0.91
SOPHy Corregido Ajustado (Con corrección de atenuación + MFB)	Bias	0	0	0
	MAE	1.68	2.98	1.63
	RMSE	2.18	4.03	1.95
	r	0.89	0.68	0.9

Nota. Métricas Bias, MAE y RMSE en mm; r es el coeficiente de correlación. SOPHy incluye estimaciones con y sin corrección por atenuación; Ajustado indica la aplicación del filtro MFB y ajuste lineal. El Bias de 0 en la versión ajustada deriva de la corrección del sesgo sistemático mediante regresión lineal.

La integración de parámetros microfísicos locales permite que el algoritmo se adapte a la morfología de las gotas, siendo esta caracterización de la DSD esencial para estabilizar la relación Z-R en regímenes convectivos y estratiformes (Ryzhkov et al., 2022). No obstante, la disponibilidad horaria irregular generó una asimetría temporal que condicionó la consistencia de los acumulados (Villarini & Krajewski, 2008). Según Peng et al. (2022), las discrepancias remanentes en zonas como Santa Ana responderían tanto a la falta de sincronía como a la complejidad del muestreo en topografía accidentada, validando un flujo de procesamiento que sigue los estándares de consistencia de Chumchean et al. (2006).

4. Conclusiones

El algoritmo de corrección por atenuación permitió recuperar la señal del radar SOPHy en banda X bajo condiciones de referencia estables, reduciendo la subestimación asociada a la atenuación, con mayor impacto en eventos de precipitación intensa. La validación evidenció una restitución consistente de la potencia en ecos de terreno, mientras que la comparación radar-disdrómetro mostró mejoras limitadas en reflectividad, condicionadas por la intensidad de la precipitación y las características del muestreo radar. En términos de acumulados diarios, la aplicación de ajustes empíricos permitió mejorar la concordancia con las mediciones en superficie. No obstante, la consistencia de la validación estuvo influenciada por la disponibilidad temporal de los datos y la estabilidad de las referencias empleadas.

5. Agradecimientos

Este estudio fue desarrollado en el marco del proyecto "Aplicaciones del radar meteorológico SOPHy para la gestión del riesgo de desastres y los recursos hídricos en el Perú: caso El Niño en Piura", subvencionado por el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC), a través del programa PROCENCIA, 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 Institutos Públicos de Investigación (IPI), según el Contrato N.º PE501087421-2024, en el marco del Acuerdo de Concesión de Subvención Exp. N.º 021/SPE/0000400012 con la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).

6. Referencias

Adirosi, E., Montopoli, M., Bracci, A., Porcù, F., Capozzi, V., Annella, C., Budillon, G., Bucchignani, E., Zollo, A. L., Cazzuli, O., Camisani, G., Bechini, R., Cremonini, R., Antonini, A., Ortolani, A., & Baldini, L. (2021). Validation of GPM rainfall and drop size distribution products through disdrometers in Italy. *Remote Sensing*, 13(11), 2081. <https://doi.org/10.3390/rs13112081>

Van Baelen, J., Tridon, F., & Pointin, Y. (2009). Simultaneous X-band and K-band study of precipitation to derive specific

Z-R relationships. *Atmospheric Research*, 94(4), 596-605. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.04.003>

Chebaane, S., Khalifa, S. B., Louati, A., Bahri, H., & Saidani, T. (2024). Hybrid algorithm for detecting intrusion with optical fiber sensor in rainy weather. *Optik*, 311, 171944. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2024.171944>

Chumchean, S., Sharma, A., & Seed, A. (2006). An integrated approach to error correction for real-time radar-rainfall estimation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 23(1), 67-79. <https://doi.org/10.1175/JTECH1832.1>

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(07), 15-19. Instituto Geofísico del Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12816/5667>

Duda, J. D., & Turner, D. D. (2021). Large-Sample Application of Radar Reflectivity Object-Based Verification to Evaluate HRRR Warm-Season Forecasts. *Weather and Forecasting*, 36(3), 805-821. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-20-0203.1>

Espinoza, J. C., Scipión, D., Valdez, A., & Verástegui, J. (2021). SOPHy: Scanning-system for Observations of Peruvian Hydrometeorological-events. 2021 IEEE International Conference on Aerospace and Signal Processing (INCAS), 1-4. <https://doi.org/10.1109/INCAS53599.2021.9666928>

He, X., Refsgaard, J. C., Sonnenborg, T. O., Vejen, F., & Jensen, K. H. (2011). Statistical analysis of the impact of radar rainfall uncertainties on water resources modeling. *Water Resources Research*, 47(9), W09526. <https://doi.org/10.1029/2011WR010670>

Hitschfeld, W., & Bordan, J. (1954). Errors inherent in the radar measurement of rainfall at attenuating wavelengths. *Journal of Atmospheric Sciences*, 11(1), 58-67. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1954\)011%3C0058:EIITRM%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1954)011%3C0058:EIITRM%3E2.0.CO;2)

Jacobi, S., & Heistermann, M. (2016). Benchmarking attenuation correction procedures for six years of single-polarized C-band weather radar observations in South-West Germany. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(6), 1785-1799. <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1155080>

Leinonen, J. (2014). High-level interface to T-matrix scattering calculations: architecture, capabilities and limitations. *Optics express*, 22(2), 1655-1660. <https://doi.org/10.1364/OE.22.001655>

Kim, M.-S., & Kwon, B. H. (2020). Attenuation correction of X-band radar reflectivity using adjacent multiple microwave links. *Remote Sensing*, 12(2133). <https://doi.org/10.3390/rs12132133>

Krämer, S., & Verworn, H. (2009). Improved radar data processing algorithms for quantitative rainfall estimation in real time. *Water Science and Technology*, 60(1), 175-84. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.282>

Marshall, J. S., & Hitschfeld, W. M. (1953). Interpretation of the fluctuating echo from randomly distributed scatterers, Part 1. *Canadian Journal of Physics*, 31(6), 962-994. <https://doi.org/10.1139/p53-084>

McCuen, R. H., Knight, Z., & Cutter, A. G. (2006). Evaluation of the Nash-Sutcliffe efficiency index. *Journal of Hydrologic Engineering*, 11(6), 597-602. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2006\)11:6\(597\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2006)11:6(597))

Mishchenko, M. I., & Travis, L. D. (1998). Capabilities and limitations of a current FORTRAN implementation of the T-matrix method for randomly oriented, rotationally symmetric scatterers. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 60(3), 309-324. [https://doi.org/10.1016/S0022-4073\(98\)00008-9](https://doi.org/10.1016/S0022-4073(98)00008-9)

Park, S. G., Maki, M., Iwanami, K., Bringi, V. N., & Chandrasekar, V. (2005). Correction of radar reflectivity and differential reflectivity for rain attenuation at X band. Part II: Evaluation and application. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 22(11), 1633-1655. <https://doi.org/10.1175/JTECH1804.1>

Peng, W., Bao, S., Yang, K., Wei, J., Zhu, X., Qiao, Z., Wang, Y., & Li, Q. (2022). Radar Quantitative Precipitation Estimation Algorithm Based on Precipitation Classification and Dynamical ZR Relationship. *Water*, 14(21), 3436. <https://doi.org/10.3390/w14213436>

Ryzhkov, A., Zhang, P., Bukovčić, P., Zhang, J., & Cocks, S. (2022). Polarimetric Radar Quantitative Precipitation Estimation. *Remote Sensing*, 14(7), 1695. <https://doi.org/10.3390/rs14071695>

Steiner, M., Houze Jr, R. A., & Yuter, S. E. (1995). Climatological characterization of three-dimensional storm structure from operational radar and rain gauge data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 34(9), 1978-2007. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1995\)034%3C1978:CCOTDS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1995)034%3C1978:CCOTDS%3E2.0.CO;2)

Villalobos, E., & Silva, Y. (2020). Características microfísicas de la precipitación en el valle del Mantaro, Junín. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, 7(06), 5-14. <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5233>

Villarini, G., Mandapaka, P. V., Krajewski, W. F., & Moore, R. J. (2008). Rainfall and sampling uncertainties: A rain gauge perspective. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113, D11102. <https://doi.org/10.1029/2007JD009214>

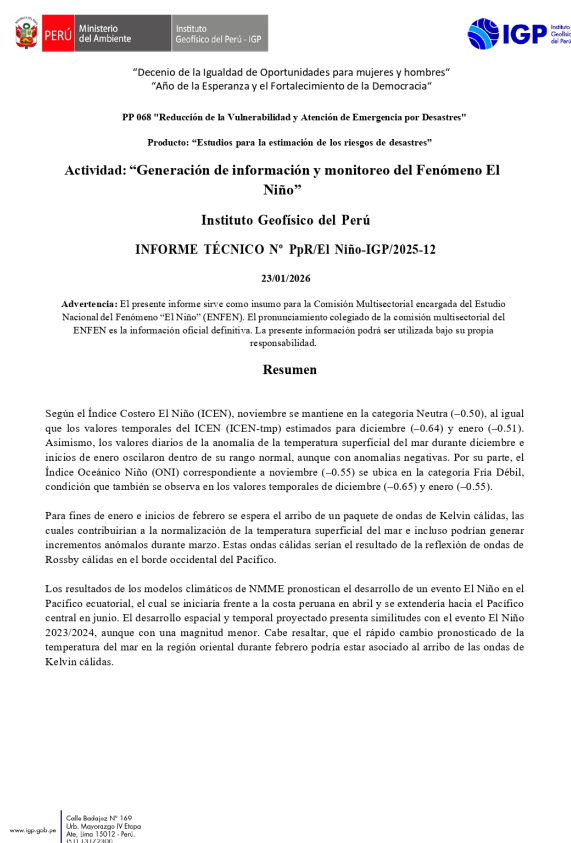
RESUMEN INFORME TÉCNICO

n.º PPR/EL NIÑO-IGP/2025-12

Publicado el 23 de enero del 2026

Según el Índice Costero El Niño (ICEN), noviembre se mantiene en la categoría Neutra (-0.50), al igual que los valores temporales del ICEN (ICEN-tmp) estimados para diciembre (-0.64) y enero (-0.51). Asimismo, los valores diarios de la anomalía de la temperatura superficial del mar durante diciembre e inicios de enero oscilaron dentro de su rango normal, aunque con anomalías negativas. Por su parte, el Índice Oceánico Niño (ONI) correspondiente a noviembre (-0.55) se ubica en la categoría Fría Débil, condición que también se observa en los valores temporales de diciembre (-0.65) y enero (-0.55). Para fines de enero e inicios de febrero se espera el arribo de un paquete de ondas de Kelvin cálidas, las cuales contribuirían a la normalización de la temperatura superficial del mar e incluso podrían generar incrementos anómalos durante marzo. Estas ondas cálidas serían el resultado de la reflexión de ondas de Rossby cálidas en el borde occidental del Pacífico. Los resultados de los modelos climáticos de NMME pronostican el desarrollo de un evento El Niño en el Pacífico ecuatorial, el cual se iniciaría frente a la costa peruana en abril y se extendería hacia el Pacífico central en junio. El desarrollo espacial y temporal proyectado presenta similitudes con el evento El Niño 2023/2024, aunque con una magnitud menor. Cabe resaltar, que el rápido cambio pronosticado de la temperatura del mar en la región oriental durante febrero podría estar asociado al arribo de las ondas de Kelvin cálidas.

El informe técnico completo se encuentra disponible en:
<http://hdl.handle.net/20.500.12816/5801>



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 01 – 2026



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: **Vigilancia de El Niño Costero¹**

Publicado el 16 de enero de 2026

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, considera que, a partir de abril de 2026, las condiciones cálidas débiles son las más probables, persistiendo al menos hasta octubre de 2026, lo cual configuraría el desarrollo de un evento de El Niño Costero de magnitud débil, por lo pronto. En ese contexto, la comisión ENFEN cambia el Estado del Sistema de Alerta ante El Niño Costero/La Niña Costera de "No Activo" a "Vigilancia de El Niño Costero". Cabe resaltar que marzo sería el mes de transición a condiciones cálidas.

Por otro lado, en el Pacífico central (región Niño 3.4, Figura 1), es más probable una condición neutra desde enero hasta mayo de 2026 (Figura 2). A partir de junio y al menos hasta octubre de 2026, las condiciones cálidas débiles pasarían a ser las más probables.

Para el trimestre enero – marzo 2026, se esperan en

promedio, precipitaciones dentro de los rangos normales en la costa norte y en la vertiente occidental andina norte; no obstante, durante el mes de marzo se prevé condiciones de normales a superiores en la costa norte. En cuanto al pronóstico hidrológico, se prevé que en los ríos de la Vertiente Hidrográfica del Pacífico predominen caudales normales sin descartar eventos de crecidas repentinas.

En cuanto a los recursos pesqueros, se prevé que, para las próximas semanas, la anchoveta del stock norte-centro presente una distribución dentro de las 30 millas de la costa, principalmente al norte del Callao. Respecto a los recursos transzonales, se espera la disponibilidad de jurel, caballa, bonito y perico en el litoral peruano acorde con su estacionalidad.

Se recomienda a los tomadores de decisiones adoptar medidas correspondientes a la prevención, preparación y reducción del riesgo de desastres. Asimismo, se sugiere dar seguimiento constante a los avisos meteorológicos y pronósticos estacionales, para

¹ Vigilancia de El Niño Costero: De acuerdo al análisis predictivo de las condiciones oceánicas y atmosféricas observadas y de los modelos climáticos, se activa la vigilancia cuando el pronóstico probabilístico mensual del ICEN indica que, dentro del horizonte de pronóstico del ENFEN, existe una probabilidad superior al 50 % de que se presenten condiciones cálidas, siempre que el análisis integrado evidencie señales claras y sostenidas hacia dicho escenario, independientemente del plazo exacto de anticipación (Nota Técnica ENFEN 01-2026; <https://enfen.imarpe.gob.pe/download/nota-tecnica-%20enfen-01-2026-sistema-de-alerta-ante-el-nino-y-la-nina-costera/>)

² Condición de "cálida débil" es cuando el 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-enfen-01-2024-definicion-operacional-de-los-eventos-el-nino-costero-y-la-nina-co-stera-en-elperu/?wpdmdl=1905&refresh=691b0d3c0f0f51763380540>).

³ 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/nota-tecnica-enfen-01-2024-definicionoperacional-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).

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 viernes 30 de enero de 2026.

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

<https://enfen.imarpe.gob.pe/download/comunicado-oficial-enfen-n-01-2026/>

INSTITUCIONES MIEMBROS DEL ENFEN



⁴ <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02262SENA-67.pdf>
⁵ <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02694SENA-65.pdf>
⁶ <https://www.senamhi.gob.pe/?p=aviso-meteorologico>
⁷ <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-climatico&pro=trimestral>



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