



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



BICENTENARIO
PERÚ 2021



BOLETÍN CIENTÍFICO EL NIÑO

Multi-instrumentación
para la estimación
de la intensidad de
lluvia en los Andes
centrales de Perú

Pág. 5

Modelo estadístico
para el pronóstico de
índices climáticos
asociados a lluvias
en Perú

Pág. 14

Resumen del informe
técnico de El Niño

Pág. 21

Resumen del
Comunicado ENFEN

Pág. 22



IGP

Instituto
Geofísico
del Perú

Fabiola Muñoz Dodero

Ministra del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú:

Hernando Tavera Huarache

Presidente Ejecutivo

Danny Scipión Castillo

Director Científico

Yamina Silva Vidal

Directora

Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera

Equipo editorial:

James Apaéstegui Campos

Kobi Mosquera Vásquez

Katherine Morón Rodríguez

Diseño y diagramación

Unidad Funcional de Comunicaciones

Carátula: disdrómetro óptico PARSIVEL2 en el Observatorio de Huancayo

Foto: IGP

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 2022

EDITORIAL

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), institución pública adscrita al Ministerio del Ambiente, tiene por finalidad generar, utilizar y transferir conocimientos e información científica y tecnológica en el campo de la geofísica y ciencias afines. El IGP forma parte de la comunidad científica internacional y contribuye a la gestión del riesgo de desastres en el Perú, con énfasis en la prevención y mitigación de desastres naturales y de origen antrópico.

El IGP, a través del Programa de Investigación en Variabilidad y Cambio Climático, genera conocimiento científico sobre los componentes del sistema climático (atmósfera, océano, suelo, biósfera y criósfera) y la interacción entre ellos. El Niño - Oscilación del Sur es uno de los principales modos de variabilidad, el cual es objeto de estudio en el programa de investigación, debido a la alta vulnerabilidad del Perú y los impactos negativos asociados.

Desde el 2014, el IGP y otras instituciones integrantes de la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño" (ENFEN) participan en el Programa Presupuestal 068: "Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres"- PREVAED, contribuyendo con el producto denominado "Estudios para la estimación del riesgo de desastres". El IGP realiza la síntesis y evaluación de los pronósticos de modelos climáticos internacionales, el desarrollo y validación de nuevos modelos, además de otros estudios que fortalecen en forma continua la capacidad de monitoreo y pronóstico de El Niño en el Perú.

Con el fin de divulgar el conocimiento científico, el Instituto Geofísico del Perú presenta periódicamente sus investigaciones y avances en temas de variabilidad y cambio climático, a través de su Boletín Científico "El Niño", tratando de presentar la información con un lenguaje sencillo y sintetizando los aspectos más relevantes de dichas investigaciones. El objetivo es que las autoridades y técnicos especialistas en la gestión del riesgo de desastres (GRD) pertenecientes a los tres niveles de gobierno, así como el público en general interesado, puedan tener como fuente de conocimiento a los materiales de investigación que el IGP genera.

El presente ejemplar suma dos artículos de investigación. El primero, titulado "Multi-instrumentación para la estimación de la intensidad de lluvia en los Andes centrales de Perú", presenta la evaluación de los equipos del Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación - LAMAR del IGP en la determinación de características de las lluvias en los Andes centrales. Entre los equipos estudiados se mencionan: un disdrómetro PARSIVEL2, un radar perfilador en banda Ka MIRA-35c, un perfilador de vientos y lluvias en UHF (CLAIRE), un perfilador en vientos de VHF (BLTR) y pluviómetros tradicionales.



EDITORIAL

En el segundo artículo, titulado “Modelo estadístico para el pronóstico de índices climáticos asociados a lluvias en Perú”, se presentan dos modelos estadísticos de pronóstico para los índices ICEN (Índice Costero El Niño) y ONI (Índice Niño Océanico). Usando información del período 1975-2018, el trabajo muestra los errores de estimación considerados por cada modelo. En ambos casos, los modelos pronostican que el evento La Niña se mantendrá durante gran parte del verano austral 2020-2021.

En este boletín se presenta también el resumen del informe técnico de El Niño, documento que forma parte de los compromisos asumidos por el IGP en el marco del PPR 068. En esta edición el informe indica que en la actualidad se observan condiciones neutras tanto para la región frente a la costa peruana como para el Pacífico central. Los modelos muestran una condición fría débil a partir de agosto de 2020 y que se extendería hasta enero de 2021. Esto se traduce en el desarrollo de un evento La Niña.

Al final de este boletín también se incluye el resumen del Comunicado Oficial del ENFEN, indicando que se mantiene el sistema de alerta en “No Activo”, debido a que se observan, en promedio, condiciones oceánicas-atmosféricas alrededor de lo normal frente a la costa peruana y altas probabilidades que sostienen las condiciones neutras presentadas. Es importante advertir que, en caso de existir discrepancias con el informe técnico de El Niño emitido por el IGP, prevalecerá lo establecido en el Comunicado Oficial del ENFEN.



DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

MULTI-INSTRUMENTACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE LA INTENSIDAD DE LLUVIA EN LOS ANDES CENTRALES DE PERÚ

Jairo Valdivia Prado¹, Danny Scipión¹, Marco Milla¹ y Yamina Silva¹

RESUMEN

En la literatura científica los mecanismos de formación de nubes y lluvias en los Andes del Perú son poco documentados. A principios del 2014, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) decidió intensificar los estudios en los Andes centrales para un mejor entendimiento de la microfísica de las nubes y lluvias. A fines del 2015, con la instalación del radar perfilador de nubes y precipitación que opera en la banda Ka (MIRA-35c), el Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR) empezó oficialmente sus operaciones en el Observatorio de Huancayo del IGP. En este trabajo, se usan datos del radar MIRA-35c, el perfilador de vientos y lluvias en la banda UHF, denominado CLAIRE (Clear-Air and Rainfall Estimation), y el perfilador de vientos en la banda VHF, denominado BLTR (Boundary Layer Tropospheric Radar) para estimar la intensidad de lluvia. Se evaluó, para el área de estudio (Andes centrales, 3314 m s. n. m.), la dependencia del diámetro de las gotas y su velocidad terminal, con la altura. Las estimaciones de la intensidad de la lluvia son validadas con mediciones en superficie a través de un disdrómetro (PARSIVEL2) y dos pluviómetros. Los errores en los totales de lluvia acumulada para el PARSIVEL2, MIRA-35c y CLAIRE fueron de 18 %, 23 % y -32 %, respectivamente, y sus respectivos errores absolutos fueron de 19 %, 36 %, y 63 %. Estos resultados sugieren que es necesaria la corrección de los datos de los radares MIRA-35c y CLAIRE para una mejor estimación de la precipitación. También se encontró que la corrección aplicada al cálculo de la velocidad terminal de las gotas, mediante la separación de la velocidad vertical del viento, y que luego es usada en la estimación del diámetro de la gota no resultó adecuada, especialmente en condiciones de lluvias convectivas.

El artículo científico original se encuentra en: <https://doi.org/10.1175/jtech-d-19-0105.1>

Palabras clave: Radar perfilador de nubes, Perfilador de vientos, Análisis espectral, modelos y distribución de gotas.

AFILIACIÓN:

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

Citar como: Valdivia, J., Scipión, D., Milla, M., Silva, Y. (2020). Multi-instrumentación para la estimación de la intensidad de lluvia en los Andes centrales de Perú. *Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 7 N.º 07. pág. 5-13.*

INTRODUCCIÓN

En el año 2005 Martínez et al. (2005) determinaron que los peligros de origen hidrometeorológico se han hecho más frecuentes en el Perú. Hay interés científico y político en entender dichos eventos debido a su impacto social y económico. La compleja topografía de los Andes, que cubre gran parte del territorio peruano, hace difícil la estimación, con precisión, de las cantidades de precipitación por medio de datos satelitales (Mantas et al., 2015; Manz et al., 2016; Scheel et al., 2011). Por otro lado, los modelos atmosféricos aún no son capaces de representar adecuadamente la precipitación sobre una topografía compleja (Moya-Álvarez et al., 2019).

Los radares perfiladores obtienen información de la columna atmosférica, incluso si no proporcionan una distribución espacial, estos pueden claramente mostrar la evolución de la precipitación. La señal de los radares perfiladores de viento son usualmente sensibles a ecos de aire claro y, dependiendo de la frecuencia de operación, también a hidrometeoros (p. ej. McDonald et al., 2004; Ralph, 1995). En tal caso, el procesamiento de la información obtenida de un perfil de aire claro, también llamada como ecos de aire claro, puede generar errores en la estimación del viento. Debido a ello, se requiere un análisis más cuidadoso en el dominio de los espectros para separar la señal producida por los hidrometeoros y los ecos de aire claro (Williams, 2002).

En aplicaciones típicas de un radar meteorológico, la reflectividad (Z) es convertida a intensidad de lluvia usando una relación de ley potencial en la forma de $R=aZ^b$. El error de la relación $Z - R$, depende de las incertidumbres de la medición de reflectividad y de la determinación empírica de los coeficientes a y b . Diferentes tipos de hidrometeoros y diferentes sistemas de precipitación requieren su propia relación. La relación de ley potencial real depende de la distribución del tamaño de gotas (DSD, por sus siglas en inglés). La ventaja de usar radares perfiladores es que el espectro Doppler puede ser transformado en DSD a través de la velocidad de caída de las gotas.

En este estudio se evaluó la relación entre el tamaño de gotas, su velocidad de caída y su variación con respecto a la altitud. Considerando que a mayor altitud el aire es menos denso, este estudio hace estas evaluaciones sobre los 3314 m s. n. m., específicamente en los Andes centrales del Perú. Para esto se utilizaron múltiples instrumentos con el objetivo de evaluar sus ventajas y desventajas para estimar la intensidad de lluvia. Se analizó el desempeño de los radares para estimar la lluvia, y se utilizó la combinación de las observaciones de los mismos (en aire claro y precipitación) para reducir las incertidumbres generadas por la relación de diámetro de gota y la velocidad de caída. Estos resultados son presentados extensamente en Valdivia et al. (2020).



INSTRUMENTACIÓN

Los instrumentos utilizados en este trabajo son los radares: CLAIRE (del inglés: CLear-AIrr and Rainfall Estimation), MIRA 35c, BLTR (del inglés: Boundary Layer Tropospheric Radar) y el disdrómetro PARSIVEL2 (Figura 1). Además, para el análisis se incluyeron dos pluviómetros automáticos de balancín. Las características y configuraciones de los radares utilizados en este trabajo se muestran en la Tabla 1.

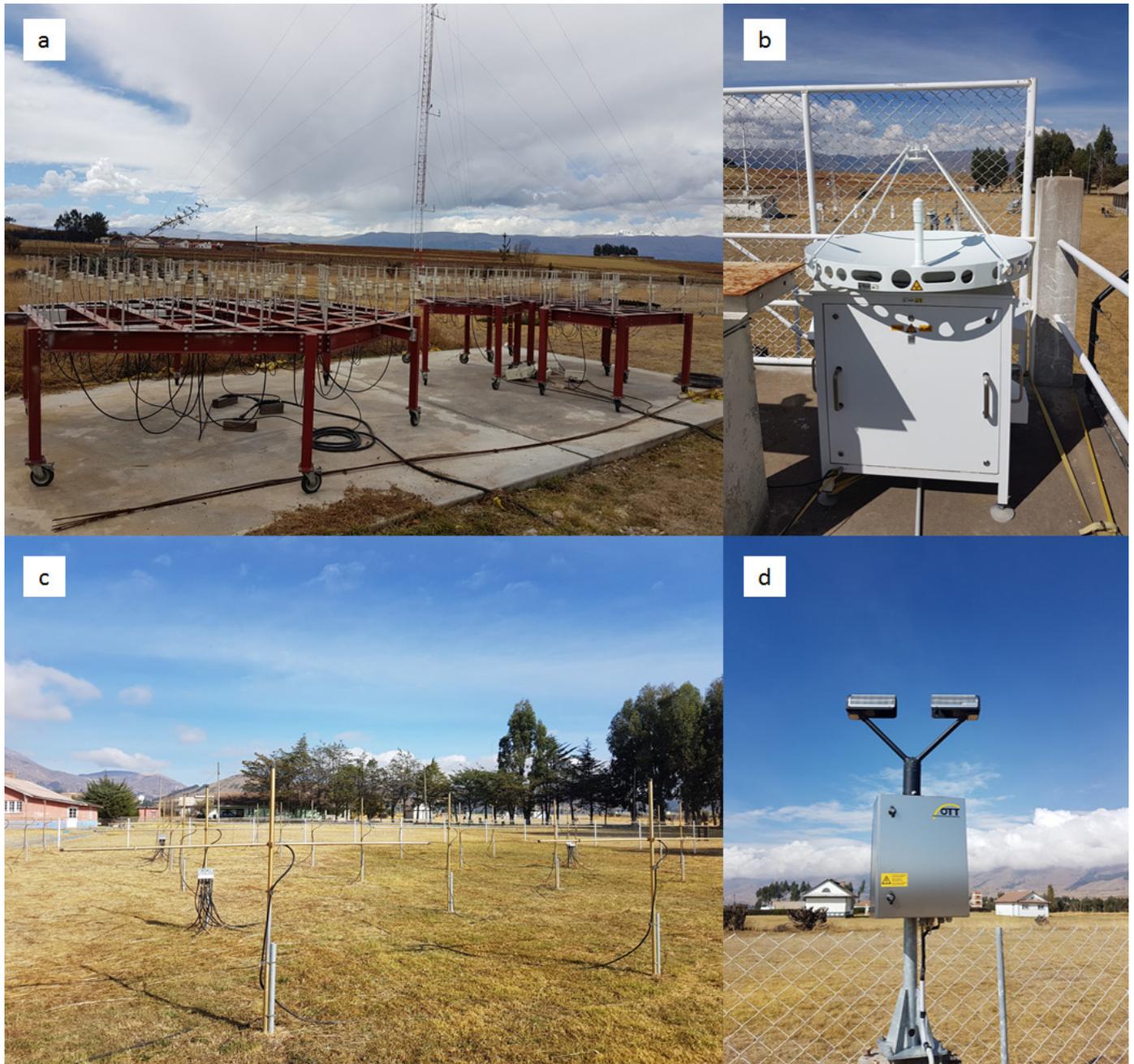


Figura 1. Instrumentación del “Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación” (LAMAR) usada en el presente trabajo: (a) radar de estimación de aire-claro y lluvias (CLAIRE, por sus siglas en inglés), (b) radar perfilador de nubes y precipitaciones (MIRA-35c), (c) radar de tropósfera y capa límite (BLTR), y (d) disdrómetro óptico PARSIVEL2.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de los radares perfiladores

Especificación	MIRA-35c	CLAIRE	BLTR
Frecuencia	34.85 GHz	445 MHz	49.92 MHz
Potencia de transmisión	Magnetrón 2.5 kW	Estado sólido 5 kW	Estado sólido 30kW
Antena	Cassegrain 1m de diámetro	Arreglo en fase (1 Tx, 3 Rx)	Arreglo en fase (3 Rx)
Ancho de haz	0.6°	9.46°	19.79°
N° de rangos	415	67	132
Resolución de rango	31 m	75 m	75 m
Rango	0.15-13 km	0.53-6 km	0.22-10 km
Velocidad Nyquist	10.34 m/s	10.34 m/s	10.34 m/s
N° puntos espectrales	128	256	256
Resolución espectral	16.16 cm/s	10.97 cm/s	9.17 cm/s
Resolución temporal	5.6 s	23.0 s	32.8 s

METODOLOGÍA

La metodología utilizada en este estudio se basa en el análisis del espectro Doppler de las señales del radar, el cual, es usado para estimar la reflectividad y la velocidad radial. El objetivo es discriminar los ecos en aire claro y de los hidrometeoros a partir del espectro medido. El diagrama de flujo para el cálculo de la DSD y los parámetros integrales de lluvia son mostrados en la Figura 2.

Primero, los ecos de diferentes mecanismos de dispersión (*scattering*) son separados (para CLAIRE y BLTR), luego la velocidad de los hidrometeoros es corregida utilizando la velocidad real del viento, y, finalmente, la DSD y los parámetros de lluvia son calculados (Maahn & Kollias, 2012; Peters et al., 2005, 2010). Tanto los algoritmos como las ecuaciones utilizadas para el cálculo de los diferentes parámetros han sido descritos por Valdivia et al. (2020).

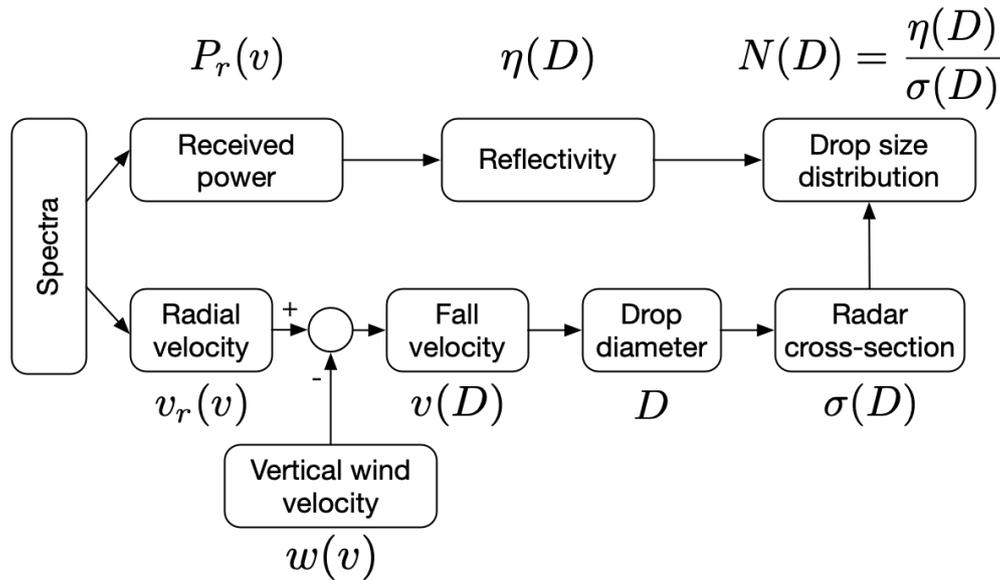


Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología seguida para estimar la distribución del tamaño de gotas (DSD) a partir del espectro Doppler del radar. Los diferentes pasos involucran discriminación de los ecos entre la velocidad vertical del viento y velocidad de caída de las gotas. El procedimiento es aplicado a la señal que retorna del MIRA-35c y CLAIRE.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El primer paso en este trabajo es validar la relación entre el tamaño de las gotas (D) y la velocidad de caída de las gotas de lluvia (w_f).

Los datos originalmente presentados por Gunn y Kinzer (1949) fueron realizados para partículas al nivel del mar. Sin embargo, el cambio de la densidad del aire, considerando la altitud de nuestra zona de estudio (3314 m s. n. m.), tiene una influencia considerable en la velocidad terminal de las gotas. La corrección de la velocidad por la densidad del aire presentada por Atlas et al. (1973) asume una atmósfera estándar en EE.UU. y podría no ser representativa para las condiciones observadas en los Andes centrales peruanos.

La relación $w_f - D$ medida por el PARSIVEL2, para cada uno de los 27 eventos considerados en el periodo de estudio, es presentada en la Figura 3. Teóricamente, la influencia de la densidad del aire predice un incremento de 15 % en la velocidad terminal de las gotas con respecto al nivel del mar. El 15 % representa aproximadamente 1.5 m/s para gotas más grandes que 4 mm. El error estándar promedio para gotas menores a 1 mm es 0.5 m/s. Para gotas entre 1 y 2 mm, el error se incrementa linealmente de 0.5 a 1 m/s y permanece constante hasta los 3 mm. Entre 3 y 6 mm, el error estándar puede ser tan grande como 1.5 m/s. Gotas mayores a 6 mm son escasas y no son estadísticamente representativas.

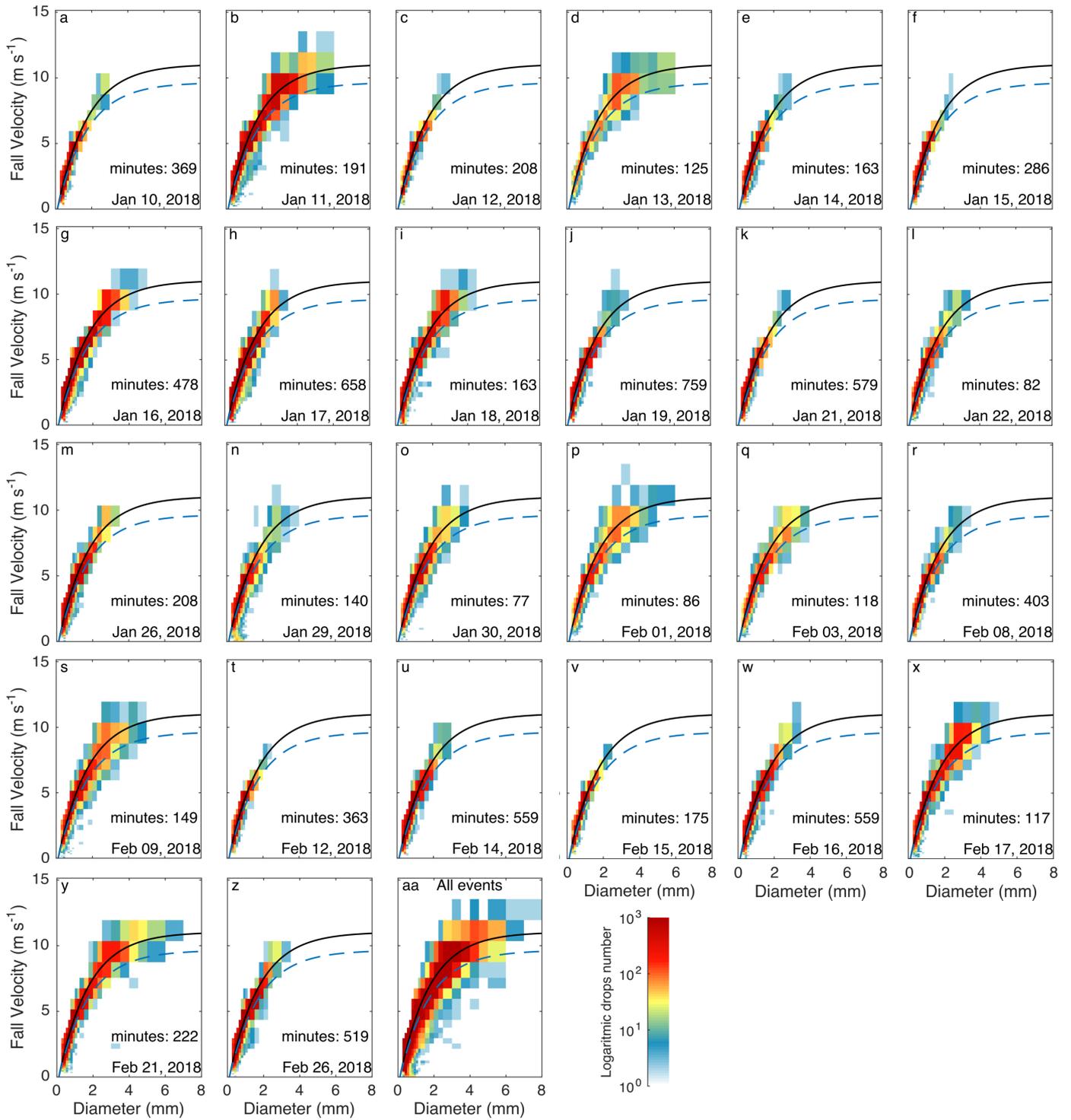


Figura 3. (a)-(z) Velocidad terminal en función del diámetro observado por el PARSIVEL2 para cada uno de los eventos estudiados. Todos los datos colectados son mostrados en (aa). La relación teórica de la velocidad de caída calculada a 3314 m s. n., es mostrada como una línea negra, mientras que el cálculo a nivel del mar en línea discontinua azul. La velocidad terminal de caída de las gotas sobre el Observatorio de Huancayo es aproximadamente 15 % más rápida en comparación a las que caen al nivel del mar.

Las comparaciones de DSD se realizaron utilizando las alturas disponibles más cercanas a la superficie, las cuales son 250 m para MIRA-35c y 750 m para CLAIRE. Existen grandes diferencias para gotas menores a 0.5 mm; PARSIVEL2 muestra una reducción en la concentración de gotas, mientras que los radares muestran un incremento. Se observa mejor concordancia para concentraciones de gotas con tamaños intermedios, diámetro entre 1 y 3 mm.

Lo más notable en la comparación de DSD con los diferentes instrumentos, es que el MIRA-35c presenta una “moda artificial” en el rango de 4 a 5 mm, la cual es causada por el efecto de la velocidad vertical del viento. A 35 GHz la dispersión de Mie empieza a diferir marcadamente de la dispersión de Rayleigh para gotas de 1 mm de diámetro, y entre los 4 y 5 mm la sección transversal de retrodispersión es drásticamente reducida, para luego incrementarse nuevamente. El incremento artificial del número de gotas de diámetro entre 4 y 5 mm, resulta de las gotas arrastradas por corrientes de viento ascendentes y descendentes. Debido a que las primeras mediciones (a alturas más cercanas a la superficie) no son las mismas, la corrección de velocidades no se realizó para alturas menores a 500 m. La comparación de la DSD, a la misma altura, indica que la “moda artificial” no fue mitigada por la corrección de la velocidad del viento. La moda entre 4 y 5 mm en las mediciones de MIRA-35c es menos pronunciada y hay una ligera mejora en la concentración de gotas grandes.

Estos resultados son especialmente interesantes porque muestran que la separación de vientos y la velocidad terminal de gotas no es suficiente para estimar correctamente el diámetro de las gotas, especialmente en condiciones de lluvias convectivas.

Los errores (bias) entre ambos pluviómetros (Figura 4a) fue de 1 % y el error absoluto fue de 13 %, lo que indica un alto nivel de concordancia entre ellos. PARSIVEL2 tuvo 18 % de error con respecto al pluviómetro de referencia (Figura 4b) y un error absoluto de 19 %. MIRA-35c tiene un error de 23 % y un error absoluto de 36 % (Figura 4c). CLAIRE tuvo un error de -32 % y un error absoluto de 63 % (Figura 4d).

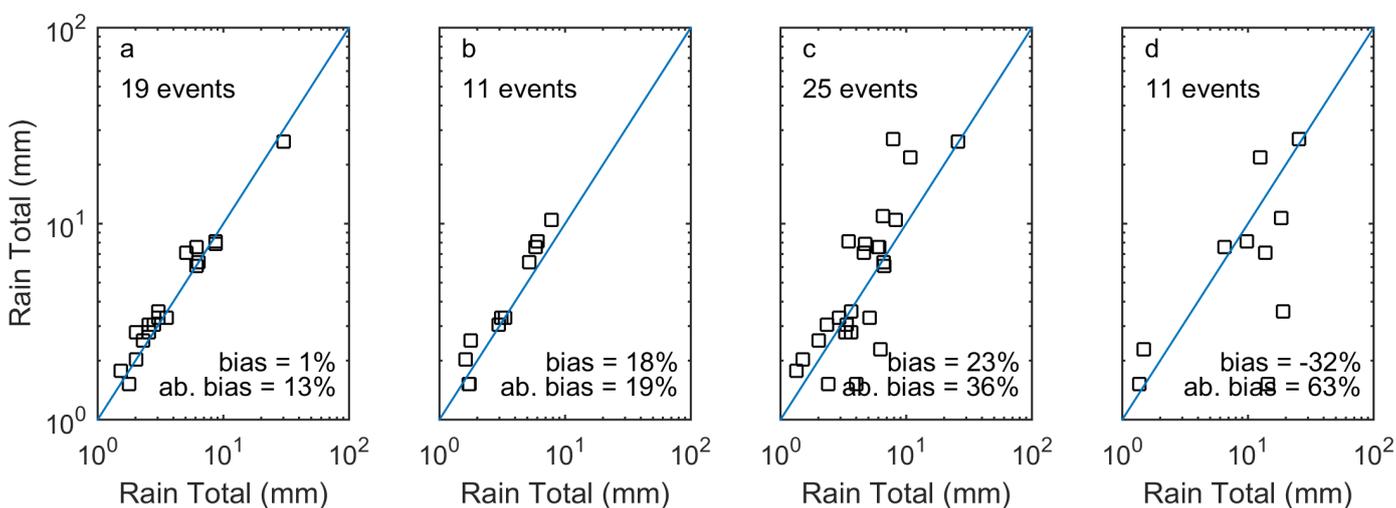


Figura 4. Comparación de los acumulados totales en eventos de lluvias, (a) entre pluviómetro 1 y pluviómetro 2, (b) entre pluviómetro de referencia y PARSIVEL2, (c) entre pluviómetro de referencia y MIRA-35c, y (d) entre pluviómetro de referencia y CLAIRE. Los estimados se obtuvieron a alturas correspondientes a 2 m para el PARSIVEL2, 250 m para el MIRA-35c, y 750 m para CLAIRE.

CONCLUSIONES

En este trabajo se utilizan múltiples instrumentos para evaluar sus ventajas y desventajas en la estimación de precipitación. Los instrumentos considerados son: dos pluviómetros, un disdrómetro PARSIVEL2, un radar perfilador en banda Ka MIRA-35c, un perfilador de vientos y lluvias en UHF (CLAIRE), y un perfilador en vientos de VHF (BLTR). Basado en la experiencia de este trabajo, así como de estudios previos, se propone combinar las observaciones de radar para reducir la incertidumbre generada entre la relación del tamaño de gotas de lluvia y la velocidad de caída. Siendo que, dicha incertidumbre se trasmite hacia los errores de estimación de las precipitaciones.

Las observaciones realizadas con el PARSIVEL2 indican que la relación teórica de velocidad de caída se ajusta lo suficientemente bien, con errores estándar desde 0.5 m/s para las gotas más pequeñas hasta 1.5 m/s para gotas menores a 6 mm. El radar MIRA-35c genera una "moda artificial" entre los diámetros de 4 y 5 mm, generada por la caída en la primera sección transversal de retrodispersión a 35 GHz; la corrección de velocidad del viento realizada con el BLTR no es suficiente para reducir dicho error.

Los resultados muestran que la corrección de la velocidad de caída de gotas realizada con la actual configuración de los radares, no es suficiente para estimar apropiadamente el diámetro de las gotas, especialmente para lluvias convectivas.

Los principales errores de la metodología radican en asumir que el efecto de turbulencia es despreciable; además, hay considerables diferencias en la resolución temporal y el volumen de muestreo de los radares. Una óptima corrección de la velocidad de caída de las gotas requeriría los mismos volúmenes de resolución y la misma resolución temporal entre los radares.

Por el momento, estudios de estimación cuantitativa de la precipitación no son recomendables con estos radares, especialmente en estudios de largo plazo. Lo que no descarta la utilidad de los radares para estudios de microfísica y estudios de microescala.



REFERENCIAS

- Atlas, D., Srivastava, R. C., & Sekhon, R. S. (1973). Doppler radar characteristics of precipitation at vertical incidence. *Reviews of Geophysics*, 11(1), 1. <https://doi.org/10.1029/RG011i001p00001>
- Gunn, R., & Kinzer, G. D. (1949). The terminal velocity of fall for water droplets in stagnant air. *Journal of Meteorology*, 6(4), 243–248. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1949\)006<0243:tvoff>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1949)006<0243:tvoff>2.0.co;2)
- Maahn, M., & Kollias, P. (2012). Improved Micro Rain Radar snow measurements using Doppler spectra post-processing. *Atmospheric Measurement Techniques*, 5(11), 2661–2673. <https://doi.org/10.5194/amt-5-2661-2012>
- Mantas, V. M., Liu, Z., Caro, C., & Pereira, A. J. S. C. (2015). Validation of TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA) products in the Peruvian Andes. *Atmospheric Research*, 163, 132–145. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.11.012>
- Manz, B., Sahlu, D., Berne, A., Vergara, H. J., Boudevillain, B., Buytaert, W., Hong, Y., Salerno, F., Derin, Y., Lavado-Casimiro, W., Yilmaz, K. K., Delrieu, G., Moges, S., Borga, M., Nikolopoulos, E. I., Chang, C.-H., Rodríguez-Sánchez, J.-P., Hsu, Y. C., & Anagnostou, E. (2016). Multiregional Satellite Precipitation Products Evaluation over Complex Terrain. *Journal of Hydrometeorology*, 17(6), 1817–1836. <https://doi.org/10.1175/jhm-d-15-0197.1>
- Martínez, A., Silva Vidal, Y., & Takahashi, K. (2005). Vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático y medidas de adaptación en la Cuenca del río Mantaro: Volumen III. Instituto Geofísico del Perú.
- McDonald, A. J., Carey-Smith, T. K., Hooper, D. A., Fraser, G. J., & Lublow, B. P. (2004). The effect of precipitation on wind profiler clear air returns. *Annales Geophysicae*, 22(11), 3959–3970. <https://doi.org/10.5194/angeo-22-3959-2004>
- 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 and Applied Climatology*, 1992. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02782-3>
- Peters, G., Fischer, B., & Clemens, M. (2010). Rain attenuation of radar echoes considering finite-range resolution and using drop size distributions. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 27(5), 829–842.
- Peters, G., Fischer, B., Münster, H., Clemens, M., & Wagner, A. (2005). Profiles of Raindrop Size Distributions as Retrieved by Microrain Radars. *Journal of Applied Meteorology*, 44(12), 1930–1949. <https://doi.org/10.1175/JAM2316.1>
- Ralph, F. M. (1995). Using radar-measured radial vertical velocities to distinguish precipitation scattering from clear-air scattering. In *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* (Vol. 12, pp. 257–267). [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(1995\)012<0257:URMRV>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(1995)012<0257:URMRV>2.0.CO;2)
- Scheel, M. L. M., Rohrer, M., Huggel, C., Santos Villar, D., Silvestre, E., & Huffman, G. J. (2011). Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) performance in the Central Andes region and its dependency on spatial and temporal resolution. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 7(5), 8545–8586. <https://doi.org/10.5194/hessd-7-8545-2010>
- Valdivia, J. M., Scipión, D. E., Milla, M., & Silva, Y. (2020). Multi-Instrument Rainfall-Rate Estimation in the Peruvian Central Andes. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 37(10), 1811–1826. <https://doi.org/10.1175/jtech-d-19-0105.1>
- Williams, C. R. (2002). Simultaneous ambient air motion and raindrop size distributions retrieved from UHF vertical incident profiler observations. *Radio Science*, 37(2), 8-1-8–16. <https://doi.org/10.1029/2000RS002603>

AVANCE DE INVESTIGACIÓN

MODELO ESTADÍSTICO PARA EL PRONÓSTICO DE ÍNDICES CLIMÁTICOS ASOCIADOS A LLUVIAS EN PERÚ

Aldo Moya Álvarez¹

RESUMEN

Se muestran dos modelos estadísticos de pronóstico, uno para el Índice Costero El Niño (ICEN) y el otro para el Índice Niño Oceánico (ONI, por sus siglas en inglés), los que se enfocan para la temporada de Lluvias en Perú, usando datos del período 1975-2016. Como resultado, se obtuvieron dos modelos con versiones a inicializar en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre. Los predictores más informativos para los primeros 2-3 meses de pronóstico fueron el comportamiento de los propios índices en meses anteriores, la profundidad de la isoterma de 20 °C y los vientos zonales en superficie.

Los índices climáticos juegan un papel más importante en plazos más largos. Para el ICEN, los vientos zonales resultaron más informativos en el Pacífico este; mientras que, para el ONI, los vientos zonales en el Pacífico oeste. Los coeficientes de correlación (R) de las ecuaciones de pronóstico resultaron más altos, y con valores bajos del error medio absoluto, para el ONI. Sin embargo, en la verificación realizada con el período independiente 2017-2018, el modelo del ICEN mostró mejor resultado. En general, en ambos casos los modelos describieron correctamente la tendencia observada de cada índice. Para ambos índices los modelos pronostican que durante gran parte del verano austral 2020-2021 se mantendrá un evento La Niña.

Palabras clave: Modelo estadístico, regresión multivariada, El Niño, ONI, ICEN.

AFILIACIÓN:

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

Citar como: Moya, A. (2020). Modelo estadístico para el pronóstico de índices climáticos asociados a lluvias en Perú. Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 7 N.º 07. pág. 14-20.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se han realizado numerosos estudios sobre la interacción océano-atmósfera en el océano Pacífico sur y su relación con las precipitaciones a lo largo de la costa occidental de Sudamérica. Una de las variables que forma parte de esta evaluación es la Temperatura Superficial del Mar (TSM), cuyas anomalías determinan el estado de El Niño–Oscilación del Sur (ENOS), ya sea en su fase positiva (El Niño) o negativa (La Niña) (Trenberth y Caron, 2000). El Niño, asociado a las anomalías positivas de la TSM ha sido bastante estudiado, aunque en la actualidad no existe total correspondencia con la idea inicial del fenómeno El Niño (Rasmusson y Carpenter, 1982; Trenberth y Stepaniak, 2001).

El Niño juega un papel importante en el comportamiento de los patrones de lluvias a nivel global (Rasmusson, 1985). Algunos investigadores (Ropelewski y Halpert, 1987; Aceituno, 1988; Rao y Hada, 1990; Grimm, 2003, 2004) también se han enfocado en documentar el impacto del ENOS sobre la precipitación mensual y estacional en Sudamérica (SA). En Perú se han desarrollado disímiles investigaciones relativas a El Niño y sus relaciones con la precipitación (Takahashi, 2004; Lagos et al., 2007 y Silva et al., 2008). Recientemente, Takahashi et al. (2011) publicó una reinterpretación de los eventos El Niño canónico y Modoki. Por ello, es necesario contar con un pronóstico de los eventos El Niño o La Niña, sobre todo para el período de lluvias en el Perú.

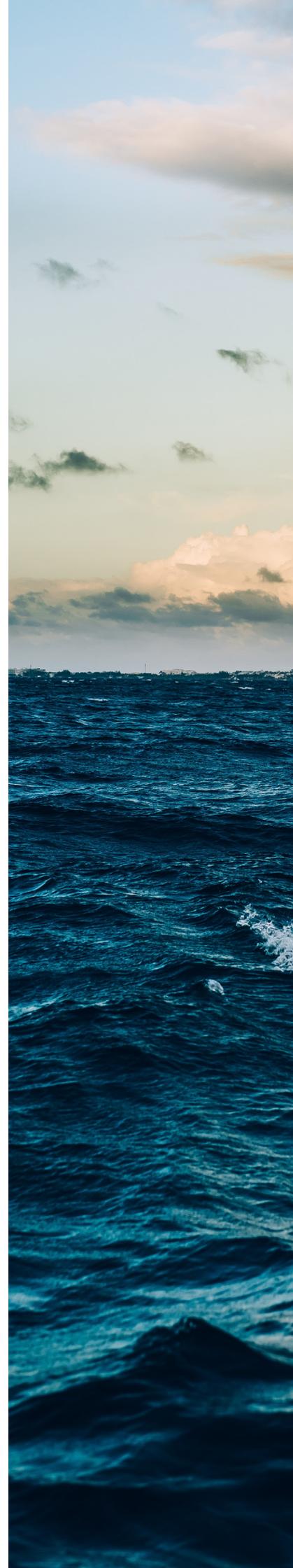
A nivel global, las predicciones de El Niño se enmarcan a partir del pronóstico del “Índice Niño Oceánico” (ONI, por sus siglas en inglés), que es el promedio móvil de tres meses de las anomalías de la TSM estimadas a partir del producto ERSST.v5 SST en la región Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W). Recientemente, con el propósito de contar con un índice más relevante para la costa peruana, se estableció el Índice Costero El Niño (ICEN), en el marco del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) (Takahashi et al., 2014), basado en la TSM de la región Niño 1+2 (0°-10°S, 90°-80°W).

DATOS Y METODOLOGÍA

El modelo estadístico se desarrolló usando una regresión lineal multivariada mediante la técnica de Perfect – Prog (pronóstico perfecto) en la que los predictores son solamente datos observados.

VARIABLES A PRONOSTICAR (PREDICTANDOS)

Los predictandos para este trabajo son el ICEN y ONI. Se tomaron datos del ONI (1975-2018) del Centro de Predicción Climática (CPC, por sus siglas en inglés), perteneciente a la Agencia Nacional Atmosférica y Oceánica de los Estados Unidos (NOAA, por sus siglas en inglés) basados en ERSSTv5. Los datos del ICEN fueron calculados a partir de



las anomalías mensuales de la TSM en la zona Niño 1+2 obtenidos del CPC. El modelo se construyó con la serie de datos 1975-2016, mientras que los años 2017-2018 se usaron para la verificación como muestra independiente. Las variables independientes o predictores se muestran en la Tabla 1. En la columna "Predictando" se indican los modelos (ONI/ICEN) para los que los predictores resultaron informativos.

Tabla 1. Predictores utilizados para el desarrollo de los modelos.

Predictor	Abreviatura	Predictando
Valores del ICEN de períodos previos	ICEN	ICEN
Valores del ONI de períodos previos	ONI	ONI
Profundidad de la isoterma de 20 °C en la latitud 140 °W	P-20g	<u>ONI / ICEN</u>
Componente zonal del viento en el Pacífico ecuatorial oeste	U-WP	ONI
Componente zonal del viento en el Pacífico ecuatorial este	U-EP	ICEN
Componente meridional del viento ecuatorial cercano a la costa de SA	V-CP	---
Índice Pacífico Este/Oscilación del Pacífico Norte	EP/NP	
Índice del Pacífico Oeste	WP	<u>ONI / ICEN</u>
Índice de Oscilación del Sur	SOI	ONI
Oscilación del Atlántico Norte	NAO	ICEN
Oscilación del Atlántico	AO	---
Índice Tropical del Atlántico Sur	TSA	<u>ONI / ICEN</u>
Índice Tropical del Atlántico Norte	TNA	ONI
Oscilación multidecadal del Atlántico	AMO	---

RESULTADOS

Se obtuvieron ecuaciones de pronóstico para cada índice, partiendo desde el trimestre mayo-junio-julio (el modelo se inicializa en julio) del año en que se elabora el pronóstico hasta el trimestre marzo-abril-mayo del año siguiente. Se desarrollaron versiones a inicializar en julio, agosto, septiembre y octubre.

En este artículo se muestran los resultados de la inicialización del mes de octubre, cuyo pronóstico comienza en el trimestre agosto-septiembre-octubre.

En la Tabla 2 se muestran los coeficientes de correlación (R) y el error medio absoluto (MAE) de las ecuaciones de pronóstico para el ICEN, correspondiente a cada trimestre. Como se puede apreciar, hasta el mes de diciembre el "R" se mantuvo por encima de 0.9; mientras que en enero y febrero se lograron valores de "R" de 0.891 y 0.805 respectivamente. El valor del MAE se fue incrementando desde 0.09 para el mes de septiembre hasta 0.38 para febrero.

Tabla 2. Valores de R y MAE (°C) obtenidos para la versión del modelo ICEN a inicializar en octubre.

Indicador	ASO	SON	OND	NDE	DEF	EFM
R	0.995	0.983	0.964	0.942	0.891	0.805
MAE	0.09	0.15	0.22	0.28	0.34	0.38

En la Figura 1 se muestra la verificación realizada para el ICEN con el período 2017-2018 y el pronóstico para el período 2020-2021. Como se puede observar, para el período 2017-2018 el modelo reflejó correctamente un enfriamiento muy similar a los datos observados con un evento La Niña Costera, y el máximo valor negativo en diciembre. El pronóstico para el período 2020-2021 muestra que el evento La Niña Costera se mantendrá hasta diciembre, con un máximo negativo en octubre.

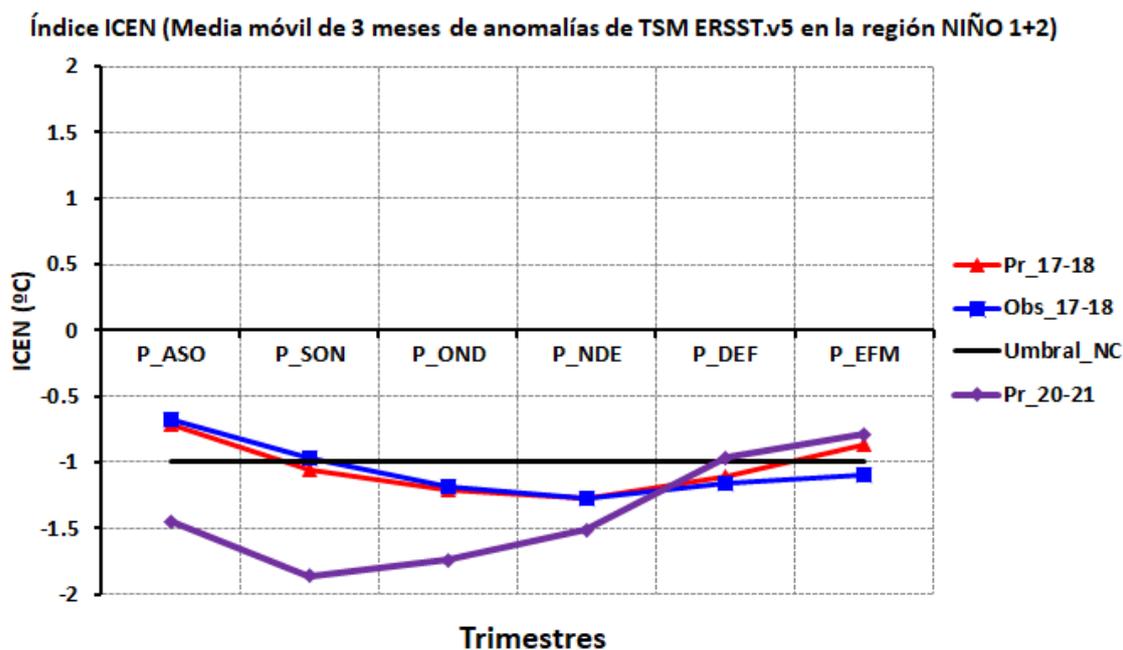


Figura 1. Pronóstico (Pr) y datos observados (Obs) del ICEN para el período comprendido entre los trimestres agosto-septiembre-octubre (ASO) de 2017 y enero-febrero-marzo (EFM) de 2018 y pronóstico para el mismo horizonte, correspondiente al período 2020 – 2021. Umbral NC se refiere a La Niña Costera.

La Tabla 3 muestra los valores de R y MAE de las ecuaciones de pronóstico del ONI, correspondientes a cada trimestre. Como se puede apreciar, los coeficientes R se mantuvieron por encima de 0.9 en todos los trimestres, a excepción del último trimestre MAM. El valor del MAE fue inferior a 0.3 °C en todos los casos.

Tabla 3. Valores de R y MAE (°C) obtenidos para la versión del modelo ONI a inicializar en octubre.

Indicador	ASO	SON	OND	NDE	DEF	EFM	FMA	MAM
R	0.995	0.984	0.970	0.956	0.945	0.935	0.924	0.890
MAE	0.08	0.12	0.21	0.26	0.28	0.27	0.23	0.20

En la Figura 2 se muestra la verificación realizada para el ONI en el período 2017-2018 y el pronóstico para el período 2020-2021. Como se puede observar, el modelo refleja correctamente la existencia de un enfriamiento, aunque menos marcado a lo ocurrido, según los datos observados. En ambos casos se muestra un evento La Niña, aunque el modelo lo extiende solo hasta enero, mientras la observación lo muestra hasta marzo. Para el período 2020-2021, el modelo sugiere algo similar y mantiene un evento La Niña prácticamente durante todo el verano austral, concretamente hasta febrero.

Índice ONI (Media móvil de 3 meses de anomalías de TSM ERSST.v5 en la región Niño 3.4)

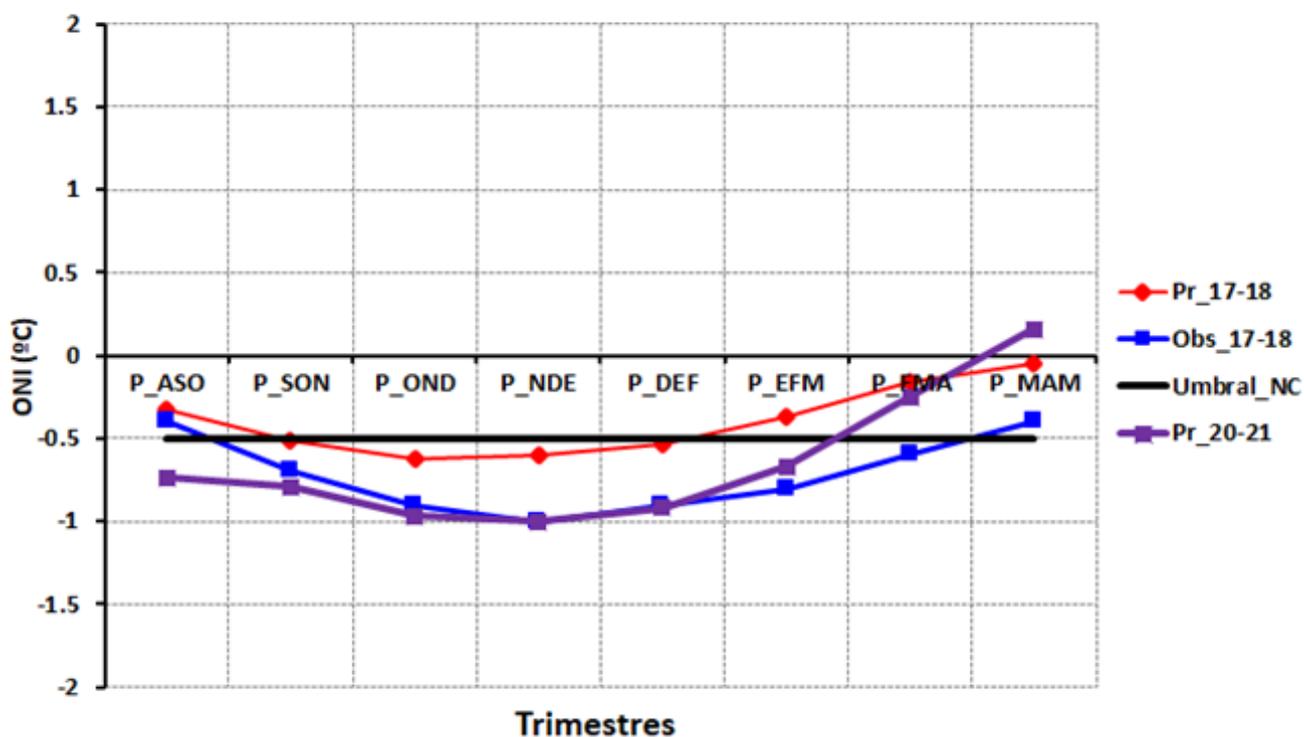


Figura 2. Pronóstico (Pr) y datos observados (Obs) del ONI para el período comprendido entre los trimestres agosto-septiembre-octubre (ASO) de 2017 y marzo-abril-mayo (MAM) de 2018 y pronóstico para el mismo horizonte, correspondiente al período 2020-2021 como condiciones de La Niña en el Pacífico central. Umbral NC se refiere a la Niña en el Pacífico central.

CONCLUSIONES

Se presentan dos modelos estadísticos de pronóstico para los índices ICEN y ONI. Se emplearon datos del período 1975-2018. Los modelos se construyeron con los datos del período 1975-2016 y se tomó el período 2017-2018 para verificación independiente.

Los resultados se muestran en forma de tablas y gráficos. Se han mostrado también los valores de los coeficientes "R" de las ecuaciones de pronóstico y los valores del Error Medio Absoluto (MAE) en cada caso.

- Los predictores más informativos para los primeros 2 a 3 meses de pronóstico fueron el comportamiento de los propios índices en meses anteriores, la profundidad de la isoterma de 20 °C y los vientos zonales.
- Para el índice ICEN resultaron más informativos los vientos zonales en el Pacífico este, mientras que para el índice ONI resultaron más informativos los vientos zonales en el Pacífico oeste.
- Los coeficientes "R" de las ecuaciones de pronóstico resultaron más altos para el índice ONI, al igual que el valor promedio del MAE; sin embargo, la verificación realizada con el período independiente 2017-2018, el modelo de ICEN mostró mejor resultado. En general para ambos casos el modelo describió correctamente la tendencia observada de cada índice.
- Ambos modelos pronostican que el evento La Niña se mantendrá durante gran parte del verano austral 2020-2021.



REFERENCIAS

- Aceituno, P. (1988). On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface climate. *Monthly Weather Review*, 116, 505–524.
- Grimm, A. M. (2003). The El Niño impact on summer monsoon in Brazil: Regional processes versus remote influences. *Journal of Climate*, 16, 263–280.
- Grimm, A. M. (2004). How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil. *Climate Dynamics*, 22, 123–138.
- Lagos, P., Silva, Y., Nickl, E. y Mosquera, K. (2008). El Niño–related precipitation variability in Perú. *Advances in Geosciences*, 14, 231–237.
- Rao, V. B. y Hada, K. (1990). Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the Southern Oscillation. *Theoretical and Applied Climatology*, 42, 81–90.
- Rasmusson (1985). El Niño and variations in climate. *Am. Sci.*, 73, 168–177.
- Ropelewski, C. F. y Halpert, M. S. (1987). Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño–Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 115, 1606–1626.
- Silva, Y., Takahashi, K. y Chávez, R. (2008). Dry and wet rainy seasons in the Mantaro river basin (Central Peruvian Andes). *Advances in Geosciences*, 14, 261–264.
- Takahashi, K. (2004). The atmospheric circulation associated with extreme rainfall events in Piura, Peru, during the 1997–1998 and 2002 El Niño events. *Annales Geophysicae*, 22, 3917–3926.
- Takahashi, K., Montecinos, A., Goubanova, K. y Dewitte, B. (2011). ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño. *Geophysical Research Letters*, 38, 5 pp.
- Takahashi, K., Mosquera, K. y Reupo, J. (2014). El Índice Costero El Niño (ICEN): historia y actualización. *Boletín técnico: Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño*, 1 (2), 8–9.
- Trenberth, K. E. y Caron, J. M. (2000). The Southern Oscillation Revisited: Sea level pressures, surface temperatures and precipitation. *Journal of Climate*, 13, 4358–4365.

RESUMEN DEL INFORME TÉCNICO DE EL NIÑO

PP N°068/EL NIÑO -IGP/2020-06



Foto: Roger Manay

El presente informe es elaborado por el IGP y sirve como insumo para el informe técnico y Comunicado Oficial de la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño” (ENFEN). Se presentan los principales resultados de los modelos climáticos con el pronóstico de El Niño. En ocasiones puede diferir del comunicado del ENFEN, debido a que el comunicado es un consenso. En caso de discrepancias entre el informe técnico de El Niño emitido por el IGP y el comunicado del ENFEN, prevalecerá el comunicado del ENFEN.

El valor del Índice Costero El Niño (ICEN), para el mes de mayo y basado en los datos de ERSSTv5 (ICENv5) y OISST (ICENOI), indican la condición climática Neutra frente a la costa norte y centro del Perú, con valores de 0.02° y -0.20°C , respectivamente. Los valores temporales del ICEN (ICENtmp) de ERSSTv5 y de OISSTv2 para los meses de junio y julio de 2020 coinciden también en indicar condiciones neutras. Con respecto al Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés), para el mes de mayo, muestra una condición Neutra (-0.01°C), esta condición también se observa en los valores temporales para los meses de junio y julio.

Conforme a la información de altimetría satelital (producto DUACS) y de las boyas ARGO, durante el mes de junio, se continuó observando la presencia de la onda de Kelvin fría a lo largo de la franja ecuatorial y, además, concentrada en la zona oriental. Por otro lado, en la zona occidental se desarrolló un pulso de viento del este a finales del mes de junio, el cual, según los modelos numéricos, se ha proyectado en una onda de Kelvin fría. Las predicciones numéricas de los siete modelos climáticos de NMME, inicializados con información oceánica y atmosférica del mes de julio de 2020, continúan indicando un escenario ligeramente frío, tanto en el Pacífico central como oriental, siendo para la primera región (central) una condición fría débil a partir de agosto de 2020 y que se extendería hasta enero de 2021. Esto se traduce en el desarrollo de un evento La Niña.

Puede acceder al informe técnico de El Niño 2020-06 en el siguiente link:

<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/4805>

RESUMEN DEL COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 08-2020

CALLAO, 13 DE JULIO DE 2020

ESTADO DEL SISTEMA DE ALERTA: **NO ACTIVO**¹

La Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el estado de Alerta "No Activo" debido a que hasta fines de año se espera que continúen las temperaturas del mar dentro del rango normal frente a la costa del Perú.

Respecto al período de lluvias (diciembre 2020 a marzo 2021), la Comisión Multisectorial ENFEN estima, para el Pacífico central una mayor probabilidad de condiciones neutras (60 %), seguida de condiciones de La Niña (28 %), mientras que para la región Niño 1+2, que incluye la zona norte y centro del mar peruano, la mayor probabilidad corresponde a las condiciones neutras (64 %).

Frente a este panorama, debe considerarse que el periodo en el cual no se desarrolla El Niño o La Niña es oportuno que se realicen las labores de reducción y prevención del riesgo de desastre, por lo cual el ENFEN recomienda que las entidades competentes adopten las acciones correspondientes.



Foto: Roger Manay

COMISIÓN MULTISECTORIAL
ENCARGADA DEL ESTUDIO NACIONAL
DEL FENÓMENO "EL NIÑO" (ENFEN)
DECRETO SUPREMO N° 007-2017-PRODUCE



ESTUDIO NACIONAL DEL
FENÓMENO "EL NIÑO"

¹El Estado del Sistema de Alerta "No Activo" se da en condiciones neutras o cuando la Comisión ENFEN espera que El Niño o La Niña costera están próximos a finalizar.

Puede acceder al Comunicado Oficial del ENFEN N.º 08-2020 en el:
<http://enfen.gob.pe/download/comunicado-oficial-enfen-n-08-2020-2/>
<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/4804>

Redes IGP:

<https://www.gob.pe/igp>

 <https://web.facebook.com/igp.peru>

 https://twitter.com/igp_peru

 https://www.youtube.com/c/IGP_videos