



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



BICENTENARIO
PERÚ 2021



BOLETÍN CIENTÍFICO EL NIÑO

Vol. 7 N°06 Junio 2020

Características
microfísicas de la
precipitación en el
valle del Mantaro,
Junín

Pág. 5

Construcción de un
prototipo de radar
meteorológico de
banda X en el Perú

Pág. 15

Resumen del informe
técnico de El Niño

Pág. 23

Resumen del
Comunicado ENFEN

Pág. 24



IGP

Instituto
Geofísico
del Perú

Vol. 7 N°06 Junio 2020

CRÉDITOS

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: nubes 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 "Características microfísicas de la precipitación en el valle del Mantaro, Junín", se realiza con el objetivo contribuir a la mejora de las estimaciones de la precipitación usando información de radares en superficie y satelital. Los resultados muestran que las precipitaciones, tanto sólida (granizo) como líquida, tienen características microfísicas diferenciadas.



EDITORIAL

El segundo artículo, titulado “Construcción de un prototipo de radar meteorológico de banda X en el Perú”, presenta los avances que el IGP está haciendo en el desarrollo del primer prototipo de radar meteorológico de banda X. Este proyecto es financiado por el fondo para intervenciones ante la ocurrencia de desastres naturales (FONDES) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

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. El informe indica que en la actualidad se observan condiciones neutras frente a la costa peruana y en el Pacífico central. Según el promedio de las predicciones numéricas de los siete modelos climáticos de NMME, inicializados con información oceánica y atmosférica del mes de junio de 2020, se tendría un escenario ligeramente frío, tanto en el Pacífico central como oriental, siendo para la primera región (central) una condición fría débil a partir de julio de 2020, la cual está relacionada con el desarrollo de un evento La Niña, que se extendería hasta fines de este año.

La Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el estado de Alerta “No Activo” debido a que hasta fines de primavera se espera que continúen las temperaturas del mar ligeramente por debajo de lo normal frente a la costa del Perú, aunque manteniéndose en el rango de las condiciones neutras. 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

CARACTERÍSTICAS MICROFÍSICAS DE LA PRECIPITACIÓN EN EL VALLE DEL MANTARO, JUNÍN

Elver Villalobos Puma¹ y Yamina Silva¹

RESUMEN

La Distribución del tamaño de las gotas (DSD, por sus siglas en inglés) es un parámetro importante para entender los procesos físicos en la formación de las precipitaciones; por ello, el objetivo de este estudio es entender la microfísica de la precipitación sólida y líquida con el fin de mejorar la estimación de precipitación por radares en la superficie y los satélites. Los resultados muestran que, durante la tarde y noche, entre las 15:00 y 20:00, hora local (HL), las precipitaciones ocurren con partículas que tienen diámetros grandes y una concentración baja. Las precipitaciones, tanto sólida (granizo) como líquida, tienen características microfísicas diferenciadas: la primera tiene dos modas en el promedio del espectro con tamaños más grandes que pueden alcanzar hasta 7 mm de diámetro, mientras que la segunda tiene una sola moda que decae más rápido con el aumento del diámetro. Se afirma que las lluvias en el valle ocurren principalmente en horas de la tarde, asociadas a una convección profunda y nubes frías embebidas de cristales de hielo y gotas grandes.

El artículo científico original se encuentra en: <https://www.mdpi.com/2073-4433/11/1/38>

Palabras clave: *Microfísica, precipitación, Mantaro y DSD*

AFILIACIÓN:

1- Instituto Geofísico del Perú (IGP)

Citar como: Villalobos, E., Silva, Y. (2020). Características microfísicas de la precipitación en el valle del Mantaro, Junín. Boleín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 7 N° 06. pág. 5-14

INTRODUCCIÓN

La Distribución del tamaño de las gotas (DSD, por sus siglas en inglés) es el resultado de diferentes procesos microfísicos que ocurren en las etapas de formación, maduración y disipación de una nube. En una nube caliente, el mecanismo de crecimiento rápido es a través del proceso de colisión-coalescencia, mientras que en la nube fría las gotas de lluvia se adhieren rápidamente sobre la superficie de los cristales de hielo, favoreciendo el crecimiento del tamaño de las gotas en la distribución observada (Jensen et al., 2018). A partir de la DSD se pueden derivar diferentes parámetros de la lluvia, como el factor de reflectividad (Z), que se utiliza para monitorear tormentas, y la intensidad de la lluvia (R). La DSD también se puede usar para validar la precipitación estimada por radares meteorológicos y modelos atmosféricos.

La medición de la DSD comenzó con el uso de la técnica del papel del filtro, que fue aplicado en diferentes partes del mundo y mostró como principal resultado la existencia de un patrón similar del espectro para diferentes eventos de precipitación. Luego, para caracterizar y representar la física de la lluvia, se construyeron modelos de la DSD a partir de las mediciones de la lluvia en diferentes condiciones del clima. El primero fue el modelo exponencial de Marshall & Palmer (1948), el cual representó bastante bien las lluvias moderadas e intensas. Posteriormente se planteó el modelo Gamma (Ulbrich, 1983) que representó coherentemente el espectro de la DSD para la lluvia ligera, moderada e intensa.

En el valle del Mantaro, las lluvias son importantes para la población y la agricultura de la región. Por ello, en este estudio se cuantifican los parámetros de la DSD y su variabilidad diurna, y se evalúa la relación empírica entre el diámetro y la velocidad de caída de la precipitación en una región montañosa como es la cordillera de los Andes peruanos.



DATOS Y METODOLOGÍA

Se utilizaron datos del disdrómetro Parsivel-OTT (Parsivel2) (Tokay et al., 2014), instalado en el Observatorio de Huancayo (HYO) del Instituto Geofísico del Perú (IGP) a 3314 m s. n. m., el cual forma parte del Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR). El Parsivel2 proporciona datos de la DSD y la velocidad terminal (V_f) de los hidrometeoros en cada minuto. Se usaron datos de 18 meses, entre noviembre de 2017 y abril de 2019.

Siguiendo la metodología de Villalobos et al. (2020), se plantean las siguientes ecuaciones:

$$LWC = \frac{\pi \rho_w}{6} \int_{D_{min}}^{D_{max}} N(D) D^3 dD, \quad (1)$$

$$D_m = \frac{\int_{D_{min}}^{D_{max}} N(D) D^4 dD}{\int_{D_{min}}^{D_{max}} N(D) D^3 dD}, \quad (2)$$

$$N_w = \frac{4^4}{\pi \rho_w} \left(\frac{LWC}{D_m^4} \right), \quad (3)$$

$$Nt = \int_{D_{min}}^{D_{max}} N(D) dD, \quad (4)$$

$$R = \frac{6\pi}{10^4} \int_{D_{min}}^{D_{max}} N(D) V_f(D) D^3 dD, \quad (5)$$

La ecuación 1 propone el cálculo del contenido de agua líquida (LWC [$\frac{g}{m^3}$]), donde ρ_w [$\frac{g}{cm^3}$] es la densidad del agua y D (mm) el diámetro del hidrometeoro. La ecuación 2 representa el diámetro medio de la precipitación (D_m [mm]), mientras que la ecuación 3 es un parámetro normalizado (N_w [$\frac{1}{m^3 mm}$]) que representa la concentración de partículas de precipitación.

La ecuación 4 es la concentración total de partículas (N_t [$\frac{1}{m^3}$]), y la ecuación 5 representa la intensidad de la lluvia (R [$\frac{mm}{h}$]). Finalmente, V_f [$\frac{mm}{h}$] es la velocidad terminal de las partículas, calculada a partir de una relación exponencial con el tamaño de la precipitación, y fue propuesta por Beard (1985) y Lhermitte (1990).

$$v_f(D, h) = 9.23[1 - \exp(-0.068D^2 - 0.488D)] \left(\frac{\phi_o}{\phi(h)} \right)^{0.45} \quad (6)$$

La ecuación 6 es útil en radares de tipo Doppler para estimar la intensidad de la lluvia, donde ϕ_o es la densidad del aire a nivel medio del mar y $\phi(h)$ es la densidad del aire como una función de la altura.

RESULTADOS

CARACTERIZACIÓN DE LA DSD

Las características de la DSD y sus parámetros se analizaron según la intensidad de la lluvia en el intervalo 0.1-120 mm/h. En este rango se agruparon 10 categorías (C1 a C10) (Tabla 1). La intensidad de lluvia (R) y el contenido de agua líquida (LWC) son parámetros que cuantifican la precipitación. El LWC también se puede usar para estimar la "intensidad de la lluvia" y algunos autores sugieren que posee un mejor significado físico que R (Testud et al., 2000). La concentración total de las gotas de lluvia (Nt) se incrementa de manera significativa desde la categoría C1 hasta la C7, mientras que desde la C8 hasta la C10 decae fuertemente, lo cual indica que estas categorías son menos frecuentes en términos de ocurrencia en el valle. El Dm se incrementa progresivamente desde C1 a C10, lo cual es consistente con el incremento de la intensidad de la lluvia. El resultado de la Tabla 1 evidencia que, en el área de estudio, la lluvia ocurre mayormente con intensidades entre 0.1 mm/h y 6 mm/h. En este rango el Dm y LWC alcanzaron los máximos valores de 1.22 y 0.25, respectivamente, estos parámetros son importantes para estimar la lluvia desde los radares meteorológicos (Radhakrishna et al., 2016).

Tabla 1. Características de la DSD según las categorías de la lluvia, donde n es el número de casos en cada categoría.

Categorías	n (casos)	R ($\frac{mm}{h}$)	LWC ($\frac{g}{m^3}$)	Nt ($\frac{1}{m^3}$)	Dm (mm)	Nw ($\frac{1}{m^3mm}$)
C1(0.1-0.2)	3912	0.1	0.02	173	0.70	3.73
C2(0.2-0.4)	6203	0.3	0.03	247	0.77	3.81
C3(0.4-0.7)	5503	0.5	0.05	337	0.84	3.89
C4(0.7-1.0)	3383	0.8	0.07	428	0.91	3.91
C5(1.0-3.0)	8037	1.5	0.12	587	1.05	3.92
C6(3.0-6.0)	2070	3.6	0.25	851	1.22	3.97
C7(6.0-10)	452	6.9	0.44	968	1.55	3.79
C8(10-20)	206	11.6	0.63	772	2.10	3.43
C9(20-40)	87	28.4	1.24	867	3.27	2.95
C10(40-120)	36	51.7	1.76	658	3.89	2.80

En la Figura 1 se observa la alta concentración de gotas con diámetro pequeño calculada (centrado en 0.5 mm), lo cual evidencia que la precipitación con gotas pequeñas es predominante en cada categoría. Los promedios espectrales en cada categoría son diferentes entre ellos: para intensidades bajas, el número de gotas decae rápidamente con el aumento del diámetro; mientras que, para intensidades altas, se incrementa con el aumento del diámetro. Las precipitaciones de categoría C9 y C10 tienen espectros muy particulares, los cuales, en promedio, son más planos con respecto a las otras categorías de la lluvia, donde el tamaño de las gotas alcanza hasta 6.5 mm. Estos podrían estar relacionados a procesos microfísicos de crecimiento efectivo como es la colisión-coalescencia o el resultado de fusión, o parcialmente fusión de granizo.

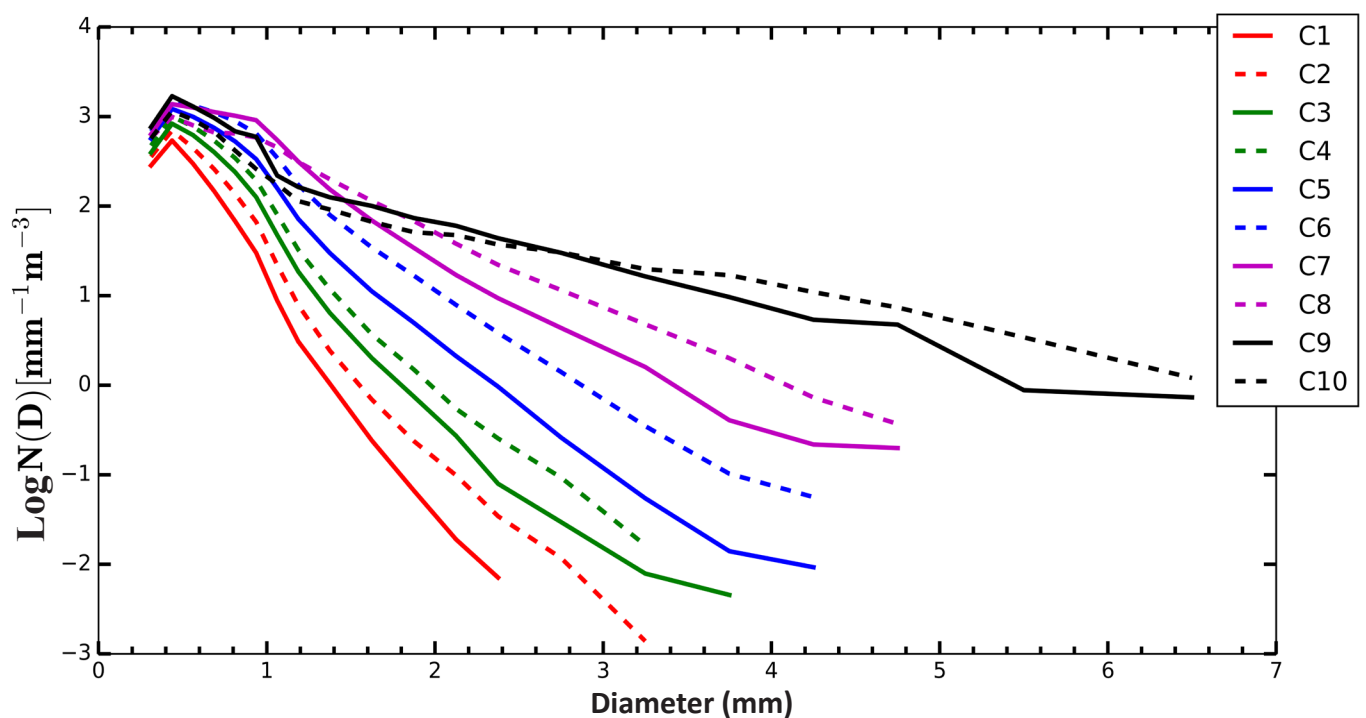


Figura 1. Promedio de los espectros de la DSD calculado para el período 2017-2019.

La Figura 2 muestra el promedio diario de la DSD para lluvias de tipo ligera (L), moderada (M) e intensa (H) a través de 4 horas características. Se observa claramente que el espectro de la DSD es diferente para cada tipo de lluvia y no tiene una dependencia con la hora del día. Las lluvias que ocurren entre las 15:00 y 20:00 HL (Figura 2a) tienen espectros más alargados con diámetros grandes (por ejemplo, el diámetro de las lluvias de tipo H que superan más de 6 mm), lo cual evidencia que las precipitaciones que ocurre especialmente en estos horarios están asociadas a una convección profunda y a la máxima actividad de las tormentas que se desarrollan en el valle (Flores-Rojas et al., 2020).

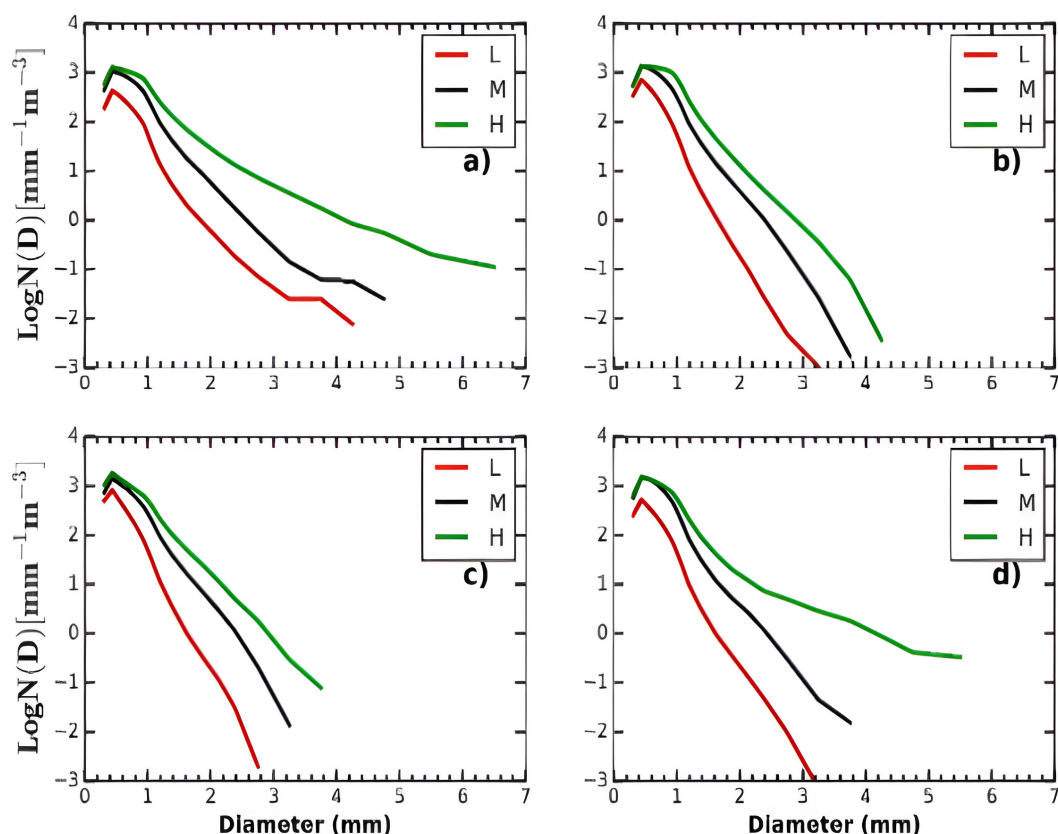


Figura 2. Variación diurna de la DSD según tipos de lluvia: lluvia ligera (L), moderada (M) e intensas (H); para las 15-20 HL (a), 21-02 HL (b), 03-08 HL (c) y 09-14 HL (d).

El D_m presenta variaciones importantes durante el día y la noche. En el día preferentemente se evidencian dos modas que están asociadas a las lluvias intensas (tipo H, Figura 3a), especialmente, las modas son más pronunciadas entre las 15:00 y 20:00 HL. En este intervalo la segunda moda del D_m se centra alrededor de 2.8 mm, evidenciando la presencia de gotas grandes asociadas a precipitaciones extremas y al desarrollo de convección profunda que determina un crecimiento efectivo de los hidrometeoros en el valle (Figura 3a). En este mismo horario las lluvias moderadas (M) tienden a presentar dos modas (con valores cercanos a 1 mm) como respuesta a la convección prolongada de las tormentas. Entre las 09:00 y 14:00 HL (Figura 3g) ocurren pocas lluvias con gotas grandes; mientras que en otros horarios la moda decae de manera gradual, hacia precipitación con gotas pequeñas. Por otro lado, el N_w presenta variaciones importantes durante el día (Figura 3), especialmente, esta variación se observa en el intervalo que va de las 15:00 a 20:00 HL (Figura 3b) donde las lluvias de tipo M y H tienen las colas de la curva más desplazadas hacia la izquierda. Lo cual indica que las concentraciones de las partículas de precipitación disminuyen ligeramente en horas de la tarde, coincidentemente con el periodo de mayor actividad convectiva, en cambio, en horas de la noche y mañana, las lluvias ocurren con una mayor concentración de gotas pequeñas que por la tarde.

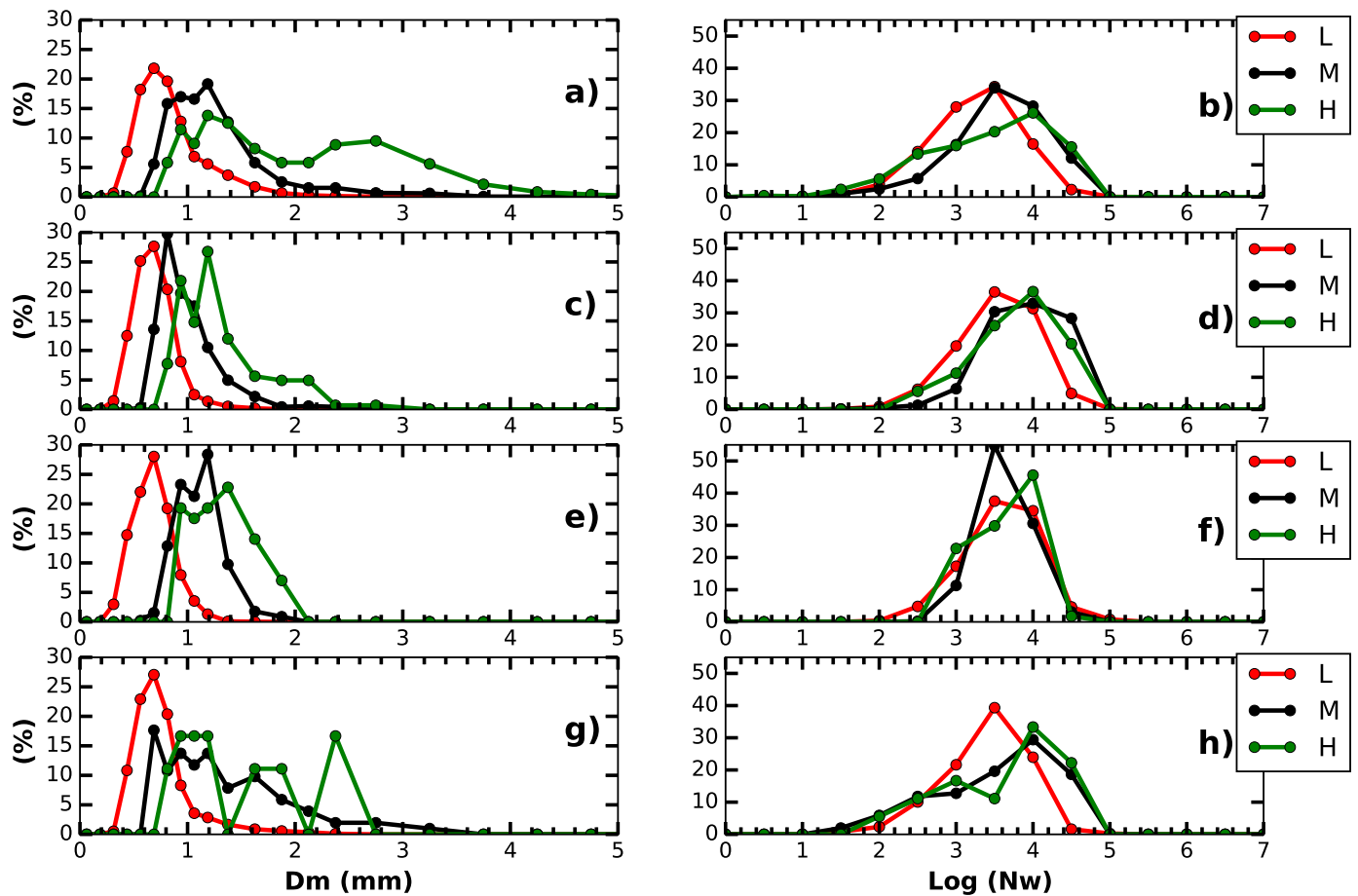


Figura 3. Distribución diurna de los parámetros microfísicos de la DSD. En el panel izquierdo el D_m (mm) y panel derecho el N_w . (a) y (b) 15-20 HL, (c) y (d) 21-02 HL, (e) y (f) 03-08 HL y (g) y (h) 09-14 HL.

PRIMEROS RESULTADOS MICROFÍSICOS DEL GRANIZO

La precipitación sólida de tipo granizo fue identificada en dos eventos de precipitación: el 7 de marzo de 2019 y 10 de abril de 2019 en el HYO. En ambos eventos, el granizo logró llegar a la superficie y fueron registrados por el Parsivel2 y observados por el personal del observatorio. La intensidad de lluvia (R) y reflectividad (Z) de las Figuras 4a y 4b evidencian que los eventos fueron intensos y ocurrieron repentinamente con valores grandes en los primeros minutos. Estos valores (R y Z) evidencian que sobre el HYO se localizó una celda de tormenta con gran cantidad de cristales de hielo. El resultado de la Figura 4a es consistente con el reporte del personal de HYO, el cual indica que el evento M1 duró aproximadamente 32 minutos. A las 14:25 HL se inició el evento de precipitación con un fuerte chubasco que fue acompañado de granizo hasta las 14:29 HL. Los 4 primeros minutos fueron de granizo, luego continuó como precipitación líquida.

El tamaño de las partículas de precipitación que cayó sobre la superficie se muestra en la Figura 4c, donde se observa claramente que los diámetros medios (D_m) son grandes (4.6 mm) y corresponden al rango del granizo en los primeros minutos. En la Figura 4e se observa una diferencia importante entre ambos hidrometeoros, el granizo presenta dos modas bien definidas, la segunda moda tiene más extenso el ancho del espectro y el pico se centra alrededor de 4.5 mm. En cambio, la lluvia tiene el espectro más corto que decae rápidamente a medida que aumenta el diámetro. En la Figura 4f muestra que la lluvia alcanza velocidades de hasta de 10 m/s con tamaños máximos de 4 mm, mientras que el granizo (Figura 4d) tuvo velocidades hasta de 13 m/s con tamaños máximos de 7.5 mm.

En el caso de la relación empírica velocidad-diámetro, la lluvia se representa bastante bien y es acorde con lo observado; por el contrario, para el granizo, la relación empírica muestra una limitación para valores elevados de V_f , lo que evidencia que la precipitación sólida merece un tratamiento especial y pone un reto a la relación empírica velocidad-diámetro de Beard (1985) y Lhermitte (1990).

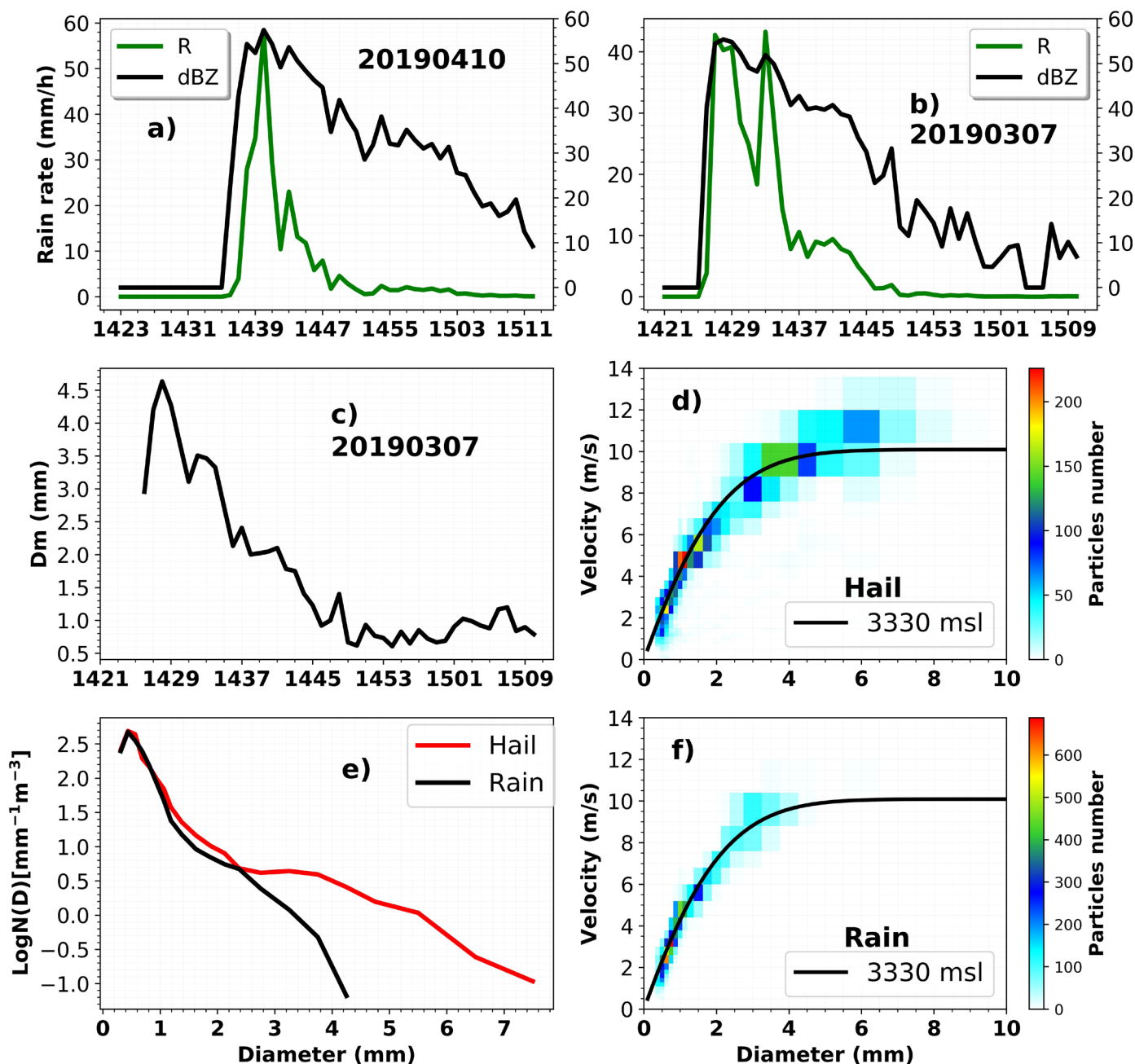


Figura 4. Evento de precipitación con granizo, 7 de marzo y 10 de abril ambos de 2019. (a) y (b) intensidad de la precipitación (R, línea verde) y reflectividad (Z, línea negra), (c) diámetro medio (D_m), (d) y (f) la velocidad terminal versus el diámetro para el granizo y la lluvia respectivamente, y (e) promedio espectral del granizo y la lluvia; (d-f) eventos del 07 de marzo y 10 de abril de 2019.

CONCLUSIONES

1. El ciclo diurno de la lluvia presenta valores máximos entre las 15:00 y 20:00 HL, en cuyo periodo de tiempo el promedio espectral de las lluvias resulta más variable. Las lluvias ocurren con una concentración menor de gotas, pero con gotas grandes asociadas a una convección profunda y nubes frías, donde predominan procesos microfísicos más complejos.
2. Las lluvias en el valle del Mantaro ocurren mayormente (97 % del total) con intensidades entre 0.1 y 6 mm/h, con diámetro medio entre 0.7 a 1.22 mm; mientras que las lluvias con intensidades extremas (40 y 120 mm/h) alcanzan diámetro medio de hasta 3.89 mm.
3. La estructura microfísica del granizo y la lluvia presentan diferencias tanto en la forma del espectro como en el tamaño de gotas y la velocidad terminal. El espectro del granizo y la lluvia presentan dos modas bien marcadas, donde la cola de la distribución alcanza valores de 7 mm y 4.2 mm, respectivamente. Por otro lado, la relación empírica Diámetro-Velocidad presenta cierta limitación para tamaños grandes y velocidades altas del granizo, poniendo un reto en la correcta estimación y parametrización microfísica de los hidrometeoros sólidos.



REFERENCIAS

Jensen, A. A., Harrington, J. Y., & Morrison, H. (2018). *Microphysical characteristics of squall-line stratiform precipitation and transition zones simulated using an ice particle property-evolving model*. Monthly Weather Review, 146(3), 723-743.

Marshall, J. S., & Palmer, W. M. K. (1948). *The distribution of raindrops with size*. Journal of meteorology, 5(4), 165-166.

Ulbrich, C. W. (1983). *Natural variations in the analytical form of the raindrop size distribution*. Journal of climate and applied meteorology, 22(10), 1764-1775.

Tokay, A., Wolff, D. B., & Petersen, W. A. (2014). *Evaluation of the new version of the laser-optical disdrometer, OTT Parsivel2*. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 31(6), 1276-1288.

Villalobos-Puma, E., Martinez-Castro, D., Flores-Rojas, J. L., Saavedra-Huanca, M., & Silva-Vidal, Y. (2020). *Diurnal Cycle of Raindrops Size Distribution in a Valley of the Peruvian Central Andes*. Atmosphere, 11(1), 38.

Beard, K. V. (1985). *Simple altitude adjustments to raindrop velocities for Doppler radar analysis*. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2(4), 468-471.

Lhermitte, R. (1990). *Attenuation and scattering of millimeter wavelength radiation by clouds and precipitation*. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 7(3), 464-479.

Testud, J., Oury, S., Black, R. A., Amayenc, P., & Dou, X. (2001). *The concept of "normalized" distribution to describe raindrop spectra: A tool for cloud physics and cloud remote sensing*. Journal of Applied Meteorology, 40(6), 1118-1140.

Radhakrishna, B., Satheesh, S. K., Narayana Rao, T., Saikranthi, K., & Sunilkumar, K. (2016). *Assessment of DSDs of GPM-DPR with ground-based disdrometer at seasonal scale over Gadanki, India*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 121(19), 11-792.

Flores-Rojas, J. L., Moya-Álvarez, A. S., Valdivia-Prado, J. M., Piñas-Laura, M., Kumara, S., Abi Karam, H., ... & Silva, Y. (2020). *On the dynamic mechanisms of intense rainfall events in the Central Andes of Peru, Mantaro valley*. Atmospheric Research, 105188.

AVANCE DE INVESTIGACIÓN

CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE RADAR METEOROLÓGICO DE BANDA X EN EL PERÚ

Juan C. Espinoza¹, Alexander Valdez¹, Daniel Ortecho¹, Karim Kuyeng¹, Danny Scipión¹ y Marco Milla¹

RESUMEN

En este boletín científico presentamos los avances en el desarrollo del primer prototipo de radar meteorológico de banda X completamente desarrollado en el Perú. El sistema es compacto y transportable y cuenta con una antena parabólica de 1.2m de diámetro de doble polarización instalada sobre un posicionador¹, que permite el movimiento en azimut y elevación. Además, los sistemas de transmisión y recepción del radar están basados en tecnologías SDR (Software Defined Radio) para mayor flexibilidad en su configuración.

El objetivo del radar es realizar mediciones de las precipitaciones en una determinada región, cubriendo un área de varias decenas de kilómetros alrededor del radar para así poder realizar investigaciones sobre las condiciones atmosféricas en esta región. La construcción de este prototipo viene siendo realizada por el Instituto Geofísico del Perú, en su sede del Radio Observatorio de Jicamarca, y es financiada por el fondo para intervenciones ante la ocurrencia de desastres naturales (FONDES) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

Palabras clave: Radar meteorológico, precipitaciones, lluvia, desarrollo tecnológico, El Niño y La Niña.

AFILIACIÓN:

1- Instituto Geofísico del Perú (IGP)

Citar como: Espinoza, J.C., Valdez, A., Ortecho, D., Kuyeng, K., Scipión, D., Milla, M. (2020). Construcción de un prototipo de radar meteorológico de banda X en el Perú. Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 7 N° 06. pág. 15-22.

¹Posicionador o pedestal es un dispositivo que permite el movimiento de la antena parabólica en azimut y elevación y que permite ser controlado tanto por posición como por velocidad.

INTRODUCCIÓN

El territorio peruano se ve afectado frecuentemente por los fenómenos naturales. En particular por las lluvias intensas que se pueden dar, por ejemplo, durante la ocurrencia del fenómeno El Niño o La Niña, lo que conlleva a la activación de distintas quebradas que desencadenan los huaicos y deslizamientos en diferentes zonas del país. Esto genera grandes pérdidas materiales y económicas, así como la invaluable pérdida de vidas humanas.

En los últimos años, los sistemas de radar se han usado en una amplia gama de aplicaciones: defensa, el campo automotriz, medicina, tráfico, incluso los deportes (Reina et al., 2015). Los radares meteorológicos, en particular, permiten el monitoreo continuo de las precipitaciones, cubriendo un área de varias decenas de kilómetros a su alrededor con una resolución espacial de algunas decenas de metros y con una resolución temporal en el orden de los minutos. Esta información contribuye a la investigación científica en temas relacionados a la distribución espacial de la precipitación, microfísica y clasificación de hidrometeoros, modelado numérico atmosférico, entre otros. Pero también la información que generan los radares puede ser usada en temas de gestión del riesgo de desastres. Por ejemplo, la información sobre la cantidad de lluvia que cae en una determinada quebrada puede introducirse a los modelos geodinámicos del lugar para determinar la potencial activación de dicha quebrada, así mediante la determinación de umbrales de lluvia, se pueden activar sistemas de alerta para prevenir a las poblaciones que pueden verse afectadas.

Es por esta razón que el Instituto Geofísico del Perú (IGP) viene realizando la construcción de un prototipo de radar meteorológico SOPHy (Scanning-system for Observation of Peruvian Hydrometeorological-events), tarea financiada por el fondo para intervenciones ante la ocurrencia de desastres naturales (FONDES) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

DESARROLLO DEL RADAR

Los radares meteorológicos que operan en la banda X han sido aplicados para la estimación cuantitativa de precipitación en forma limitada debido a la alta tasa de atenuación de las señales de radar en la lluvia. Sin embargo, el uso de radares con doble polarización proporciona una nueva herramienta para corregir los efectos de atenuación, aumentando así la utilidad de estos radares para la estimación de lluvia. Adicionalmente, los radares de banda X presentan ciertas ventajas sobre los radares de longitud de onda más larga que operan en las bandas C o S. Estas ventajas incluyen mayor movilidad, menor tamaño, menor consumo de energía, resolución espacial potencialmente mayor y señales de fase diferencial más fuertes (Matrosov et al., 2005).



Durante el verano del 2018, el IGP en colaboración con el Centro de Investigaciones Avanzadas de Radar (ARRC, por sus siglas en inglés) de la Universidad de Oklahoma operaron en el Perú el radar meteorológico PX-1000 (Cheong et al., 2013). Este radar fue instalado en la sierra de Lima para medir la lluvia en la cuenca media del río Rímac, y así poder realizar estudios de modelado de lluvias y huaicos en la zona. Dados los resultados obtenidos con el PX-1000 y la amplia experiencia que tiene el IGP en el desarrollo de radares, se definieron las especificaciones técnicas del radar SOPHy, las cuales se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1: Especificaciones del radar SOPHy.

Generales	Frecuencia de operación	9345 MHz
	Rango de observación	50 km
Posicionador Orbit AL-4016S	Cobertura	Azimut (0° a 360°) Elevación (-5° a 185°)
	Máxima carga	120 kg
	Máxima velocidad angular	30° s ⁻¹
	Interface de control	RS422
Antena Seavey C0824-810A	Ganancia	38.5 dBi
	Diámetro	1.21 m
	Ancho del haz (beamwidth)	1.8°
	Polarización	doble
Amplificador de potencia Advantech Wireless SSPA	Potencia pico	200 W
	Ancho de pulso	1 µs a 100 µs
	Ciclo de trabajo (duty cycle)	15 %
Sistema de transmisión y recepción de RF USRP N200	Frecuencia intermedia (IF)	70 MHz
	ADC	14-bit @ 100 MS/s
	DAC	16-bit @ 400 MS/s
	Ancho de banda	8 MHz

HARDWARE

En la Figura 1 se muestra un diagrama de bloques del funcionamiento del radar. La frecuencia de operación del radar es de 9345 MHz, para lo cual se emplean convertidores de frecuencia de la banda X a una frecuencia intermedia de 70 MHz. Utilizando un amplificador de estado sólido de 200 W de potencia pico se espera alcanzar un rango de observación de 50km. El sistema de transmisión / recepción está basado en tecnología SDR (Software Defined Radio) que nos permitirá probar diferentes formas de onda para el pulso de transmisión y re-configurar vía software los parámetros del sistema de recepción.

El pedestal o posicionador de la antena permite movimientos tanto en azimut como en elevación, por lo que será posible realizar escaneos en modos PPI (Plan Position Indicator) y RHI (Range Height Indicator). Todo el sistema estará montado sobre un tráiler para permitir su traslado a diferentes zonas y se utilizará un "radomo" para su protección.

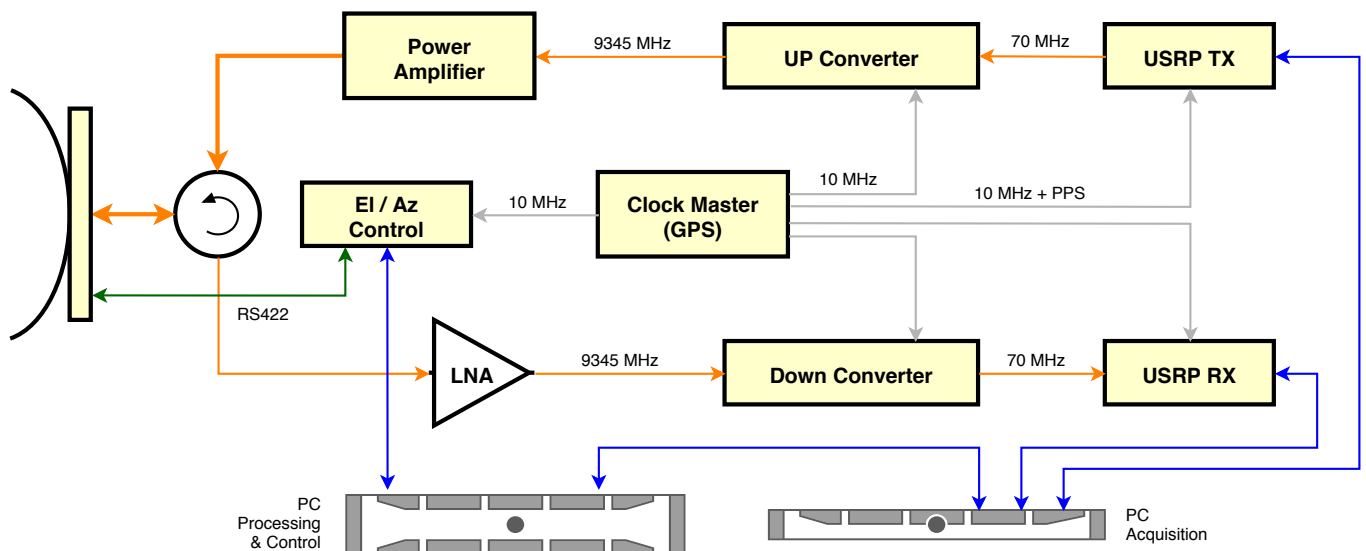


Figura 1. Diagrama de bloques del radar (una polarización).

SOFTWARE

Para el desarrollo del software se utilizarán herramientas y lenguajes de código abierto, como GNU Radio (<https://www.gnuradio.org/>), para la programación del sistema de transmisión/recepción y el lenguaje Python (<https://www.python.org/>) para el procesamiento de los datos (Tabla 2). Los algoritmos de procesamiento se vienen implementando como parte de la librería Signal Chain, la cual es utilizada en el Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ) para el procesamiento de datos de radar, que cuenta con módulos para lectura, procesamiento y ploteo de datos. Además, se realizará la integración con librerías estándar como Wradlib (<https://wradlib.org/>) y Py-Art (Helmus & Collis, 2016, p.) para la visualización y post-procesamiento de los datos.

Tabla 2: Datos generados por el radar.

Nivel	Tipo de dato	Formato
0	Datos crudos (Voltajes)	DigitalRF
1	Momentos (Potencia, Frecuencia Doppler, Ancho Espectral, etc.)	HDF5 / NetCDF
2	Parámetros (Reflectividad, Estimados de Precipitación, etc.)	HDF5 / NetCDF

ESTADO ACTUAL

Actualmente venimos trabajando en el montaje y ensamblado de los componentes del radar (Figura 2), realizando pruebas con los diferentes equipos de hardware y desarrollando el sistema de control de posición del pedestal basado en un sistema embebido.

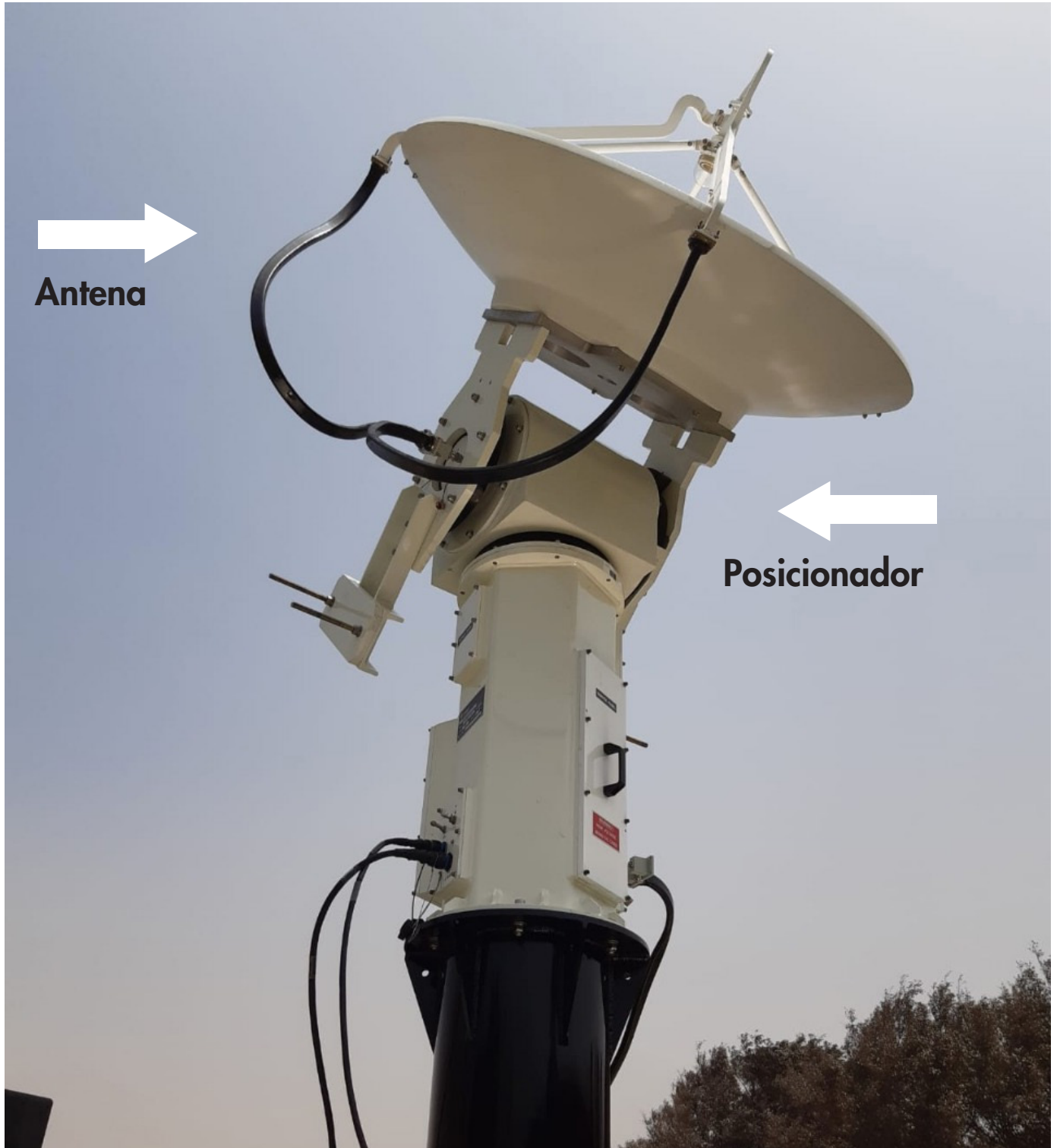


Figura 2. Vista de la antena y posicionador del radar.

Respecto al desarrollo del software, se han implementado los algoritmos de procesamiento de datos basados en la técnica "Pulse Pair" (Benham et al., 1972), este algoritmo, ampliamente usado en la comunidad, nos permite estimar los tres primeros momentos de los ecos del radar: potencia de la señal (reflectividad Z), frecuencia Doppler media (velocidad radial) y ancho espectral. Se viene trabajando para la obtención de las otras tres variables polarimétricas: reflectividad diferencial, coeficiente de correlación y fase diferencial. Estos algoritmos han sido implementados en la librería Signal Chain, y se han validado utilizando la técnica de momentos en el dominio de la frecuencia.

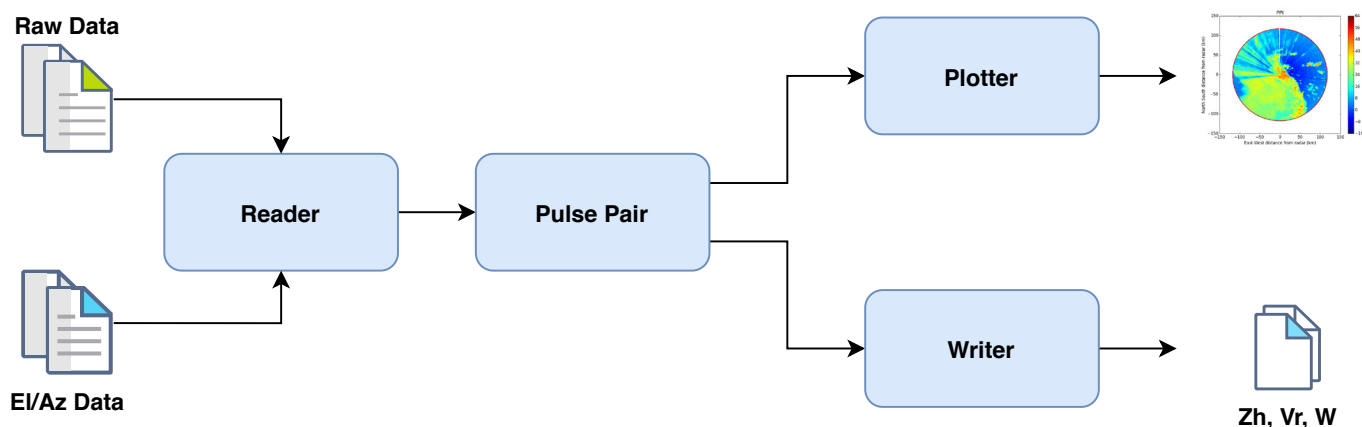


Figura 3. Arquitectura del software de procesamiento.

CONCLUSIONES PRELIMINARES

1. El radar SOPHy es el primer radar meteorológico de doble polarización que ha sido desarrollado por completo en el Perú y su uso en campañas de observación permitirá mejorar los estimados de lluvia, los cuales serán utilizados como base para nuevas investigaciones científicas. Además, su aplicación en el monitoreo continuo de lluvias, en especial durante eventos El Niño o La Niña, facilitará la implementación de sistemas de alerta temprana basados en acumulados de lluvia.
2. La experiencia y el *know-how* ganado en este proyecto permitirá no solo realizar la operación y soporte con personal de la institución, sino también reducir los costos de mantenimiento del radar.

REFERENCIAS

Benham, F. C., Groginsky, H. L., Soltes, A. S., & Works, G. A. (1972). *Pulse pair estimation of Doppler spectrum parameters*. RAYTHEON CO WAYLAND MA EQUIPMENT DEVELOPMENT LABS.

Cheong, B. L., Kelley, R., Palmer, R. D., Zhang, Y., Yearly, M., & Yu, T.-Y. (2013). *PX-1000: A Solid-State Polarimetric X-Band Weather Radar and Time-Frequency Multiplexed Waveform for Blind Range Mitigation*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 62(11), 3064-3072. <https://doi.org/10.1109/TIM.2013.2270046>

Helmus, J., & Collis, S. (2016). *The Python ARM Radar Toolkit (Py-ART), a Library for Working with Weather Radar Data in the Python Programming Language*. Journal of Open Research Software, 4(1), e25. <https://doi.org/10.5334/jors.119>

Matrosov, S. Y., Kingsmill, D. E., Martner, B. E., & Ralph, F. M. (2005). *The Utility of X-Band Polarimetric Radar for Quantitative Estimates of Rainfall Parameters*. Journal of Hydrometeorology, 6(3), 248-262. <https://doi.org/10.1175/JHM424.1>

Reina, G., Johnson, D., & Underwood, J. (2015). *Radar Sensing for Intelligent Vehicles in Urban Environments*. Sensors (Basel, Switzerland), 15(6), 14661-14678. <https://doi.org/10.3390/s150614661>

RESUMEN DEL INFORME TÉCNICO DE EL NIÑO

PP N°068/EL NIÑO -IGP/2020-05



Foto: Sebastian Voortman

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.

Para el mes de abril, según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), la condición climática frente a la costa norte y centro del Perú fue Neutral. Esto se basa tanto en los datos de ERSSTv5 (ICENv5) como de OISST (ICENOI), los cuales fueron de 0.19° y 0.33°C , respectivamente. Los valores temporales del ICEN (ICENtmp) de ERSSTv5 y de OISSTv2 para los meses de mayo y junio 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 abril, muestra una condición Neutra (0.28°C), esta condición también se observa en los valores temporales para los meses de mayo y junio.

Durante el mes de mayo, según la información de altimetría satelital (producto DUACS) y de las boyas ARGO, se continúa observando la presencia de la onda Kelvin fría ecuatorial en la región oriental del Pacífico y se espera que siga impactando la costa peruana hasta el mes de julio.

Según el promedio de las predicciones numéricas de los siete modelos climáticos de NMME, inicializados con información oceánica y atmosférica del mes de junio de 2020, se tendría un escenario ligeramente frío, tanto en el Pacífico central como oriental, siendo para la primera región (central) una condición fría débil a partir de julio de 2020, la cual está relacionada con el desarrollo de un evento La Niña, que se extendería hasta fines de este año.

Puede acceder al informe técnico de El Niño 2020-05 en el siguiente link:
<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/4793>

RESUMEN DEL COMUNICADO OFICIAL ENFEN N°7-2020

CALLAO, 12 DE JUNIO 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 primavera se espera que continúen las temperaturas del mar ligeramente por debajo de lo normal frente a la costa del Perú, aunque manteniéndose en el rango de las condiciones neutras.

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: Roman Odintsov

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 costeros están próximos a finalizar.

Puede acceder al Comunicado Oficial del ENFEN N° 07-2020 en el:
<http://enfen.gob.pe/download/comunicado-oficial-enfen-n-07-2020/>
<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/4792>