

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. Boletín 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.

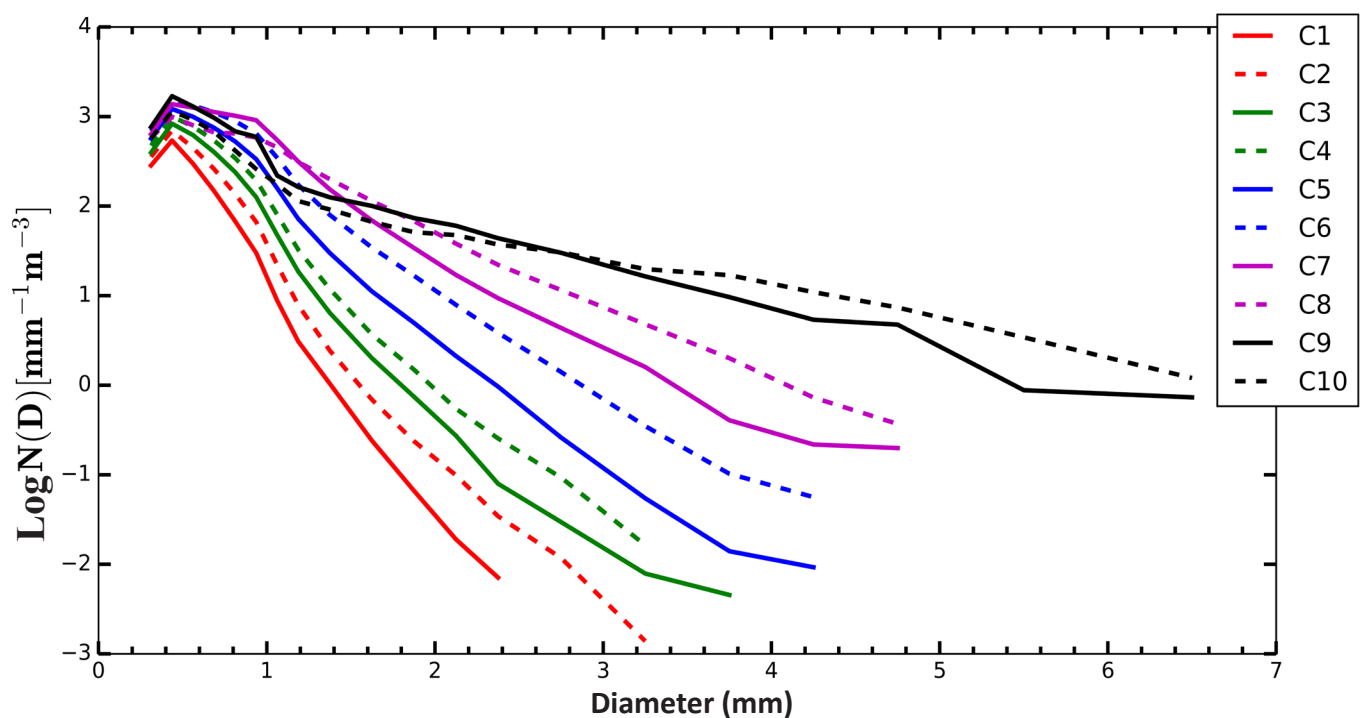


Figura 1. Promedio de los espectros de la DSD calculado para el período 2017-2019.

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).

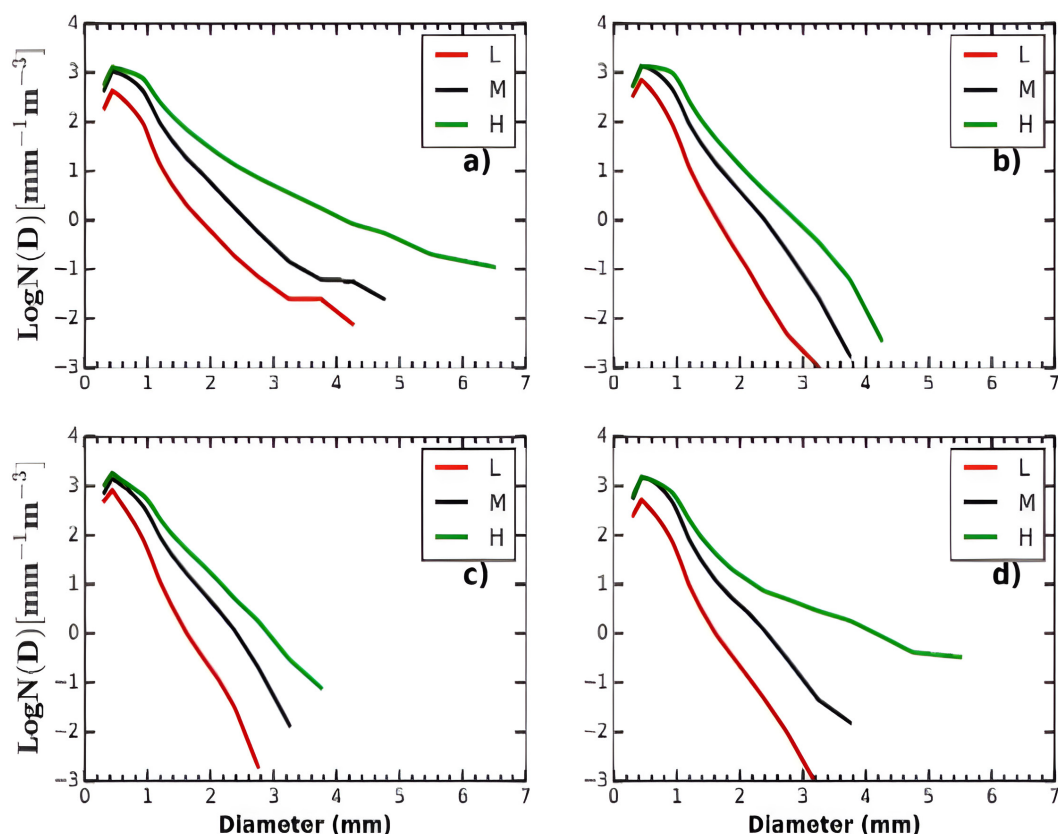


Figura 2. Variación diurna de la DSD según tipos de lluvia: lluvia ligera (L), moderada (M) e intensas (H); para las 15-20 HL (a), 21-02 HL (b), 03-08 HL (c) y 09-14 HL (d).

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.

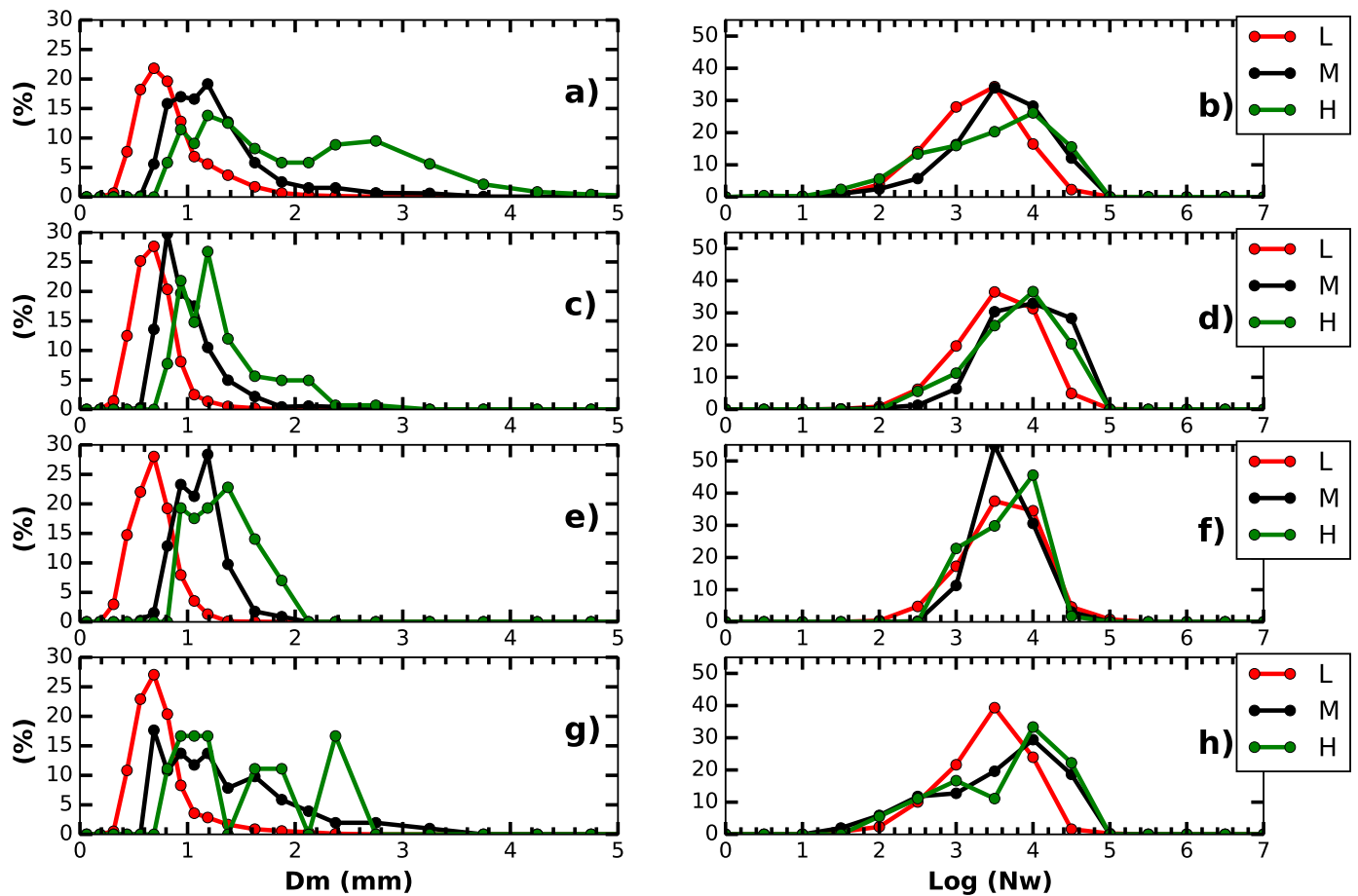


Figura 3. Distribución diurna de los parámetros microfísicos de la DSD. En el panel izquierdo el D_m (mm) y panel derecho el N_w . (a) y (b) 15-20 HL, (c) y (d) 21-02 HL, (e) y (f) 03-08 HL y (g) y (h) 09-14 HL.

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).

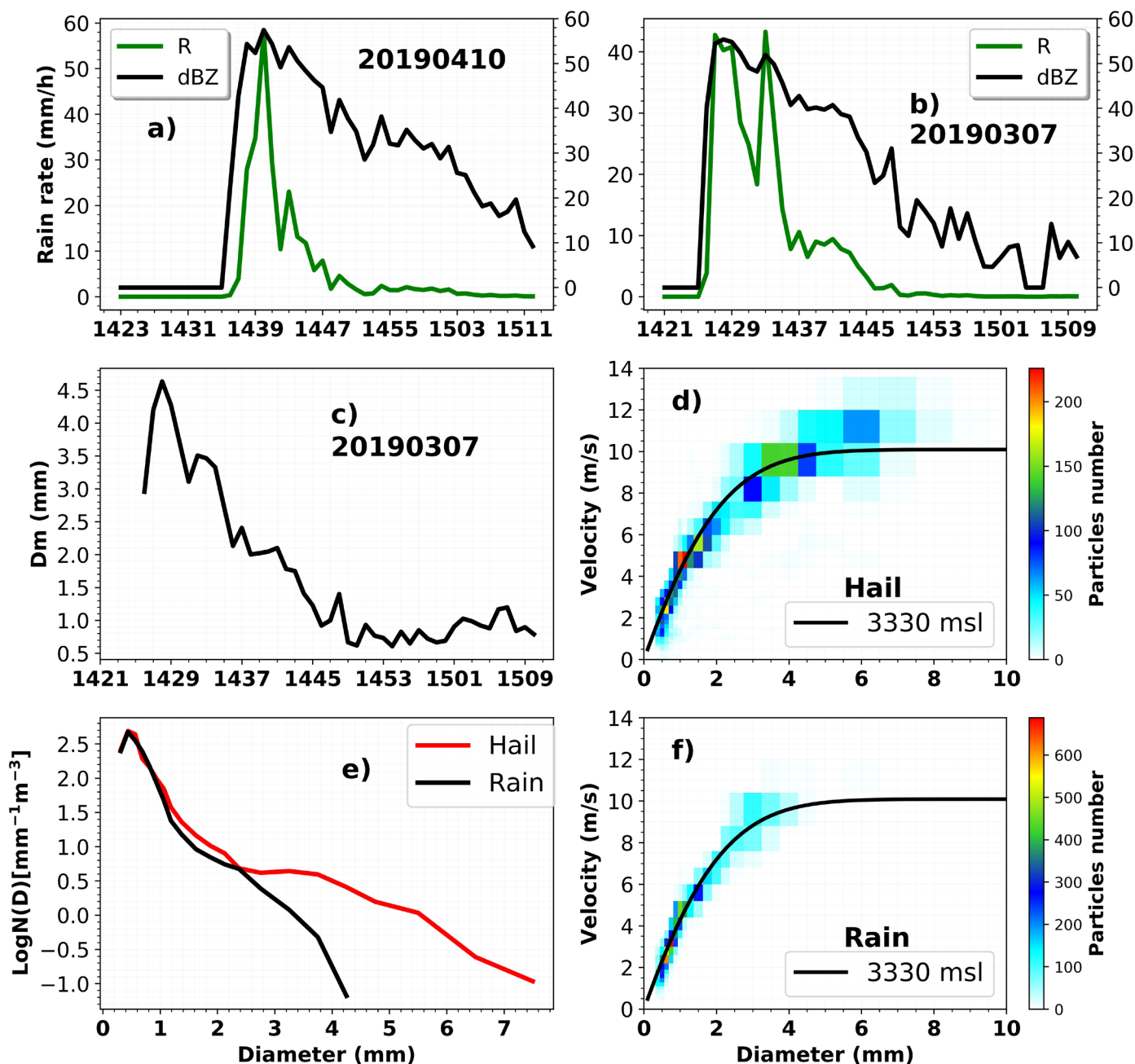


Figura 4. Evento de precipitación con granizo, 7 de marzo y 10 de abril ambos de 2019. (a) y (b) intensidad de la precipitación (R, línea verde) y reflectividad (Z, línea negra), (c) diámetro medio (D_m), (d) y (f) la velocidad terminal versus el diámetro para el granizo y la lluvia respectivamente,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