

Caracterización de la precipitación usando disdrómetro en el observatorio meteorológico Alexander Von Humbolt

Precipitation characterization using a disdrometer at the Alexander Von Humbolt meteorological observatory

Recibido: mayo 29 de 2025 | Revisado: mayo 30 de 2025 | Aceptado: junio 15 de 2025

ANTONIO VÍLCHEZ GUTARRA¹
STEPHANY KATHERIN MARÍA VÍLCHEZ YBARRA¹
JOSÉ ÁNGEL TAFUR TORRES¹
LUIS SHUSEKI YOZA YOZA¹

RESUMEN

El objetivo del estudio fue caracterizar la precipitación registrada en el Observatorio Meteorológico Alexander von Humboldt (OVH), ubicado en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, mediante un disdrómetro láser Thies Clima. El periodo de monitoreo fue del 2 de junio de 2021 al 20 de marzo de 2022. Se analizaron la distribución del tamaño de gotas (DSD), la velocidad terminal de caída, el diámetro medio ponderado (Dm) y la reflectividad (Z). Los datos obtenidos se compararon con los registros de un pluviómetro tipo Costa y con los datos de la estación meteorológica automática Davis. Durante el invierno de 2021, las precipitaciones se clasificaron como estratiformes, con gotas de diámetro entre 0,188 y 1,125 mm. En verano de 2022, se registraron eventos con gotas de hasta 2,750 mm, asociados a lluvias de tipo estratiforme-convectiva y convectiva. Los resultados evidencian diferencias estacionales en la microfísica de la precipitación, con implicancias para la calibración de radares meteorológicos.

Palabras clave: disdrómetro; distribución de tamaño de gotas; reflectividad; intensidad de precipitación; comparación instrumental

ABSTRACT

The objective of this study was to characterize the precipitation recorded at the Alexander von Humboldt Meteorological Observatory (OVH), located at the La Molina National Agrarian University in Lima, Peru, using a Thies Clima laser disdrometer. The monitoring period was from June 2, 2021, to March 20, 2022. Drop size distribution (DSD), terminal fall velocity, weighted mean diameter (Dm),

¹ Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima- Perú

Autor de correspondencia:
lyoza@lamolina.edu.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

<https://>

and reflectivity (Z) were analyzed. The data obtained were compared with records from a Costa rain gauge and data from the Davis automatic weather station. During the winter of 2021, precipitation was classified as stratiform, with drop diameters between 0.188 and 1.125 mm. In the summer of 2022, events with droplets up to 2,750 mm were recorded, associated with stratiform-convective and convective rainfall. The results show seasonal differences in precipitation microphysics, with implications for the calibration of weather radars.

Keywords: disdrometer, distribution of the number of drops, reflectivity, intensity of precipitation and pluviometer

Introducción

El estudio de la precipitación es uno de los procesos más importantes en meteorología e hidrología, por lo que es esencial contar con datos precisos, los cuales están influenciados por el viento, el tipo e intensidad de la precipitación y diversos aspectos técnicos (Schnepper et al., 2023).

El interés por determinar la distribución del tamaño de las gotas de lluvia, vinculada con los distintos tipos de precipitación, surgió hacia finales del siglo XIX e inicios del siglo XX, con el propósito de comprender y caracterizar la precipitación desde un enfoque meteorológico (Angulo y Beguería, 2016). Según Schnepper et al. (2023), la medición precisa de la precipitación es una meta compartida por diversas disciplinas científicas, ya que permite una adecuada evaluación del balance hídrico en distintos sistemas; buscando así, la medición de la precipitación que añade a la evaluación el tamaño de gotas de lluvia, copos de nieve, etc. En este contexto, se han desarrollado instrumentos como el disdrómetro, capaz de caracterizar el espectro hidrométrico de la precipitación, es decir, la distribución del tamaño y la velocidad de caída de las gotas (Liu et al., 2013).

Esta información permite estimar la intensidad y volumen de la precipitación, así como calcular el diámetro, número, velocidad y reflectividad de las gotas, lo que además facilita la clasificación del tipo de lluvia como convectiva o estratiforme (Angulo y Beguería, 2016). Cuando se complementa con datos de una estación meteorológica automática, es posible validar los niveles de precipitación que analizan la forma de los espectros de tamaño de las gotas y la distribución de frecuencia de los parámetros de la DSD en una región (Montopoli et al., 2008; Moumouni et al., 2008)

Estos estudios también analizan las diferencias entre los espectros generados por lluvias convectivas y estratiformes, y establecen relaciones entre la reflectividad del radar y la intensidad de precipitación (Z-R). Por otro lado, Islam et al. (2012) concluyen que la velocidad del viento no afecta significativamente la precisión de las mediciones de precipitación obtenidas mediante disdrómetro.

Aragón et al. (2024) analizaron las precipitaciones en el Océano Austral utilizando datos recogidos a bordo, y encontraron una predominancia de lloviznas con gotas de pequeño tamaño. Además, se está desarrollando un nuevo disdrómetro acústico que ha demostrado

ser eficaz para la observación de granizo durante eventos climáticos en Xinjiang (Li et al., 2024)

La variabilidad espectral de la DSD está fuertemente influenciada por el tipo de precipitación: estratiforme en los Andes centrales del Perú; convectiva en el oeste (debido a la convección en zonas altas); y convectiva en la región de transición Andes-Amazonía. En las zonas más elevadas de los Andes centrales del Perú, el 70 % de los eventos de lluvia corresponden a precipitaciones estratiformes y el 30 % a convectivas. En la región de transición Andes-Amazonía, la proporción es de 69 % estratiforme y 31 % convectiva. Asimismo, se concluye que la precipitación convectiva en áreas andinas se intensifica mediante mecanismos de forzamiento orográfico, lo cual favorece el crecimiento de los hidrometeoros por encima del nivel de congelación (entre los 6 y 12 km de altura), propiciando mayores acumulados de lluvia (Villalobos et al., 2019).

El estudio de la DSD es necesario para la calibración de mediciones remotas mediante radar meteorológico, ya que pueden coexistir distintas relaciones Z-R

en una misma área. Aquí, Z representa la reflectividad radar (en mm^6/m^3) y R la intensidad de lluvia (en mm/h).

Este estudio es relevante porque contribuye al uso de tecnologías modernas para caracterizar de manera más precisa la precipitación en el distrito de La Molina. El objetivo general es caracterizar la precipitación mediante un disdrómetro láser Thies Clima durante el periodo que abarca el invierno de 2021 hasta el verano de 2022, y comparar los datos obtenidos con los registrados por un pluviómetro tipo Costa y una estación automática Davis.

Método

Área de estudio

La investigación se desarrolló en el Observatorio Meteorológico Alexander von Humboldt (OVH), ubicado en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), en el distrito de La Molina, Lima, Perú, a una altitud de 260 m s.n.m., con Latitud $12^{\circ}04'44''$ S, Longitud $76^{\circ}57'02''$ W, altitud: 260 msnm (Figura 1).

Figura 1

Localización del área de investigación



Nota: Página web UNALM

Equipos e instrumentos utilizados

Para la caracterización de la precipitación, se emplearon los siguientes equipos:

- **Disdrómetro láser Thies Clima:** instrumento óptico de alta precisión, capaz de medir el tamaño y la velocidad de caída de los hidrometeoros.
- **Panel solar policristalino de 150 W:** fuente de alimentación para el sistema de medición.
- **Batería de 100 A:** utilizada para almacenar energía y mantener el funcionamiento continuo del equipo.
- **Computadora con software Thies Clima (2007) y Python (versión 6):** para el procesamiento y análisis de los datos recolectados.
- **Pluviómetro tipo Costa:** diseñado para registrar precipitaciones ligeras, como la llovizna.
- **Estación meteorológica automática Davis Vantage Pro2:** utilizada para complementar los registros de precipitación y condiciones atmosféricas.

Instalación y configuración del sistema

La instalación del disdrómetro Thies Clima se llevó a cabo en enero de 2021. El equipo fue conectado a un panel solar y a una batería para garantizar su operatividad continua. Los datos fueron transmitidos mediante la interfaz Remo DRO R-8520 hacia una computadora central equipada con el software de adquisición y procesamiento.

La recolección y procesamiento de datos

El monitoreo de la precipitación se realizó de forma continua entre el

invierno de 2021 hasta el verano del 2022. El disdrómetro registró información cada minuto durante las 24 horas del día, incluyendo volumen precipitado (mm), intensidad (mm/h), número de gotas y velocidad terminal (m/s). Los datos fueron procesados mediante algoritmos en Python.

De manera complementaria, se recolectaron datos de precipitación con el pluviómetro tipo Costa y la estación automática Davis. Los registros fueron anotados manualmente en un formato estructurado con cuatro columnas y se usaron para comparar con las mediciones del disdrómetro.

Cálculo del diámetro medio (D_m) de las gotas de lluvia

Para determinar el diámetro medio ponderado de las gotas de lluvia (D_m), se utilizó el espectro de gotas medido por el disdrómetro. Primero, se estimó la distribución del tamaño de gotas por unidad de volumen $N(D_i)$ mediante la fórmula propuesta por Gualco et al. (2021). Luego, se aplicó la ecuación correspondiente al cuarto y tercer momento del diámetro de gotas, permitiendo una clasificación del tipo de lluvia observada. Para este propósito, se programó un algoritmo en Python basado en el método de segmentación de lluvia propuesto por Atlas et al. (1999).

Comparación entre instrumentos

La comparación de datos obtenidos por el disdrómetro, el pluviómetro tipo Costa y la estación automática Davis se realizó diariamente. La precipitación total se calculó aplicando la ecuación (1). Los registros de los pluviómetros se

anotaron manualmente en un formato preelaborado de cuatro columnas.

$$I = \frac{(L_{pp} \times 60)}{(t)} \quad (1)$$

Dónde:

L_{pp}: Lámina precipitada en un intervalo de 60 minutos (mm)

t: tiempo en ho

Resultados y Discusión

Eventos representativos del invierno 2021 y verano 2022

En esta sección, se clasificaron dos eventos meteorológicos representativos: uno en invierno, el 11 de agosto de 2021, y otro en verano, el 26 de febrero de 2022, a fin de comparar sus características pluviométricas.

La precipitación líquida se clasifica según el tamaño de las gotas y la intensidad del evento. La llovizna presenta gotas pequeñas (0,2–0,5 mm) y velocidades de caída entre 70 y 200 cm/s; suela originarse en nubes estratiformes de baja altitud y se asocia con niebla y baja visibilidad (Borzenkova, 1999). La lluvia, en cambio, está compuesta por gotas más grandes, de entre 5 y 6 mm, formadas por la condensación del vapor de agua atmosférico (Borzenkova, 1999).

Por su parte, el aguacero corresponde a una lluvia intensa que genera una lámina de agua de al menos 1 mm por minuto, típicamente localizada en áreas pequeñas y acompañadas de vientos fuertes, con potencial para causar daños al suelo y la vegetación. Según Jameson y Kostinski (2001), esta clasificación se relaciona con la distribución del tamaño

y número de gotas, la cual puede ajustarse mediante modelos estadísticos que permiten caracterizar la microfísica de la precipitación.

Evento 11 de agosto (invierno).

En la Figura 2A se muestra una precipitación de ocho horas de duración, con una intensidad máxima de 0,115 mm·h⁻¹. La Figura 2B presenta el acumulado horario de lluvia, que alcanzó 0,235 mm. En la Figura 2C, se observa la distribución de velocidades terminales de las gotas a las 08:42 a.m., estimándose un diámetro medio de gota (D_m) de 0,245 mm. La Figura 2D representa la reflectividad radar con la relación $Z = 10,45 \cdot R^{1,07}$, donde $a = 10,45$ y $b = 1,07$. De acuerdo con Guyot et al. (2019), un diámetro medio de gota inferior a 0,6 mm y un exponente b menor a 1,15 son característicos de lloviznas asociadas a nubes estratiformes (Ministerio de Agricultura, 1972).

Evento 26 de febrero (verano).

En la Figura 3A y 3B, se registraron dos eventos de precipitación con duración total de una hora, alcanzando un acumulado de 0,939 mm y una intensidad máxima de 4,138 mm·h⁻¹. El diámetro medio de las gotas fue de 1,139 mm. La Figura 3C muestra la distribución de velocidades terminales de las gotas a las 08:49 a.m. Según Das et al. (2017), un diámetro medio superior a 1,1 mm es indicativo de precipitación convectiva poco profunda. En la Figura 3D, la reflectividad radar fue representada por la relación $Z = 349,88 \cdot R^{1,46}$, lo cual indica una precipitación de tipo convectiva poco profunda ($Z > 38$ dBZ y $R < 10$ mm·h⁻¹).

El diámetro de las gotas está directamente relacionado con su energía

cinética, un factor clave para evaluar procesos como la erosión del suelo y el arrastre de contaminantes (Kathiravelu et al., 2016).

Figura 2A–D

Caracterización del evento de precipitación del 11 de agosto. (A) Precipitación horaria ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$); (B) acumulación horaria de precipitación (mm); (C) distribución de la velocidad terminal de las gotas de lluvia ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) en función de su diámetro (mm), registrada a las 08:42 horas; y (D) relación entre la reflectividad radar (dBZ) y la intensidad de precipitación ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$).

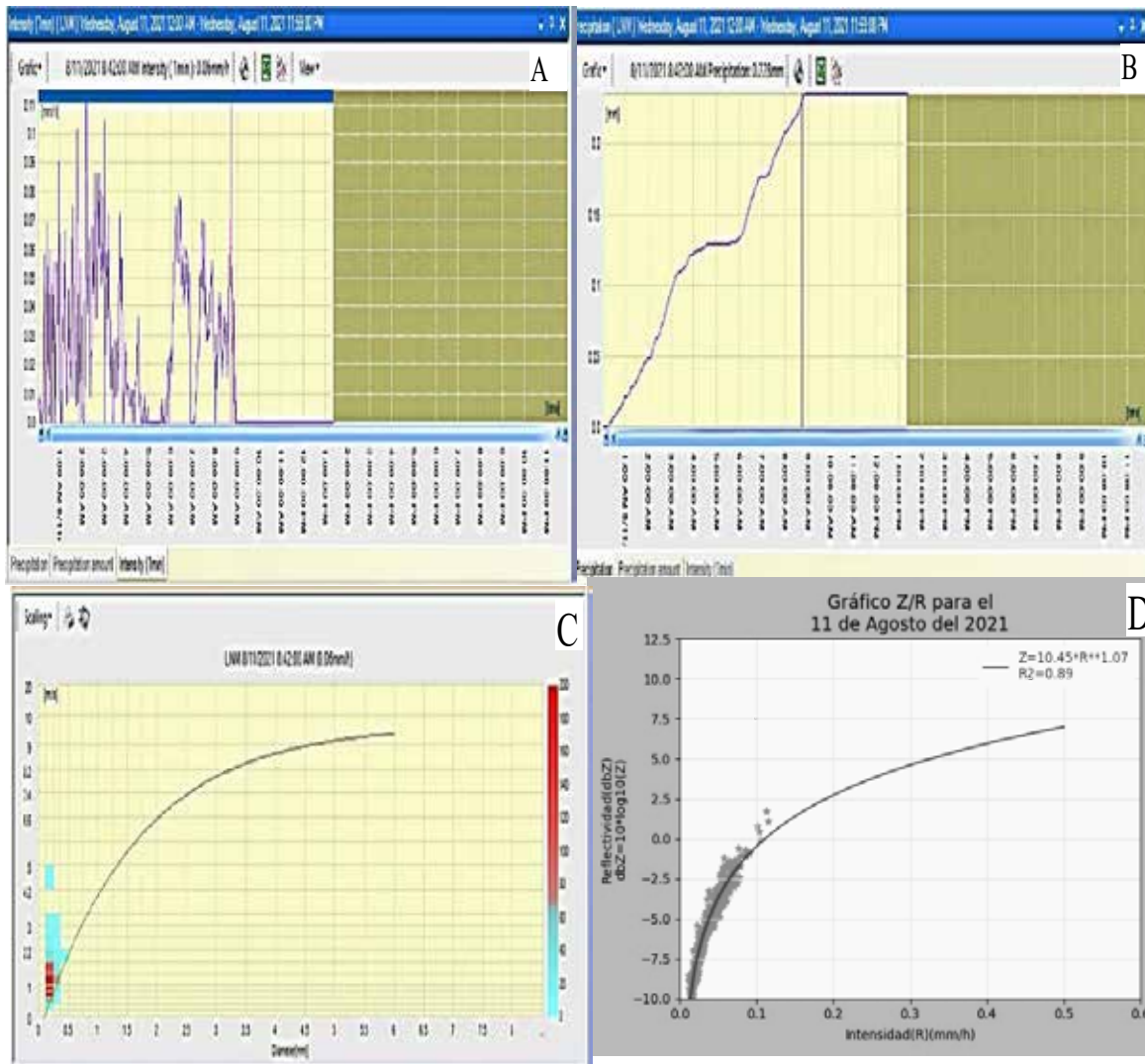
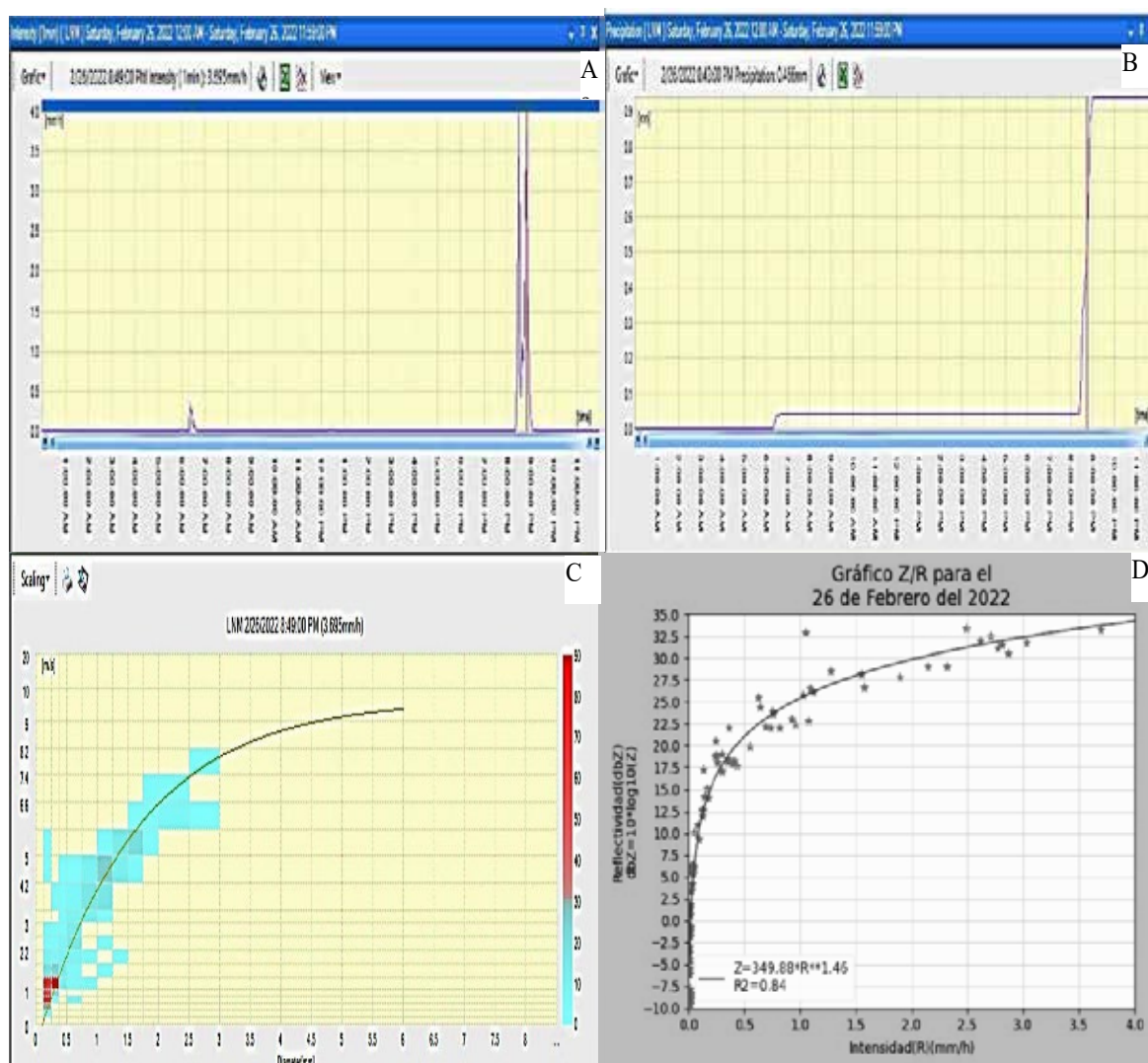


Figura 3A–D

Caracterización del evento de precipitación del 26 de febrero. (A) Intensidad de precipitación horaria ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$); (B) acumulado horario de precipitación (mm); (C) distribución de la velocidad terminal de las gotas de lluvia ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) en función de su diámetro (mm), registrada a las 08:49 horas; y (D) relación entre la reflectividad radar (dBZ) y la intensidad de precipitación ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$).



Caracterización mensual de la precipitación

Invierno

En junio de 2021. En la Figuras 4A y B muestran la distribución diaria de gotas de lluvia en función del diámetro. La mayor concentración se presenta en el intervalo 0,1875 mm con 69,17% del

total. El diámetro de gota varió entre 0,188 mm y 1,375 mm. Estos resultados coinciden con Baltas et al. (2016), quien reporta alta concentración de gotas pequeñas asociadas a precipitación estratiforme. Wang et al. (2021) destaca que este tipo de precipitación se forma con bajo ascenso de aire húmedo, limitando el crecimiento de gotas grandes.

Julio 2021. En las Figuras 5A y B, se observa un patrón similar al de junio. El 67,56% de las gotas presenta un diámetro de 0,1875 mm, y el máximo observado fue 1,125 mm, lo cual

confirma la naturaleza estratiforme de la precipitación, como señala Thurai et al. (2016), con velocidades de caída cercanas a $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Figura 4A–B

Distribución de las gotas de lluvia registradas durante el mes de junio de 2021. (A) Distribución diaria de la concentración de gotas ($\text{gotas}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{mm}^{-1}$) en función del diámetro medio (mm); (B) distribución del logaritmo de la cantidad de gotas acumuladas por metro cuadrado en función del diámetro medio (mm).

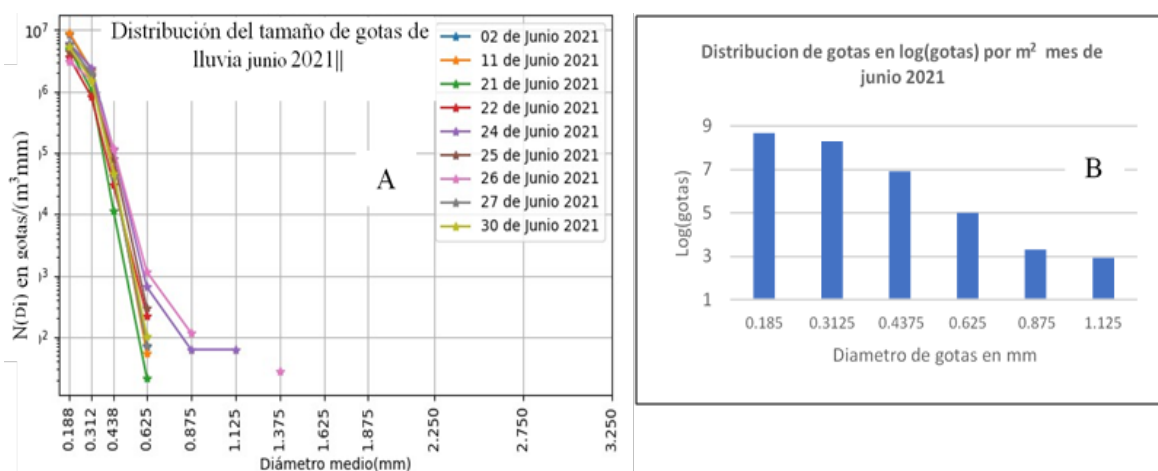
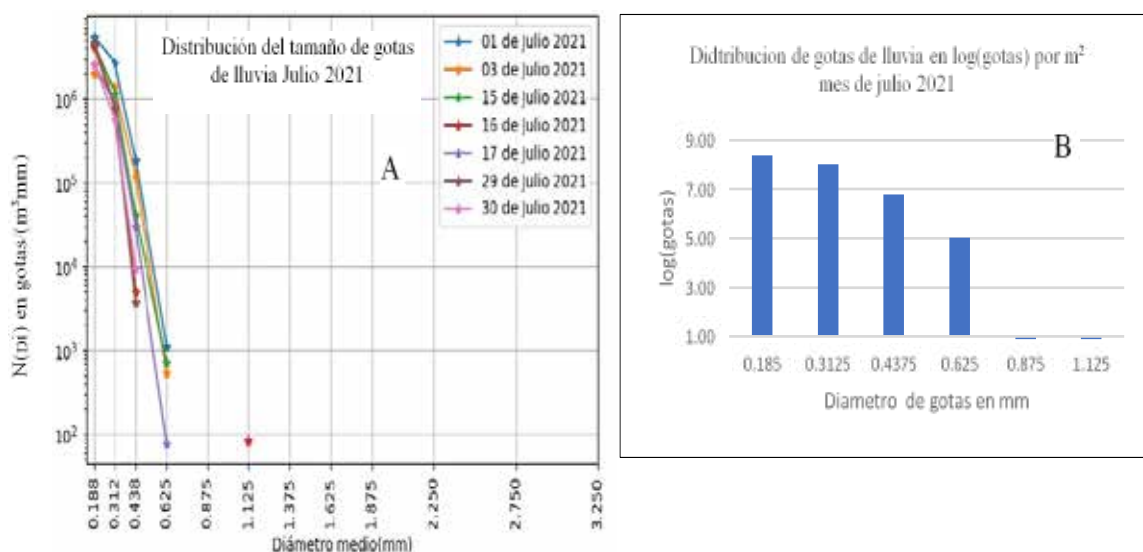


Figura 5A–B.

Distribución de las gotas de lluvia registradas durante el mes de julio de 2021. (A) Concentración de gotas $N(D)$ ($\text{gotas}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{mm}^{-1}$) en función del diámetro medio (mm); (B) distribución del logaritmo de la cantidad de gotas por metro cuadrado en función del diámetro medio (mm).



Verano

Enero 2022. En las Figuras 6A y B, los diámetros predominantes fueron de 0,1875 mm (29,99%), 0,3125 mm (47,88%), 0,4375 mm (16,22%) y 0,625 mm (4,19%), indicando precipitación estratiforme. Wu et al. (2022) y Misumi et al. (2021) destacan que esta precipitación presenta alta densidad de gotas pequeñas, debido a la escasa coalescencia y colisión.

Figura 6A–B

Distribución de las gotas de lluvia registradas durante el mes de enero de 2022. (A) Distribución diaria de la concentración de gotas ($\text{gotas} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{mm}^{-1}$) en función del diámetro medio (mm); (B) distribución de la cantidad acumulada de gotas por metro cuadrado ($\text{gotas} \cdot \text{m}^{-2}$) en función del diámetro medio (mm).

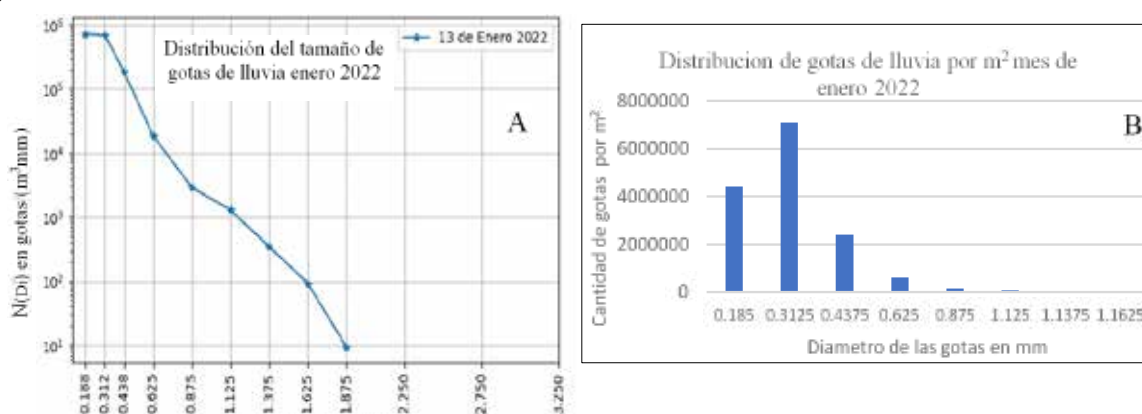
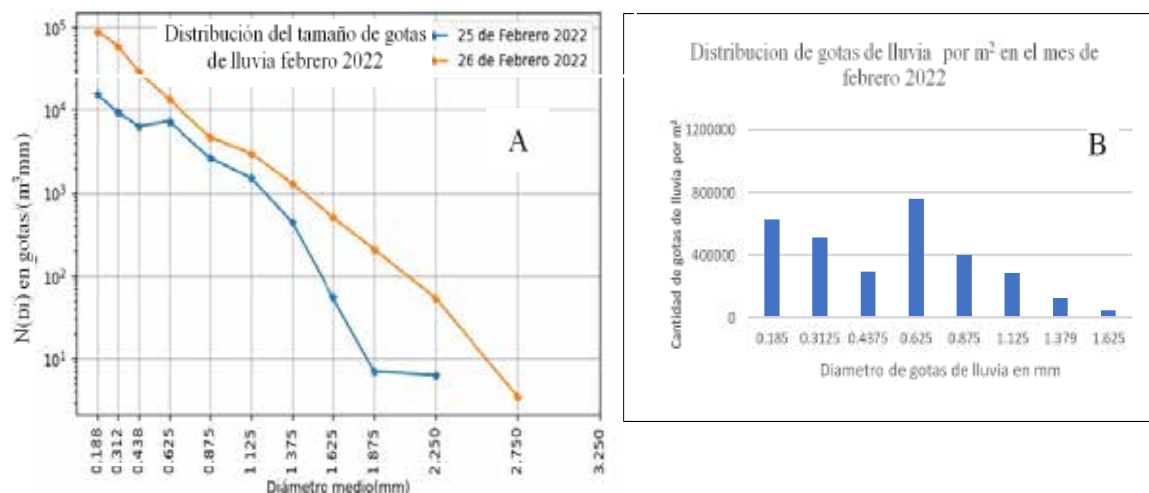


Figura 7A–B

Distribución de las gotas de lluvia registradas durante el mes de febrero de 2022. (A) Distribución diaria de la concentración de gotas ($\text{gotas} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{mm}^{-1}$) en función del diámetro medio (mm); (B) distribución de frecuencia de gotas por metro cuadrado ($\text{gotas} \cdot \text{m}^{-2}$), correspondientes a lloviznas, dentro del rango de diámetros entre 0,188 y 1,625 mm.



En la Tabla 1 se resume los valores de los parámetros de reflectividad Z , intensidad máxima, D_m , duración de lluvia y el tipo de precipitación. Los valores de a y b permiten identificar la naturaleza del evento: llovizna ($b < 1,15$) o lluvia convectiva ($b > 1,3$). Mientras que

en la Tabla 2 se presenta la distribución de gotas por diámetro medio en los meses evaluados. Se evidencia que los meses de invierno concentran gotas más pequeñas con mayor frecuencia, mientras que en verano hay mayor proporción de gotas de mayor tamaño.

Tabla 1

Datos de los parámetros medidos en los días de lluvia: a , b (Z); precipitación diaria, intensidad max. Diámetro medio de gota, horas de lluvia diaria y tipo de lluvia.

Fecha	$Z=aR^b$ a	$Z=aR^b$ b	pp. mm	int. max mmh ⁻¹	D_m mm	horas lluvia	Tipo lluvia
21/06/2021	9,21	1,0	0,273	0,193	0,251	12	estratiforme
22/06/2021	13,07	1,13	0,216	0,363	0,261	7	estratiforme
23/06/2021	12,84	1,1	0,44	0,238	0,269	10	estratiforme
24/06/2021	15,5	1,17	0,38	0,276	0,268	12	estratiforme
01/07/2021	16,6	1,17	0,646	0,41	0,295	9	estratiforme
02/07/2021	16,91	1,11	0,342	0,218	0,308	8	estratiforme
03/07/2021	15,36	1,14	0,306	0,31	0,267	12	estratiforme
04/07/2021	14,87	1,12	0,206	0,278	0,273	10	estratiforme
05/07/2021	10,5	1,04	0,15	0,148	0,253	8	estratiforme
04/08/2021	13,98	1,13	0,238	0,2	0,266	8	estratiforme
05/08/2021	10,45	1,07	0,235	0,115	0,245	8	estratiforme
06/08/2021	12,04	1,11	0,339	0,332	0,259	10	estratiforme
07/08/2021	11,25	1,1	0,154	0,128	0,239	7	estratiforme
08/08/2021	11,06	1,0	0,187	0,156	0,249	6	estratiforme
13/01/2022	65,66	1,15	0,83	0,962	0,518	4	estratiforme
25/02/2022	345,97	1,32	0,369	1,33	0,996	3 doble	estr./ conv,
26/02/2022	349,88	1,46	0,93	4,138	1,139	1	convectiva,

Tabla 2

Distribución del total de gotas lluvia por meses junio, julio, agosto (2021), enero y febrero (2022) en función al diámetro medio por m^2 , se acompañan los respectivos porcentajes comparativos.

Diámetro	Junio (2021)		Julio (2021)		Agosto (2021)		Enero (2022)		Febrero (2022)	
mm	(gotas)	%	(gotas)	%	(gotas)	%	(gotas)	%	(gotas)	%
0,185	349411786	69,2	177762297	67,6	145734391	77,0	4428618	30,0	833133	20,6
0,3125	149436063	29,6	80555402	30,6	42881959	22,7	7096257	48,1	680940	16,8
0,4375	6219786	1,2	4714860	1,8	644013	0,3	2403525	16,3	391395	9,7
0,625	75439	0	82971	0		0	627873	4,3	1007442	24,9
0,875	1535	0		0		0	157899	1,1	529911	13,1
1,125	658	0		0		0	80373	0,2	377427	9,3
1,379	0	0		0		0	25185	0	167325	4,1
1,625	0	0		0		0	7227	0	60237	1,5

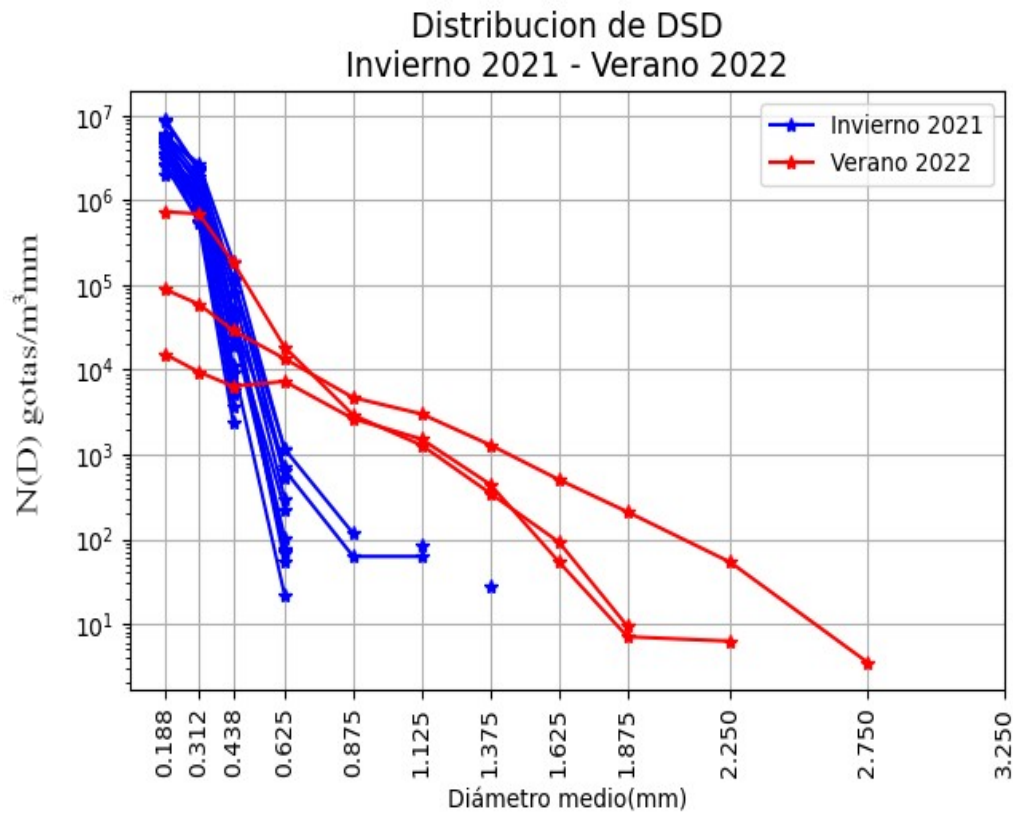
En la Figura 8 se destaca las diferencias entre estaciones. Durante el invierno, la precipitación asociada a nubes estratiformes se caracteriza por una gran cantidad de gotas pequeñas, lo cual sugiere lluvias suaves y persistentes. En comparación, en verano se registraron gotas de mayor diámetro y menor frecuencia, propias de precipitación convectiva poco profunda, especialmente en febrero.

Estas observaciones coinciden con lo descrito por Thompson et al. (2015) y

Wu et al. (2022), quienes señalan que en verano predomina la coalescencia de gotas, facilitada por un mayor ascenso vertical, lo que incrementa el tamaño de las gotas. Según Wang et al. (2021), la reflectividad máxima en precipitación estratiforme ocurre a 4 km, mientras que en eventos convectivos se ubica a 5 km de altitud. Thurai et al. (2021) también describe a las lluvias estratiformes como asociadas a movimientos verticales débiles.

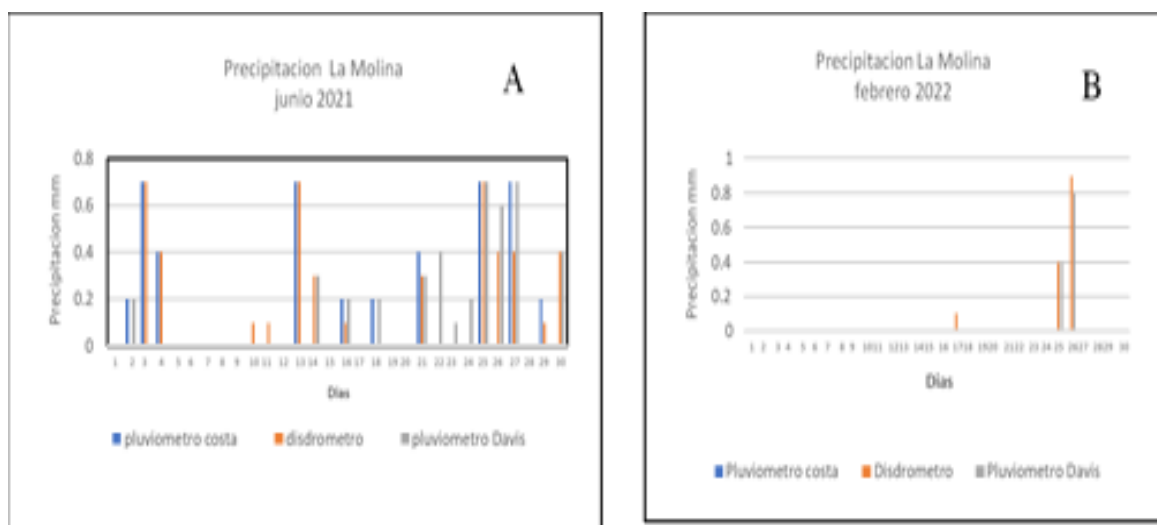
Figura 8

Distribución del número de gotas de lluvia por rango de diámetro (0,188 a 2,75 mm) comparando las estaciones de invierno y verano



Figuras 9

Comparación de la precipitación diaria registrada durante los meses de junio de 2021 y febrero de 2022 utilizando tres instrumentos: pluviómetro tipo Costa, disdrómetro y pluviómetro de estación automática Davis (9A); y distribución de la precipitación diaria registrada en febrero de 2022 (9B)



En la Figura 9, se comparan los registros de junio 2021 y febrero 2022 utilizando distintos instrumentos: disdrómetro, pluviómetro tipo Costa, y pluviómetro Davis Vantage Pro. Los resultados indican que el disdrómetro proporciona una mejor estimación, especialmente para lluvias de baja intensidad, como lo corroboran Liu et al. (2013), Ojebisi (2024), Nebuloni et al. (2022), y Tokay et al. (2003).

Conclusiones

El análisis del diámetro medio de las gotas de lluvia, realizado en el observatorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), permitió caracterizar los eventos de precipitación registrados durante el invierno de 2021 (junio, julio y agosto) y el verano de 2022 (enero y febrero). Se determinó que, en el periodo de invierno, los diámetros medios oscilaron entre 0,188 mm y 1,125 mm, mientras que en verano se registraron valores entre 0,188 mm y 2,75 mm. Esto permitió identificar que las precipitaciones en el invierno correspondieron principalmente a lloviznas de tipo estratiforme, mientras que en verano se presentaron eventos tanto de lloviznas como de lluvias convectivas

poco profundas.

En verano las gotas de lluvia presentan mayores diámetros, pero de menor densidad, en comparación con el de invierno, donde se registraron gotas más pequeñas y en mayor cantidad. Asimismo, se evidenció que la duración de las lloviznas fue considerablemente mayor en la estación de invierno. Estas diferencias se relacionaron con el tipo de nubosidad predominante: nubes estratiformes en invierno, con bases bajas y débil ascenso de aire, y nubosidad convectiva poco profunda durante el verano, con mayor desarrollo vertical.

El uso del disdrómetro demostró una mayor precisión en la medición de las precipitaciones, en comparación con el pluviómetro tipo Costa (precisión aproximada del 5%) y el pluviómetro automático Davis Vantage Pro (precisión entre 1 y 3%). El disdrómetro permitió una mejor estimación de parámetros como el diámetro medio de las gotas y su velocidad terminal, lo cual es relevante para estudios de dinámica de la precipitación, erosión del suelo y gestión del riesgo hidrológico, especialmente ante escenarios de cambio climático.

Referencias

- Angulo, M., & Beguería, S. (2016). Characterization of the disdrometric spectrum of precipitation and applications. *Clima, Sociedad, Riesgos y Ordenación del Territorio*, 1(1), 17–25.
- Aragón, L. G. B., Huang, Y., Mayo, P. T., Crosier, J., Montoya Duque, E., Connolly, P. J., & Bower, K. N. (2024). Precipitation characterization and improved rainfall estimates in the Southern Ocean using an onboard disdrometer and a dual C-band polarimetric radar. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. <https://doi.org/10.1029/2023JD040250>

- Atlas, D., Ulbrich, C., Marks, F., Amitai, E., & Williams, C. (1999). Systematic variation of drop size and radar-rainfall relations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104(6), 6155–6169. <https://doi.org/10.1029/1998JD200098>
- Baltas, E., Panagos, D., & Mimikou, M. (2016). Statistical analysis of the raindrop size distribution using disdrometer data. *Hydrology*, 3(1), 1–13. <https://doi.org/10.3390/hydrology3010009>
- Borzenkova, I. (1999). Types and characteristics of precipitation. *Hydrological Cycle*, 2(1).
- Das, S., Konwar, M., Chakravarty, K., & Deshpande, S. (2017). Raindrop size distribution of different cloud types over the Western Ghats using simultaneous measurements from Micro-Rain Radar and disdrometer. *Atmospheric Research*, 186, 72–82.
- Gualco, L., Campozano, L., Maisincho, L., Robaina, L., Muñoz, L., Ruiz-Hernández, J., Villacís, M., & Condom, T. (2021). Corrections of precipitation particle size distribution measured by a Parsivel OTT2 disdrometer under windy conditions in the Antisana massif, Ecuador. *Water (Switzerland)*, 13(18), 2576. <https://doi.org/10.3390/w13182576>
- Guyot, A., Pudashine, J., Protat, A., Uijlenhoet, R., Pauwels, V. R. N., Seed, A., & Walker, J. (2019). Effect of disdrometer type on raindrop size distribution characterization: A new dataset for south-eastern Australia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(11), 4737–4761.
- Islam, T., Rico, M. A., Han, D., & Srivastava, P. K. (2012). A Joss-Waldvogel disdrometer derived rainfall estimation study by collocated tipping bucket and rapid response rain gauges. *Atmospheric Science Letters*, 13(2), 139–150. <https://doi.org/10.1002/asl.376>
- Jameson, A., & Kostinski, A. (2001). What is a raindrop size distribution? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82, 1169–1177.
- Kathiravelu, G., Lucke, T., & Nichols, P. (2016). Raindrop measurement techniques: A review. *Water (Switzerland)*, 8(1), 14. <https://doi.org/10.3390/w8010029>
- Li, Y. Y., Mou, X., Kang, J., Zhu, S., Yujiang, F., Hongyun, F., Wei, X., Chen, D., Ren, S., Shengjie, J., Li, J., Li, N., Ran, L., Zhou, K., & Zhang, J. (2024). Development of a hail disdrometer and its preliminary observation in Aksu, Xinjiang. *Atmosphere*, 15(7), 823.
- Liu, X., Gao, T., & Liu, L. (2013). A comparison of rainfall measurements from multiple instruments. *Atmospheric Measurement Techniques*, 6(7), 1585–1595. <https://doi.org/10.5194/amt-6-1585-2013>
- Ministerio de Agricultura. (1972). Evaluación de los recursos de agua superficial y condiciones climáticas

- Valle de Cañete. Subdirección de Recursos de Riego.
- Misumi, R., Uji, Y., & Maesaka, T. (2021). Modification of raindrop size distribution due to seeder-feeder interactions between stratiform precipitation and shallow convection observed by X-band polarimetric radar and optical disdrometer. *Atmospheric Science Letters*, 22(7), 1–11.
- Montopoli, M., Marzano, F., & Vulpiani, G. (2008). Analysis and synthesis of raindrop size distribution time series from disdrometer data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(2), 466–478. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.909102>
- Nebuloni, R., Cazzaniga, G., D'Amico, M., Deidda, C., & De Michele, C. (2022). Comparison of CML rainfall data against rain gauges and disdrometers.
- Ojebisi, T. Y. (2024). Development and testing of a low-cost solar-powered disdrometer for rainfall characterization. *Journal of Basic and Applied Sciences*, 20, 196–202.
- Schnepper, T., Groh, J., Gerke, H. H., Reichert, B., & Pütz, T. (2023). Evaluation of precipitation measurement methods using data from a precision lysimeter network, Hydrol. *Earth Syst. Sci.*, 27, 3265–3292, <https://doi.org/10.5194/hess-27-3265-2023>, 2023.
- Thurai, M., Gatlin, P., y Bringi, V., (2016), Separating stratiform and convective rain types based on the drop size distribution characteristics using 2D video disdrometer data, *Atmospheric Research*, 169(1): 416–423.
- Thompson, E., Rutledge, S., y Dolan, B. (2015). Drop Size Distributions and Radar Observations of Convective and Stratiform Rain over the Equatorial Indian and West Pacific Oceans. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1, 4091–4125.
- Tokay, A., Hartmann, P., Battaglia, A., Gage, K., Clark, K., y Williams, C., (2009), Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 26(6), p, 1131
- Villalobos, E. E. (2019). Estudio de las tormentas convectivas a través de observación instrumental y modelado numérico en los Andes Centrales del Perú (Tesis para optar el grado académico de Magíster en Física con mención en Geofísica). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Wang, D., Giangrande, S., Hardin, J., y Bartholomew, M., (2021), Analysis of Three Types of Collocated Disdrometer Measurements at the ARM Southern Great Plains Observatory, USA. Department of Energy, 1, 12.
- Wu, Z., Zhang, Y., Zhang, L., Zheng, H., y Huang, X., (2022), A Comparison of Convective and Stratiform Precipitation Microphysics of the Record-breaking Typhoon In-Fa (2021), *Remote Sensing*, 14(2).

Xie, Z., Yang, H., Huafang, L., y Hu, Q.,
(2020), Seasonal characteristics of
disdrometer- observed raindrop
size distributions and their appli-
cations on radar calibration and

erosion mechanism in a semi-arid
area of China, Remote Sen-
sing, 12(2): 1–23, Doi: [https://
doi.org/10,3390/rs12020262](https://doi.org/10.3390/rs12020262)