



XXXI Simposio Peruano de Física 2025

Uso de un radar meteorológico para clasificación de hidrometeoros sobre el Valle Mantaro.

Nilú Mori^{1,2}, Carlos Del Castillo¹, Yamina Silva¹, Daniel Martínez-Castro¹, Aldo S. Moya²

nilumooz@gmail.com, cdelcastillo@igp.gob.pe, fsilva@igp.gob.pe, danielmartinezc53@gmail.com, amoya@lamolina.edu.pe

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

(2) Departamento de Física y Meteorología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Abstract

Esta investigación presenta los resultados preliminares del desarrollo de dos algoritmos de identificación de hidrometeoros: uno basado en un clasificador bayesiano ajustado para una sola polarización y otro fundamentado en lógica difusa. Ambos utilizan los parámetros disponibles en SOPHy y han sido adaptados a las condiciones atmosféricas locales. Se realizaron comparaciones con simulaciones meteorológicas del modelo WRF (Weather Research and Forecasting Model) empleando el esquema microfísico de Morrison. Las simulaciones fueron contrastadas directamente con los outputs de ambos algoritmos para las mismas fechas, evaluando la consistencia mediante cortes verticales de velocidad vertical y de los campos microfísicos de relación de mezcla en g/kg de Qrain, Qgrapel, Qsnow y Qice, junto con las clases hidrometeorológicas obtenidas a partir de los perfiles RHI y PPI del radar. La validación preliminar incluyó observaciones de dos disdrometros ubicados en Concepción y Huayao, considerando eventos de granizo y de lluvia ligera, moderada y fuerte registrados entre enero y marzo de 2025. Estos hallazgos indicaron que ambos algoritmos permiten una discriminación inicial robusta bajo condiciones orográficas complejas y establecen una base fundamental para el futuro esquema operativo de clasificación de hidrometeoros del radar SOPHy. Esto contribuirá a mejorar su capacidad de monitoreo de precipitaciones y de apoyo a la gestión del riesgo de desastres en la región central del país.

Introducción

Los recientes eventos del Niño Costero han puesto de manifiesto la necesidad de contar con sistemas de observación atmosférica precisos y continuos que permitan reducir el impacto de las precipitaciones extremas en el Perú. En regiones de topografía compleja, estas lluvias representan una de las principales amenazas para la seguridad hídrica y el desarrollo de actividades económicas clave, lo que resalta la importancia del monitoreo meteorológico de alta resolución. En respuesta a este desafío, el presente estudio implementa algoritmos de clasificación de hidrometeoros basados en lógica difusa y enfoques bayesianos en el radar SOPHy. Los resultados se comparan con simulaciones del modelo WRF y se validan con datos de disdrometros en Huayao y Concepción, permitiendo mejorar la caracterización de la precipitación y aportar información relevante para la gestión del riesgo de desastres, los sistemas de alerta temprana y la administración de los recursos hídricos.

Metodología

La metodología se desarrolló en el valle del Mantaro utilizando observaciones del radar meteorológico SOPHy, dos disdrometros OTT Parsivel² ubicados en Huayao y Concepción, y una estación meteorológica automática (Figura 1). Los eventos fueron definidos y clasificados siguiendo un criterio adaptado de Tokay (2014), considerando umbrales mínimos de intensidad y coincidencia temporal entre radar y disdrometros. Se implementaron dos algoritmos de clasificación de hidrometeoros, uno basado en lógica difusa y otro en un enfoque bayesiano, empleando variables no polarimétricas del radar como reflectividad, velocidad radial, ancho espectral, altura y temperatura. Ambos algoritmos clasificaron tres tipos de hidrometeoros: lluvia ligera, lluvia moderada o fuerte y granizo. Para la comparación física de los resultados, se realizaron simulaciones meteorológicas con el modelo WRF configurado con tres dominios anidados de hasta 500 m de resolución, inicializado con datos ERA5 y esquemas físicos adecuados para regiones altoandinas. Finalmente, el desempeño de los algoritmos fue evaluado mediante comparación con las salidas del WRF y validación directa con disdrometros así como un análisis de la evolución temporal de los hidrometeoros durante los eventos seleccionados.

Figura 1. Área de estudio y ubicación de instrumentos.

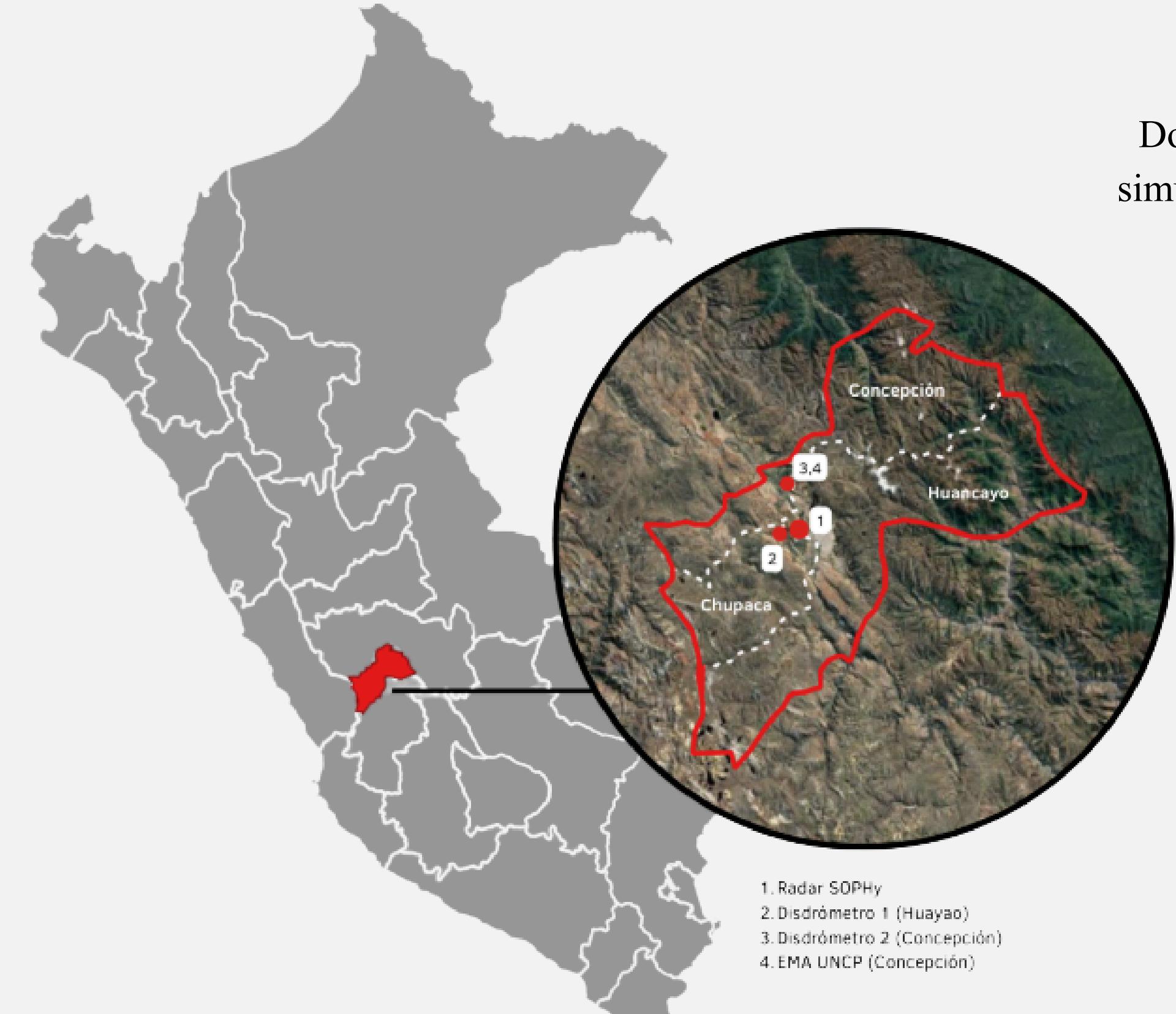


Figura 2. Dominios de la simulación WRF.

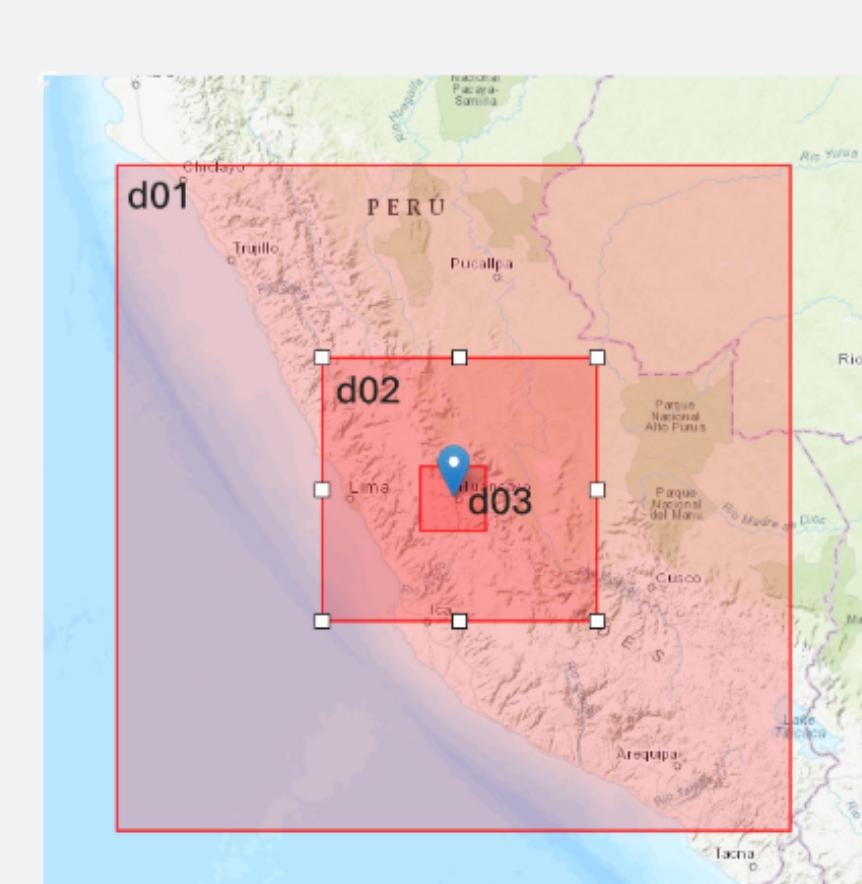


Figura 3. Diagrama de flujo de la selección de eventos.

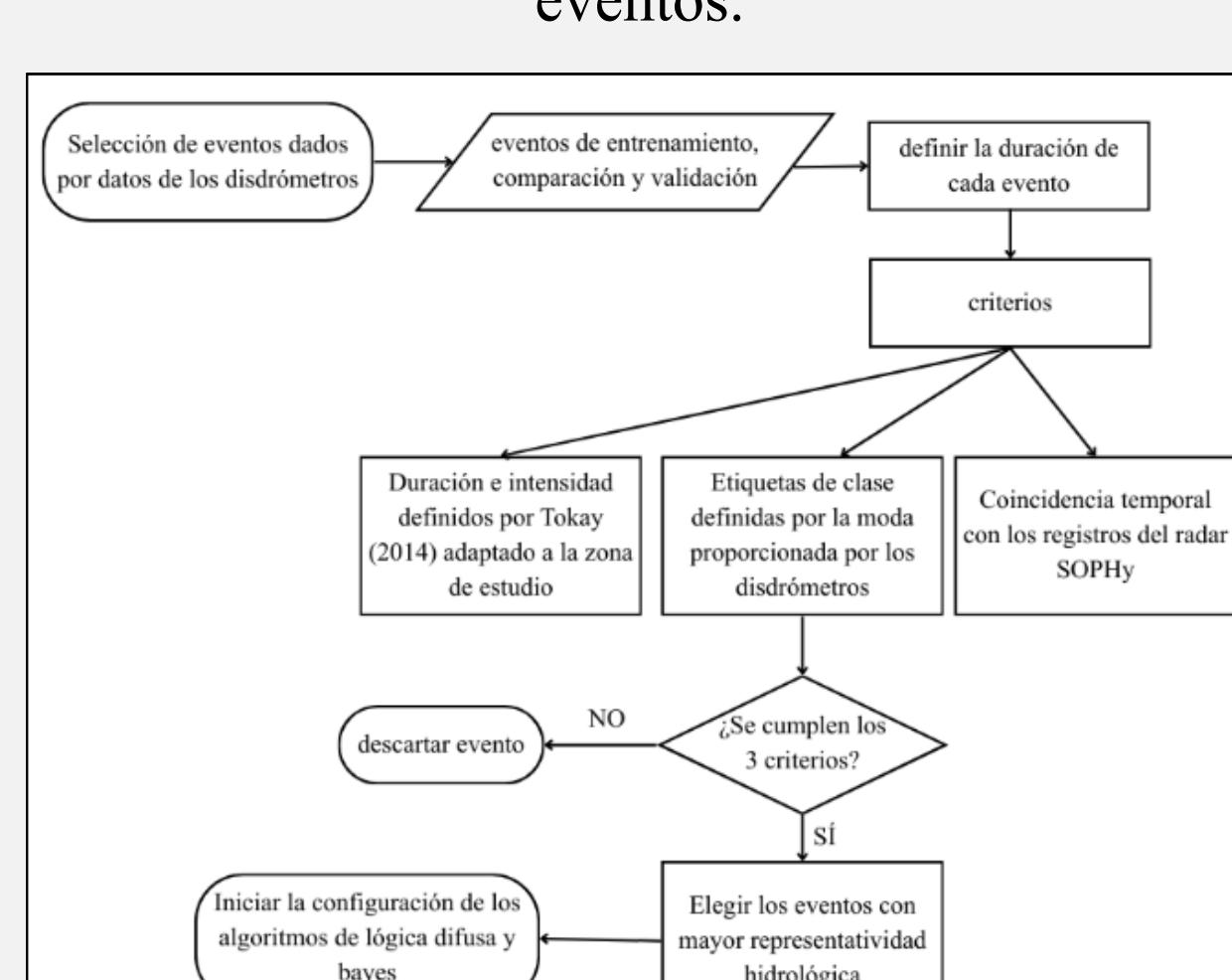
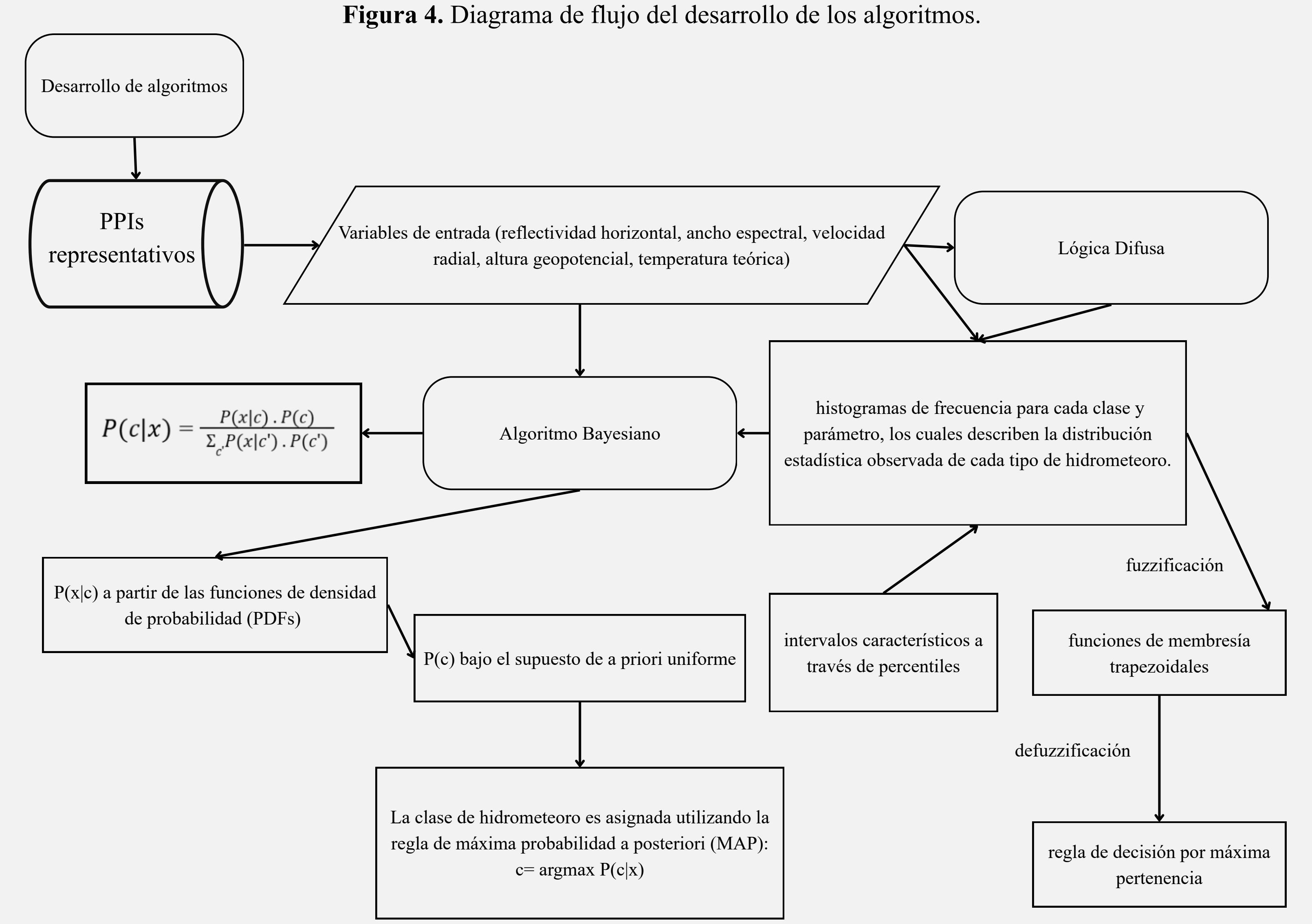


Figura 4. Diagrama de flujo del desarrollo de los algoritmos.



Resultados

En este apartado se presentan los resultados obtenidos a partir de los RHIs (A) de los ecos de radar clasificados mediante los algoritmos de lógica difusa y bayesiano, así como la distribución de las variables asociadas a dichos ecos. Asimismo, se muestran los desarrollos de nubosidad convectiva y estratiforme simulados por WRF, junto con la velocidad vertical negativa (B), indicativa de procesos de descendencia, para cada tipo de hidrometeoro y evento analizado: lluvia ligera (Figura 7), lluvia moderada o fuerte (Figura 6) y granizo (Figura 5). Finalmente, se incluyen los gráficos de diámetro y de velocidad de las gotas de precipitación (C), proporcionados por los disdrometros y utilizados para la validación de los algoritmos, obteniéndose resultados consistentes con lo reportado por Lladó (2023).

Figura 5. Evento de granizo.

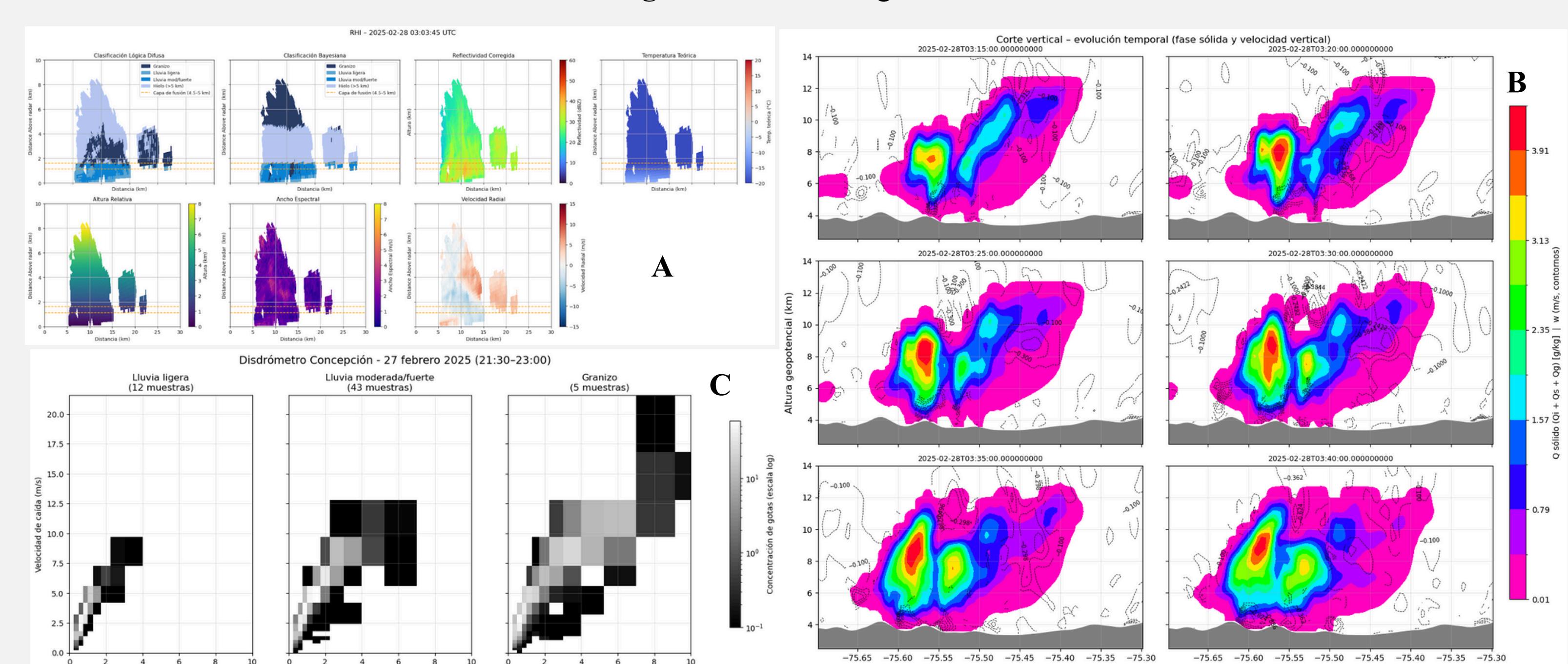


Figura 6. Evento de lluvia moderada/fuerte.

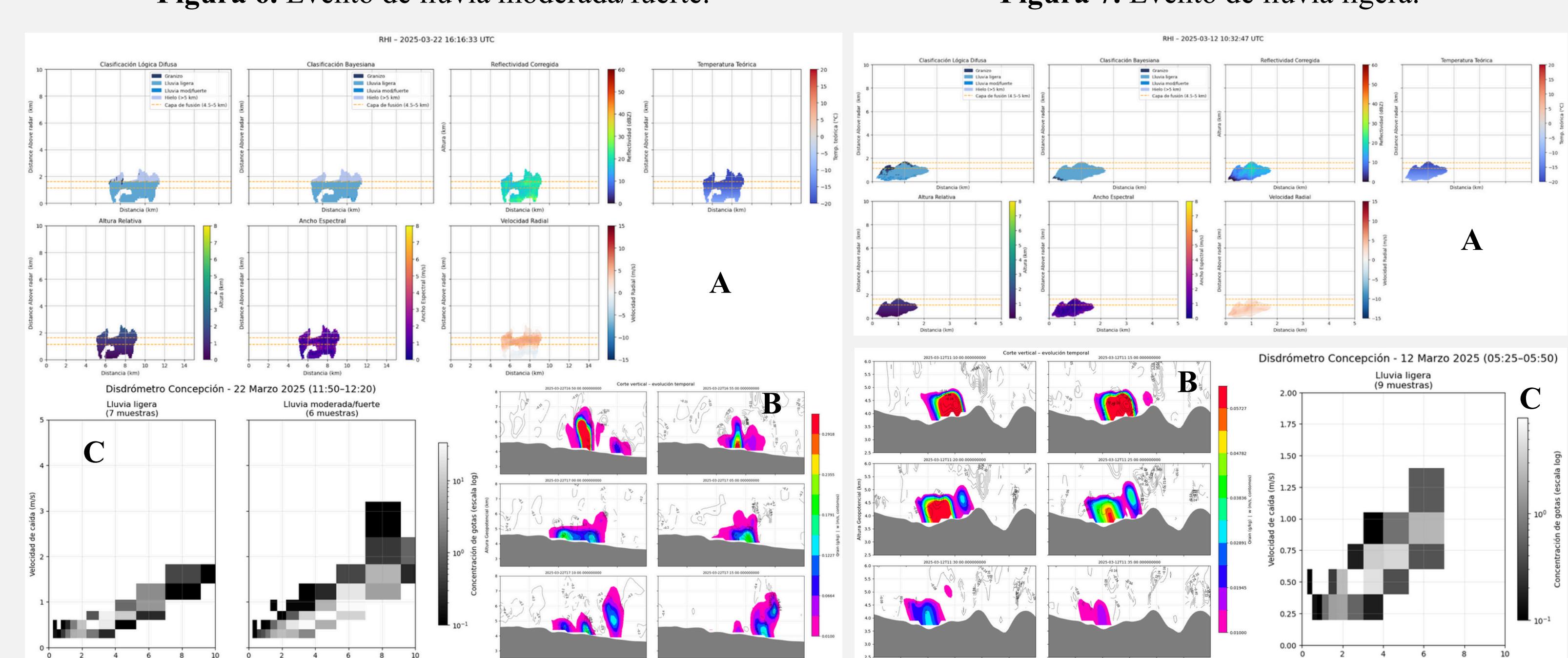
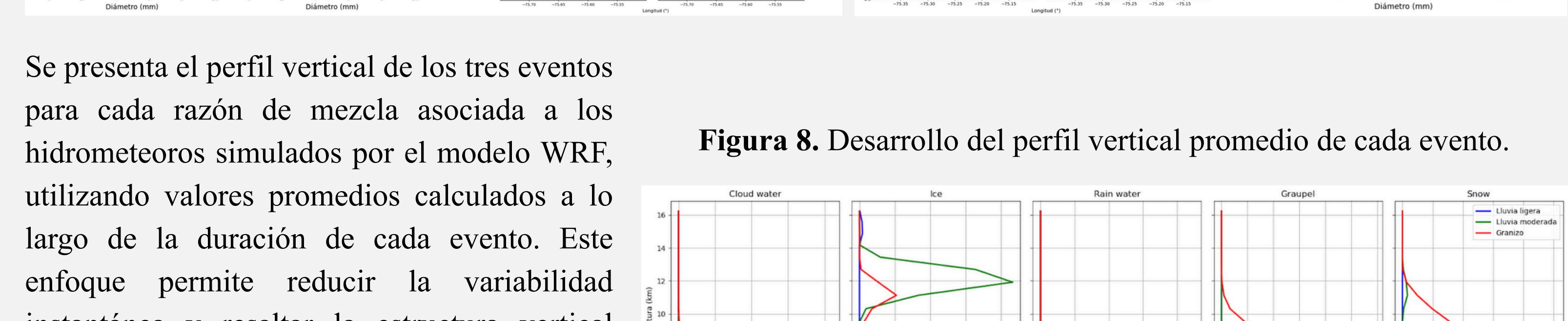
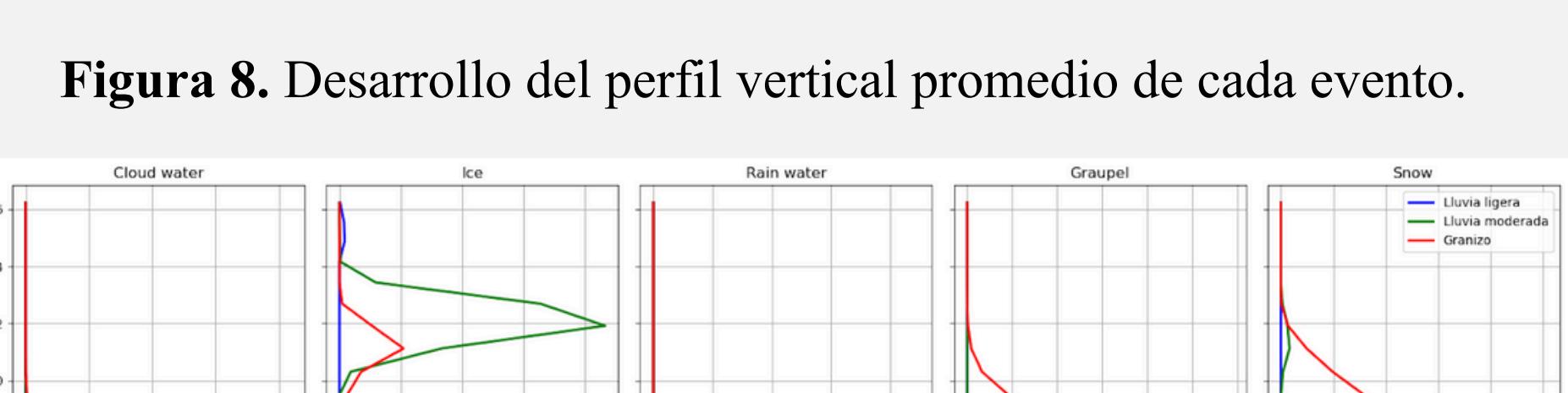


Figura 7. Evento de lluvia ligera.



Se presenta el perfil vertical de los tres eventos para cada razón de mezcla asociada a los hidrometeoros simulados por el modelo WRF, utilizando valores promedios calculados a lo largo de la duración de cada evento. Este enfoque permite reducir la variabilidad instantánea y resaltar la estructura vertical característica de los hidrometeoros, facilitando la comparación entre eventos y la interpretación de los procesos microfísicos dominantes en cada caso.



Conclusiones

Se observó un buen desempeño general de los algoritmos de clasificación implementados, evidenciado por la coherencia física de los hidrometeoros identificados y su consistencia con la estructura de los eventos analizados. No obstante, se recomienda complementar estos resultados con una comparación y validación cuantitativa, mediante métricas estadísticas objetivas, que permitan evaluar con mayor rigor la precisión matemática y el desempeño relativo de cada algoritmo. Asimismo, se resalta la necesidad de incorporar variables polarimétricas, las cuales proporcionarían información microfísica adicional clave para determinar con mayor precisión los tipos de hidrometeoros, fortaleciendo así la robustez y la confiabilidad de las conclusiones obtenidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Lladó Duran, M. (2023). Hydrometeor classification based on disdrometric spectral data.
- Tokay, A., Wolff, D. B., & Petersen, W. A. (2014). Evaluation of the new version of the laser-optical disdrometer, OTT Parsivel 2. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology.

Agradecimientos

Agradezco al Instituto Geofísico del Perú (IGP) por el apoyo institucional brindado para el desarrollo de esta investigación, así como al Dr. Aldo Moya por su asesoría y orientación académica. Expreso también mi sincero agradecimiento a mi familia por su apoyo constante y, de manera especial, a Enzo y a mi perro Bon por sus compañías incondicional durante este proceso.