

**XXVII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA****LIMA, PERÚ, 28 AL 30 DE SEPTIEMBRE DE 2016****EMPLEO DEL RADAR METEOROLÓGICO ARGENTINO RMA1 PARA LA  
DETECCIÓN DE UN EVENTO SEVERO**

*Comes, Raúl<sup>2</sup> - Ingaramo, Ricardo<sup>1,3</sup> - Poffo, Denis<sup>2</sup> - Furbatto, Celina<sup>1</sup> - Saffe, Jorge<sup>1</sup> - Vicario, Leticia<sup>1,4</sup> - Dasso, Clarita<sup>1,4</sup> - Rodríguez, Andrés<sup>1,3</sup> - Bertoni, Juan Carlos<sup>1</sup> - Caranti, Giorgio<sup>2</sup> - Catalini, Carlos<sup>4</sup> - Martina, Agustín<sup>1</sup> - Menajovsky, Sergio<sup>1</sup> - Montamat, Ignacio<sup>1</sup> - Rico, Andrea<sup>4</sup> - Rodríguez González, Santiago<sup>5</sup> - Serra, Juan<sup>6</sup> y Villa Uría, Alberto<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Universidad Nacional de Córdoba. <sup>2</sup>Facultad de Matemática, Astronomía y Física - Universidad Nacional de Córdoba. <sup>3</sup>Laboratorio de Hidráulica - Universidad Nacional de Córdoba. <sup>4</sup>Centro de la Región Semiárida - Instituto Nacional del Agua. <sup>5</sup>Centro de Investigaciones Aplicadas - Fuerza Aérea Argentina. <sup>6</sup>Universidad Nacional de la Patagonia "San Juan Bosco". República Argentina

**RESUMEN**

Los radares meteorológicos permiten la elaboración de pronósticos con una buena definición tanto espacial como temporal, pero como contrapartida producen estimaciones muy poco precisas de la intensidad de lluvia caída en un punto. Por eso es necesario integrar los datos del radar con registros pluviométricos de superficie, para ajustar los algoritmos que permiten realizar la transformación de los ecos medidos por el radar en precipitación u otras variables meteorológicas de interés. En este trabajo se presenta el análisis de un evento pluviométrico de gran intensidad registrado en la Provincia de Córdoba (Argentina), que fue monitoreado por el radar RMA1, instalado en la ciudad de Córdoba y perteneciente al Sistema Nacional de Radares Meteorológicos, y por una estación meteorológica de superficie perteneciente al Instituto Nacional del Agua.

**ABSTRACT**

Weather radars allow for accurate forecasts both in space and time scales, but at the same time they are not precise for rainfall rate point estimation. For this reason, it is necessary to complement weather radar data with rainfall measurements at ground level to design the best algorithm to map the radar echoes into the rainfall rate or any other meteorological variable of interest. A high intensity pluviometric event registered in Córdoba Province (Argentina) is analyzed using data from the National Weather Radars System RMA1 weather radar, placed in Córdoba city and from a ground meteorological station belonging to the National Water Institute.

**PALABRAS CLAVES**

Radar meteorológico, factor de reflectividad, hidrometeoros, estación meteorológica.

## **INTRODUCCIÓN**

El Sistema Nacional de Radares Meteorológicos SINARAME de Argentina es un programa nacional que tiene como objetivo la radarización del territorio con fines meteorológicos (Rodríguez et al, 2016), mediante la incorporación de 11 nuevos radares a un sistema que contaba inicialmente con 8 instrumentos de distinto tipo. El proyecto contempla el desarrollo y fabricación en el país de radares Doppler en Banda C de doble polarización simultánea de última generación denominados RMA (Radar Meteorológico Argentino) y un Centro de Operaciones COP finalizado en 2015 y localizado en la sede del SMN en Aeroparque, BsAs. En ese marco, la empresa estatal INVAP es la responsable del desarrollo de los radares RMA, instalando el prototipo denominado RMA0 en la ciudad de Bariloche en 2014. El primer radar de serie, RMA1, fue instalado a principios de 2015 en la ciudad de Córdoba, Argentina, en un predio perteneciente a la Universidad Nacional de Córdoba UNC, (Bertoni et al, 2014).

Este tipo de radares permiten la elaboración de pronósticos meteorológicos a corto y mediano plazo (Ruzanski, 2007 y Mass et al, 2011), la previsión y monitoreo de contingencias ambientales, el apoyo a la aeronavegación y la generación de datos para estudios científicos (Montopoli et al., 2015, Seo et al., 2015). Se espera que el RMA1 genere información a corto y muy corto plazo para la previsión de eventos hidrometeorológicos, como lluvia, granizo y nubes de polvo, entre otros. Para un uso apropiado de la información obtenida por el RMA1 es necesario disponer de datos confiables, por lo que será necesario llevar a cabo un proceso de calibración meteorológica que garantice la medición de datos precisos de reflectividad, y otro de calibración hidrológica, que permita una adecuada transformación de los datos de reflectividad en precipitación.

En este trabajo se analiza la ocurrencia de un evento de lluvia y granizo que azotó a la localidad de Anisacate (y sitios aledaños), ubicada aproximadamente a 40 km al Sur del lugar de emplazamiento del RMA1, el día 7 de noviembre de 2015. Dicho evento fue registrado por el radar entre las 19:00 y 20:00 horas (UTC). Los datos recibidos permitieron realizar un seguimiento de la tormenta y detectar el momento preciso de la caída de granizo, obteniéndose la duración y la intensidad del mismo. Se cuenta también con datos de estaciones pluviométricas de superficie en la región.

## **OBJETIVOS**

Describir las principales características del radar meteorológico RMA1 instalado en Córdoba (Argentina), presentar aspectos relevantes de un evento severo registrado por el RMA1 y contrastar los datos del radar con mediciones realizadas por estaciones meteorológicas de superficie emplazadas en la zona de influencia del evento.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El radar RMA1 fue construido por la empresa argentina INVAP (sociedad del Estado), constituyendo un desarrollo de origen nacional que utiliza tecnología de punta en esa área del conocimiento. Fue instalado a principios de 2015 en un predio perteneciente a la Ciudad Universitaria de la UNC, está equipado con tecnología Doppler, en Banda C con doble polarización simultánea, y tiene un alcance de 480 km en modo vigilancia, 240 Km en Doppler y 120 Km en alta resolución. Sus especificaciones técnicas establecen una altitud de barrido que varía entre  $-1^\circ$  y  $90^\circ$  en todas las marcaciones de los  $360^\circ$  acimutales.

Las mediciones efectuadas por el radar se envían a un Centro de Operaciones (COP) ubicado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, la cual posee capacidad de recepción y procesamiento a tiempo real de datos de la actual y futura red nacional de radares meteorológicos. Dicho centro es administrado por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina.

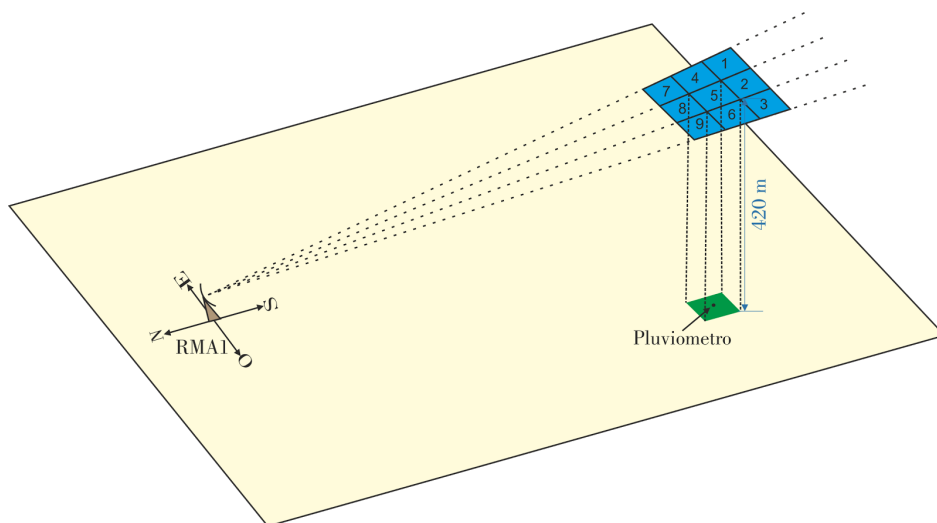
La detección y caracterización de hidrometeoros se realiza mediante el “backscattering” que ellos producen a las microondas que emite el radar. Esta energía dispersada en la dirección del radar es captada y procesada para obtener el denominado factor de reflectividad (Z). La magnitud de Z se relaciona con la cantidad de lluvia que precipita sobre una región por unidad de área y por unidad de tiempo, denominada Tasa de Precipitación R (mm/h). Para estudiar esta relación se cuenta con una red de 50 estaciones meteorológicas convencionales dentro del área de cobertura del RMA1, y próximamente se instalarán 5 estaciones automáticas adquiridas junto con el radar y 2 disdrómetros ópticos Ott Parsival II que permitirán estudiar la distribución de tamaño de gotas de lluvia.

El evento analizado en este artículo se produjo el día 7 de noviembre de 2015 desde la hora 19:50 hasta las 20:35 UTC (Tiempo Universal Coordinado), es decir con una duración aproximada de 45 minutos. Se caracterizó por ser de tipo convectivo, muy localizado espacialmente, presentando caída de granizo durante los primeros minutos de la tormenta (Observación directa). Una de las principales localidades afectadas por el evento fue Anisacate ubicada en las nacientes noroeste de la cuenca del río Xanaes (o Segundo) de la provincia de Córdoba, Argentina.

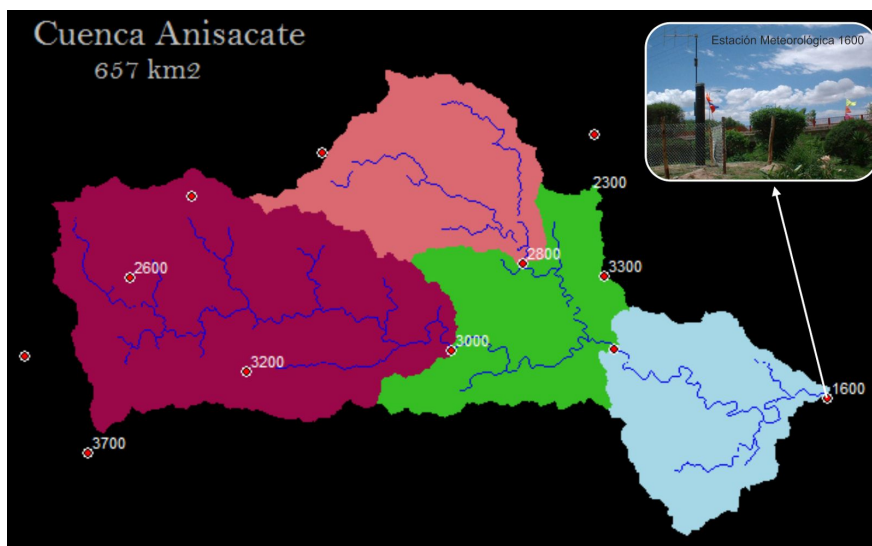
Los datos de radar fueron obtenidos por el radar RMA1 cuya ubicación definida por sus coordenadas geográficas son 31,441324° S; 64,191917° O. La tormenta bajo estudio fue registrada usando una estrategia identificada con el número 9005 consistente en barridos PPI (Plan Position Indicator) para los cuales se varía continuamente el ángulo azimutal entre 0° y 360° mientras se mantiene fijo el ángulo de elevación registrando de este modo las mediciones efectuadas sobre una superficie cónica con vértice en el radar. Al ser el transmisor del radar RMA1 del tipo pulsado, el haz de microondas que emite consiste en un tren de ondas de una duración del orden del microsegundo y la recepción del eco devuelto por la precipitación que lo intercepta se realiza muestreando la señal captada en intervalos discretos de tiempo correspondientes a celdas sucesivas contiguas situadas sobre la línea radial del eje del haz del radar. Los ángulos de elevación de cada barrido PPI por lo general se eligen de manera que las celdas correspondientes a un mismo alcance y a dos ángulos de elevación sucesivos sean contiguas. Sin embargo, también se existen configuración de celdas no contiguas que se utilizan para otros propósitos.

Con el fin de facilitar el análisis y correlación entre los datos proporcionados por el radar RMA1 y un pluviómetro ubicado en la zona de mayor impacto de la tormenta bajo estudio, se eligieron nueve celdas de cada uno de los seis volúmenes de datos de radar para la elevación a 0,5° (PPI 1). Estas celdas conforman un arreglo matricial de 3x3 elementos de manera que la celda central está ubicada exactamente sobre la vertical que pasa por el pluviómetro, como se describe en la Figura 1. Con los datos disponibles de alcance y las coordenadas geográficas tanto del radar RMA1 como de la estación meteorológica, se pudo determinar que la celda central se encontraba a unos cuatrocientos veinte metros sobre el pluviómetro.

Con respecto a la información de superficie, por su proximidad y al entorno de influencia, se utilizaron los datos de un pluviómetro de alta frecuencia que se encuentra ubicado dentro de la subcuenca del río Anisacate con cierre en la estación homónima (Figura 2).



**Figura 1.**-Esquema del emplazamiento relativo de los instrumentos de observación de la precipitación que en la zona de Anisacate registró el sensor 1600 (pluviómetro) ubicado en la estación meteorológica de esa localidad. Se han numerado las nueve celdas en que se dividió el scan más bajo del radar RMA1.



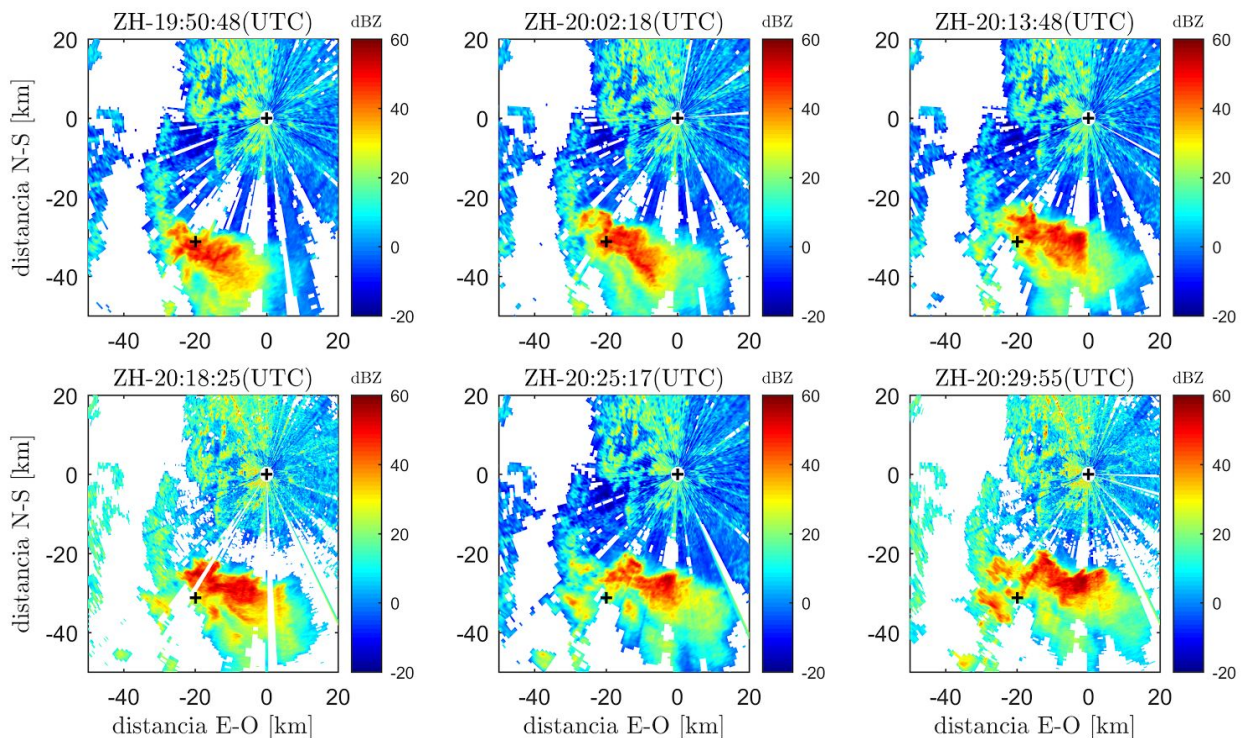
**Figura 2.**-Cuenca del río Anisacate y ubicación de los pluviómetros de alta frecuencia temporal (puntos rojos) dentro de la cuenca. En la imagen también se observa en la parte superior izquierda una fotografía con la estación meteorológica que brindó los datos de precipitación (Vélez, E.O. (2011)).

Dicha estación (cuya ubicación geográfica es  $31^{\circ}43'25''$  S;  $64^{\circ} 24'17''$  O; 473 msnm) pertenece al Sistema de Adquisición de Datos a tiempo real de la Subsecretaría de Recursos Hídricos y Coordinación de la Provincia de Córdoba y del Instituto Nacional del Agua (INA) (Vélez, 2011). El instrumento es identificado como Sensor N° 1600 (Figura 2). Posee tecnología ALERT, es decir que corresponde a un sensor automatizado de reporte de eventos (meteorológicos o hidrológicos) que transmite señal codificada a través de frecuencia de radio VHF a una estación central. El sistema de medición es por cangilones con precisión de 1mm y la boca recolectora está posicionada a 4m sobre

el terreno.

## RESULTADOS

A través del RMA1 se realizó un seguimiento muy completo del evento extremo observado el día 7 de noviembre de 2015. La Figura 3 muestra los seis registros de factor de reflectividad medidos. En la imagen se identifica la posición del radar con una cruz negra en el punto (0,0) y la posición de la estación meteorológica con otra cruz negra que se encuentra en las inmediaciones del evento (sector rojo intenso).

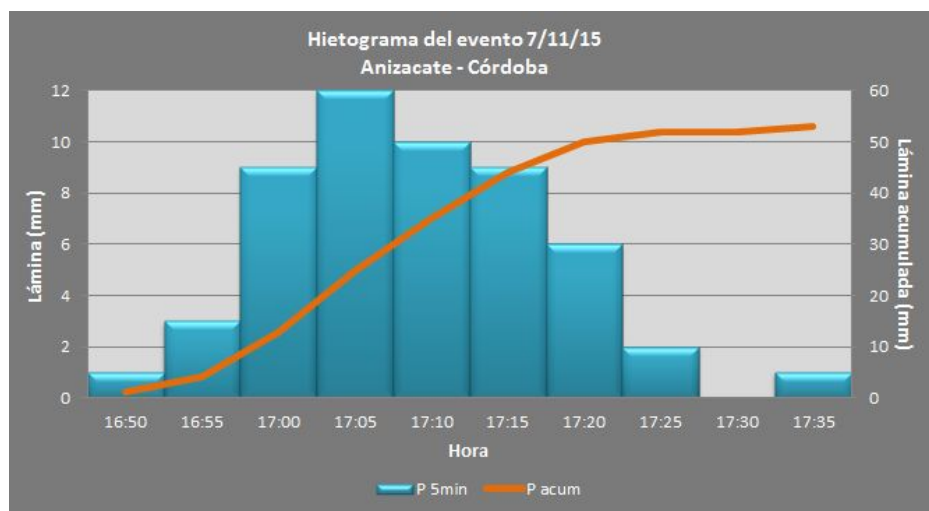


**Figura 3.-** Esta imagen muestra los seis registros de factor de reflectividad medidos como una secuencia temporal de derecha a izquierda. En la imagen se identifica la posición del radar con una cruz negra en el punto (0,0) y la posición de la estación meteorológica con otra cruz negra que se encuentra en las inmediaciones del evento (sector rojo intenso). Las regiones azules (regiones con muy bajo Z) están asociadas a interferencias y clutter.

El registro de superficie asociado al evento estudiado presentó una duración de 45 minutos, con una precipitación acumulada de 53 mm. La máxima lámina registrada fue de 12 mm en 5 min, lo que implica una intensidad media máxima en dicho intervalo de 144 mm/h como se observa en el hietograma de la Figura 4. En cuanto al análisis del evento en superficie, se observa en relación a su distribución temporal una variabilidad de las intensidades en su corta duración y en relación a lo espacial, que ocurrió de manera localizada en la región de Anisacate; por estas características se lo puede caracterizar como intenso.

Se analizaron y procesaron los registros originales en la fecha de ocurrencia de la tormenta estudiada, en la mencionada estación y en el resto de las estaciones pertenecientes a la cuenca,

habiéndose encontrado registros distintos de cero sólo en el sensor 1600. A los fines del presente estudio, se analizó el interior del evento y se elaboraron los hietogramas en intervalos de 1 a 15 minutos. Luego, se analizó la información cada 5 minutos por considerarse un intervalo pertinente para observar características de interés y coherente con la duración del evento registrado desde la hora 19:50 UTC hasta las 20:35 UTC, con una duración aproximada de 45 minutos.



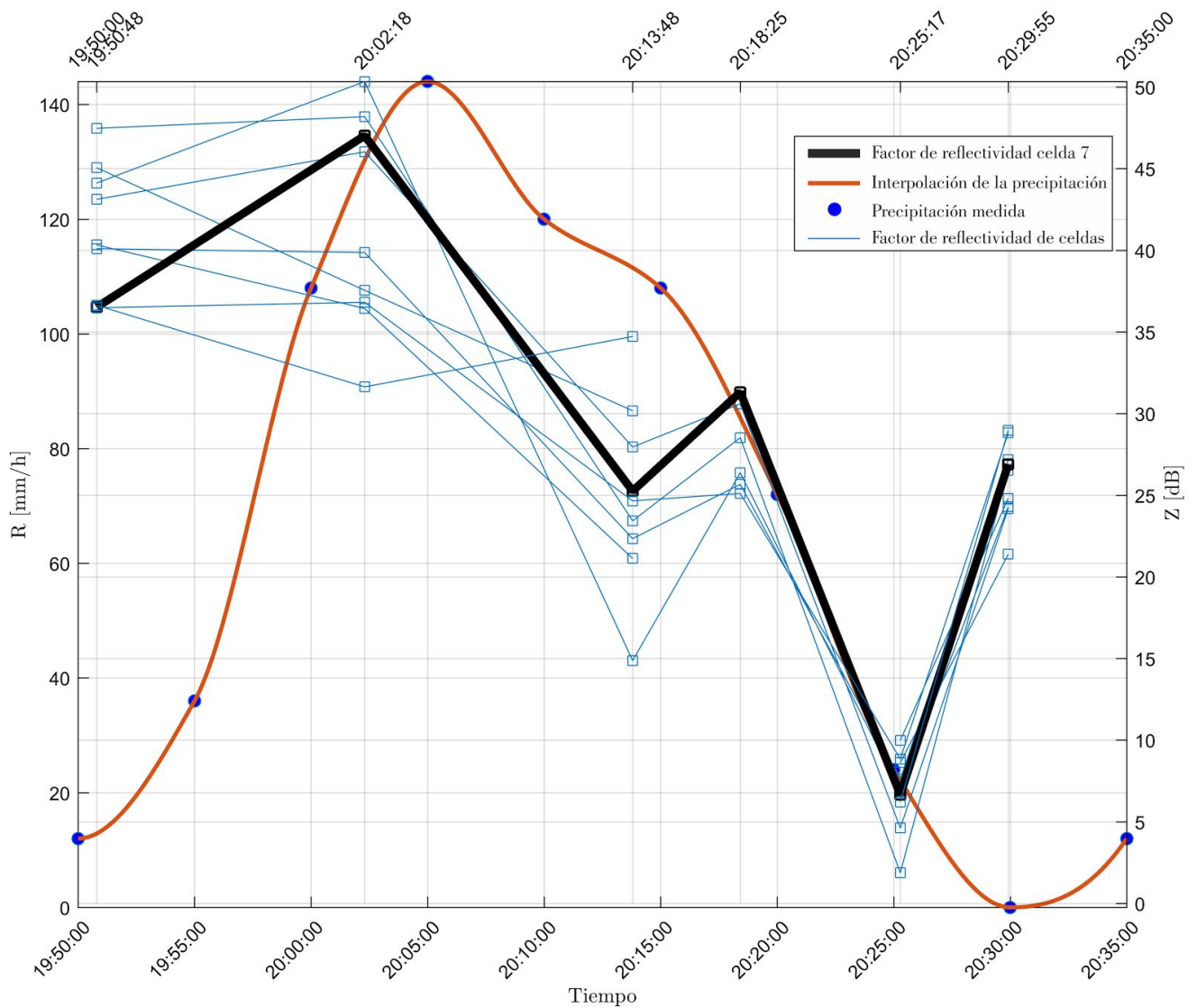
**Figura 4.-** Hietograma (intervalos de 5 min) y precipitación acumulada del evento del 7/11/2015. Estación 1600 (Anisacate).

Los datos obtenidos a partir de las observaciones del radar meteorológico RMA1 sobre los nueve sectores explicados en las secciones anteriores fueron procesados y ordenados para producir las representaciones gráficas consignadas en la Figura 5 las cuales se superponen con la función tasa de precipitación registrada por el sensor 1600 a lo largo del período de desarrollo del evento hidrometeorológico.

Una primera observación de las gráficas del pluviómetro y del radar revela un retraso de la escala de tiempo de las abscisas del primero con respecto al segundo. Esta característica claramente es una manifestación de una relación causa-efecto que en términos simples significa que la tasa de precipitación registrada por el pluviómetro resulta de la caída de los hidrometeoros que previamente fueron registrados por el radar cuando se encontraban por encima del sensor. Esta interpretación es

respaldada por el hecho de que la matriz de celdas registradas por RMA1 estaban sobre el sensor 1600 a una altura de unos cuatrocientos veinte metros, con lo que resulta razonable aceptar que ninguna parte de la precipitación que recibe el pluviómetro pueda provenir de alguna otra celda fuera de las nueve utilizadas para este estudio.





**Figura 5.-** Intensidad de la precipitación  $R$  (mm/h) y factor de reflectividad  $Z$  (dB) vs tiempo del evento del 7/11/2015. Estación 1600 (Anisacate).

La segunda observación es una clara correlación entre las partes descendentes de las curvas tanto de las celdas registradas por RMA1 como de los datos registrados por el sensor 1600. Este rasgo de las representaciones gráficas de la Figura 5 refuerzan la interpretación de la relación causa-efecto arriba mencionada ya que se ve claramente cómo las curvas se siguen cuantitativamente a través de diferentes tramos de su decrecimiento. Este paralelismo en el comportamiento de las curvas no se observa tan claramente en los tramos iniciales, observándose que cuando el factor de reflectividad crece ligeramente o decrece, la tasa de precipitación comienza un rápido ascenso con un retraso del mismo orden observado en el tramo decreciente. Este hecho admite una interpretación simple, nominalmente, que el repentino aumento en la tasa de precipitación es causado por el derretimiento de granizo acumulado sobre el embudo de ingreso del pluviómetro que había caído anteriormente cuando el radar registraba el valor más elevado del factor de reflectividad. También es notoria la mayor coincidencia del comportamiento de las curvas del factor de reflectividad en función del tiempo para las nueve celdas que componen el área barrida por RMA1 sobre la estación meteorológica de Anisacate en los estadios finales de la tormenta. Esta coincidencia se explica por

la mayor uniformidad en la distribución de tamaños de las partículas de precipitación que aún subsisten en las celdas observados. Esto debe ser así, ya que la mayor diversidad de tamaños de partículas ya han caído al debilitarse la corriente térmica ascendente que las sostenía dejando arriba sólo los hidrometeoros más pequeños que pueden ser mantenidos por una térmica debilitada y mucho más uniforme que termina cubriendo completamente las nueve celdas. Esta interpretación queda reforzada por la secuencia temporal observada en los dos primeros paneles de la Figura 3. Por otra parte, estos mismos argumentos pueden usarse para afirmar que la mayor dispersión en el comportamiento de las curvas del factor de reflectividad en los estadios iniciales de la tormenta estudiada significan una mayor diversidad de tamaños y una mayor heterogeneidad en el contenido de precipitación de las diferentes nueve celdas. Finalmente, se observa que el registro marcado en color negro del factor de reflectividad de la celda 7 proporcionado por el radar RMA1 es el que mejor se correlaciona con el registro de la intensidad de precipitación marcado en color rojo de la Figura 5. Este hecho está de acuerdo con el registro de vientos de ese día el cual revela que en el momento en que se desarrolló esta tormenta, el viento soplaba desde el sector NE. Como la celda 7 se encuentra al NE de la estación meteorológica, queda claro que esta celda es la que aportó la mayor cantidad de partículas al ingreso del sensor 1600.

## CONCLUSIONES

Este trabajo constituye uno de los primeros antecedentes específicos en la integración de datos de reflectividad medidos por un radar y de precipitación medida en superficie, dentro del sistema de radarización del proyecto SINARAME. Se ha corroborado que el RMA1 posee la capacidad de detectar eventos severos de precipitación (en fase líquida y sólida) dentro de su área de cobertura. Se logró contrastar la información obtenida a través del radar con los datos provistos por instrumental convencional de superficie, proporcionados por una estación meteorológica automática, que a priori muestran una aproximación razonable. Este análisis es solo el comienzo de un largo proceso que debe conducir a la calibración hidrológica del radar, durante el cual se deberán analizar distintos tipos de hidrometeoros, en diferentes épocas del año, en distintas regiones dentro del área de cobertura del RMA1, y probar diferentes algoritmos de transformación de reflectividad en precipitación, hasta lograr una herramienta que proporcione resultados confiables en función de las aplicaciones previstas para un radar meteorológico.

## REFERENCIAS

**Bertoni, J; Caranti, G; Catalini, C; Cioccale, M; Comez, R; Furbatto, C; Ingaramo, R; Martina, A; Menajovsky, S; Poffo, D; Rodríguez, A; Saffe, J; Smrekar, M; Vicario, L y Villa Uría, A** (2015) Puesta en marcha del Primer Radar Meteorológico Argentino RMA1 en la Universidad Nacional de Córdoba, *XXV Congreso Nacional del Agua, Paraná, Argentina*.

**Mass, C., & Mass, C. F.** (2011). Nowcasting: The Next Revolution in Weather Prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society*.

**Méndez B., Ramón A., Dominguez-Mora V., Caetano E., Carrizosa E.** (2006). "Calibración Hidrológica en Radares Meteorológicos". *Ingeniería Hidráulica en México*, vol. XXI, núm. 4, pp. 43-64.



**Montopoli, M., Vulpiani, G., & Guerriero, E.** (2015). Vertical profiles of weather radar reflectivity: Case study analysis from the Italian network for quantitative precipitation estimation. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015 IEEE International* (pp. 4894-4896).

**Rodriguez, A., C Lacunza, J Serra, G Caranti, C Saulo, R Comes, T Hartman, I Montamat, D Poffo, A Martina, J Saffe and S Rodriguez González** (2016) SiNaRaMe: The First National System of Weather Radars in Latin America, enviado a *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*

**Ruzanski, Evan.** (2007). Nowcasting for a high-resolution weather radar network. *Colorado State University. Libraries, USA*

**Seo, D. J., Habib, E., Andrieu, H., & Morin, E.** (2015). Hydrologic applications of weather radar. *Journal of Hydrology*, 531, 231-233.

**Vélez, E.O.** (2011). “Instalación y puesta en marcha de las Estaciones Hidrometeorológicas Telemétricas del Gobierno de la Provincia de Córdoba”. *Informe Técnico Final*. 139 p. INA-CIRSA. Villa Carlos Paz, Arg.