

Expansión de la red del SMN empleando los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas automáticas de terceros

Nota Técnica SMN 2021-90

**Gonzalo Díaz¹, Maximiliano Vita³, María Paula Hobouchian²,
Lorena Ferreira¹, Leandro Giordano³**

¹ *Dirección de Servicios Sectoriales, Dirección Nacional de Pronósticos y Servicios para la Sociedad.*

² *Dirección de Productos de Modelación Ambiental y de Sensores Remotos, Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios.*

³ *Subgerencia de Sistemas de Información y Alerta Hidrológico, Instituto Nacional del Agua.*

Abril 2021

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

Resumen

La existencia de una adecuada red de estaciones meteorológicas de precipitación es fundamental para lograr una buena representación de los eventos precipitantes en el país, más aún si se desea generar un producto confiable de precipitación basado en la fusión de tecnología satelital, radar y observaciones in situ. Ciertamente, un factor importante en esto son las características de la red (distribución espacial, cantidad, calidad del instrumental, reglas de operación y mantenimiento, entre otras). El Servicio Meteorológico Nacional presenta una red que si bien guarda un alto estándar de calidad para determinadas aplicaciones y objetivos, es deficiente por la baja densidad de estaciones. Por lo tanto, mediante la vinculación con organismos y entidades externos/as al Servicio Meteorológico Nacional es posible expandir la red de referencia en base a redes observacionales de terceros. En esta Nota Técnica se presenta una metodología específica de evaluación de datos de precipitación de las Estaciones Meteorológicas Automáticas pertenecientes a redes de terceros con el fin de expandir la red de referencia oficial del Servicio Meteorológico Nacional. Los resultados muestran que se podría expandir la red de referencia oficial del organismo en la provincia de Córdoba a partir de las estaciones de la Bolsa de Cereales de mejor calidad. Aún más, esta expansión involucraría un incremento relativo del 100% en relación a la cantidad de estaciones presentes en la red oficial original.

Abstract

The availability of an adequate network of precipitation meteorological stations is essential to achieve a good representation of the precipitating events in the country, particularly if the aim is to generate a reliable precipitation product based on the fusion of satellite technology, radar and in situ observations. Certainly, an important factor in this is the characteristics of the network (spatial distribution, quantity, quality of instruments, operation and maintenance procedures, among others). The National Meteorological Service presents a network that, although it maintains a high quality standard for certain applications and objectives, is deficient due to the low density of stations. By creating partnerships with external organizations to the National Meteorological Service, it is possible to expand the reference network based on third-party observational networks. This Technical Note presents a specific methodology for evaluating precipitation data from automatic weather stations belonging to third-party networks in order to expand the official reference network of the National Meteorological Service. Results show that the official reference network could be expanded into the province of Cordoba by considering the stations of better quality of the province's Grain Exchange. Furthermore, this expansion would involve a relative increase of 100% in relation to the number of stations in the original official network.

Palabras clave: precipitación, EMAs, red de referencia, evaluación, Córdoba

Citar como:

Díaz, G., M. Vita, M. P. Hobouchian, L. Ferreira y L. Giordano, 2021: Expansión de la red de referencia empleando los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas automáticas de terceros. Nota Técnica SMN 2021-90.

Prólogo

Esta Nota Técnica forma parte de una serie que recopila informes realizados en el marco del proyecto “Estimación de precipitación de mejor calidad a partir de la combinación de datos de satélite, radar y estaciones meteorológicas” en el marco del Programa 8.1.1 “Programa de explotación de los datos de sensores remotos” (año 2020). El objetivo final del proyecto es desarrollar e implementar un algoritmo que combine de forma óptima estimaciones de precipitación basadas en sensores remotos (satélite y radar meteorológicos) y observaciones in situ (pluviómetros) para lograr una estimación cuantitativa de precipitación que permita mejorar de manera significativa el monitoreo de la precipitación y otras aplicaciones desarrolladas dentro del Servicio Meteorológico Nacional. Con esta serie de Notas Técnicas se busca documentar el proceso de desarrollo de cada componente del proyecto: 1) observaciones pluviométricas, su integración a través de redes propias y de terceros y el desarrollo de metodologías de evaluación de confiabilidad de esta información y control de calidad en tiempo real, 2) desarrollo de una estimación de precipitación en base a radar meteorológicos, metodologías de control de calidad en tiempo diferido y generación de productos, y 3) desarrollo e implementación de una primera versión de una estimación satelital de precipitación corregida con pluviómetros, cálculo y análisis de distancias de correlación, metodologías de corrección de errores sistemáticos (climatología) y diarios, y validación.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Necesidad de expansión de la red de referencia

Las observaciones meteorológicas in situ son la fuente más exacta de información para las distintas variables atmosféricas (e.g precipitación, temperatura, humedad, viento, radiación, etc) y son de gran importancia para la caracterización de los fenómenos atmosféricos. Estas provienen en general de redes de observación en superficie de los Servicios Meteorológicos de los países, que en muchos casos, suelen presentar una densidad espacial escasa, sobretudo en países en vías de desarrollo como Argentina (Xie y Xiong, 2011). Esto conduce a que la resolución espacial de los productos en retícula regular disponibles derivados de estas observaciones sean por lo general de baja resolución y sobre la base de mediciones no homogéneas, en el dominio espacial de esos países, restándoles confiabilidad. Debido a esto, es altamente recomendable expandir la red de estaciones meteorológicas de referencia del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) a partir de observaciones in situ no oficiales, principalmente para mediciones con tanta variabilidad espacial y temporal como la precipitación. Vale destacar, que las mediciones de redes no oficiales, redes de terceros o redes externas, puede ser información de baja calidad, y es por eso muy importante evaluar esta información antes de incorporarla en productos específicos.

1.2 Evaluación de las redes disponibles en el marco del proyecto QPE-Merge

Este trabajo se realizó en el marco del Programa 8.1.1 del año 2020, específicamente en el Proyecto QPE-Merge, combinando recursos y en asociación con la Subgerencia de Sistemas de Información y Alerta Hidrológico del Instituto Nacional del Agua (SSlyAH-INA), con el fin de elaborar un campo de precipitación

más exacto en base a información satelital, radar y observaciones in situ. Para contar con un producto QPE-Merge lo más confiable posible, es fundamental que la densidad de observaciones se adecúe, en cantidad y calidad, a las características de escala espacio/temporal del evento precipitante monitoreado (DeGaetano 2001). La disponibilidad de una gran cantidad de sitios con observaciones es muy importante (Vila et al. 2009), pero no es el único factor que debe considerarse. En efecto, la distribución espacial de los sitios es quizás el factor predominante. Es así que la distribución espacial óptima será aquella que requiera de un menor número de observaciones en base a la escala espacial y temporal del fenómeno (i.e. expliquen una proporción significativa de la variabilidad observada). Es así que pocas estaciones pero adecuadamente distribuidas pueden generar mejores resultados que un gran número de estaciones con una inadecuada distribución espacial.

En esta Nota Técnica se propone una metodología específica en función a la bibliografía consultada para generar un sistema de evaluación de los datos brindados por Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs), pertenecientes a redes de terceros, con el fin de expandir la red de referencia con la que cuenta el SMN. El análisis fue aplicado a la red de estaciones de la Bolsa de Cereales de Córdoba (BCC), perteneciente a dicha provincia. Si bien la red del SMN cumple con normas y estándares de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), para este trabajo se tomaron también otras redes de organismos nacionales para extender la red de referencia. Debido a la gran cantidad de EMAs no oficiales que existe en el país, a diferencia de estaciones convencionales no oficiales, el foco de este análisis se centró en la evaluación de EMAs y no así, de estaciones convencionales.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

2.1 Región de estudio

La región de estudio abarca toda la provincia de Córdoba (Figura 1) la cual se encuentra localizada en la zona central del territorio argentino, abarcando dos sistemas geomorfológicos claramente diferenciados: las Sierras Pampeanas y la Llanura Chacopampeana.

Para comprender la topografía del terreno de la provincia y obtener la altura representativa de las estaciones meteorológicas se utilizaron datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y los datos obtenidos de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (Farr et al. 2007) para poder visualizar el Modelo Digital de Elevación (MDE) de la provincia en paneles de $1^\circ \times 1^\circ$, con una resolución espacial de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 metros).

La región montañosa es parte de las Sierras Pampeanas y separa a la llanura occidental (ubicada al noroeste) de la llanura oriental. Al noroeste de la provincia se destaca la región de las salinas limitando con las provincias de La Rioja y Catamarca. Mientras que, al noreste, se ubica la laguna de Mar Chiquita, la cual se caracteriza por ser una de las lagunas con mayor salinidad en el Hemisferio Sur. La región de llanura no supera los 200 m de altitud y las sierras los 1500 m (Figura 1). En esta región ocurre una gran cantidad de sistemas convectivos y la complejidad del terreno produce que el impacto de la lluvia sea importante. Asimismo, la iniciación de estos sistemas se encuentra fuertemente relacionada con la presencia de las sierras al oeste de la provincia (Rasmussen y Houze 2016).

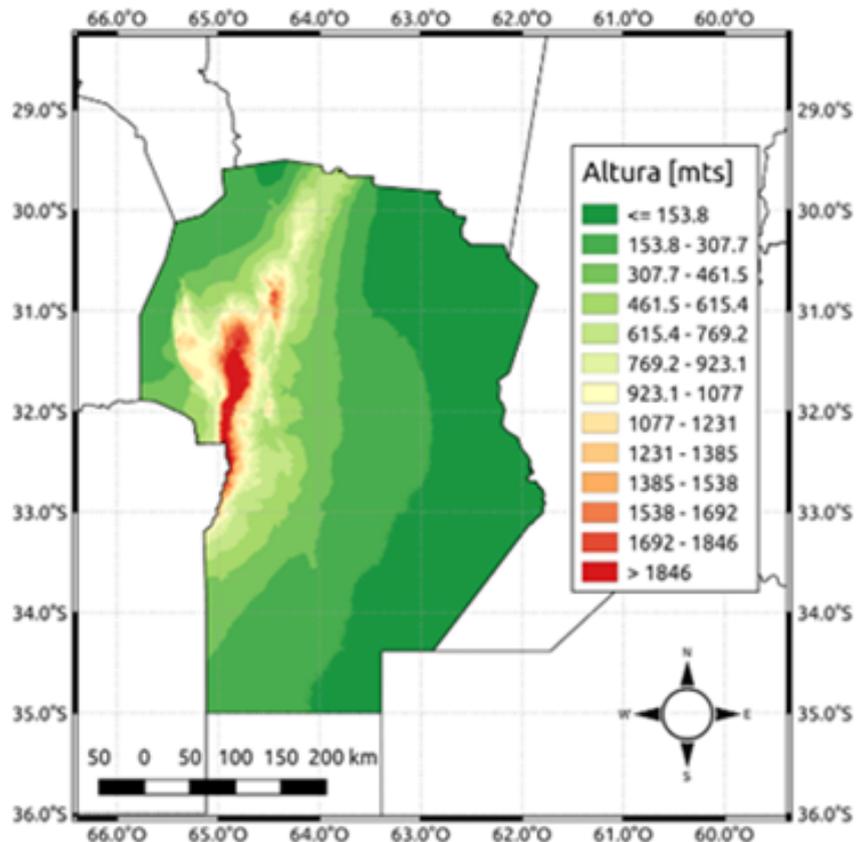


Fig. 1 Modelo Digital de Elevación para la provincia de Córdoba obtenido a partir de la misión SRTM de la NASA. Los valores de altura se representan en colores de tonalidades verdes para valores mínimos y rojos para valores máximos.

2.2 Datos

Se utilizaron datos de 46 estaciones meteorológicas, de las cuales, 8 pertenecen a la red convencional oficial del SMN, 16 a la red automática del Instituto Nacional del Agua (INA) de Córdoba y Red Hidrológica Nacional (RHN) convencional (Tabla 1), y 22 son EMAs provenientes de la red de la BCC (Tabla 2). Para esta última red, la información corresponde a 9 años de datos horarios de precipitación entre 2012 (instalación de la red) y 2020. Con el fin de construir la red de referencia considerada en este trabajo, se utilizaron datos de precipitación diarios de estaciones meteorológicas provenientes del SMN, del INA y de la RHN, ubicadas dentro de la provincia de Córdoba. Las alturas en metros fueron obtenidas a partir del MDE de la SRTM.

Tabla 1 Detalle de las estaciones meteorológicas utilizadas para la construcción de la red de referencia, incluyendo número de ID interno, nombre de la estación, red a la que pertenece, longitud (°), latitud (°) y altura (m) con respecto al nivel del mar.

#	ID	Estacion	RED	Long.	Lat.	Altura (mts)
1	375	Marcos Juarez AERO	red SYNOP SMN	-62,15	-32,7	113
2	399	Laboulaye AERO	red SYNOP SMN	-63,37	-34,13	141
3	387	Villa Maria del rio Seco	red SYNOP SMN	-63,68	-29,9	360
4	380	Pilar observatorio	red SYNOP SMN	-63,88	-31,67	332
5	392	Cordoba observatorio	red SYNOP SMN	-64,18	-31,4	427
6	367	Cordoba AERO	red SYNOP SMN	-64,22	-31,32	473
7	405	Rio Cuarto AERO	red SYNOP SMN	-64,23	-33,12	406
8	411	Villa Dolores AERO	red SYNOP SMN	-65,13	-31,95	570
9	4229	La Puente	red SHN	-64,78	-32,33	1250
10	4318	Laguna La Margarita	red SHN	-63,72	-34,65	140
11	400	Copina	red SHN -INA	-64,71	-31,57	1740
12	700	Confluencia Icho Cruz - El Cajon	red SHN -INA	-64,64	-31,49	760
13	1800	El Cajon	red SHN -INA	-64,69	-31,45	1800
14	900	Puesto Garay	red SHN -INA	-64,74	-31,42	1625
15	200	Los Gigantes	red SHN -INA	-64,81	-31,44	2292
16	4306	La Florida	red SHN	-64,78	-32,23	1100
17	4228	El Manzano	red SHN	-64,88	-32,37	1800
18	4231	Pampichuela	red SHN	-64,82	-32,13	1175
19	500	Puesto El Galpon	red SHN -INA	-64,82	-31,51	2380
20	1010	Confluencia rios I. Cruz y Malambo	red SHN -INA	-64,68	-31,49	1340
21	4230	Lutti	red SHN	-64,73	-32,30	1025
22	4227	Cerro Blanco	red SHN	-64,92	-32,13	2100
23	1200	El Condor	red SHN -INA	-64,79	-31,58	2286
24	600	Barrio El Canal	red SHN -INA	-64,49	-31,45	675
25	4212	Las Tapias	red SHN	-64,95	-32,10	2240

Tabla 2 Detalle de las estaciones meteorológicas automáticas a evaluar, incluyendo número de ID interno, nombre de la estación, red a la que pertenece, longitud (°), latitud (°) y altura (m) con respecto al nivel del mar.

#	ID	Estacion	RED	Long.	Lat.	Altura (mts)
1	94097	General Roca	red BCC	-61,92	-32,77	94
2	94095	Pegasano ZR	red BCC	-64,56	-34,6	222
3	34104	Monte Cristo ZR	red BCC	-63,83	-31,34	314
4	34011	Cordoba	red BCC	-64,17	-31,41	389
5	94004	Santa Eufemia	red BCC	-63,29	-33,23	152
6	34115	Las Junturas	red BCC	-63,43	-31,83	232
7	94015	El Crispin	red BCC	-63,5	-31,05	168
8	94005	Alejandro Roca	red BCC	-63,91	-33,39	248
9	94019	Candelaria	red BCC	-63,7	-30,86	217
10	94018	Capilla de Siton	red BCC	-63,63	-30,52	200
11	94024	Eufasio Loza	red BCC	-63,61	-29,94	264
12	94021	Olaeta	red BCC	-63,96	-33,02	311
13	94030	Huanchilla	red BCC	-63,66	-33,56	178
14	94025	Alta Gracia	red BCC	-64,43	-31,69	519
15	94039	San Antonio de Litin	red BCC	-62,64	-32,21	128
16	94038	Ambul ZR	red BCC	-65,13	-31,48	1044
17	94059	Toledo ZR	red BCC	-64	-31,48	371
18	94053	Colonia 10 de Julio	red BCC	-62,14	-30,55	96
19	94083	Ballesteros	red BCC	-62,97	-32,54	162
20	94063	Pasco	red BCC	-63,34	-32,76	182
21	94091	Las Arrias	red BCC	-63,55	-30,31	169
22	94086	Alcira Gigena	red BCC	-64,34	-32,75	546

La distribución de estaciones del SMN (Figura 2a) cuenta con una limitada representación espacial. Mientras que, la distribución de estaciones de la red del INA y de la RHN (Figura 2b), se encuentra mayoritariamente concentrada en la región oeste de la provincia de Córdoba. Por otro lado, la red de la BCC presenta mayor cantidad de observaciones y una mayor distribución espacial que las otras redes (Figura 2c), con la salvedad de que en la región noreste y sur solamente cuenta con una estación y en la región noroeste no cuenta con ninguna.

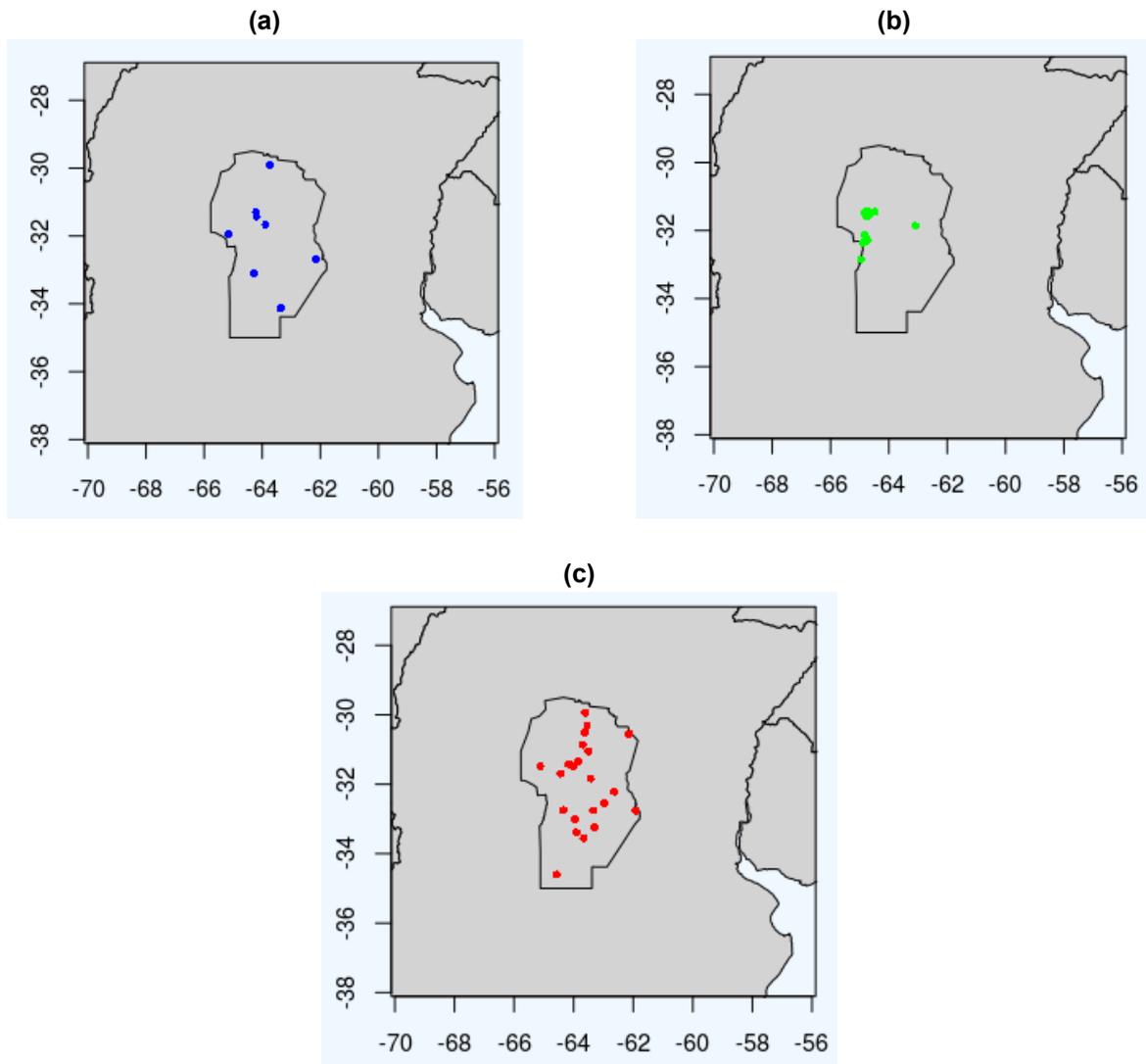


Fig. 2 Mapa de la provincia de Córdoba con las ubicaciones de las redes de estaciones pluviométricas. (a) convencionales oficiales del SMN (azul), (b) INA y RHN (verde) y (c) estaciones de la red de la BCC (rojo).

2.3 Metodología para evaluación de EMAs

En primer lugar, con el fin de analizar la consistencia espacial entre las EMAs de la BCC y estaciones de la red de referencia cercanas (SMN, INA y RHN), se aplicaron criterios específicos sobre los datos con pares de puntos $[p_{bcc}, p_{ref}]$, donde p_{bcc} representa el valor de precipitación diario de la EMA de la BCC para

un tiempo específico y p_{ref} es el valor de precipitación diario de la estación de la red de referencia para el mismo tiempo.

Inicialmente, no se consideraron los pares de puntos en donde no se registraba precipitación en la estación de la BCC ($p_{bcc} = 0$), como tampoco en la estación de referencia ($p_{ref} = 0$). Este criterio también se tuvo en cuenta entre las propias estaciones de la red de referencia. Además, se detectaron las fechas con outliers en las EMAs de la BCC, del INA y estaciones de la RHN, ya sea por contar con valores negativos en el registro o por detectar valores horarios de la serie que superasen el valor de precipitación mensual.

Una vez aplicados los controles previos, se calculó el coeficiente de correlación de Kendall (Kendall, 1945) para determinar el grado de relación entre estaciones. El coeficiente de correlación de Kendall (τ) es una estadístico no paramétrico que brinda información sobre la intensidad de asociación entre dos variables cuantitativas. Bajo el supuesto de relación monótona y para el caso de que su interrelación no sea lineal, este queda definido por (Svoboda et al, 2014):

$$\tau(X, Y) = \frac{c_n - d_n}{\frac{1}{2}n(n-1)}$$

donde n es el número de datos total de las series de precipitación, c_n es el número de pares concordantes y d_n el número de pares discordantes. Se definen los pares concordantes y discordantes a partir de la clasificación ordenada de las observaciones de cada variable. Suponiendo que los pares $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$ definen un rango, el par es concordante si se cumple que $x_i > x_j$ y $y_i > y_j$ o $x_i < x_j$ y $y_i < y_j$. Contrariamente, si $x_i > x_j$ y $y_i < y_j$ o $x_i < x_j$ y $y_i > y_j$, el par es discordante. Por último, si $x_i = x_j$ y $y_i = y_j$ se define como par no concordante ni discordante. Los valores cercanos a 1 indican una asociación monótona positiva (fuerte concordancia) entre las variables, mientras que los valores cercanos a -1 indican una asociación negativa monótona (fuerte discordancia). Un valor cero de τ indica que las variables son independientes.

Las correlaciones de Kendall fueron calculadas entre todas las estaciones de referencia consideradas, es decir, entre las estaciones de SMN, INA y RHN. Luego, para cada una de estas estaciones, se elaboró la curva de decaimiento de correlación con la distancia a la cual se le aplicó un ajuste exponencial (Svoboda et al. 2014; Tokay et al. 2014) definido por:

$$r(d) = r_0 \cdot \exp\left[-\left(\frac{d}{d_0}\right)^{S_0}\right]$$

donde el par $[r, d]$ representa los puntos de correlación y distancia y r_0 , d_0 y S_0 son parámetros a ajustar, donde r_0 es el parámetro de nugget (adimensional) y da información sobre la variabilidad de la correlación a distancias cercanas a cero, d_0 es el rango o escala de decorrelación (en unidad de kilómetros), y caracteriza el decaimiento de la correlación y S_0 se define como el factor de forma (adimensional). Ante valores bajos de este parámetro, el decaimiento de la curva es *abrupto* en las primeras distancias. Para lograr un ajuste óptimo, el valor de r_0 fue altamente dependiente de la estación a analizar y su rango de variación inicial se definió entre 0.7 y 1. Los demás parámetros se definieron inicialmente como $S_0 = 0.5$ y $d_0 = \max(d)/3$. Finalmente, se define la distancia o radio de influencia de cada estación de referencia empleada, como el valor de distancia $d_0 = d_{corr}$ para el cual $r(d_{corr}) = r_0 \cdot \exp^{-1}$. Por ejemplo, $r(d_{corr}) = 0.37$ cuando

$r_o = 1$. Asimismo, para distancias $d > d_{corr}$, el valor de precipitación de lluvia de la estación no es representativo.

Finalmente, se elaboró un criterio de confianza o aceptabilidad de las EMAs de la BCC en función a las condiciones de la Tabla 3. Para este criterio, se computaron las correlaciones de Kendall entre las EMAs de la BCC y las estaciones oficiales del SMN más cercanas (en base a condición de Tabla 3) y también se agregó una condición adicional asociada a la diferencia de altitud entre estaciones. Se tuvo en cuenta aquellas estaciones de la BCC cuya diferencia de altitud con las del SMN fuera menor a 100 metros (Veiga et al. 2014).

3. APLICACIÓN PRELIMINAR PARA LA RED DE LA BOLSA DE CEREALES DE CÓRDOBA

Al considerar todos los pares de puntos de las estaciones de la red de referencia, el ajuste de correlación versus distancia converge con parámetros finales $r_o = 0.65$, $d_o = 10.76 \text{ km}$ y $S_o = 0.22$. Es considerable notar el fuerte decaimiento que sufre el ajuste a los pocos kilómetros de distancia (Figura 3), esto es coherente al revisar los parámetros d_o , distancia no muy grande, y S_o , un pequeño valor del factor de forma. Esta curva de ajuste fue generada para cada una de las estaciones de la red de referencia, en la Figura 4 se observa el radio de influencia $d_o = d_{corr}$ para cada una de las estaciones de la red oficial del SMN superpuesto con las EMAs de la BCC a evaluar.

Tabla 3 Criterio de evaluación considerado para las EMAs de la BCC con el fin de definir un nivel de confianza en la calidad de cada una de las estaciones.

Nivel de confianza	Condición
BUENA	Si la correlación entre la EMA y las estaciones de referencia del SMN más cercanas (que cumplan que $d < d_{corr}$) es MAYOR o IGUAL a 0.37 y la diferencia de altitudes entre la EMA y la estación de referencia del SMN es MENOR a 100 metros.
ACEPTABLE	Si la correlación entre la EMA y las estaciones de referencia del SMN más cercanas (que cumplan que $d < d_{corr}$) es MAYOR o IGUAL a 0.37, pero la diferencia de altitudes entre la EMA y la estación de referencia del SMN es MAYOR a 100 metros.
MALA	Si la correlación entre la EMA y las estaciones de referencia del SMN más cercanas (que cumplan que $d < d_{corr}$) es MENOR a 0.37.

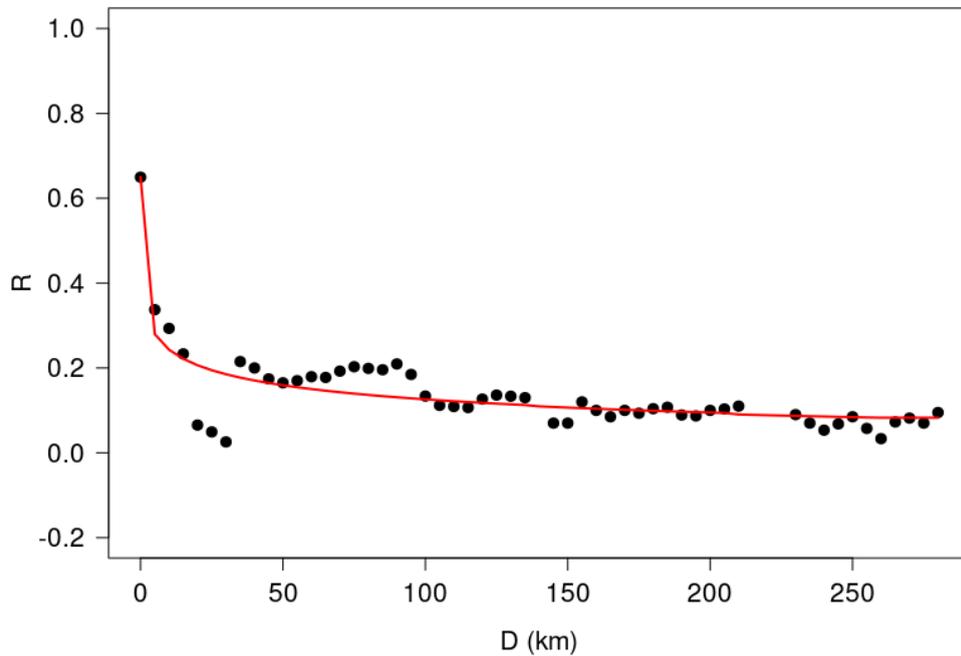


Fig. 3 Correlación en función de la distancia para todos los pares de puntos de las estaciones de la red de referencia. En rojo se muestra el ajuste exponencial.

En general, se logró atribuir más de una EMA a cada una de las estaciones de referencia de la red del SMN, excepto para las estaciones con número de ID 94015, 94038, 94053, 94063 y 94095, las cuales quedaron por fuera del radio de influencia de las estaciones del SMN (Figura 4). Si al análisis se incluían la red de estaciones del INA y de la RHN, dos EMAs (94015 y 94038) de las 5 mencionadas, quedaban dentro del radio de influencia. Este estudio no fue incluido en esta Nota Técnica.

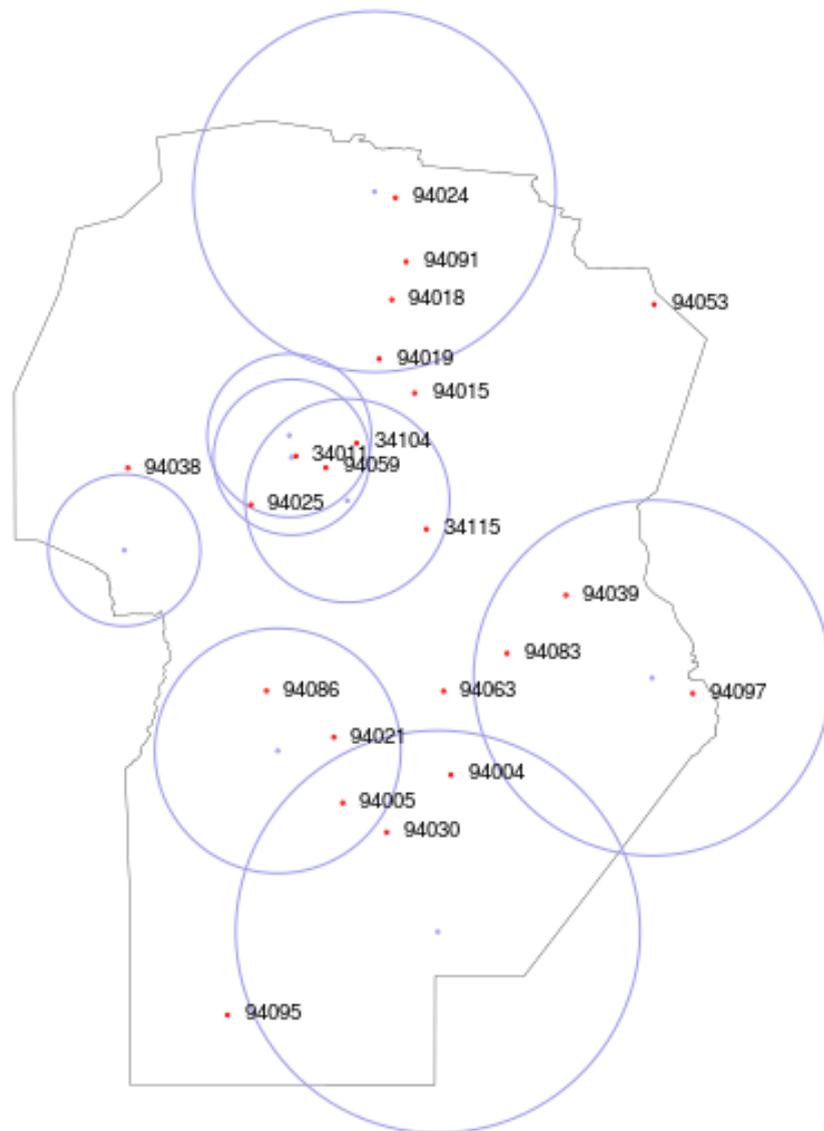


Fig. 4 Mapa de la provincia de Córdoba con los radios de influencia (definidos como $d = d_o = d_{corr}$) de cada una de las estaciones de la red oficial del SMN (círculos azules) y las estaciones de la BCC a evaluar (puntos rojos).

Por último, los valores de las correlaciones y el criterio de confianza o aceptabilidad obtenido a partir de la Tabla 3, de cada una de las EMAs evaluadas de la BCC, se muestran en la Tabla 4. En base al criterio considerado en Tabla 3, se puede afirmar que las EMAs con número de ID 94004, 94005, 94018, 94019, 94030, 94039, 94083 y 94091 fueron catalogadas como estaciones de MALA calidad. Mientras que, las estaciones 94024 y 94086 fueron consideradas como ACEPTABLE y las estaciones con categoría BUENA son las 34115, 94021, 94059 y 94097.

Tabla 4 Correlaciones de Kendall entre las EMAs de BCC (filas) y las estaciones oficiales del SMN (columnas). Se indican las estaciones que cumplieron el criterio de: BUENA (verde), ACEPTABLE (azul claro) y MALA (rojo).

#	Nombre	ID	375	405	380	399	411	387	367	392
1	Córdoba	34011			0.33				0.40	0.49
2	Monte Cristo ZR	34104			0.39				0.37	0.36
3	Las Junturas	34115			0.37					
4	Santa Eufemia	94004				0.19				
5	Alejandro Roca	94005		0.32		0.21				
6	El Crispin	94015	Sin estación SMN cercana							
7	Capilla de Siton	94018						0.27		
8	Candelaria	94019						0.17		
9	Olaeta	94021		0.37						
10	Eufrasio Loza	94024						0.39		
11	Alta Gracia	94025			0.38				0.43	0.40
12	Huanchilla	94030				0.14				
13	Ambul ZR	94038	Sin estación SMN cercana							
14	San Antonio de Litin	94039	0.26							
15	Colonia 10 de Julio	94053	Sin estación SMN cercana							
16	Toledo ZR	94059			0.45				0.45	0.44
17	Pasco	94063	Sin estación SMN cercana							
18	Ballesteros	94083	0.29							
19	Alcira Gigena	94086		0.48						
20	Las Arrias	94091						0.31		
21	Pegasano ZR	94095	Sin estación SMN cercana							
22	General Roca	94097	0.53							
#	Nombre	ID	375	405	380	399	411	387	367	392

Por otro lado, hay algunas estaciones que según qué estación de referencia se emplee, resulta ser MALA, ACEPTABLE o BUENA, mostrando la relevancia del criterio adoptado. Estas son las EMAs con número de ID 34011, 34104 y 94025. Debido a que la 34011, cuenta con mayoría de categorías BUENA, puede ser considerada como tal (Tabla 4). La 34104 será tomada como ACEPTABLE debido a que cuenta con cada una de las 3 categorías posibles por cada estación SMN y la 94025 será considerada como ACEPTABLE por contar con mayoría de esa categoría (Tabla 4).

4. CONCLUSIONES

En la presente Nota Técnica se propuso una metodología para evaluar la precipitación de estaciones meteorológicas (en este caso EMAs) pertenecientes a usuarios u organismos externos, con el fin de expandir la red de referencia oficial con la que cuenta el SMN. En este estudio se emplearon como redes de referencia las del SMN, INA y de la RHN. Los parámetros obtenidos para el ajuste de la correlación, tomando en consideración todos los pares de puntos de la red de referencia propuesta, fueron $r_o = 0.65$, $d_o = 10.76 \text{ km}$ y $S_o = 0.22$. Los mismos indican que el decaimiento exponencial de la correlación Kendall con la distancia es muy *abrupto* a distancias cortas. Este resultado va en línea con la complejidad orográfica de la región de estudio y la variabilidad espacial de los sistemas precipitantes.

Se generó un criterio categórico (BUENA, ACEPTABLE y MALA) para la evaluación de EMAs de terceros al ser comparadas con una de las redes de referencia, la del SMN. La metodología propuesta en esta Nota Técnica definió que de un total de 22 EMAs pertenecientes a la BCC, el 36% son de MALA calidad, el 18% son de ACEPTABLE calidad, el 23% son de BUENA calidad y el último 23% no pudo ser evaluado por no registrarse ninguna estación de referencia SMN cercana, es decir, con una distancia menor o igual a d_{corr} . A pesar de que la mayoría de estaciones fueron catalogadas como MALA, cabe destacar que una mayor cantidad fueron consideradas como ACEPTABLE o BUENA, siendo un total de 41% las EMAs incluidas en una u otra de estas categorías. La Figura 5 muestra la distribución en el mapa de la nueva red de referencia a partir de los resultados obtenidos en esta Nota Técnica: 8 estaciones pertenecientes a la red convencional oficial del SMN y 9 EMAs pertenecientes a la red de la BCC, aumentando la red de referencia en más del doble de estaciones.

Este trabajo muestra la gran sensibilidad del criterio de selección para la incorporación de EMAs de terceros en una red como la del SMN. Esto motiva a seguir profundizando y/o mejorando el método adoptado o explorando otras metodologías o criterios estadísticos para su incorporación al análisis.

A futuro, se podrían incluir los radios de influencia de las estaciones del INA y RHN para evaluar las EMAs sin estación de referencia asociada en este trabajo. Del mismo modo, se podría continuar este trabajo incorporando estaciones de referencia de las provincias contiguas, o explorar el uso de las estaciones catalogadas como ACEPTABLES o BUENAS, en base a este estudio, como referencia de estaciones que necesitan evaluación de su calidad. Vale destacar que la metodología propuesta en esta Nota Técnica es útil para formar parte de un criterio de confiabilidad de redes de EMAs de terceros, pero no debe ser considerado como el único análisis a realizar a la hora de evaluar una red externa. Otro detalle a considerar debe ser el umbral elegido para determinar confiabilidad de las estaciones, en este caso el valor fue de 0.37. Sin embargo, hace falta hacer un estudio más extenso sobre esta selección para determinar el umbral

correcto de corte. DeGaetano (2001) lleva a cabo un análisis de esta magnitud, el mismo podría ser considerado para futuras investigaciones.

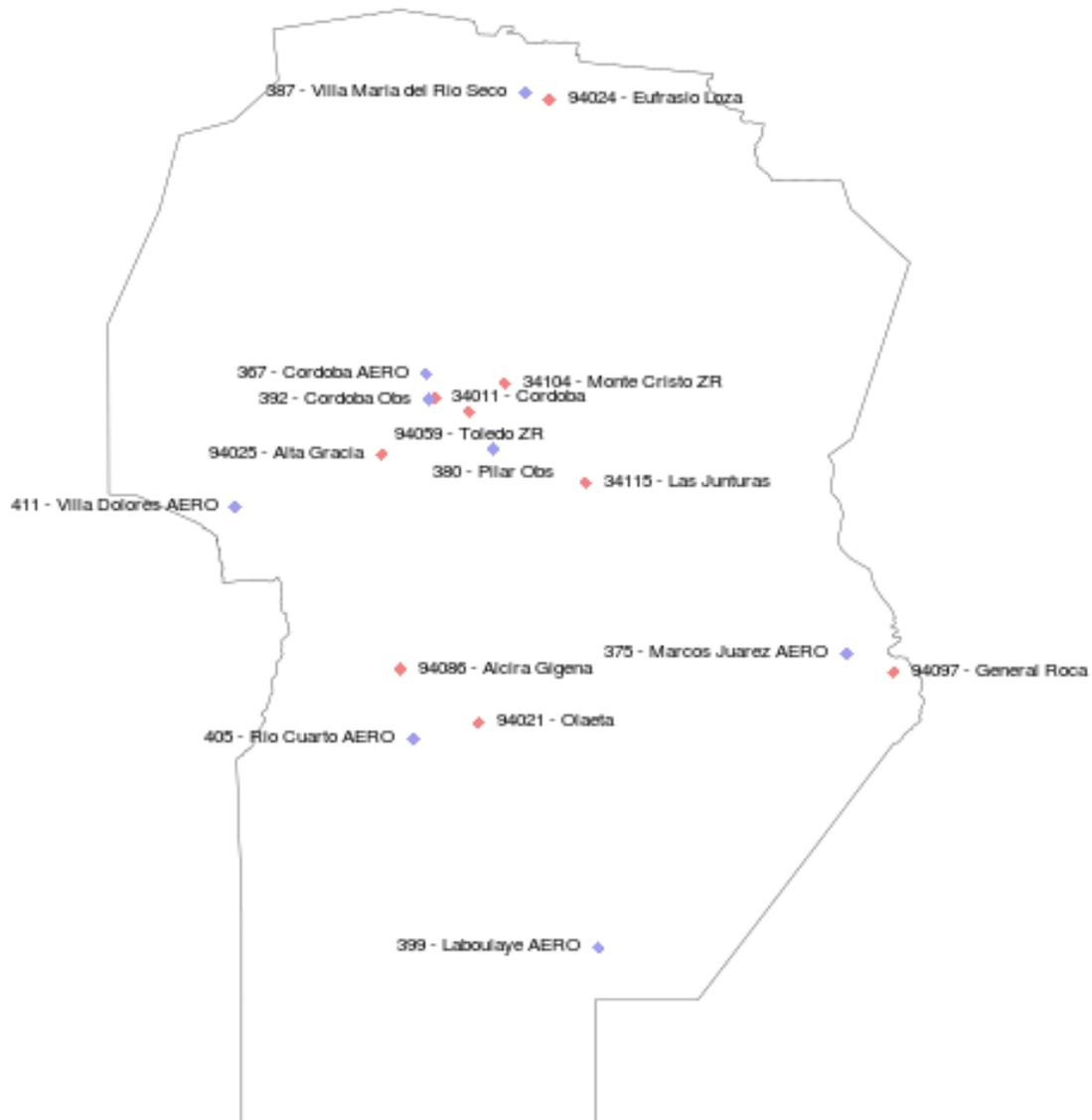


Fig. 5 Mapa de la provincia de Córdoba con las ubicaciones y nombres de las 8 estaciones oficiales del SMN y las 9 EMAs de la BCC que cumplieron las condiciones de ACEPTABLE o BUENA.

REFERENCIAS

- DeGaetano, A., 2001: Spatial grouping of United States climate stations using a hybrid clustering approach. *Int. J. Climatol.*, 21, 791-807, doi: 10.1002/joc.645.
- Farr, T. G., et al., 2007: The Shuttle Radar Topography Mission. *Rev. Geophys.*, 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.
- Kendall, M. G., 1945: The treatment of ties in ranking problems. *Biometrika* Vol. 33, No. 3, 239-251.
- Rasmussen, K. & Houze, R.A., 2016: Convective initiation near the Andes in subtropical South America. *Mon. Wea. Rev.*, 144, 2351-2374.
- Svoboda, V., Máca, P. & Hanel, M., 2014: Spatial correlation structure of monthly rainfall at a mesoscale region of north-eastern Bohemia. *Theor Appl Climatol*, 121, 359–375.
- Tokay, A., Roche, R. J. & Bashor, P. G. 2014: An Experimental Study of Spatial Variability of Rainfall. *Journal of Hydrometeorology*, 15(2), 801-812.
- Veiga, H., Herrera, N., Skansi M.M. & Podestá, G., 2014: Descripción de controles de calidad de datos climáticos diarios implementados por el Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur. Serie Reportes Técnicos - Reporte Técnico CRC-SAS-2014-001, 1-54.
- Vila, D.A., De Goncalves, L., Toll, D.L. & Rozante, J.R., 2009: Statistical evaluation of combined daily gauge observations and rainfall satellite estimates over continental South America. *J. Hydrometeorol*, 10:533–543, <http://dx.doi.org/10.1175/2008JHM1048.1>.
- Xie, P. & Xiong, A.Y. 2011: A conceptual model for constructing high-resolution gauge-satellite merged precipitation analyses. *J. Geophys. Res.*, 116, D21106, doi:10.1029/2011JD016118.

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rdelia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martin Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo (macevedo@smn.gov.ar).