

Distancias de correlación espacial de la precipitación en Argentina

Nota Técnica SMN 2021-96

María Paula Hobouchian¹, Ramón de Elía¹, Yanina García Skabar^{1,4}, Luciano Vidal¹, Juan Ruiz^{2,3} y Martín Maas^{1,4}

¹ Dirección de Productos de Modelación Ambiental y de Sensores Remotos, Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, Servicio Meteorológico Nacional

² Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera - CIMA/CONICET

³ Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos - FCEyN/UBA

⁴ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Julio 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

El estudio aquí presentado fue impulsado en el marco de un proyecto para mejorar la estimación de la precipitación en Argentina y se concentra en la estructura espacial de los patrones de precipitación. En esta línea, se aplicó una metodología para estimar las distancias de correlación de la precipitación diaria basada en el cálculo de un coeficiente de correlación espacial ordinal más adecuado para las propiedades estadísticas de la precipitación y en el ajuste de un modelo de decaimiento exponencial. Los datos utilizados provienen de una estimación de precipitación satelital con acceso libre a nivel global (IMERG FR, generada por la NASA). Los resultados obtenidos se encuentran en línea con estudios previos en otros países, con distancias de correlación más grandes asociadas a una mejor organización de los sistemas precipitantes o eventos de escala sinóptica, y distancias de correlación más cortas vinculadas a una alta variabilidad de los sistemas precipitantes o eventos de escala convectiva. En principio, esta información se utilizará como radios de influencia de la precipitación en el proceso de interpolación del bias para corregir las estimaciones satelitales con observaciones pluviométricas en escala diaria. A futuro, esta información también puede servir para el diseño de redes, los seguros agropecuarios y la validación de distintos datos de precipitación en Argentina.

Abstract

This study is part of a project at the National Meteorological Service (SMN) to improve precipitation estimates in Argentina with particular attention to precipitation patterns. The methodology applied an ordinal spatial correlation and an exponential decay model with local conditions. The data used is a satellite precipitation estimate with free global access (IMERG FR, from NASA). Results are similar to those of previous works: longer distances in well-organized or synoptic precipitation regions and shorter distances in highly variable or convective precipitation regions. This information is critical for the influence of precipitation in the bias interpolation process for satellite estimate adjustment with rain gauges at a daily scale. In addition, it could serve for network design, agricultural insurance, and validation of different precipitation data in Argentina.

Palabras clave: precipitación, estimación satelital, correlación espacial.

Citar como:

Hobouchian, M. P., R. de Elía, Y. García Skabar, L. Vidal, J. Ruiz y M. Maas, 2021: Distancias de correlación espacial de la precipitación en Argentina. Nota Técnica SMN 2021-96.

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) del Plan Estratégico del SMN 2020-2023. 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

La precipitación tiene un rol fundamental en múltiples aplicaciones hidrológicas y climatológicas, así como en diversas actividades socioeconómicas que dependen de su correcta medición. En Argentina, las limitaciones en su observación directa mediante redes de estaciones meteorológicas poco densas, motiva la utilización de otras fuentes de datos para cubrir esta información y mejorar la representación espacial de la precipitación.

El gran interés y desafío en el monitoreo de la precipitación, así como en el estudio de representatividad de los datos disponibles, generan la necesidad de conocer la estructura espacial de la precipitación según la época del año. Las principales aplicaciones meteorológicas que podrían favorecerse con este estudio son: la interpolación de datos de precipitación, ya que pueden definirse áreas de influencia de la precipitación ocurrida en un punto; el diseño de redes, porque puede mejorar la distribución espacial de las estaciones meteorológicas disponibles; los seguros agropecuarios, que pueden utilizar este trabajo para analizar el uso de estaciones meteorológicas cercanas en regiones sin datos disponibles; y la validación de distintos datos de interés, como estimaciones o pronósticos de precipitación, o mismo datos de observaciones pluviométricas tal como evaluaron Diaz y otros (2021), debido a que se pueden regionalizar las estaciones meteorológicas disponibles en áreas homogéneas en cuanto a la estructura espacial de la precipitación (Tokay y otros, 2014).

A nivel global, existen numerosos trabajos previos con distintas metodologías que estudian la estructura espacial de la precipitación a partir de las distancias de correlación. Este valor indica la distancia a partir de la cual la correlación entre un punto de interés con el resto en el entorno, decae significativamente.

En este sentido, Gervais y otros (2014) calcularon las distancias de correlación en Estados Unidos aplicando un modelo de decaimiento exponencial a una red densa de estaciones meteorológicas en un periodo de 25 años de datos diarios. Los autores encontraron que las distancias de correlación eran más grandes durante el invierno (entre 200 y 500 km aproximadamente), asociado a los sistemas precipitantes de escala sinóptica, mientras que las distancias resultaron más cortas durante el verano (entre 100 y 250 km aproximadamente), atribuido a los sistemas precipitantes de escala convectiva.

En la misma línea, Tokay y otros (2014) estudiaron la variabilidad espacial de la precipitación en la Península de Delmarva, Estados Unidos, a partir de una red densa de estaciones meteorológicas en un periodo de 5 años. Este trabajo utilizó un modelo de decaimiento exponencial de 3 parámetros para obtener las distancias de correlación con una resolución temporal de 30 minutos. Al igual que Gervais y otros (2014), encontraron que los eventos de precipitación convectiva más frecuentes durante el verano, se caracterizan por distancias de correlación más cortas en comparación con los eventos de precipitación estratiforme más uniformes durante el invierno. A su vez, analizaron que las distancias de correlación aumentan con una mayor escala temporal y con un menor umbral de lluvia-no lluvia.

Por su parte, Sungmin y Foelsche (2019) evaluaron la incertidumbre espacial de la precipitación intensa con una red densa de estaciones meteorológicas en el sureste de Austria en un periodo de 10 años. Para estudiar la variabilidad espacial de la precipitación, utilizaron también un modelo de decaimiento exponencial de 3 parámetros, pero abarcaron las escalas de tiempo desde 5 minutos a 24 horas. Se encontró una dependencia de las distancias con la escala temporal y época del año en forma similar a Tokay y otros (2014), con valores de distancia próximos a los 150 km para la época cálida y a 500 km para la época fría en la escala diaria.

En relación a otro tipo de datos y modelos de ajuste, Funk y otros (2015) definieron las distancias de correlación a partir de una estimación de precipitación satelital y un decaimiento lineal en el oeste de África. En este caso, obtuvieron resultados mensuales (entre 200 y 800 km) y mencionaron que las distancias más grandes coinciden con las áreas de convección más intensa y organizada en la región de estudio.

En el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina, se realizó un estudio de correlación espacial de la precipitación como etapa inicial de un proyecto de desarrollo interinstitucional en conjunto con el Instituto Nacional del Agua (INA) que se originó en el año 2019. Este proyecto tiene como objetivo la combinación óptima de distintas fuentes de datos disponibles (pluviómetros, radares y satélites) para mejorar la estimación de precipitación en Argentina. En el marco de este proyecto, una componente de trabajo está enfocada en el ajuste de una de las mejores estimaciones de precipitación satelital disponible (Huffman y otros, 2020) con observaciones pluviométricas. En principio, las distancias de correlación de la precipitación contribuyen como radios de influencia en el proceso de interpolación del bias para corregir la estimación satelital de base con las estaciones meteorológicas disponibles.

El objetivo central de este trabajo es calcular las distancias de correlación espacial de la precipitación en Argentina y avanzar en el análisis de la variabilidad espacial de la precipitación a nivel regional. La estimación de estos valores se realizó con el uso de una de las mejores estimaciones satelitales de acceso libre disponible en el SMN.

2. DATOS Y ÁREA DE ESTUDIO

Para realizar este trabajo se utilizó la estimación de precipitación satelital desarrollada por la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), denominada *Integrated Multi-satellitE Retrievals for Global Precipitation Measurement* en su versión de investigación *Final Run* (en adelante, IMERG FR; Huffman y otros, 2020). Este producto tiene el objetivo de calibrar, unir e interpolar las estimaciones de precipitación satelital derivadas de datos de microondas e infrarrojos disponibles a nivel global. Asimismo, realiza un ajuste con precipitación pluviométrica mensual como paso final. Estos datos son de acceso libre con una cobertura global entre 60°N y 60°S de latitud, una resolución espacial de 0.1°, una resolución temporal de 30 minutos y una latencia aproximada de 3 meses.

Actualmente, la serie histórica de IMERG FR está disponible desde junio del año 2000, por lo que en este trabajo se calculó la precipitación diaria de 19 años completos (2001-2019). Los cálculos y el análisis se focalizan en la región de interés ubicada al sur de Sudamérica: 56.05°S-20.95°S y 76.05°O-51.95°O, considerando los trimestres diciembre-enero-febrero (DEF), marzo-abril-mayo (MAM), junio-julio-agosto (JJA), septiembre-octubre-noviembre (SON).

3. METODOLOGÍA

Para calcular la distancia de correlación en cada punto de retícula de la estimación satelital, se buscó aproximar estadísticamente el valor de distancia a partir de la cual la correlación entre un punto de interés con el resto de los puntos en el entorno, decae significativamente.

Para cumplir este objetivo, se revisaron y exploraron diferentes métodos que se combinaron en la metodología aplicada en este trabajo. El procedimiento definido se compone principalmente de los siguientes pasos: 1) cálculo de la correlación de Kendall Tau Rank entre la serie temporal de precipitación en un punto y el resto de los puntos en el entorno; 2) ajuste de un modelo de decaimiento exponencial que describe la dependencia de la correlación con la distancia.

La correlación de Kendall (Wilks, 2006) mide la relación ordinal entre los pares de datos a partir del grado de concordancia. La condición de concordancia implica la coincidencia de orden en ambos miembros de un par respecto a otro par de datos. Los pares concordantes N_C cumplen la condición de concordancia y el resto son los pares discordantes N_D . La correlación se calcula restando el número de pares concordantes y discordantes, sobre el número de posibles coincidencias en una muestra de tamaño n de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$r = \frac{N_C - N_D}{n(n-1)/2} \quad (1)$$

Si bien la correlación de Kendall es más lenta computacionalmente, es una alternativa robusta a la correlación convencional de Pearson. A su vez, es recomendable en variables con distribución alejada de la

normal como es el caso de la precipitación diaria y con datos que pueden tener valores extremos fuera de rango (Svoboda y otros, 2015).

En cada punto de retícula de la estimación satelital dentro de la región de interés, se calculó la correlación de Kendall con el resto de los puntos en el entorno. De esta manera, para un radio de 200 km por ejemplo, se obtienen alrededor de 1200 puntos. Al plotear estos valores en función de la distancia, se obtiene una nube altamente ruidosa que dificulta la parametrización. Con el objetivo de disminuir el ruido, se decidió calcular valores medios para anillos de 10 km de espesor centrados en el punto de interés hasta obtener un valor medio de correlación menor a 0.2. Los coeficientes de correlación se calcularon considerando únicamente los pares en los que al menos uno de los puntos tiene una precipitación diaria mayor a 1 mm. Este criterio elimina los días sin precipitación y sigue una correlación simétrica estándar como en Sungmin y Foelsche (2019). Asimismo, se trabajó con el umbral de 1 mm ya que se utiliza frecuentemente para determinar un evento de precipitación diaria a partir de las estimaciones satelitales, considerando las limitaciones de estos datos en la detección de precipitación débil.

Luego de obtener la correlación en función de la distancia como se muestra con un ejemplo puntual en la Fig. 1, se aplicó un ajuste no lineal con cuadrados mínimos conocido como *Three-parameter stretched exponential model* el cual está dado por:

$$r = r_0 \exp \left[- \left(\frac{d}{d_0} \right)^S \right] \quad (2)$$

Este modelo de decaimiento exponencial tiene la particularidad de ser muy sensible al parámetro de forma S que controla la tasa de decaimiento y en general varía entre 0.5 y 1.0 (Tokay y otros, 2014). Si bien se probaron otros modelos similares, este modelo de 3 parámetros permite ajustar mejor en los casos que existe un decaimiento abrupto a distancias cortas y un decaimiento gradual con la distancia. A su vez, r_0 es el parámetro de *nugget* asociado a la variabilidad de la precipitación muy cerca del origen. Este valor se consideró inicialmente igual a 1 como la correlación esperable a una distancia nula. Por último, d_0 es la distancia de correlación que se extrae del ajuste con esta metodología. Esta distancia indica que la correlación inicial decae un factor e^{-1} si $d=d_0$ lo que se denomina decaimiento exponencial y es el umbral de decaimiento significativo en el valor de correlación que considera este trabajo para obtener las distancias de correlación.

Para obtener un valor de distancia confiable y evitar valores no representativos, se establecieron algunos criterios para que se ejecutara el ajuste en cada punto de retícula: la cantidad de pares distancia-correlación tiene que ser mayor a 3 (que son los grados de libertad del modelo de ajuste); el error estándar de los residuos del ajuste tiene que ser menor a 0.1. En general, los puntos donde no se cumplen estas condiciones para aplicar el ajuste estadístico, coinciden con zonas de topografía compleja o zonas asociadas a una baja frecuencia de eventos de precipitación.

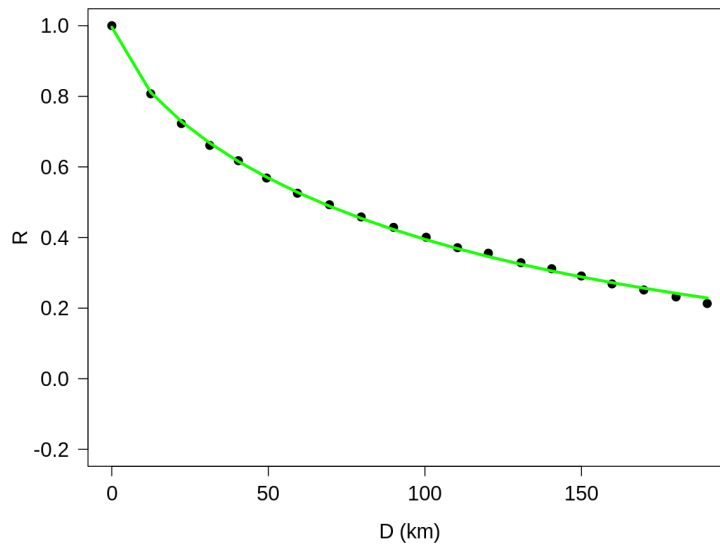


Fig. 1 Cálculo puntual para obtener la distancia de correlación (111.43 km) en un punto de Entre Ríos, Argentina (32.05°S - 59.05°O), en el trimestre de DEF a partir de los datos de IMERG FR en el periodo 2001-2019. Se observa la correlación media cada 10 km de Kendall Tau Rank (R) en función de la distancia (D) en puntos negros y el ajuste del modelo de decaimiento exponencial en línea verde.

El algoritmo para aplicar esta metodología con una regresión no lineal se desarrolló en el lenguaje y entorno de programación libre R (R Core Team, 2020) orientado al análisis estadístico y visualización de datos. Como la correlación de Kendall es muy costosa computacionalmente, se optimizó el código mediante el uso de cálculos matriciales y el uso de librerías compiladas. Si se quisiera ejecutar de forma más eficiente independientemente de las capacidades computacionales disponibles, algunas de las opciones alternativas que se analizaron en este trabajo y que pueden considerarse a futuro son: optar por la correlación convencional de Pearson o la de Spearman; calcular la correlación con una cantidad de puntos vecinos aleatoria pero homogéneamente distribuida en vez de utilizar el total de puntos en el entorno; procesar los datos previamente a partir del cálculo de la precipitación media cada 10 km y así reducir ampliamente el número de correlaciones; aprovechar la simetría de la correlación y reducir la cantidad de correlaciones calculadas.

4. RESULTADOS

En la Fig. 2 se observa la región de estudio y la precipitación media diaria obtenida en cada trimestre analizado con los datos de IMERG FR en el periodo 2001-2019. Los máximos y mínimos de precipitación permiten diferenciar los regímenes de precipitación en cada trimestre, y colaboran con el análisis de las distancias de correlación obtenidas. Entre los rasgos salientes de la Fig. 2, se observan los máximos de precipitación media diaria en DEF extendidos en la región centro y norte del país asociado a una mayor frecuencia de eventos de precipitación convectiva en los meses más cálidos, junto con el máximo asociado a la precipitación de escala sinóptica y su interacción con la cordillera de los Andes más extendido hacia el sur. Este último máximo se extiende más hacia el norte en los meses más fríos de JJA, y se encuentra en forma intermedia en los trimestres de transición de MAM y SON. A su vez, JJA presenta valores más bajos

de precipitación en el centro y norte de la región de estudio, con valores más altos hacia el este del dominio relacionado con la actividad de los sistemas frontales. Por su parte, MAM y SON, muestran los máximos hacia el noreste de la región de estudio, zona caracterizada por desarrollar eventos de precipitación a lo largo de todo el año. Por último, se observa un máximo de precipitación en el Río de la Plata que se mantiene durante todo el año y es más intenso en DEF. Esta característica particular está vinculada a que la estimación satelital tiene limitaciones en la calibración de la precipitación derivada de microondas pasivas sobre el océano y sobreestima la precipitación. Además, IMERG FR solo realiza el ajuste con datos pluviométricos sobre tierra, aumentando el contraste océano-tierra (Respuesta de la NASA a la encuesta de usuarios de IMERG, septiembre 2020).

En las Fig. 3 a 6 se muestran los resultados obtenidos para los trimestres DEF, MAM, JJA y SON respectivamente, al aplicar la metodología detallada previamente. El panel izquierdo de las figuras corresponde a las distancias de correlación obtenidas con IMERG FR en el periodo 2001-2019 y el panel derecho está asociado al error estándar de los residuos del modelo de ajuste implementado. Los puntos de retícula con datos faltantes corresponden a puntos sin condiciones para aplicar el modelo de ajuste o a puntos con valores altos de error como se mencionó anteriormente.

El trimestre de DEF (Fig. 3) presenta un rango de distancias más corto que los del resto del año (entre 25 y 125 km) en el centro-este y noroeste de Argentina, posiblemente asociadas a la precipitación de escala convectiva que predomina en este periodo. Por su parte, el trimestre de MAM (Fig. 4) presenta un gradiente muy marcado oeste-este, con un máximo de distancias (150 km) extendido hacia el noreste y este del dominio de estudio. El trimestre de JJA (Fig. 5) presenta un rango de valores más amplio (entre 25 y 175 km) en el centro-este del dominio de estudio, probablemente asociado a la precipitación de escala sinóptica (pasaje de sistemas frontales o eventos de ciclogénesis). Por último, el trimestre de SON (Fig. 6), tiene un claro máximo (175 km) ubicado al este del dominio de estudio entre el sureste de Brasil y norte de Uruguay.

Trabajos previos en otras partes del mundo muestran que las distancias de correlación más grandes están asociadas a las zonas donde se desarrollan los sistemas precipitantes más organizados espacialmente en un periodo determinado (Gervais y otros, 2014; Sungmin y Foelsche, 2019). Luego, estos mapas ofrecen una medida objetiva de la variabilidad espacial de la precipitación y de cuáles son las regiones más homogéneas en términos de la estructura espacial de los sistemas precipitantes. En este sentido, los resultados obtenidos concuerdan con lo mostrado por dichos autores. En el centro-este de Argentina durante el verano, cuando se observan distancias de correlación más cortas, éstas posiblemente estén relacionadas con una alta variabilidad de los sistemas precipitantes o eventos de escala convectiva. Mientras que durante el invierno, donde se presentan distancias de correlación más grandes, las mismas estén explicadas por una mejor organización de los sistemas precipitantes o eventos de escala sinóptica (campos de precipitación estratiforme más extendidos espacialmente).

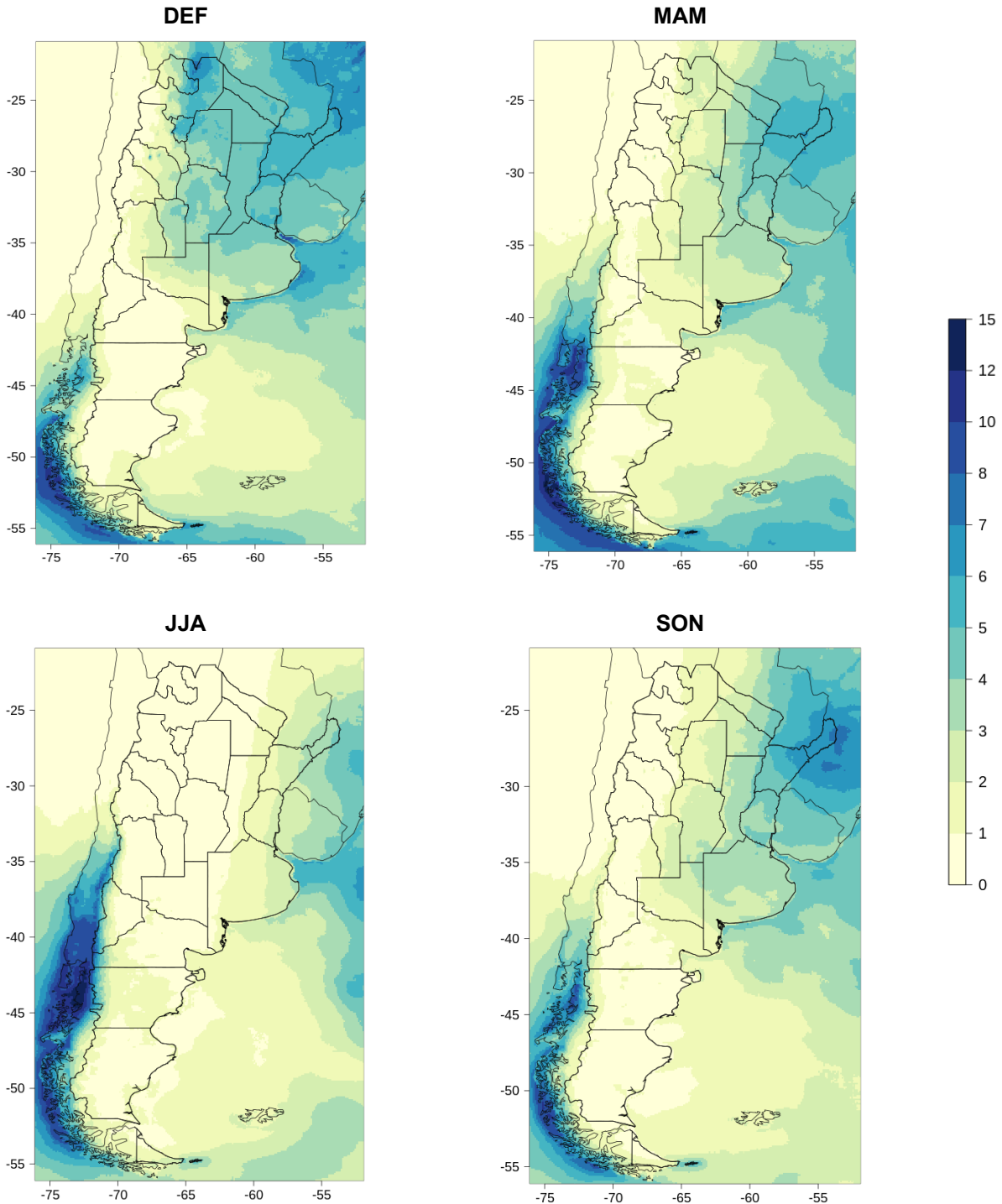


Fig. 2 Precipitación media diaria (mm/día) en la región de estudio correspondiente a los trimestres DEF (panel superior-izquierdo), MAM (panel superior-derecho), JJA (panel inferior-izquierdo) y SON (panel inferior-derecho) a partir de los datos de IMERG FR en el periodo 2001-2019.

A su vez, otra observación importante es que las regiones con distancias de correlación máxima no coinciden necesariamente con las regiones que muestran una tasa de precipitación diaria máxima en cada trimestre (Fig. 2). Esto sugiere nuevamente que los máximos de distancias de correlación se vinculan con el desarrollo de sistemas precipitantes más organizados espacialmente y no necesariamente con una mayor frecuencia de eventos precipitantes. Por ejemplo, en el caso de DEF, el máximo ubicado en la zona de Entre Ríos y Uruguay, podría estar asociado a una mayor organización espacial de los sistemas precipitantes en su etapa de madurez, comparado con su evolución posterior o disipación más al noreste de Argentina y sureste de Brasil.

Asimismo, en todos los trimestres se observan las distancias máximas al oeste o suroeste de Chile, dependiendo de la época del año, asociadas a la circulación atmosférica de escala sinóptica y su interacción con la Cordillera de los Andes. Esto genera una estructura espacial de precipitación de mayor escala (distancias más grandes), si se compara con los procesos precipitantes corriente abajo de los Andes.

Las distancias de correlación mínima en la región patagónica en todos los trimestres, podrían estar asociadas a una mayor velocidad de los sistemas frontales al sur de Argentina que no permite una organización espacial de la precipitación. Del mismo modo, otros factores podrían estar vinculados con el desarrollo de celdas aisladas más pequeñas en esta región y la barrera montañosa de la cordillera de los Andes que condiciona el crecimiento de los sistemas precipitantes en todas las direcciones posibles. Este último análisis se extiende al centro y norte de Argentina, donde también se obtienen distancias de correlación mínimas corriente abajo de los Andes en comparación con los valores obtenidos hacia el este de la región de estudio.

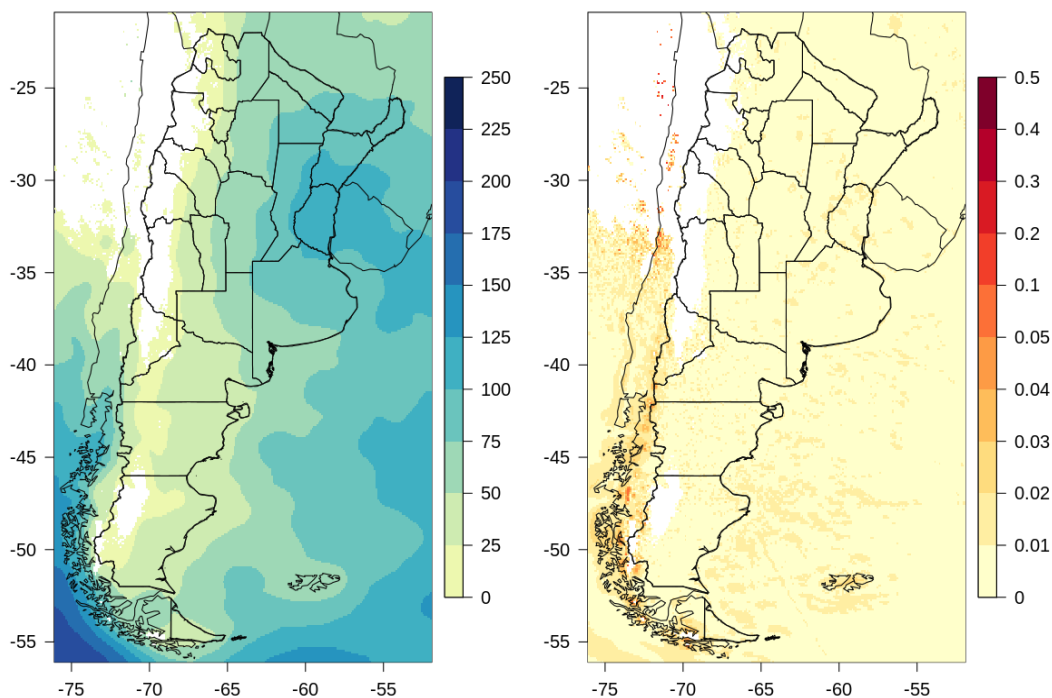


Fig. 3 Distancias de correlación de la precipitación diaria (panel izquierdo) y error estándar de los residuos (panel derecho) en la región de estudio correspondientes al trimestre DEF a partir de los datos IMERG FR en el periodo 2001-2019.

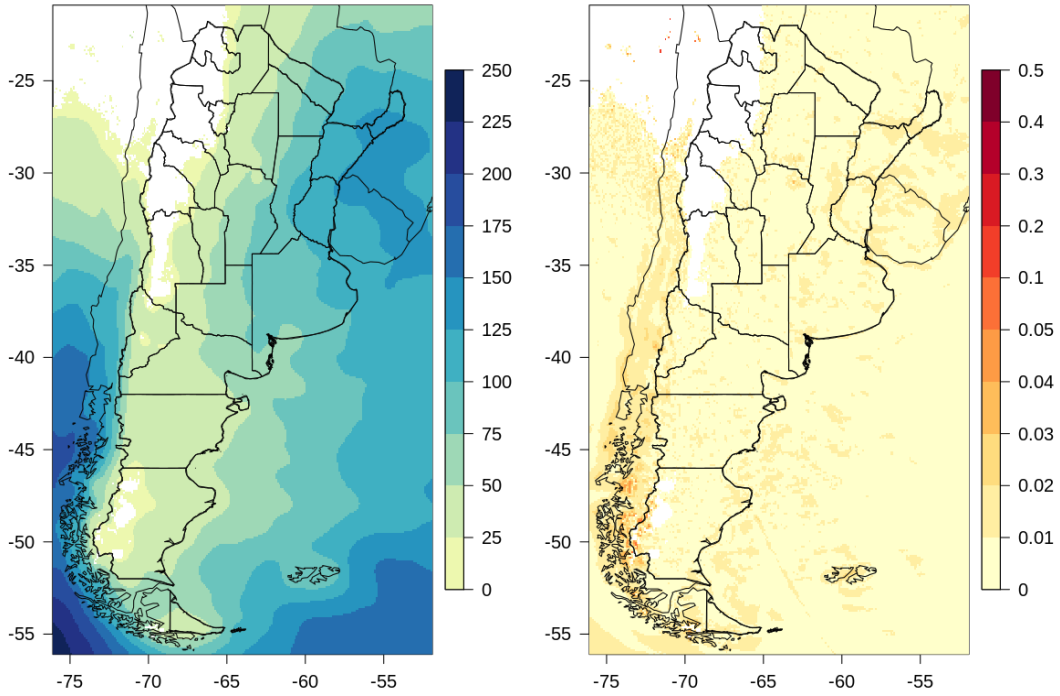


Fig. 4 Idem Fig. 3 pero para el trimestre MAM.

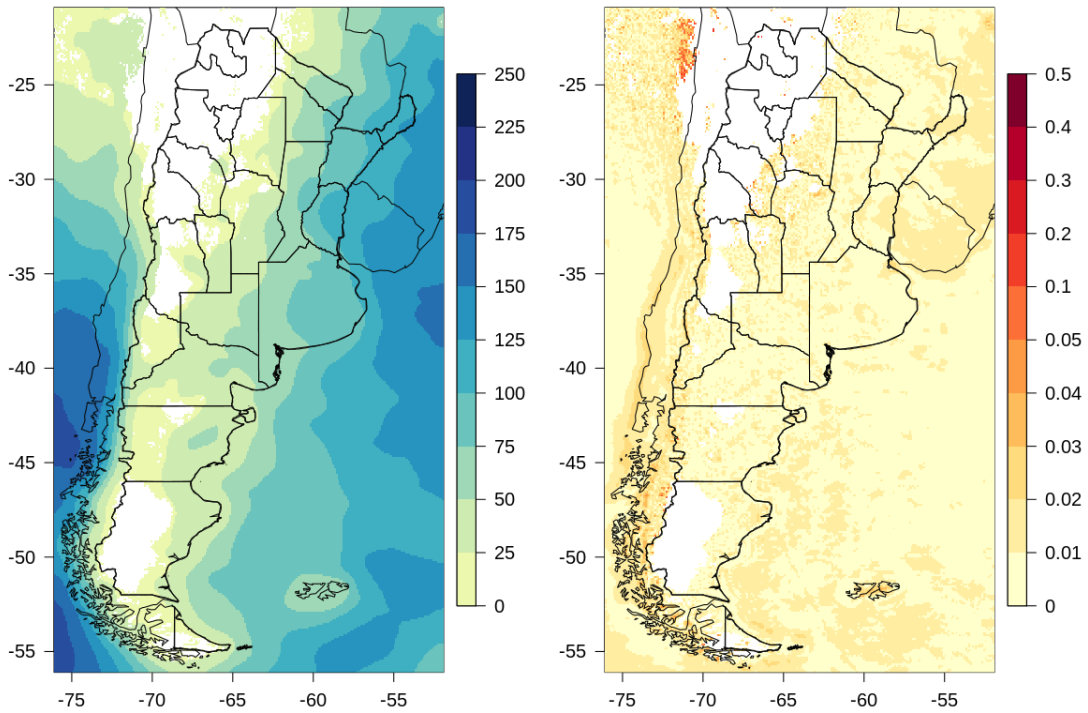


Fig. 5 Idem Fig. 3 pero para el trimestre JJA.

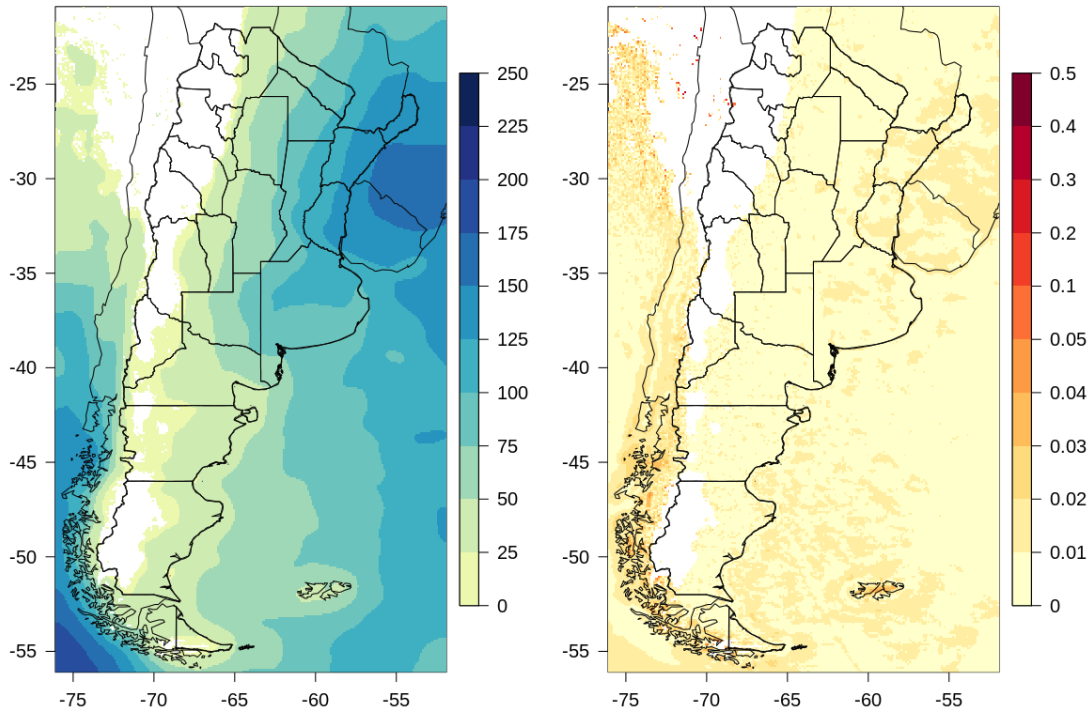


Fig. 6 Idem Fig. 3 pero para el trimestre SON.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se combinaron metodologías existentes en la bibliografía para avanzar en el estudio de la correlación espacial de la precipitación en Argentina. Este análisis se realizó por trimestres con datos de estimaciones de precipitación diaria por satélite y una metodología que calcula las distancias de correlación a partir de una correlación espacial ordinal y un modelo de decaimiento exponencial.

Los resultados indican que los máximos de distancias de correlación coinciden con zonas asociadas a eventos de precipitación más organizada o de mayor escala espacial en el trimestre correspondiente, en acuerdo con los trabajos de referencia. El rango de distancias obtenidas es de 25 km a 250 km, siendo más reducido durante el verano por la alta variabilidad de los sistemas precipitantes o eventos de escala convectiva.

Es importante remarcar que si bien los valores obtenidos dependen de los datos utilizados y de los criterios establecidos para aplicar el método (tipo de correlación utilizada, modelo de ajuste, umbral de precipitación, cantidad de puntos utilizados, resultados por trimestres o por meses), los patrones resultantes son muy estables. Por este motivo, las distancias de correlación estimadas no deben tomarse como valores absolutos, sino como indicadores de la variabilidad de la correlación espacial en la región de estudio.

A futuro, se debería aplicar la metodología en alguna red de estaciones de alta resolución espacial o mismo con otra base de datos de estimación de la precipitación para comparar con los trabajos de referencia y los

resultados obtenidos en este estudio con IMERG FR. Por otro lado, está pendiente el estudio de la correlación espacial considerando los eventos sin precipitación a partir de la adaptación de un índice de tasa de acierto con variable dicotómica lluvia-no lluvia. A su vez, se espera que este trabajo contribuya con otras aplicaciones meteorológicas además de la interpolación de datos (como el diseño de redes meteorológicas, los seguros agropecuarios y la validación de distintos datos de precipitación).

Por último, la continuidad de este estudio permitirá seguir avanzando en el conocimiento de la dinámica de los sistemas precipitantes en Argentina. El análisis de los resultados obtenidos en combinación con estudios previos o en desarrollo a nivel regional, permitirán ampliar la discusión iniciada en este trabajo sobre la relación entre la correlación espacial de la precipitación y los procesos físicos asociados.

AGRADECIMIENTOS

Se agradecen las sugerencias y aportes de Melissa Gervais de Pennsylvania State University y de Vojtěch Svoboda de Czech Hydrometeorological Institute que contribuyeron a aclarar dudas para aplicar la metodología de este trabajo.

REFERENCIAS

- 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. URI: <http://hdl.handle.net/20.500.12160/1541>
- Funk, C., P. Peterson, M. Landsfeld et al., 2015: The climate hazards infrared precipitation with stations-a new environmental record for monitoring extremes. Scientific Data 2, 150066. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- Gervais, M., L. B. Tremblay, J. R. Gyakum and E. Atallah, 2014: Representing Extremes in a Daily Gridded Precipitation Analysis over the United States: Impacts of Station Density, Resolution, and Gridding Methods. Journal of Climate, 27, 5201-5218. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00319.1>
- Huffman, G. J., D. T. Bolvin, E. J. Nelkin and J. Tan, 2020: Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG) Technical Documentation. URL disponible [1 de marzo 2021]: https://gpm.nasa.gov/sites/default/files/2020-10/IMERG_doc_201006.pdf
- R Core Team, 2020: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL disponible [1 de marzo 2021]: <https://www.R-project.org/>
- Sungmin, O. and U. Foelsche, 2019: Assessment of spatial uncertainty of heavy rainfall at catchment scale using a dense gauge network. Hydrol. Earth Syst. Sci., 23, 2863–2875. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-23-2863-2019>
- Svoboda, V., P. Máca, M. Hanel and P. Pech, 2015: Spatial correlation structure of monthly rainfall at a mesoscale region of north-eastern Bohemia. Theor Appl Climatol, 121, 359–375. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1241-9>
- Tokay, A., R. J. Roche and P. G. Bashor, 2014: An Experimental Study of Spatial Variability of Rainfall. Journal of Hydrometeorology, 15, 801-812. DOI: <https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-031.1>
- Wilks, D. S., 2006: Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. 2nd ed. Academic Press, 627 pp. ISBN: 9780127519661. URL disponible [1 de marzo 2021]: <https://www.elsevier.com/books/statistical-methods-in-the-atmospheric-sciences/wilks/978-0-12-751966-1>

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).