



CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA REGIÓN DE CUYO (ARGENTINA) CON DATOS *IN SITU* Y DEL REANÁLISIS NCEP/NCAR

Federico Ferrelli ^{1,2}

(Manuscrito recibido el 2 de marzo de 2022, en versión final 15 de julio de 2022)

Para citar este documento

Ferrelli, F. (2022). Caracterización climática de la región de cuyo (argentina) con datos in situ y del reanálisis NCEP/NCAR. *Boletín geográfico*, 44(1), 13-38.

Resumen

El cambio climático y el evidente calentamiento global hacen que la caracterización climática a escala regional sea un elemento indispensable para conocer los impactos negativos que se podrían generar sobre las actividades económicas. En este contexto, adquieren importancia las regiones áridas debido a que son más susceptibles a los efectos de la variabilidad climática, sobre todo en aquellas que basan su economía en actividades agropecuarias. Para su estudio, son necesarias series climáticas de al menos 30 años. En ciertas ocasiones éstas suelen ser escasas o incompletas. Por tal motivo, los modelos climáticos surgen como una herramienta que favorece la generación de esta información. Por ello, en este trabajo se estudió el ajuste entre los datos de variables climáticas obtenidas del Reanalysis (NCEP/NCAR) y las observadas *In situ*, considerando una escala climática (promedios 1960-2020) y otra estacional (teniendo en cuenta sólo los valores de cada estación del año). Para ello, se compararon series de datos mensuales de Temperatura del aire, Humedad relativa y Precipitación medidas *In situ* pertenecientes a nueve estaciones meteorológicas con series adquiridas del Reanálisis. Como resultado, se obtuvo que la Temperatura del aire y la Precipitación fueron las variables que presentaron buenos ajustes estadísticos en ambas escalas de análisis. La Humedad relativa no tuvo resultados significativos.

¹ Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), Universidad Nacional del Sur (UNS)-CONICET, Bahía Blanca-Argentina. 8000, Bahía Blanca, Argentina. Florida 8000 (Camino La Carrindanga km 7,5) Complejo CCT CONICET Bahía Blanca, Edificio E1.

² Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur (UNS), 8000, Bahía Blanca, Argentina. 12 de octubre 1198. E-mail: fferrelli@criba.edu.ar

A partir de análisis de regresión, se demostró que es posible corregir los datos del Reanálisis para la caracterización climática de la Región de Cuyo. La información generada conforma una base de datos sólida para el diseño de un plan de manejo del espacio enmarcado dentro de los lineamientos del desarrollo sustentable.

Palabras clave: Datos meteorológicos, Correcciones estadísticas, Caracterización climática, Cuyo.

CLIMATIC CHARACTERIZATION OF CUYO REGION (ARGENTINA) BASED ON *IN SITU* AND REANALYSIS NCEP/NCAR DATA

Abstract

Climate change and evident global warming make climate characterization at a regional scale essential to know the climate of a region, given that its variability could affect the economic activities, especially those that base their economy on agricultural activities. In this context, arid areas are relevant because they are vulnerable to climate variability effects. In order to study the climate, it is necessary to have meteorological series for at least 30 years. Sometimes they are scarce or incomplete. For these reasons, numerical climate models emerge as a tool that favors the generation of this information. This study aimed at studying the adjustment between the data of climatic variables obtained from the Reanalysis (NCEP/NCAR) and those observed *In situ*, considering a climatic (1960-2020 means values) and a seasonal scale (considering only the values of each season of the year). To do that, it was analyzed monthly data series of air temperature, relative humidity, and precipitation measured *In situ* from nine meteorological stations. Then, we compared them with those acquired from the Reanalysis. As a result, it was obtained that air temperature and precipitation were the variables that presented suitable statistical adjustments in both time scales. Relative humidity did not have significant results. From a regression analysis, it was shown that it is possible to correct the Reanalysis data for the climatic characterization of Cuyo Region. The information generated represents a solid database for designing a land management plan framed within the guidelines of sustainable development.

Keywords: Meteorological data, Statistical corrections, Climatic characterization, Cuyo region.

Introducción

El estudio del clima y su variabilidad, tanto espacial como temporal, son factores claves para determinar las características y la distribución de las coberturas del suelo. Particularmente, la variabilidad de las precipitaciones define periodicidades estacionales, así como también, variabilidad interanual (Aliaga, Ferrelli, Alberdi Algarañaz, Bohn, & Piccolo, 2016). Es importante considerar que la variación de la temperatura y la precipitación, en aquellas regiones productivas, puede generar

alteraciones en las zonas sembradas, la hacienda, las viviendas, las ciudades, la geomorfología y la calidad de vida de la población. Esto desencadena consecuencias negativas en la economía regional, a partir del impacto socioeconómico que causan (Taboada, Damiano, & Micucci, 2012). Entre los efectos sobre la población, se destacan la dificultad en la accesibilidad al agua potable, la provisión de energía, cambios en los ecosistemas y su biodiversidad, modificaciones del estado trófico de lagos que afectan a los recursos pesqueros y el aumento de los riesgos de inundación o sequía como consecuencia de los cambios geomorfológicos en las zonas aluviales (Houghton, 1993; Ferrelli, 2017; Brendel, Bohn, & Piccolo, 2017; Brendel, Ferrelli, Piccolo, & Perillo, 2021).

En la actualidad, el cambio climático se ha convertido en uno de los problemas ambientales más graves del mundo (Wang *et al.*, 2013, IPCC, 2021). En este contexto, el calentamiento global ha acentuado los impactos en la calidad de vida de la población, ha generado cambios en los ambientes y, como consecuencia, ha modificado las actividades económicas, principalmente las agropecuarias en todas sus escalas de análisis (Ferrelli, Brendel, Perillo, & Piccolo, 2021a). El cambio climático, se ha intensificado en el último siglo debido a las actividades antrópicas que generaron mayor emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera (Penalba & Rivera, 2016, IPCC, 2021).

Por lo mencionado, es indispensable conocer las características climáticas de una región a distintas escalas espacio-temporales de análisis. En algunas ocasiones la disponibilidad de datos meteorológicos medidos *In situ* es inconsistente o escasa. Esta situación demanda la necesidad de utilizar una fuente indirecta de datos para su complementación y relleno (Ferrelli, Bustos, Perillo, & Piccolo, 2021b). A escala regional, el estudio del clima se realiza con información proveniente de estaciones meteorológicas distribuidas de forma equidistante que hayan registrado información por lo menos durante los últimos 30 años (Bustos, Ferrelli, Huamantínco Cisneros, Piccolo, & Gil, 2016). Es entonces donde adquieren relevancia los sistemas de análisis y pronóstico de última generación, dado que favorecen la generación de información climática para distintas variables basada en datos observados. Dentro de ellos, uno de los más utilizados ha sido el Reanalysis NCEP/NCAR (de aquí en más Reanálisis). El mismo, se encuentra validado a escala global y brinda información de variables meteorológicas a escala mensual desde el año 1948 hasta el presente (Kalnay *et al.*, 1996; Klistner *et al.*, 2001). La obtención de información se realiza sobre un área de 2,5° de latitud por 2,5° de longitud. Por tal motivo, esta información requiere de la aplicación de técnicas de downscaling para representar con precisión los datos obtenidos en el terreno (p. ej., Bustos *et al.*, 2016; Devers, Vidal, Lauvernet, Graff, & Vannier, 2020; Ferrelli *et al.*, 2021b). Esto sucede porque al ampliar la escala de análisis espacial, la información del Reanálisis no presenta una relación con los datos *In situ* (Sachindra *et al.*, 2019; Nacar, Kankal, & Okkan, 2019). Por ello, los datos de este modelo numérico deben ser corregidos, sobre todo en aquellos espacios que presentan rasgos espaciales heterogéneos como la diferencia de altitud o la cercanía al mar (Viggiano *et al.*, 2019).

En Argentina, se aplicó el Reanálisis para completar series climáticas, analizar la variabilidad de las precipitaciones, estudiar eventos térmicos, evidenciar el tipo de ambiente al que mejor se ajustan las series climáticas y para caracterizar el clima de ciudades costeras y fluviales (Rusticucci & Kousky, 2002; Bustos *et al.*, 2016; Collazo, Barrucand, & Rusticucci, 2019; Romero, González, Rolla, & Losano, 2020; Ferrelli *et al.*, 2021b). Sin embargo, no se ha realizado un estudio a escala regional que considere los ajustes entre el Reanálisis y las series de tiempo observadas *In situ* en la Región de Cuyo. La particularidad de esta región recae en que se realizan actividades agropecuarias y turísticas que están estrechamente vinculadas con el clima regional. Por lo tanto, el conocimiento y caracterización climática conforma una base de datos necesaria para la implementación de planes de ordenamiento del espacio.

En este contexto, el objetivo de este trabajo fue analizar el ajuste entre los datos de variables climáticas obtenidas del Renálisis y las observadas *In situ*, considerando una escala climática (datos promediados para el periodo 1960-2020) y otra escala estacional (considerando los valores medios de cada estación del año). La factibilidad del estudio recae en que permitirá establecer las bases y los lineamientos para aplicar los datos de Reanálisis y conocer sus ajustes a una región con climas áridos de Argentina. Además, favorece la caracterización climática mediante fuentes indirectas, teniendo en cuenta la escasez de estaciones meteorológicas con largos períodos de tiempo localizadas en esta área.

Área de estudio.

El área de estudio corresponde a la Región de Cuyo (Argentina). La misma está localizada en el Centro-Oeste del país y ocupa una superficie de 315.226 km² (Figura 1). La integran las provincias de San Luis, San Juan, La Rioja y Mendoza.

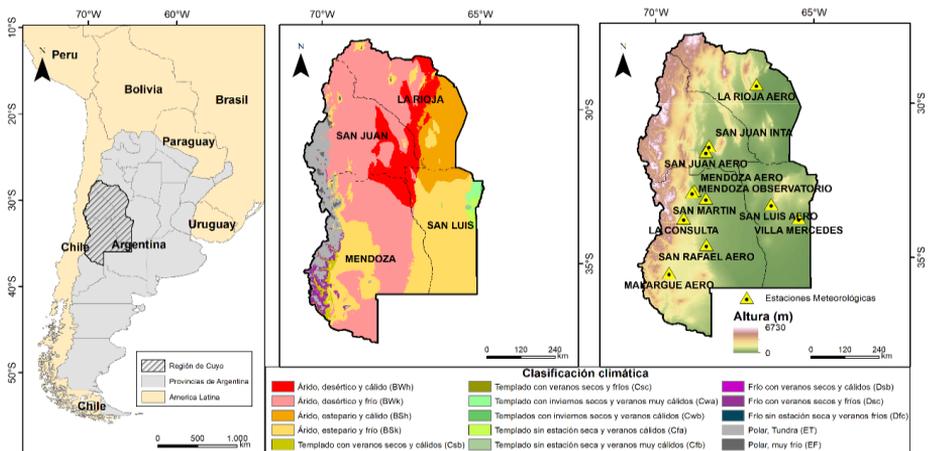


Figura 1. Localización del área de estudio, tipos de clima y altura. Modificado de Beck *et al.* (2018).

La principal actividad económica es la agropecuaria, mayoritariamente la vitivinícola, aunque también se destaca la actividad ganadera, la minería y el turismo. Se emplazan dentro de esta zona climas áridos de tipo desérticos cálidos y fríos, esteparios cálidos y fríos, como así también, climas templados con veranos secos y cálidos y con inviernos secos y fríos.

En las áreas de mayor altitud, tienen lugar los climas fríos, encontrando aquellos de características polares y de tundra (Beck *et al.*, 2018). La altitud decrece en sentido Oeste-Este, dando como resultado la existencia de amplitudes térmicas y pluviométricas marcadas (Figura 1).

Metodología

Se obtuvieron datos meteorológicos mensuales de las variables de Temperatura del aire en superficie, Humedad relativa y Precipitación, de nueve estaciones meteorológicas localizadas en el área de estudio, pertenecientes al período 1960-2020 (Figura 1, Tabla 1). Se trabajó con un total de 2196 datos por estación meteorológica, es decir, 19764 datos en total para la región. Esta información pertenece al grupo de estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, Argentina) y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, Argentina). La información climática fue testada considerando pruebas de calidad y homogeneidad. Se identificaron los datos faltantes, las inconsistencias y los datos erróneos siguiendo la metodología propuesta por Zhou, Xu, Wu, Dong, y Shi (2016). Se utilizó el Software R y los paquetes RCLimDex (Zhang & Yang, 2013) y RHTest V4 (Wang, Chen, Wu, Feng, & Pu, 2010). Posteriormente se aplicaron técnicas de rellenado, siguiendo la metodología descrita en Ferrelli, Brendel, Aliaga, Piccolo, & Perillo, (2019). En todos los casos analizados, la información faltante no excedió el 5 %.

Por otro lado, se obtuvieron datos provenientes del Reanálisis para el punto de la grilla más cercano a la estación meteorológica (Figura 1). En una primera instancia, las series de tiempo se normalizaron considerando las diferencias de la altura a las que se registraron los datos *In situ*. Al ser una región con topografía compleja, las estaciones se ubican a distintas alturas sobre el nivel del mar, mientras que el Reanálisis, al ser una base grillada, presenta una altitud media del punto de grilla que muchas veces difiere de la altitud a la que se encuentra la estación meteorológica

La información fue brindada por el National Centers for Environmental Prediction (NCEP, Estados Unidos) y la National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Diagnostic Center (NOAA/CDC, Estados Unidos). La potencialidad del modelo es que permite acceder de manera libre a series climáticas de Temperatura del aire, Humedad relativa y Precipitación a una escala de 2,5° de latitud por 2,5° de longitud a partir del ingreso a su sitio web <https://psl.noaa.gov>.

EM		Lat.	Long.	msnm	T	PP	HR
La Rioja	LR	-29,383	-66,817	429	20,2	384	59,6
	SJ			598			
San Juan		-31,567	-68,417	704	17,8	90,6	49,8
Mendoza	MZA	-32,833	-68,783	653	16,1	229,9	57,1
San Martín	SM	-33,083	-68,417	713	16,1	198,3	59,9
San Luis	SL	-33,267	-66,350	506	17,3	638,5	55,6
Villa Mercedes	VM	-33,720	-65,480	826	17,3	638,5	55,6
La Consulta	LC	-33,730	-69,120	748	14,7	310,6	55,2
San Rafael	SR	-34,583	-68,400	1425	15,3	351,6	56,9
Malargüe	MG	-35,500	-69,583		11,8	307,6	54,9

Tabla 1. Estaciones meteorológicas utilizadas en este estudio (Figura 1). Los datos corresponden a los valores medios anuales del período 1960-2020. EM. Estaciones Meteorológicas, Lat. latitud, Long. longitud, Altura sobre el nivel del mar (msnm). T. Temperatura del aire, PP. Precipitación, HR. Humedad Relativa.

Se analizaron ambas fuentes de información considerando distintas escalas. En una primera instancia, se realizó un estudio de las series de tiempo a escala climática, es decir, considerando los valores medios anuales para el período 1960-2020. Existe evidencia que esta forma de analizar los datos del Reanálisis es la que permite obtener mejores resultados (Ferrelli *et al.*, 2021b). Los datos fueron sometidos a pruebas estadísticas. Se calcularon las diferencias de los valores medios obtenidos para cada una de las variables meteorológicas para cada estación meteorológica. Posteriormente, se realizaron análisis de regresión para ajustar las series de tiempo obtenidas del Reanálisis con aquellas observadas *In situ*. A partir de entonces, se generaron fórmulas de corrección que permitieron generar la serie de datos corregidos. Estas surgieron de la evaluación de distintos tipos de regresiones (polinómica, exponencial, logarítmica y lineal) y se seleccionó la más precisa para corregir los datos a partir de los resultados de la función obtenida. Para su construcción, se evaluó en una primera instancia, el período 1960-2000 y luego, la robustez de estas fórmulas se testeó con el período 2001-2020. De esta manera, se evaluó el desempeño estadístico de las regresiones realizadas.

Posteriormente, se estudiaron las tres fuentes de datos (*In situ*, Reanálisis y series corregidas) de forma espacial a partir de la utilización de un Sistema de Información Geográfica ArcGIS 10.5. Los datos fueron interpolados con el método Kriging dado que es el que mejor se ajusta al análisis espacial de variables meteorológicas y ambientales y ha sido ampliamente utilizado para la caracterización espacial de la Temperatura del aire, la Humedad relativa y las Precipitación (Aliaga, Ferrelli, & Piccolo, 2017). La resolución espacial utilizada en los mapas resultantes fue de 200 km². El método Kriging es de inferencia espacial y permite estimar los valores de una

variable climática en lugares no muestreados, utilizando la información proporcionada por la muestra. Permite obtener un estimador lineal no sesgado con una varianza mínima (Bargaoui & Chebbi, 2009).

Finalmente, las series modeladas fueron contrastadas con las observadas *In situ*. Para ello, se aplicó un test de Fisher (Finney, 1948) para evidenciar la igualdad en los valores medios. Se calcularon el coeficiente de determinación R² y los coeficientes de correlación de Pearson, Spearman y la Concordancia (p.ej., Chock, 2010; Kopa & Tichý, 2012) para analizar los ajustes entre ambas fuentes. Se estimó el Error Medio Cuadrático (p.ej., Chai & Draxler, 2014) entre ambas series de tiempo con la finalidad de conocer el error del ajuste.

Por otro lado, las series de tiempo del Reanálisis y las obtenidas *In situ* fueron analizadas a escala estacional. Tanto la temperatura como la precipitación en esta región tienen un comportamiento diferente durante el año, por lo tanto, es necesario evaluar las variables en escalas estacionales. Para ello, se analizaron los datos de forma trimestral para todas las estaciones meteorológicas y para las series del Reanálisis. De esta manera, se obtuvieron los datos pertenecientes al verano (Diciembre-Enero-Febrero), otoño (Marzo-Abril-Mayo), invierno (Junio-Julio-Agosto) y primavera (Septiembre-October-Noviembre) para ambas fuentes de datos a escala local y regional, es decir, los datos de toda el área de estudio. Posteriormente, ambas fuentes de datos fueron estudiadas, considerando los análisis estadísticos que se aplicaron sobre las series de tiempo a escala climática.

Resultados y discusión

En las siguientes secciones, se presentaron los resultados obtenidos. Los mismos, se subdividieron considerando las escalas temporales propuestas. En una primera instancia, se presentó el análisis a escala climática y luego los adquiridos a escala estacional.

Corrección a escala climática

Se analizaron las diferencias de los valores medios entre ambas fuentes de información. Las precipitaciones registraron valores absolutos que oscilaron entre los 7,8 y los 182,3 mm. Las diferencias porcentuales respecto a los valores medios de precipitación fueron mayores en San Martín (SM, 50,7 %), La Consulta (LC, 35,8 %) y San Rafael (SR, 33,7 %). Las diferencias pluviométricas fueron menores en los climas templados, localizados en las zonas más llanas (al este del área de estudio), y mayores en los climas áridos o en las estaciones con mayor altura (Figura 1). La Temperatura del aire presentó diferencias que oscilaron entre los -3,6 °C y los 3,2 °C. En general, el Reanálisis subestimó los valores registrados *In situ*. Las mayores diferencias porcentuales se registraron en SR (23,5 %), LC (18,8 %) y Villa Mercedes (VM, 18,6 %). Finalmente, la Humedad Relativa presentó diferencias absolutas que oscilaron entre 1,6 y 8 % en toda el área de estudio, siendo mayores en SR (14 %), Mendoza (MZA, 13,1 %) y La Rioja (LR, 11,7 %). En general, las diferencias espaciales observadas en las variables analizadas con las mediciones de las estaciones

meteorológicas no fueron identificadas por el Reanálisis (Tabla 2). De esta manera, se concuerda con que el Reanálisis es una fuente de información de libre acceso que permite caracterizar los climas de distintas regiones de Argentina, aunque no presenta buenos resultados al estudiar la Humedad relativa (Ferrelli *et al.*, 2021b). Además, es fundamental para completar series de datos, aplicar técnicas de rellenado y analizar la variabilidad térmica y pluviométrica (Libanda, Bwalya, Nkolola, & Chilekana, 2020).

Posteriormente, se realizó un análisis de regresión entre los datos del Reanálisis con los observados *In situ*. Para evaluar la robustez del ajuste, se realizó, en una primera instancia, un análisis de la serie 1960-2000 para cada una de las estaciones meteorológicas y variables seleccionadas. De esta manera, se utilizó la serie 2001-2020 para evaluar la robustez del ajuste realizado. Se evidenciaron resultados altamente significativos ($\alpha < 0,05$). Las fórmulas de corrección para la temperatura del aire evidenciaron diferencias entre el dato corregido y el observado menores a 0,07 °C en la mayor parte de la región de estudio, siendo de 0,35 °C en la estación de Malargüe. Las precipitaciones tuvieron resultados similares, obteniendo diferencias menores a 10 mm en SM, VM, LC, SR, MG (Malargüe) y SJ (San Juan) y menores a 4 mm anuales en el resto de las estaciones meteorológicas (Tabla 2, Figura 1). Finalmente, la evaluación de la humedad relativa presentó resultados menores al 5 % en todos los casos, pero los ajustes no fueron estadísticamente significativos en todas las estaciones meteorológicas.

EM	TR (°C)	TO (°C)	ΔT (°C)	HRR (%)	HRO (%)	ΔHR (%)	PPR (mm)	PPO (mm)	ΔP (mm)
LC	12,1	14,9	-2,8	53,0	58,0	-5,0	421,6	310,4	111,2
SJ	16,1	17,8	-1,7	55,0	50,0	5,0	117,7	90,6	27,1
VMs	20,5	17,3	3,2	58,9	55,6	3,3	820,8	638,5	182,3
SM	15,5	16,1	-0,6	54,0	60,0	-6,0	298,8	198,3	100,5
MZA	16,8	16,1	0,7	49,6	57,1	-7,5	220,4	229,9	-9,5
SL	14,9	17,3	-2,4	53,0	56,0	-3,0	622,9	638,5	-15,6
MG	10,7	11,8	-1,1	53,3	54,9	-1,6	244,4	307,6	-63,2
SR	11,7	15,3	-3,6	49,0	57,0	-8,0	470,1	351,6	118,5
LR	22,6	20,2	2,4	53,0	60,0	-7,0	376,2	384,0	-7,8

Tabla 2. Diferencias de los valores medios (1960-2020) obtenidos con el Reanálisis y los Observados *In situ*. TR. Temperatura Reanálisis, TO. Temperatura Observada *In situ*, HRR. Humedad Relativa Reanálisis, HRO. Humedad Relativa Observada *In situ*, PPR. Precipitación Reanálisis, PPO. Precipitación Observada *In situ*. ΔT :TR-TO, ΔHR : HRR-HRO, ΔPP : PPR-PPO Se resaltaron con Negrita aquellos valores significativos. Estaciones meteorológicas (EM): La consulta (LC), San Juan, (SJ), Villa Mercedes (VM), San Martín (SM), Mendoza (MZA), San Luis (SL), Malargüe, (MG), San Rafael (SR), La Rioja (LR)

Caracterización climática de la región de Cuyo (Argentina)

La Humedad relativa presentó ajustes en donde el alfa fue mayor al 5 %, lo que determina que el ajuste no fue estadísticamente significativo. La temperatura del aire y la precipitación presentaron ajustes estadísticamente significativos ($\alpha < 0,05$) (Tabla 3). Al permitir generar buenos ajustes, el Reanálisis es una de las fuentes de información más utilizadas en el mundo por la disponibilidad de información que brinda y su resolución temporal (Viggiano *et al.*, 2019). Además, permite aplicar técnicas simples de comparación de variables que favorecen la generación de fórmulas para ajustar los datos a los observados *In situ* (Libanda *et al.*, 2020).

EM	T (°C)	HR (%)	P (mm)
LC	1,12 TR + 3,43	0,25HRR + 46,43	0,78PPR + 7,91
SJ	1,51TR - 6,71	0,69HRR + 14,2	0,98PPR - 2,16
VM	0,93TR - 1,88	0,64HRR + 19,11	0,73PPR + 2,72
SM	1,28TR - 0,79	0,83HRR + 14,97	0,53PPR + 3,74
MZA	1,26TR - 2,15	0,27HRR + 43,14	1,17PPR - 1,64
SL	1,15TR + 0,08	0,89HRR + 7,63	1,06PPR + 1,89
MG	1,24TR - 1,42	0,59HRR + 25,67	0,68PPR + 12,67
SR	1,21TR + 1,12	1,81HRR - 32,52	0,44PPR + 10,61
LR	1,28TR - 8,01	0,19HRR + 69,84	0,94PPR + 1,47

Tabla 3. Fórmulas de corrección obtenidas para corregir los datos del Reanálisis según estación meteorológica y variable climática utilizada para el período de calibración (temperatura del aire, T; humedad relativa, HR; precipitación, P). Los cuadros resaltados indican un mal ajuste estadístico ($\alpha > 0,05$). TR. Temperatura del Reanálisis, HRR. Humedad Relativa del Reanálisis, PPR. Precipitación del Reanálisis. Estaciones meteorológicas (EM): La consulta (LC), San Juan, (SJ), Villa Mercedes (VM), San Martín (SM), Mendoza (MZA), San Luis (SL), Malargue, (MG), San Rafael (SR), La Rioja (LR)

A partir de la aplicación de las fórmulas anteriores, se estudió la distribución espacial de las variables consideradas. Se observó que, en la temperatura del aire, los resultados obtenidos con las series corregidas permitieron establecer una distribución espacial muy similar a la observada en el terreno (Figura 2).

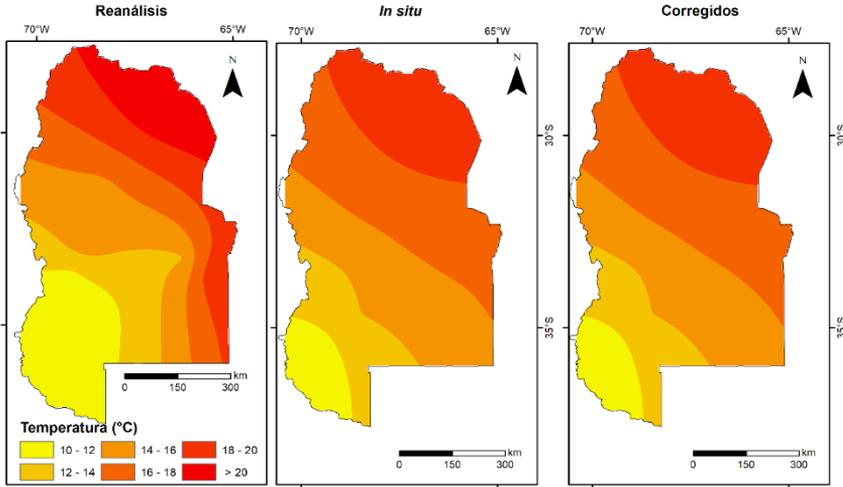


Figura 2. Distribución espacial de la temperatura del aire, considerando: i. Datos del Reanálisis, ii. Datos medidos *In situ* y iii. Datos corregidos. Período de testeo (2001-2020).

No ocurrió lo mismo al estudiar la Humedad relativa. Las diferencias observadas entre las series del Reanálisis y las obtenidas *In situ* son notables, generando que al aplicar las fórmulas de corrección no se llegue a obtener un mapa con buenos resultados y precisión para estudiar esta variable (Figura 3). Sin embargo, se observó que la distribución espacial estuvo bien representada en el campo corregido, pero falló la magnitud (Figura 3).

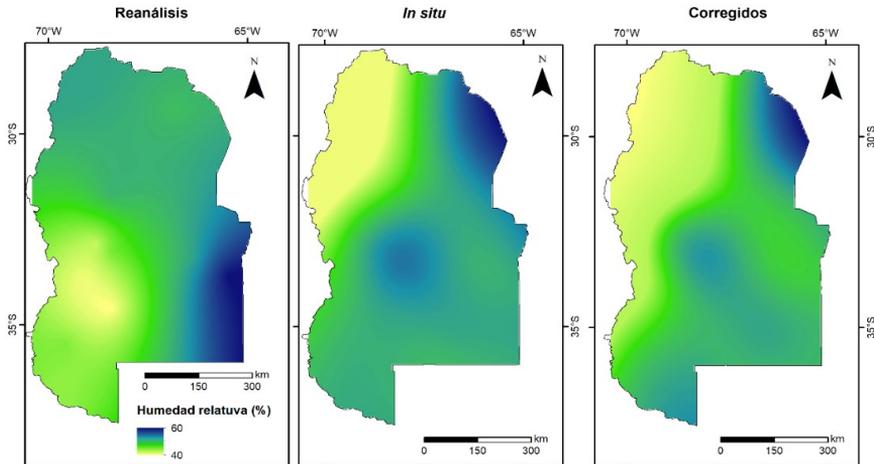


Figura 3. Distribución espacial de la humedad relativa, considerando: i. Datos del Reanálisis, ii. Datos medidos *In situ* y iii. Datos corregidos. Período de testeo (2001-2020).

Finalmente, la precipitación se comportó de manera similar a lo que ocurrió con la temperatura del aire. Las diferencias espaciales analizadas entre las series del Reanálisis y las obtenidas *In situ*, pueden corregirse con buenos resultados ($\alpha < 0,05$) (Figura 4).

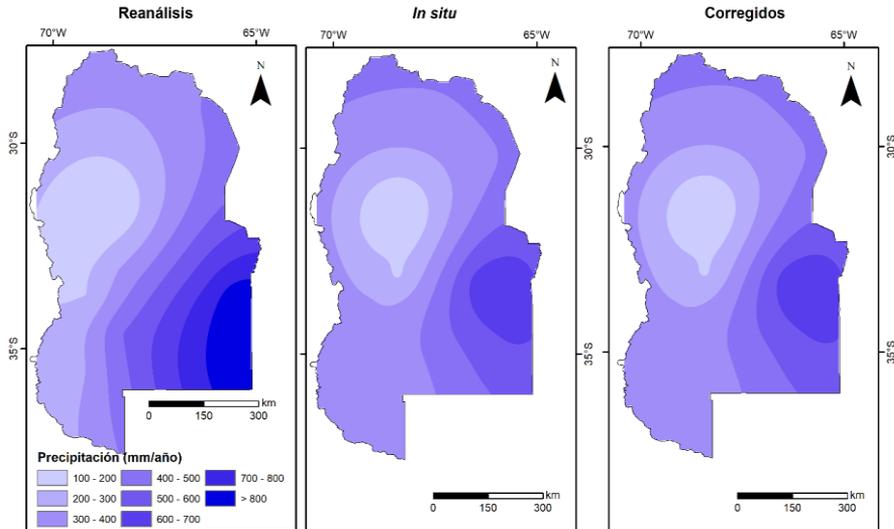


Figura 4. Distribución espacial de la precipitación, considerando: i. Datos del Reanálisis, ii. Datos medidos *In situ* y iii. Datos corregidos. Período de testeo (2001-2020).

Cada una de las series corregidas se contrastó con las observadas para analizar los ajustes entre ambas fuentes de información. Los resultados de las pruebas estadísticas para la temperatura del aire, la humedad relativa y las precipitaciones, se presentaron en la Tabla 4, donde se resaltaron con negrita los valores que fueron estadísticamente significativos. En el caso de la temperatura del aire, el test de Fisher estableció que en ninguno de los casos estudiados existió evidencia estadística de que los valores medios de las series fuesen distintos ($\alpha < 0,05$). El coeficiente de determinación R^2 fue, en todos los casos, superior a 0,81, mientras que los Coeficientes de Correlación superaron 0,74. Finalmente, el error medio cuadrático (RSME) osciló entre 0,51 °C y 0,11 °C, marcando un promedio regional de 0,3 °C (Tabla 4).

		LC	SJ	VM	SM	MZA	SL	MG	SR	LR
TF	T	0,04	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01
	HR	0,91	0,42	0,04	0,32	0,99	0,22	0,26	0,26	0,99
	PP	0,05	0,05	0,01	0,02	0,02	0,04	0,08	0,06	0,02
R ²	T	0,81	0,96	0,99	0,95	0,94	0,96	0,93	0,96	0,97
	HR	0,03	0,21	0,77	0,41	0,05	0,59	0,35	0,57	0,04
	PP	0,83	0,77	0,98	0,83	0,98	0,91	0,65	0,71	0,94
P	T	0,81	0,96	0,99	0,95	0,95	0,98	0,91	0,98	0,91
	HR	0,01	0,19	0,75	0,36	0,01	0,57	0,32	0,52	0,01
	PP	0,82	0,74	0,97	0,81	0,98	0,88	0,61	0,68	0,89
S	T	0,81	0,97	0,99	0,94	0,94	0,96	0,92	0,97	0,92
	HR	0,03	0,12	0,74	0,39	0,01	0,55	0,33	0,55	0,01
	PP	0,82	0,73	0,98	0,81	0,99	0,84	0,62	0,71	0,91
C	T	0,74	0,91	0,98	0,88	0,93	0,81	0,84	0,89	0,92
	HR	0,01	0,12	0,71	0,31	0,01	0,58	0,24	0,51	0,01
	PP	0,77	0,69	0,95	0,79	0,95	0,75	0,59	0,68	0,91
RSME	T	0,51	0,36	0,11	0,41	0,26	0,29	0,31	0,33	0,12
	HR	32,2	15,2	5,42	12,3	30,2	6,35	11,6	6,23	21,3
	PP	11,5	16,3	7,41	12,9	6,88	8,7	25,3	11,4	8,3

Tabla 4. Análisis estadísticos realizados sobre las series observadas y las modeladas. TF. Test de Fisher, R² Coeficiente de determinación, P. Coeficiente de Pearson, S. Coeficiente de Spearman, C. Concordancia, RSME. Error medio cuadrático. Se resaltaron en negrita los valores estadísticamente significativos. Período de testeo (2001-2020). Estaciones meteorológicas (EM): La consulta (LC), San Juan, (SJ), Villa Mercedes (VM), San Martín (SM), Mendoza (MZA), San Luis (SL), Malargue, (MG), San Rafael (SR), La Rioja (LR)

Por otro lado, la humedad relativa presentó valores muy diferentes entre ambas fuentes. El test de Fisher estableció que la mayoría de las estaciones meteorológicas presentaron diferencias significativas en los valores medios. Esto mismo, se confirma al analizar el coeficiente de determinación y los de correlación. Se destaca que el RSME regional fue de 16 % (Tabla 4).

Finalmente, las precipitaciones evidenciaron series modeladas que tuvieron valores medios estadísticamente iguales, si se considera un alfa de 8 %. Las estaciones de MG y SR presentaron valores del test de Fisher de 0,08 y 0,06, respectivamente. El resto de las estaciones tuvo registros inferiores o iguales a 0,05. El coeficiente de determinación presentó valores medios, es decir, mayores a los observados en la humedad relativa, pero inferior al estudiar la Temperatura del aire. Lo mismo ocurrió

con los coeficientes de correlación. El RSME osciló entre 25,3 y 8,3 mm, con un valor regional de 12,1 mm (Tabla 2). En este contexto, se destaca que los datos provenientes del Reanálisis han sido útiles para el análisis y la caracterización de los climas de Sudamérica, dado que permiten identificar anomalías térmicas y barométricas para el estudio de los frentes fríos (Araya-Osses, Casanueva, Roman-Figueroa, Uribe, & Paneque, 2020). Sin embargo, la humedad relativa no presenta buenos ajustes en las áreas áridas de Argentina (Bustos *et al.*, 2016).

Análisis a escala estacional

A escala estacional, se observaron diferencias térmicas marcadas. En los veranos, la temperatura del aire observada fue mayor, excepto en VM y LR. Una situación similar se observó en el otoño y la primavera, donde la mayor parte de las estaciones meteorológicas registraron valores mayores a los observados *In situ* (Tabla 5).

La humedad relativa tuvo valores medios estacionales similares en la primavera (con diferencias inferiores a 7 %), mientras que en el otoño y en el verano, las diferencias fueron significativas. Finalmente, la precipitación tuvo un comportamiento heterogéneo. Se identificaron mayores diferencias regionales en el invierno, seguido por el otoño, el verano y las menores en primavera (Tabla 5).

Posteriormente, se compararon ambas fuentes de información a escala estacional. Como resultado, surgieron las fórmulas de corrección estacionales para cada una de las estaciones meteorológicas presentadas en la Tabla 6. Se observó que la temperatura del aire presentó ajustes no significativos en los veranos e inviernos en la mayor parte del área de estudio. Sin embargo, los otoños y las primaveras estuvieron, en todos los casos, bien representados. Las precipitaciones presentaron mayor significancia en el área de estudio, con algunas excepciones en los veranos (LC y SM), los otoños (SJ), los inviernos (SM) y las primaveras (SJ, SR y LR). Finalmente, la humedad relativa fue el parámetro con menor significancia estadística luego de comparar ambas fuentes de información. La estación con menores ajustes fue la primavera, seguida por el otoño. Los veranos y los inviernos registraron dos estaciones sin significancia estadística (Tabla 6).

EM	Verano (°C)			Otoño (°C)			Invierno (°C)			Primavera (°C)		
	TR	TO	ΔT	TR	TO	ΔT	TR	TO	ΔT	TR	TO	ΔT
LC	17,7	21,9	-4,2	12,8	14,6	-1,8	6,7	9,5	-2,8	11,1	17,7	-6,6
SJ	21,9	26,2	-4,3	16,4	17,3	-0,9	10,5	8,8	1,7	15,6	19,1	-3,5
VM	27,5	23,7	3,8	19,9	16,9	3	13,3	10,4	2,9	21,3	18,3	3,0
SM	18,9	23,2	-4,3	13,5	15,4	-1,9	7,6	8,4	-0,8	12,6	17,3	-4,7
MZA	20,1	23,1	-3	15,1	15,6	-0,5	9,1	8,6	0,5	13,4	16,9	-3,5
SL	20,7	23,8	-3,1	15,3	16,9	-1,6	9,4	10,4	-1	14,4	18,2	-3,8
MG	15,4	19,1	-3,7	11,7	11,4	0,3	5,3	4,5	0,8	9,4	12,1	-2,7
SR	17,8	22,6	-4,8	12,3	14,9	-2,6	6,1	8,1	-2	10,8	15,9	-5,1
LR	28,4	26,9	1,5	22,4	19,5	2,9	16,7	12,1	4,6	22,9	22,2	0,7
EM	Verano (%)			Otoño (%)			Invierno (%)			Primavera (%)		
	HRR	HRO	ΔHR	HRR	HRO	ΔHR	HRR	HRO	ΔHR	HRR	HRO	ΔHR
LC	45	56	-11	47	64	-17	55	67	-12	55	53	2
SJ	58	44	14	61	58	3	53	56	-3	50	41	9
VM	62	54	8	70	64	6	55	56	-1	48	48	0
SM	56	56	0	60	69	-9	51	63	-12	48	51	-3
MZA	44	52	-8	47	65	-18	57	61	-4	51	51	0
SL	56	54	2	60	64	-4	51	56	-5	48	48	0
MG	43	47	-4	50	61	-11	64	64	0	46	48	-2
SR	47	52	-5	53	65	-12	49	60	-11	49	51	-2
LR	43	60	-17	50	69	-19	64	61	3	56	49	7
EM	Verano (mm)			Otoño (mm)			Invierno (mm)			Primavera (mm)		
	PPR	PPO	ΔPP	PPR	PPO	ΔPP	PPR	PPO	ΔPP	PPR	PPO	ΔPP
LC	133,4	143,9	-10,5	69,7	65,2	4,5	23,5	33,3	-9,8	50,9	68,2	-17,3
SJ	52,2	51,3	0,9	20,5	16,9	3,6	22,1	7,5	14,6	23,1	14,9	8,2
VM	415,4	320,6	94,8	207,8	147,2	60,6	25,9	24,3	1,6	171,8	146,4	25,4
SM	159,1	99,7	59,4	62,2	42,7	19,5	10,6	14,1	-3,5	66,9	41,8	25,1
MZA	101,6	108,8	-7,2	44,7	47,5	-2,8	25,5	23,5	2	48,6	60,1	-11,5
SL	248,9	301,1	-52,2	259,9	223,3	36,6	36,1	29,5	6,6	78,1	74,6	3,5
MG	61,7	77,1	-15,4	65,5	77,1	-11,6	65,6	90,7	-25,1	51,5	62,8	-11,3
SR	185,1	146	39,1	65,1	73,4	-8,3	35,4	36,6	-1,2	190,8	95,6	95,2
LR	231,1	218,2	12,9	84,9	94,3	-9,4	3,9	11,1	-7,2	56,4	60,5	-4,1

Tabla 5. Diferencias de los valores medios estacionales (1960-2020) obtenidos con el Reanálisis y los Observados *In situ*. TR. Temperatura Reanálisis, TO. Temperatura Observada *In situ*, HRR. Humedad Relativa Reanálisis, HRO. Humedad Relativa Observada *In situ*, PPR. Precipitación Reanálisis, PPO. Precipitación Observada *In situ*., ΔT:TR-TO, ΔHR: HRR-HRO, ΔPP: PPR-PPO En Negrita se resaltaron las diferencias significativas. Estaciones meteorológicas (EM): La consulta (LC), San Juan, (SJ), Villa Mercedes (VM), San Martín (SM), Mendoza (MZA), San Luis (SL), Malargue, (MG), San Rafael (SR), La Rioja (LR)

Caracterización climática de la región de Cuyo (Argentina)

EM	T				P			
	V	O	I	P	V	O	I	P
LC	0,03TR + 17,05	0,92TR - 0,71	0,18TR + 4,91	0,94TR - 5,71	-0,98PPR + 92,01	1,68PPR - 13,27	1,68PPR + 26,42	1,1 PPR - 8,05
SJ	0,98TR + 4,33	1,53TR - 7,77	2,35TR - 16,08	1,42TR - 3,05	1,27PPR - 4,43	0,28PPR + 5,21	-0,23PPR + 7,95	0,78PPR + 3,78
VM	0,66TR + 5,35	0,83TR + 6,13	0,47TR + 10,98	0,96TR + 1,61	1,87PPR - 61,8	1,43PPR - 0,84	-2,09PPR + 25,6	1,38PPR - 10,48
SM	0,99TR + 4,34	1,25TR - 1,52	1,94TR - 6,35	1,21TR + 1,31	-0,37PPR + 65,65	1,97PPR - 7,38	-0,25PPR + 4,72	3,04PPR + 20,06
MZA	0,69TR + 4,11	0,79TR + 2,74	0,26TR + 6,74	0,76TR + 0,57	0,5PPR + 15,57	0,83PPR + 1,76	2,04PPR - 7,47	1,04PPR - 1,09
SL	0,77TR + 7,64	1,13TR - 0,41	1,85TR - 7,04	1,12TR + 2,1	-2,25PPR + 334,05	0,98PPR - 8,75	1,99PPR + 24,79	0,93PPR + 3,22
MG	0,74TR + 2,33	0,85TR + 1,95	0,31TR + 3,82	0,73TR + 0,57	1,09PPR - 7,41	1,13PPR - 7,14	1,65PPR - 27,9	3,11PPR - 48,02
SR	0,59TR + 12	1,21TR + 0,03	1,87TR - 3,33	1,23TR + 2,54	3,23PPR - 95,9	0,11PPR - 3,03	2,29PPR - 16,1	14,2PPR + 18,34
LR	1,11TR + 4,61	1,19TR - 7,34	2,01TR - 21,33	1,04TR - 1,68	0,28PPR + 56,2	0,55PPR + 10,02	-1,14PPR + 5,46	0,91PPR + 0,53
EM	HR							
	V	O	I	P				
LC	0,42HRR + 21,56	- 0,18HRR + 58,5	-0,42HRR + 83,7	0,68HRR + 18,66				
SJ	1,31HRR - 0,1	- 1,13HRR + 127,5	0,32HRR + 34,5	1,12HRR + 95,3				
VM	1,23HRR - 4,95	- 3,36HRR + 284,3	0,88HRR + 5,31	3,1HRR - 99,9				
SM	1,4HRR - 22,65	- 2,92HRR + 261,2	0,29HRR + 32,63	1,52HRR + 126,1				
MZA	-1,25HRR + 108,8	1,08HRR - 23,89	-0,03HRR + 59,04	4,01HRR - 155,8				
SL	1,15HRR - 6,36	- 4,98HRR + 33,6	0,31HRR + 33,6	0,41HRR + 28,34				
MG	-0,1HRR + 47,67	1,07HRR - 15,19	-0,22HRR + 78,4	1,36HRR - 9,56				
SR	0,61HRR + 14,83	-1,1HRR + 117,6	0,12HRR + 41,74	0,25HRR + 35,91				
LR	-0,19HRR + 54,55	14,65HR - 956,8	-0,11HRR + 71,4	-3,6HRR + 236,1				

Tabla 6. Fórmulas de corrección obtenidas para corregir los datos del Reanálisis según estación meteorológica, variable climática utilizada y estación del año para el período de calibración para temperatura del aire (T), humedad relativa (HR) y precipitación (P). Los cuadros resaltados indican un mal ajuste estadístico ($\alpha > 0,05$). TR. Temperatura del Reanálisis, HRR. Humedad Relativa del Reanálisis, PPR. Precipitación del Reanálisis. V. Verano, O. Otoño, I. Invierno y P. Primavera. Estaciones meteorológicas (EM): La consulta (LC), San Juan, (SJ), Villa Mercedes (VM), San Martín (SM), Mendoza (MZA), San Luis (SL), Malargüe, (MG), San Rafael (SR), La Rioja (LR)

A partir de la aplicación de las fórmulas presentadas en la Tabla 6, se generaron tres series de datos con la que se estudió su distribución estacional: Reanálisis, *In situ* y corregidas (Figura 5, 6 y 7). Se identificó que la temperatura tuvo un buen ajuste espacial, aunque en algunas estaciones, los registros mínimos fueron subestimados y

los máximos sobreestimados (p.ej., en el otoño). La distribución espacial del Reanálisis presentó, en general, valores máximos mayores a los observados en el otoño, la primavera y el invierno. Sin embargo, en el verano, los valores mínimos y máximos fueron mayores en el escenario observado (Figura 5).

Por otro lado, la precipitación fue sobreestimada por el Reanálisis en el verano, el otoño y la primavera y subestimada en el invierno. A pesar de ello, las series corregidas permitieron ajustar la información del Reanálisis a las observadas de manera correcta. Tanto los montos estacionales de precipitación, como su distribución espacial estuvieron bien representadas (Figura 6).

Finalmente, la humedad relativa presentó diferencias espaciales notables en el otoño, la primavera y el invierno, aunque en el verano los ajustes espaciales fueron significativos. Si bien en esta estación se logró establecer el rango de los datos, la distribución espacial corregida fue similar a la obtenida con el Reanálisis. En el caso de la primavera, los valores observados *In situ* estuvieron condicionados por los valores estacionales de San Juan y La Consulta que registraron valores muy diferentes (41 y 52 %, respectivamente). Por este motivo, las diferencias espaciales no pudieron evidenciarse de manera clara. Al corregir los datos en esta estación, los resultados obtenidos evidenciaron una mayor similitud con los adquiridos del Reanálisis que con los observados (Figura 7).

Posteriormente, se realizó un estudio a escala regional con la finalidad de evidenciar las relaciones entre ambas fuentes de información, considerando todos los valores obtenidos por las estaciones meteorológicas y los promedios obtenidos con el Reanálisis para cada una de las grillas. La temperatura del aire tuvo valores medios regionales que fueron estadísticamente iguales en todas las estaciones del año. Sin embargo, se observaron los ajustes con mayores valores en la primavera y el otoño, los intermedios en el verano y los menores en el invierno (Tabla 7). La Humedad relativa no presentó ajustes estacionales a escala regional. El coeficiente de determinación, los de correlación y el error medio cuadrático demuestran que los ajustes a escala regional no presentan buenos resultados (Tabla 7). Finalmente, la precipitación tuvo un comportamiento similar al de la temperatura. Presentó un ajuste entre ambas fuentes de datos en todas las estaciones del año, considerando un alfa menor al 5 %. Sin embargo, esta variable presentó mejores ajustes en otoño e invierno. El RSME evidenció diferencias regionales inferiores a 12 mm por estación (Tabla 7).

Caracterización climática de la región de Cuyo (Argentina)

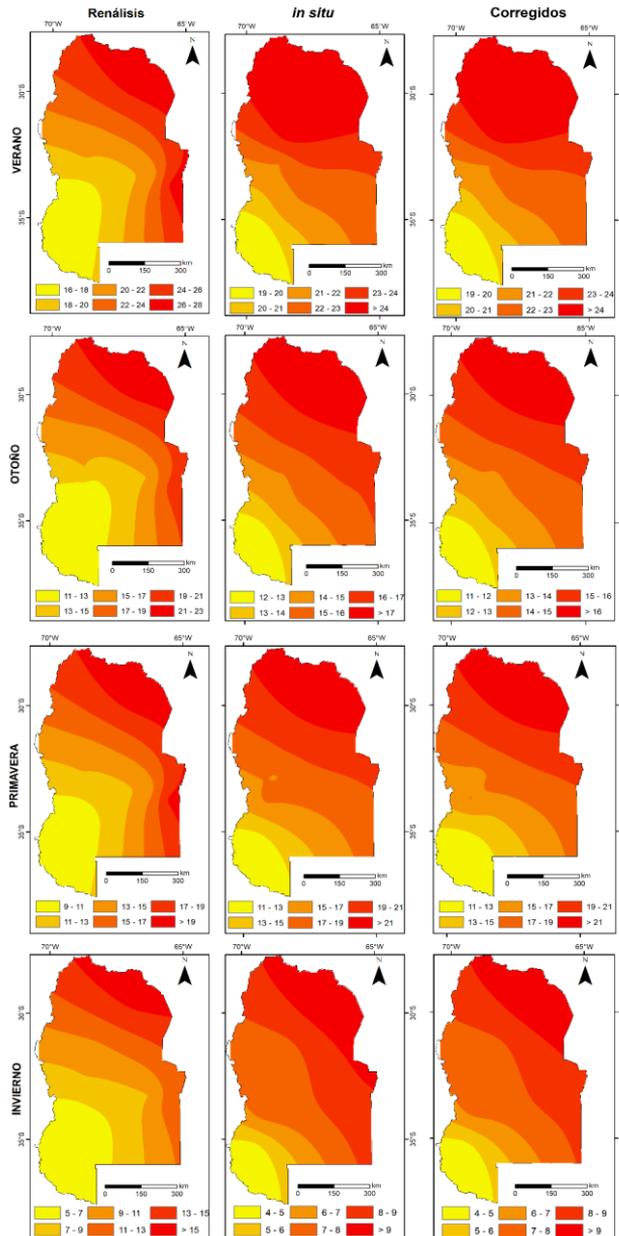


Figura 5. Distribución espacial de la temperatura de superficie estacional, considerando: i. Datos del Reanálisis, ii. Datos medidos *In situ* y iii. Datos corregidos. Período de testeo (2001-2020).

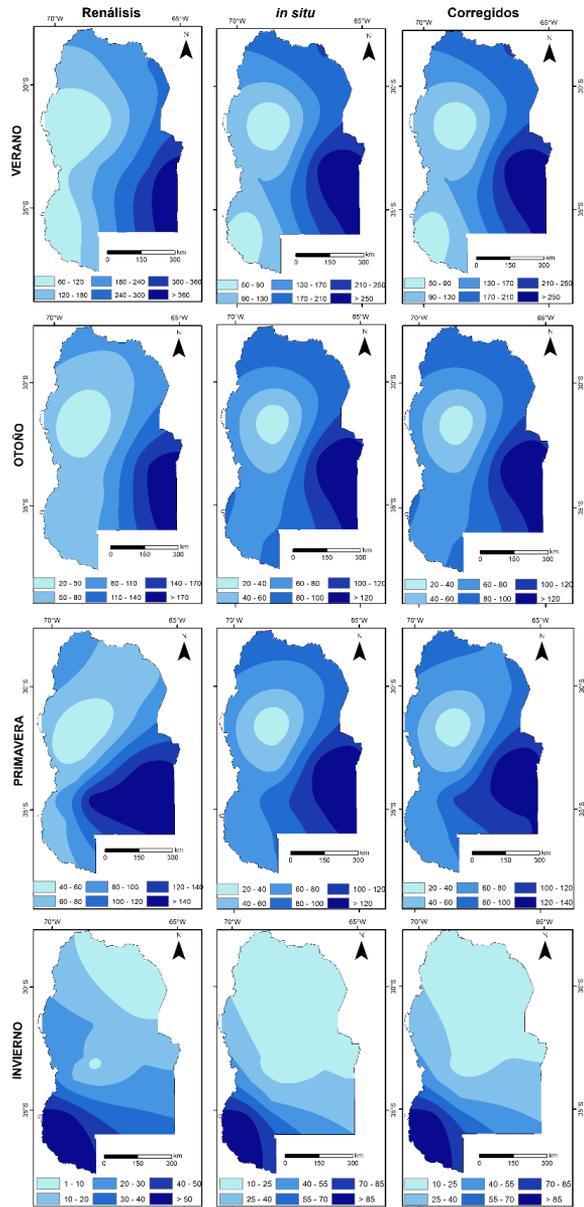


Figura 6. Distribución espacial la precipitación estacional, considerando: i. Datos del Reanálisis, ii. Datos medidos *In situ* y iii. Datos corregidos. Período de testeo (2001-2020).

Caracterización climática de la región de Cuyo (Argentina)

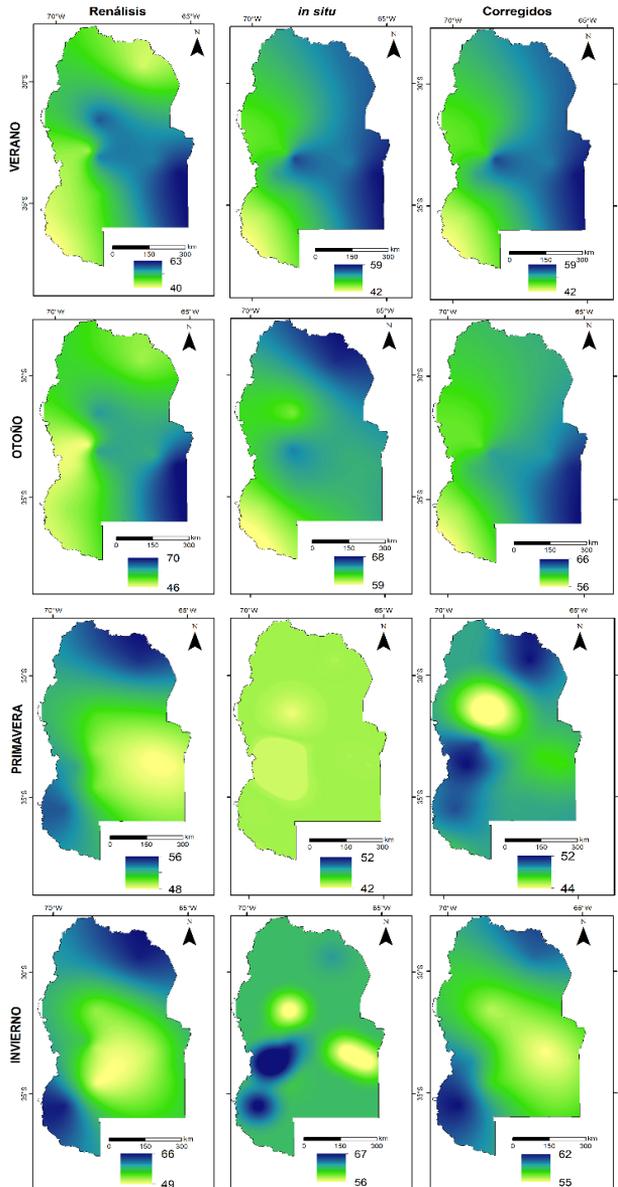


Figura 7. Distribución espacial de la humedad relativa estacional, considerando: i. Datos del Renanálisis, ii. Datos medidos *In situ* y iii. Datos corregidos. Período de testeo (2001-2020).

		T	HR	P
VERANO	F	0,05	0,99	0,03
	R ²	0,75	0,01	0,84
	P	0,74	0,01	0,83
	S	0,75	0,01	0,82
	C	0,71	0,01	0,81
	RSME	0,41	88	11,2
OTOÑO	F	0,05	0,99	0,03
	R ²	0,78	0,01	0,89
	P	0,77	0,01	0,88
	S	0,78	0,01	0,88
	C	0,72	0,01	0,84
	RSME	0,37	91	9,6
INVIERNO	F	0,05	0,86	0,04
	R ²	0,71	0,09	0,79
	P	0,71	0,08	0,78
	S	0,71	0,06	0,77
	C	0,69	0,05	0,73
	RSME	0,55	75	8,9
PRIMAVERA	F	0,05	0,87	0,04
	R ²	0,78	0,09	0,79
	P	0,79	0,08	0,77
	S	0,77	0,08	0,77
	C	0,75	0,08	0,72
	RSME	0,34	69	11,2

Tabla 7. Análisis de regresión estacional para el período de testeo (2001-2020) entre las series registradas *In situ* y las obtenidas con la modelización estadística para Temperatura del aire (T), humedad relativa (HR) y precipitación (P). F. Test de Fisher, R². Coeficiente de determinación, P. Coeficiente de Pearson, S. Coeficiente de Spearman, C. Concordancia, RSME. Error medio cuadrático. Se resaltaron en negrita los valores estadísticamente significativos.

El análisis de las series regionales entre las obtenidas del Reanálisis y las observadas *In situ* se presentó en la Figura 8. La temperatura del aire tuvo ajustes que superaron valores de R² de 0,708. La precipitación manifestó un comportamiento similar, con valores de R² mayores a 0,7941. Estas dos variables meteorológicas

presentaron ajustes polinómicos, exponenciales y logarítmicos en distintas estaciones del año, debido a que la Región de Cuyo tiene una gran amplitud térmica y pluviométrica a escala estacional, que incluye valores máximos y mínimos muy distantes. Finalmente, no se evidenció una relación estadísticamente significativa entre las series de humedad relativa. A escala regional, el Reanálisis presentó valores estables que no permitieron analizar con precisión sus variaciones espaciales (Figura 8).

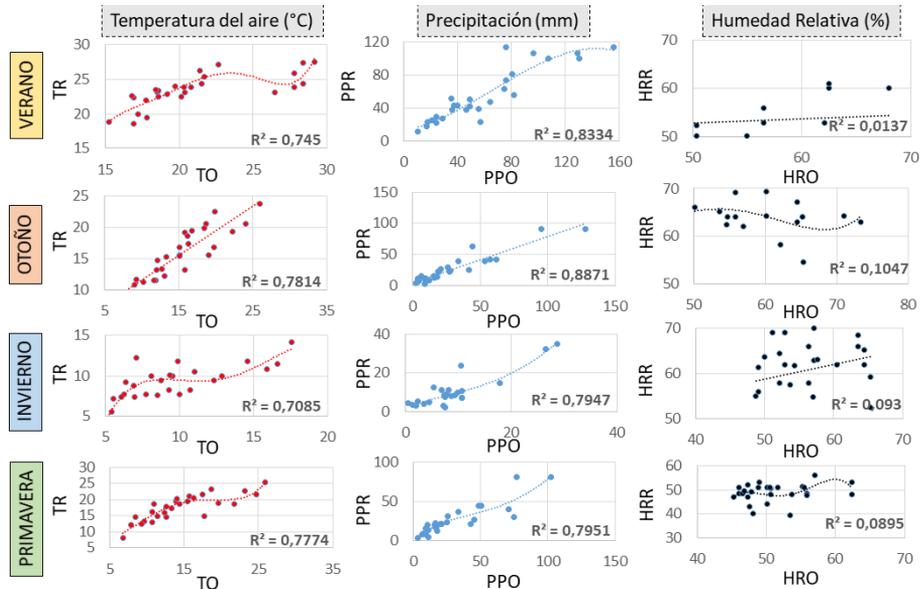


Figura 8. Relación entre los datos del Reanálisis y los observados *In situ*. TR. Temperatura Reanálisis, TO. Temperatura Observada *In situ*, PPR. Precipitación Reanálisis, PPO. Precipitación Observada *In situ*, HRR. Humedad Relativa Reanálisis, HRO, Humedad Relativa Observada *In situ*.

El tipo de ajuste de las series estacionales es, en general, más complejo que al trabajar las series de datos a escala climática (Ferrelli *et al.*, 2021b). Los ajustes que se observan en las series de datos estacionales son polinómicos, logarítmicos, exponenciales y cuantílicos (Abatzoglou *et al.*, 2012). En muchas ocasiones, utilizar los datos crudos del modelo numérico no considera las particularidades regionales ni las condiciones de sitio (Jeon *et al.*, 2016). Por ello, es necesario que esta información sea corregida con diferentes técnicas estadísticas (Hwang & Graham, 2013). Estas técnicas dependen directamente de las variables meteorológicas utilizadas y del interés de la corrección (Seo & Kim, 2018). Se destaca que la humedad relativa presenta, en varias partes del mundo, diferencias significativas con los datos observados. Esto se relaciona directamente con la ocurrencia de eventos extremos

térmicos y pluviométricos que afectan directamente a esta variable y que no son considerados por el Reanálisis. Por tal motivo, esta variable meteorológica es subestimada o sobreestimada (Haylock *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2019). En general, los mejores ajustes se presentan al analizar la temperatura del aire y las precipitaciones, aunque estas últimas en ciertas circunstancias requieran de análisis más complejos (Bustos *et al.*, 2016; Ferrelli *et al.*, 2021b).

Finalmente, se considera que los datos crudos del Reanálisis no podrían ser utilizados para caracterizar el clima de la Región de Cuyo si no se aplica alguna técnica de ajuste de las variables observadas y las modeladas/pronosticadas, debido a que las diferencias entre esta información con la obtenida *In situ* son significativas. Por ello, se destaca que deben ser corregidos dado que no contemplan en su generación los efectos de la topografía y los distintos tipos de clima, lo que genera que las series de tiempo sean estadísticamente distintas a las observadas *In situ* (Klister *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2019; Ferrelli *et al.*, 2021b). Se destaca que las técnicas de comparación permiten modelar las relaciones estacionarias entre la serie de datos *In situ* y la proveniente del modelo (Libanda *et al.*, 2020). Entonces, se pueden reconstruir series modeladas que se adapten a las distintas situaciones geográficas (Viggiano *et al.*, 2019). En este contexto, se destaca que para generar mejores resultados es indispensable contar con un mayor número de estaciones meteorológicas que hagan que los modelos de corrección y comparación sean más robustos (Kim *et al.*, 2019).

Conclusiones

Del estudio realizado sobre la caracterización climática en la Región de Cuyo (Argentina), se obtuvieron buenas correlaciones al analizar el clima a una escala climática, considerando 60 años de datos. La corrección de variables realizada para ajustar los datos de este modelo numérico generó series corregidas que presentaron ajustes muy buenos con los datos medidos *In situ* para las variables de temperatura del aire y la precipitación. No fue así el caso de la humedad relativa. Esto se determinó al estudiar la distribución espacial de cada uno de los parámetros.

El análisis estacional presentó diferencias. Los mejores resultados se observaron para la temperatura del aire, seguidos de la precipitación. En algunas estaciones la precipitación presentó ajustes que fueron estadísticamente significativos si se considerase un alfa del 8 %. Ambas variables meteorológicas tuvieron buenos ajustes y permitieron generar una caracterización estacional a escala regional. En este caso, el estudio requirió de análisis de regresión de tipo lineal, polinómica, exponencial y logarítmica para lograr los mejores resultados. En el caso de la humedad relativa, no se evidenciaron buenos ajustes. El Reanálisis tiende a homogeneizar los valores de esta variable, es decir, que no permite establecer las diferencias espaciales observadas con los datos observados *In situ*.

Finalmente, se destaca que los resultados obtenidos sirven para conformar una base de datos que permita caracterizar climática y estacionalmente el clima de la Región de Cuyo a partir de un modelo numérico como es el Reanálisis. Se destaca que es importante disponer de esta información actualizada para una región que basa su

economía en las actividades agropecuarias y turísticas. En este contexto, la información proporcionada podría ser de utilidad para el diseño de planes de manejo del territorio enmarcados dentro de los lineamientos del desarrollo sustentable.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y a la Universidad Nacional del Sur (UNS) por la financiación del presente estudio. Además, al Servicio Meteorológico Nacional (SMN, Argentina) y al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, Argentina) por el suministro de datos meteorológicos. Finalmente, agradecemos los datos del Reanálisis proporcionados por NOAA/ OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, Estados Unidos a través de su sitio web: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>.

Bibliografía

- Abatzoglou, J. T., & Brown, T. J. (2012). A comparison of statistical downscaling methods suited for wildfire applications. *International Journal of Climatology*, 32(5), 772-780.
- Aliaga, V. S., Ferrelli, F., & Piccolo, M. C. (2017). Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *International journal of climatology*, 37, 1237-1247.
- Aliaga, V., Ferrelli, F., Alberdi Algarafiaz, E.D., Bohn, V. Y. & Piccolo, M. C. 2016. Distribución y variabilidad de la precipitación en la región pampeana argentina. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 42 (1), 261-280.
- Araya-Osses, D., Casanueva, A., Roman-Figueroa, C., Uribe, J. M., & Paneque, M. (2020). Climate change projections of temperature and precipitation in Chile based on statistical downscaling. *Climate Dynamics*, 54(9), 4309-4330.
- Bargaoui, Z. K., & Chebbi, A. (2009). Comparison of two kriging interpolation methods applied to spatiotemporal rainfall. *Journal of Hydrology*, 365(1-2), 56-73.
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific data*, 5, 180214.
- Brendel, A. S., Ferrelli, F., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. E. (2021). Efectos de la variabilidad pluviométrica sobre la morfometría de los recursos hídricos de una cuenca hidrográfica de la Región Pampeana (Argentina). *Revista Geográfica Venezolana*. 62 (1), 92-106.
- Brendel, A., Bohn, V. Y., & Piccolo, M. C. (2017). Efecto de la variabilidad climática sobre el estado de la vegetación y la cobertura de agua en una cuenca de clima templado (Argentina). *Anuario Do Instituto De Geociencias*, 40, 5 – 16.
- Bustos, M.L., Ferrelli, F., Huamantincio Cisneros, M. A., Piccolo, M. C. & Gil, V. (2016). Estudio preliminar del ajuste entre datos meteorológicos *in situ* y del Reanálisis (NCEP/NCAR) en distintos ambientes de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Estudios Geográficos*, Vol. LXXVII, 280, 335-343.
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE). *Geoscientific Model Development Discussions*, 7(1), 1525-1534.

- Chok, N. S. (2010). *Pearson's versus Spearman's and Kendall's correlation coefficients for continuous data* (Doctoral dissertation, University of Pittsburgh).
- Collazo, S., Barrucand, M., & Rusticucci, M. (2019). Summer seasonal predictability of warm days in Argentina: statistical model approach. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(3-4), 1853-1876.
- Devers, A., Vidal, J. P., Lauvernet, C., Graff, B., & Vannier, O. (2020). A framework for high-resolution meteorological surface reanalysis through offline data assimilation in an ensemble of downscaled reconstructions. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(726), 153-173.
- Ferrelli, F. (2017). Variabilidad pluviométrica y sus efectos sobre las coberturas del suelo al sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, 58 (1), 26-37.
- Ferrelli, F. Bustos, M. L., Perillo, G.M.E. & Piccolo, M. C. (2021b). Evaluación de variables meteorológicas obtenidas del Reanalysis (NCEP/NCAR) para el estudio del clima de ciudades costeras de Argentina. *Investigaciones Geográficas*. 76, 263-284.
- Ferrelli, F., Brendel, A. S., Aliaga, V. S., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. E. (2019). Climate regionalization and trends based on daily temperature and precipitation extremes in the south of the Pampas (Argentina). *Geographical Research Letters* 45: 393–416.
- Ferrelli, F., Brendel, A.S., Perillo, G.M.E. & Piccolo, M. C. (2021a). Warming signals emerging from the analysis of daily changes in extreme temperature events over Pampas (Argentina). *Environmental Earth Sciences*. 80, 422.
- Finney, D. J. (1948). The Fisher-Yates test of significance in 2×2 contingency tables. *Biometrika*, 35(1/2), 145-156.
- Haylock, M. R., Cawley, G. C., Harpham, C., Wilby, R. L., & Goodess, C. M. (2006). Downscaling heavy precipitation over the United Kingdom: a comparison of dynamical and statistical methods and their future scenarios. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(10), 1397-1415.
- Houghton, R. A. (1993). Is carbon accumulating in the northern temperate zone? *Global Biogeochemical Cycles*, 7, 611–700.
- Hwang, S., & Graham, W. D. (2013). Development and comparative evaluation of a stochastic analog method to downscale daily GCM precipitation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(11), 4481-4502.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. En prensa.
- Jeon, S., Paciorek, C. J., & Wehner, M. F. (2016). Quantile-based bias correction and uncertainty quantification of extreme event attribution statements. *Weather and Climate Extremes*, 12, 24-32.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R.,

- Jenne, R. & Joseph, D. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3), 437-472.
- Kim, K. Y., Kim, J., Boo, K. O., Shim, S., & Kim, Y. (2019). Intercomparison of precipitation datasets for summer precipitation characteristics over East Asia. *Climate Dynamics*, 52(5-6), 3005-3022.
- Klister, R., Kalnay, E., Collins, W., Saha, S., White, G., Woollen, J., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Kanamitsu, M., Kousky, V., van den Dool, H., Jenne, R. & Fiorino, M. (2001). The NCEP–NCAR 50-year reanalysis: monthly means CD-ROM and documentation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(2), 247-268.
- Kopa, M., & Tichý, T. (2012). Concordance measures and second order stochastic dominance-portfolio efficiency analysis.
- Libanda, B., Bwalya, K., Nkolola, N. B., & Chilekana, N. (2020). Quantifying long-term variability of precipitation and temperature over Zambia. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 198, 105201.
- Nacar, S., Kankal, M., & Okkan, U. (2019). Statistical Downscaling of Monthly Mean Air Temperature Using NCEP/NCAR Re-analysis Data: A Case Study for the Eastern Black Sea Basin. In *3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies*.
- Penalba, O.C. & Rivera, J.A. (2016). Regional aspects of future precipitation and meteorological drought characteristics over Southern South America projected by a CMIP5 multi-model ensemble. *International Journal of Climatology*, 36(2), 974-986
- Romero, P. E., González, M. H., Rolla, A. L., & Losano, F. (2020). Forecasting annual precipitation to improve the operation of dams in the Comahue region, Argentina. *Hydrological Sciences Journal*, 1-10.
- Rusticucci, M. M., & Kousky, V. E. (2002). A comparative study of maximum and minimum temperatures over Argentina: NCEP–NCAR reanalysis versus station data. *Journal of Climate*, 15(15), 2089-2101.
- Sachindra, D. A., Ahmed, K., Mamunur Rashid, M., Sehgal, V., Shahid, S., & Perera, B. J. C. (2019). Pros and cons of using wavelets in conjunction with genetic programming and generalised linear models in statistical downscaling of precipitation. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(1-2), 617-638.
- Seo, S. B., & Kim, Y. O. (2018). Impact of spatial aggregation level of climate indicators on a national-level selection for representative climate change scenarios. *Sustainability*, 10(7), 2409.
- Taboada, M. A., Damiano, F. & Micucci, F. G. (2012). *Aspectos físicos que condicionan la disponibilidad de agua para los cultivos*. Facultad de Agronomía, UBA. Buenos Aires. 133-167.
- Viggiano, M., Busetto, L., Cimini, D., Di Paola, F., Gherardi, E., Ranghetti, L., Ricciardelli, E & Romano, F. (2019). A new spatial modeling and interpolation approach for high-resolution temperature maps combining reanalysis data and ground measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 276, 107590.

- Wang, B., Zhang M., Wei, J., Wang, S., Li, S., Ma, Q., Li., X. & Pan, S. (2013). Changes in extreme events of temperature and precipitation over Xinjiang, Northwest China, during 1960–2009. *Quaternary International*. 298:141–151.
- Wang, X., Chen, H., Wu, Y., Feng, Y. & Pu, Q. (2010). New techniques for detection and adjustment of shifts in daily precipitation data series. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 49(12):2416–2436.
- Zhang, X. & Yang, F. (2013). RCLimDex (1.1) user manual. (Disponible en: <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/software.shtml>).
- Zhou, B.T., Xu, Y., Wu, J., Dong, S.Y. & Shi, Y. (2016). Changes in temperature and precipitation extreme indices over China: analysis of a highresolution grid dataset. *International Journal of Climatology*. 26:1051–1066.