

Cita bibliográfica: García Bu Bucogen, G., Piccolo, M. C., & Bohn, V. Y. (2022). Implementación de datos meteorológicos modelados en el norte patagónico argentino (1982-2017). *Investigaciones Geográficas*, (78), 67-87. <https://doi.org/10.14198/INGEO.21449>

# Implementación de datos meteorológicos modelados en el norte patagónico argentino (1982-2017)

## *Implementation of modeled meteorological data in the Argentine Northern Patagonian (1982-2017)*

Grethel García Bu Bucogen<sup>1\*</sup> 

María Cintia Piccolo<sup>2</sup> 

Vanesa Yael Bohn<sup>3</sup> 

### Resumen

El objetivo del trabajo es comparar y validar bases de datos meteorológicas modeladas con datos *in situ* para caracterizar climáticamente el norte patagónico argentino. La clasificación climática fue realizada en base a las ecorregiones propuestas por Morello et al. (2012). Se analizaron estadísticamente las bases de datos *in situ* del Sistema Meteorológico Nacional (SMN) e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) para el período 1982-2017. La información modelada fue obtenida de las bases de datos POWER NASA, NCEP/NCAR y 3CN. Los datos de reanálisis fueron validados para el año 2017. La prueba de Levene (homogeneidad) evaluó la representatividad de los valores promedio. La base POWER NASA presentó la mayor correlación con los datos *in situ* y fue validada exitosamente. POWER NASA mostró buen ajuste estadístico para la temperatura del aire (Pearson ~ 0,99) en zonas continentales no montañosas. La restricción se extiende a sectores costeros para la humedad relativa. La prueba de Levene debe ser implementada al trabajar con series de precipitación. El empleo de la variable está limitado a sectores continentales no montañosos. La velocidad del viento fue el parámetro que mostró una correlación baja. No se recomienda su utilización.

**Palabras clave:** validación; datos *in situ*; POWER NASA; Levene; Patagonia norte.

### Abstract

The aim of this work is to compare and validate modeled meteorological databases with *in situ* data to characterize the Argentine northern Patagonian climate. The climatic classification has been made based on the ecoregions proposed by Morello et al. (2012). The *in situ* databases of the National Meteorological System (SMN) and the National Institute of Agricultural Technology (INTA) were statistically analyzed for the period 1982-2017. The modeled information was obtained from the POWER NASA, NCEP/NCAR and 3CN databases. The reanalysis data was validated for the year 2017. The Levene test (homogeneity) evaluated the representativeness of the statistical average values. The POWER NASA database presented the highest correlation with the *in situ* data and the meteorological repository was successfully validated. POWER NASA showed a good statistical fit for air temperature (Pearson ~ 0.99) in non-mountainous continental areas. The restriction extends to coastal sectors for relative humidity. Levene's test must be implemented in precipitation time series analysis. The use of the variable is limited to non-mountainous continental sectors. Wind speed was the parameter that showed a low correlation. Its use is not recommended.

**Keywords:** validation; *in situ* data; POWER NASA; Levene; northern Patagonia.

1 Instituto Argentino de Oceanografía (CONICET-UNS), Argentina. [grethelgbb@gmail.com](mailto:grethelgbb@gmail.com). \* Autora para correspondencia  
2 Instituto Argentino de Oceanografía (CONICET-UNS). Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Argentina. [mcpiccol@gmail.com](mailto:mcpiccol@gmail.com)  
3 Instituto Argentino de Oceanografía (CONICET-UNS). Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Argentina. [vanesa.bohn@uns.edu.ar](mailto:vanesa.bohn@uns.edu.ar)

## 1. Introducción

La limitada cantidad de estaciones meteorológicas que poseen registros continuos es un problema al realizar investigaciones climatológicas en Sudamérica (Shwerdtfeger, 1976; Garreaud et al., 2009; Bianchi, 2016). La restricción es mayor en zonas con baja densidad poblacional y escasa infraestructura. La baja resolución espacial de los datos debido a grandes distancias entre estaciones de medición dificulta la realización de estudios sobre variabilidad climática local. En la Patagonia y en el resto del territorio argentino, la escasa disponibilidad de series con datos meteorológicos continuos dificulta la realización de este tipo de trabajos (Villarba et al., 2013; Viale y Garreaud, 2015).

En el norte patagónico, las principales influencias sobre el clima son la Cordillera de Los Andes, una meseta continental y luego la costa (Frumento, 2017). Los gradientes de humedad y precipitación se desarrollan a partir de la influencia de estas tres regiones geográficas. Por lo tanto, la distribución de la temperatura, humedad y precipitación, a lo largo del territorio es heterogénea (Coronato et al., 2017). De las cuatro ecorregiones patagónicas delimitadas por Morello et al. (2012), tres poseen zonas áridas y semiáridas. El problema de la degradación de los suelos por cambios en el clima y sobreexplotación de recursos no es ajeno a estas tres zonas (Mazzoni & Vázquez, 2010).

El manejo de grandes extensiones de territorio con características áridas y semiáridas presenta grandes retos: escasez de recursos hídricos acentuada por efectos del cambio climático, la necesidad de conservar especies autóctonas, la degradación de la tierra con pérdida del potencial biológico, productivo y económico de los suelos, el crecimiento poblacional, la sobreexplotación de recursos naturales y políticas inadecuadas de desarrollo (Collado, 2012). Las actividades económicas y sociales en estas zonas requieren equilibrio y una racionalidad distinta (Sánchez-Cano, 2019). Para ello, es necesario el trazado de planes de manejo ambiental en base a las características climáticas puntuales.

Los estudios climáticos se deben basar en repositorios de datos meteorológicos de alta resolución espacial con series de tiempo mayores a 30 años (Strahler & Strahler, 1989; Ferrelli et al., 2016; Bustos et al., 2017). Ante la falta de datos meteorológicos, una alternativa ha sido la implementación de series de datos de reanálisis. Este tipo de repositorios se obtienen a partir de la combinación de datos de medición, observación, simulación y aplicación de técnicas de asimilación de datos (Meteoblue, 2022). La existencia de estos datos ha contribuido a mejorar el pronóstico meteorológico y confeccionar estudios de mayor rigor científico (Kalnay, 2001; Gavilan et al., 2019).

El repositorio de datos meteorológicos de reanálisis POWER NASA está habilitado para su uso en un entorno SIG (Sistema de Información Geográfica) con observaciones meteorológicas diarias desde 1982 hasta 2021 (Stackhouse et al., 2015; POWER NASA, 2020). Los datos de POWER NASA fueron útiles en el cálculo de la evapotranspiración en Lagunera, México (Jiménez-Jiménez et al., 2021). Rodríguez & Braga (2021) demostraron, también, que los datos de temperaturas máximas y mínimas y radiación solar de NASA POWER, poseen una alta correlación con mediciones meteorológicas *in situ* en el sur de Portugal. Los hallazgos de Al-Kilani et al. (2021) mostraron la factibilidad de empleo del repositorio para detectar condiciones meteorológicas húmedas y secas. Los autores validaron los resultados con el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI, por sus siglas en inglés).

Sin embargo, diversas investigaciones han reportado limitaciones en cuanto a la aplicabilidad de POWER NASA como repositorio alternativo de datos. En China, Bai et al. (2010) hallaron una buena correlación entre los datos modelados y los provenientes de estaciones terrestres. Sin embargo, mostraron que los promedios mensuales de la variable temperatura fueron subestimados. White et al. (2008, 2011) detectaron limitaciones en cuanto a la fiabilidad de los datos de precipitación y temperatura de POWER NASA en sectores aledaños a sistemas montañosos.

En Argentina, la estimación de parámetros meteorológicos a partir de datos modelados ha sido exitosa en muchas regiones (Ferrelli et al., 2016; Bustos et al., 2017). La Base de Datos Climáticos de 3CN (CIMA/ CONICET-UBA) incluye datos observados y simulados con los cuales se elaboró una caracterización climática de la Patagonia y otras zonas (3CN, 2020). Esta información solo brinda datos de temperatura y precipitación para la región patagónica hasta 1990. Ferrelli et al. (2016) hallaron que, para períodos superiores a 30 años, los datos de NCEP/NCAR presentaron una alta correlación con las mediciones del Sistema Meteorológico Nacional (SMN).

Dada la importancia de establecer un antecedente sobre cuál es la base de datos más adecuada para la realización de estudios climáticos en la Patagonia norte, se realiza la comparación estadística entre las bases

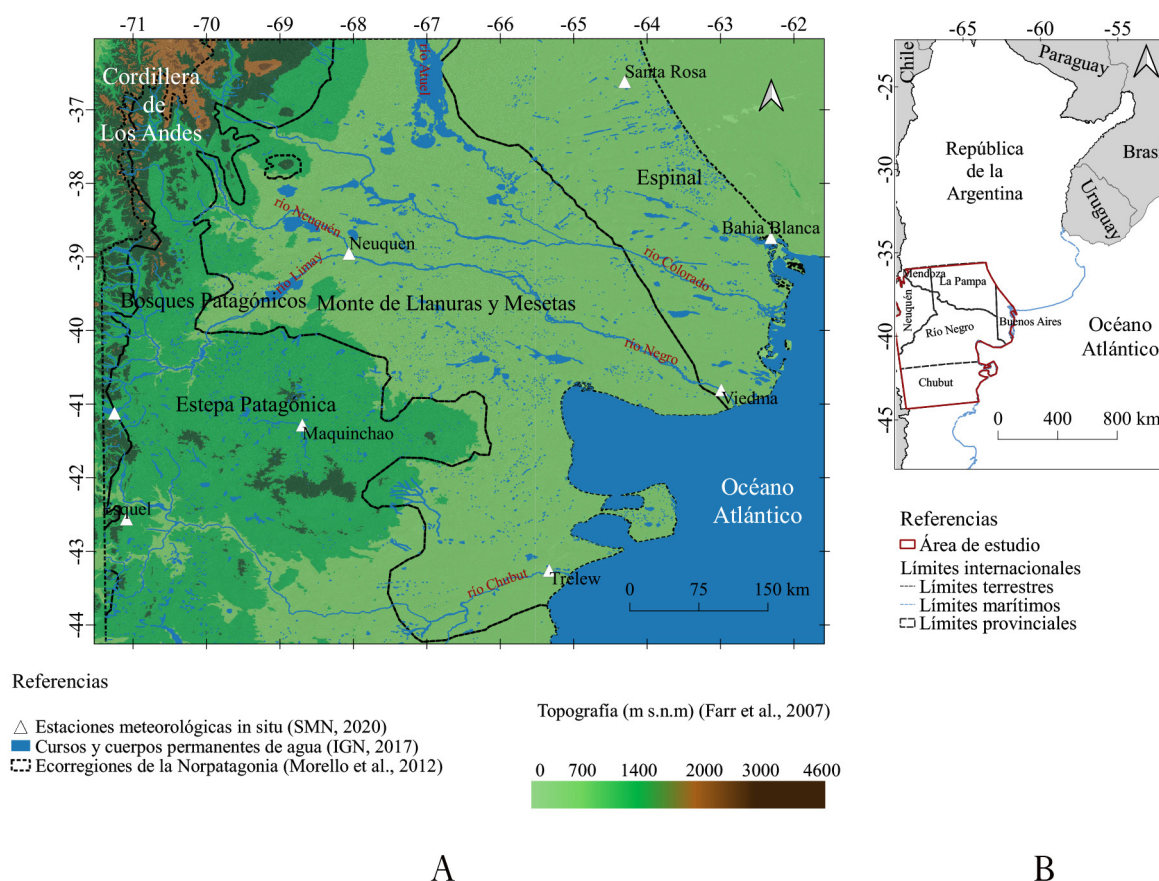
de datos *in situ* del Sistema Meteorológico Nacional (SMN, 2020) e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 2020) y las de reanálisis NCEP-NCAR (Kalnay, 1996), 3CN (3CN, 2020) y NASA POWER (POWER NASA, 2020). El objetivo del trabajo es validar estadísticamente el repositorio que presente el mejor ajuste para su posterior utilización en el norte patagónico, con énfasis en las ecorregiones afectadas por la aridez. Los resultados esperados incluyen la obtención de datos meteorológicos con una mayor resolución espacial y temporal para que puedan ser utilizados por los tomadores de decisión o los diferentes actores sociales en sus comunidades.

## 2. Metodología

### 2.1. Área de estudio

El área de estudio se localiza en el sector norte de la Patagonia argentina. Su área es ~784.412 km<sup>2</sup>. Se extiende desde el sudeste de la provincia de Mendoza, al oeste y sur de la provincia de La Pampa hasta el sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Al sur limita con el paralelo 44° Lat. S y, al oeste, con la Cordillera de Los Andes (Morello et al., 2012; Mazzoni & Vázquez, 2010) (Figura 1A y B). La Patagonia argentina presenta diferentes características topográficas, hidrológicas y climáticas. Morello et al. (2012), clasifican al sector de la Patagonia en 4 ecorregiones: bosques patagónicos, llanuras y mesetas, espinal y estepa patagónica. El 81,6 % de estas tres últimas presentan características áridas y semiáridas (Morello et al., 2012).

Figura 1. Área de estudio: A. Topografía, B. Localización relativa



Elaboración propia

#### 2.1.1. Ecorregión de Monte de Llanuras y Mesetas

Es una de las regiones más áridas de Argentina. Abarca el E de la provincia de Mendoza, el O y S de La Pampa, el E y N de la provincia de Río Negro y el NE de Chubut (Figura 1B). Su relieve es llano

y de extensas mesetas escalonadas (Figura 1A). La red de drenaje es variable. En el N, los ríos San Juan, Tunuyán y Diamante, se desarrollan en dirección O-E mientras que el río Atuel fluye de NO a SE. Hacia el S, se encuentran los ríos Neuquén, Limay, Negro, Colorado y Chubut, en dirección O-E. El clima es templado-árido (Morello et al., 2012). Al N, las precipitaciones son escasas (entre 100-200 mm), aumentando hacia el S. Las temperaturas medias anuales en la zona de estudio oscilan entre 10-14 °C (Coronato et al., 2017). Las estaciones meteorológicas de Neuquén (38°57'S y 68°8'O) y Trelew (43°13'S y 65°17'O) se localizan en esta ecorregión. La estación correspondiente a Neuquén se encuentra a 271 msnm de altitud. Trelew se ubican en la zona litoral a 43 msnm (SMN, 2020).

### 2.1.2. Ecorregión Espinal

El sector estudiado de la ecorregión ocupa el extremo sur de la provincia de Buenos Aires y noreste de la provincia de Río Negro (Figura 1B). El relieve es predominante llano con ondulaciones suaves y serranías bajas (Figura 1A). El clima es templado y seco. La temperatura media anual es 15 °C. La precipitación media anual varía entre 100 y 300 mm. La temporada de lluvias se extiende de octubre a marzo (Morello et al., 2012). En la ecorregión se localizan las estaciones de medición de Santa Rosa (36°36'S y 64°17'O) y Viedma (40°52'S y 63°0'O). La primera de ellas se ubica a 191 msnm en un sector llano, mientras Viedma se encuentra a 35 km de la costa con una altitud de 7 msnm (SMN, 2020).

### 2.1.3. Ecorregión Bosques Patagónicos

Comprende una estrecha franja sobre la Cordillera de Los Andes, entre los 36° a 55° S (Figura 1B). La zona presenta un relieve escarpado con circos, artesas, agujas, altiplanicies, valles glaciales y terrazas (Figura 1A). Al Norte de los 46°50' S, la cordillera supera los 2.000 msnm. El clima es templado (Coronato et al., 2017). El régimen climático se asocia a la topografía. Las precipitaciones oscilan entre 400 y 300 mm anuales. La temperatura media anual es 8 °C. Los vientos provenientes del O se destacan por su intensidad (Morello et al., 2012). En la zona aledaña a la Cordillera de Los Andes, se encuentra la estación de medición Bariloche (41°9'S y 71°10'O) a 831 msnm de altitud (SMN, 2020).

### 2.1.4. Estepa Patagónica

Esta ecorregión se extiende entre los 68 a 70° O en la provincia de Mendoza, 70 y 71° O en Neuquén, gran parte de Río Negro y Chubut, en el área de estudio (Figura 1B). La aridez del sector es consecuencia de la presencia de la Cordillera de Los Andes. El relieve es de mesetas escalonadas hacia el Este, montañas y colinas erosionadas, dunas, acantilados costeros, playas costeras y valles de ríos (ej.: Chubut, Deseado, Chico, Santa Cruz y Coyle) (Figura 1A). En el Oeste, las mesetas superan los 1.000 msnm, descendiendo hacia el E. En las mesetas prevalecen las cuencas endorreicas o arreicas. El clima tiene características de semidesierto: frío, ventoso y seco (Coronato et al., 2017). La precipitación media anual es inferior a los 250 mm en casi toda la región, a excepción del sector andino (600 mm). Al N, las temperaturas medias anuales varían entre 8 °C-14 °C (Morello et al., 2012). Las estaciones de medición Maquinchao (41°15'S y 68°42'O) y Esquel (42°54'S y 71°9'S) se localizan en el sector. Sus altitudes son 888 y 797 msnm respectivamente (SMN, 2020). Maquinchao se sitúa en la meseta continental y Esquel aledaña a la Cordillera de Los Andes.

## 2.2. Método

Para la selección de la base de datos modelados a utilizar, se evaluaron tres: NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996), 3CN (3CN, 2020) y POWER NASA (POWER Project, 2020) (Tabla 1). NCEP/NCAR es una base de datos meteorológicos mensuales modelados desde 1948, con la que se han validado datos a nivel mundial (Kalnay et al., 1996; Ferrelli et al., 2016; Bustos et al., 2017). La base 3CN se usó en la 3ra. Comunicación Nacional de la República Argentina para elaborar un informe donde se realiza una caracterización climática de la Patagonia argentina. POWER NASA es un repositorio de datos con resolución espacial y temporal más alta que las bases de datos anteriormente descritas.

Las principales instituciones con redes de medición de variables climáticas en Argentina son el INTA y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (Moreiras, 2018). El repositorio de SMN es utilizado en Argentina para controlar en tiempo real decenas de zonas del país y aportar información a muchos países



de América del sur (Gutiérrez, 2017). Los datos del INTA son usados en la confección del pronóstico agroclimático mensual y estacional (INTA, 2020). La calibración de las estaciones de medición se realiza acorde a las normativas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (OMM, 2014).

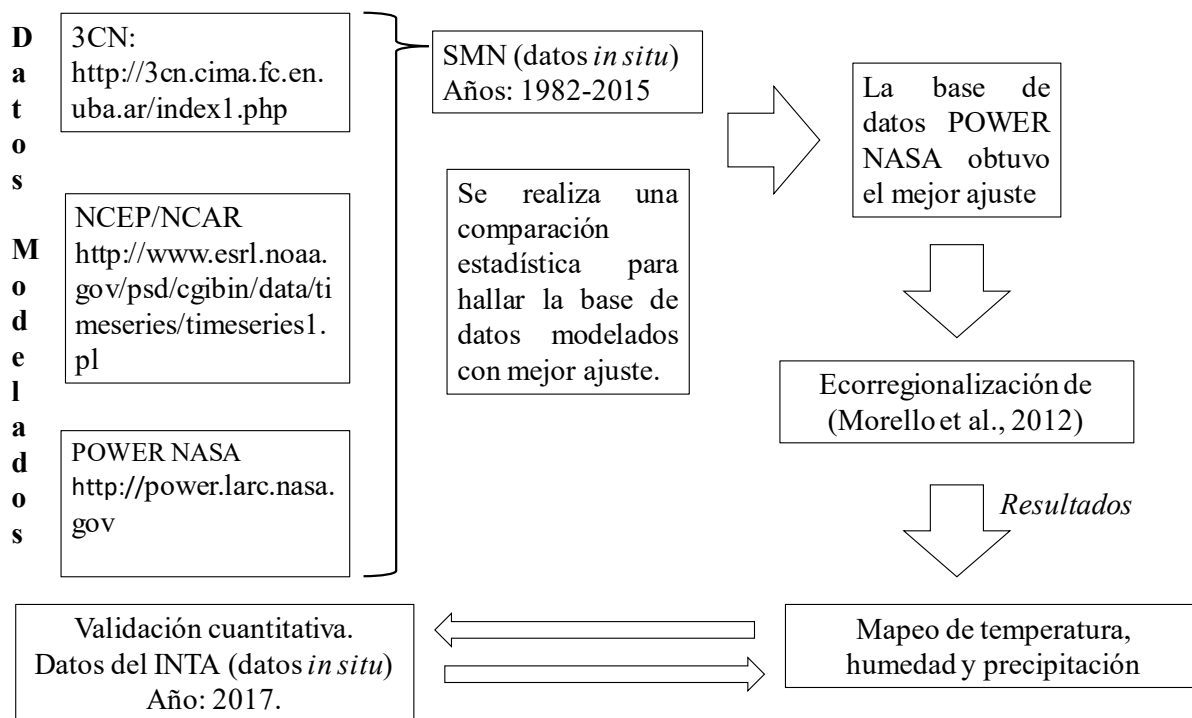
Los datos medidos (*in situ*) empleados en el presente trabajo fueron provistos por la red de observación meteorológica del SMN e INTA (SMN, 2020; INTA, 2020). Se utilizaron 7 estaciones meteorológicas, distribuidas en las 4 ecorregiones estudiadas de la Patagonia argentina (Tabla 1 y Figura 2). La selección de las estaciones respondió a la continuidad de las series de tiempo. La escala temporal de los datos analizados fue mensual.

Tabla 1. Listado y características de las bases de datos analizadas

Bases de datos analizadas	Origen de datos	VARIABLES QUE INCLUYE	Resolución temporal	Resolución espacial
NCEP/NCAR	Modelados	Temperatura, humedad, velocidad del viento y precipitación	1948-2020 (6 horas, diario y mensual)	1,875° x 1,875°
3CN	Modelados	Temperatura y precipitación	1961-1990	1° x 1°
POWER NASA	Modelados	Temperatura, humedad, velocidad del viento y precipitación	1982-2018	0,5° x 0,5°
Sistema Meteorológico Nacional (SMN)	Observados	Temperatura, humedad, velocidad del viento y precipitación	1970-2015	7 estaciones de medición distribuidas en ~ 1.260.786 km <sup>2</sup>
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)	Observados	Temperatura, humedad, velocidad del viento y precipitación	2015-2018	7 estaciones de medición distribuidas en ~ 1.260.786 km <sup>2</sup>

Fuente: POWER NASA (2020); SMN (2020); INTA (2020); 3CN (2020); Kalnay et al. (1996)

Figura 2. Protocolo para el análisis y validación de los datos meteorológicos



Elaboración propia

La selección de la base de datos modelados se obtuvo mediante análisis estadístico. Se calcularon los índices de correlación de Pearson y Spearman al 95 % de confianza acorde con las siguientes escalas de interpretación propuestas por Martínez-Ortega et al. (2009) (Tabla 2). La calibración de las estaciones de medición se realiza acorde a las normativas de la OMM (2014).

Tabla 2. Escalas de interpretación de índices

Escala para coeficiente de correlación ( $R^2$ )	Rango Relación (Coeficientes de Pearson y Spearman)
1) Perfecta $R = 1,00$	1) 0,76-1,00: Entre fuerte y perfecta
2) Excelente $R = 0,9 \leq R < 1,00$	2) 0,51-0,75: Entre moderada y fuerte
3) Buena $R = 0,8 \leq R < 0,9$	3) 0,26-0,50: Débil
4) Regular $R = 0,5 \leq R < 0,8$	4) 0-0,25: Escasa o nula
5) Mala $R < 0,5$	

Fuente: Martínez Ortega et al. (2009)

Tras seleccionar la base de datos modelados con mayor ajuste, se realizó la validación cuantitativa de los datos modelados. Para ello, fueron seleccionados los datos *in situ* correspondientes al año 2017 y se compararon con los de POWER NASA estación por estación. Es necesario resaltar que el set de datos *in situ* no formó parte del análisis estadístico realizado para la selección de la base de datos modelada (Figura 2). La comparación fue realizada de forma mensual.

La prueba de Levene (supuesto de homogeneidad) fue aplicada al 95 % de confianza ( $\alpha=0,05$ ) para conocer si los valores promedios calculados son representativos de toda la serie de tiempo (Levene, 1960). El test pone a prueba la hipótesis nula de que las varianzas poblacionales son iguales. Si el F-valor resultante de la prueba de Levene es inferior al nivel de significación (0,05), la hipótesis nula de igualdad de varianzas se rechaza y se concluye que hay una diferencia entre las variaciones en la población. De lo contrario, se acepta la hipótesis nula y es posible afirmar que las varianzas de las diferentes muestras son iguales.

En el presente trabajo, las series de tiempo fueron divididas en 4 muestras: 1982-1989, 1990-1999, 2000-2009 y 2010-2015. Tras cumplirse el supuesto de homogeneidad, fue descrita la distribución espacial de los parámetros sobre la base de los datos validados. El mapeo fue realizado en el Sistema de Información Geográfica QGIS (QGIS Project, 2022), el cual es un software libre y de código abierto. La interpolación IDW fue el método empleado debido a que la calidad de los resultados es óptima producto de la equidistancia entre los puntos de medición de POWER NASA. Finalmente, los valores promedio y los acumulados de precipitación provistos por POWER NASA fueron comparados con la caracterización climática realizada por Bianchi y Cravero (2010), Morello et al. (2012) y Coronato et al. (2017) de la zona de estudio.

### 3. Resultados

#### 3.1. Análisis estadístico de datos modelados vs datos *in situ*, para el área de estudio (período enero 1982-diciembre 2015)

Los resultados de los análisis de correlación realizados entre las 3 bases de datos modeladas e *in situ* muestran que, la base de datos POWER NASA presentó las correlaciones más altas, para las 4 variables meteorológicas (Tablas 3, 4 y 5). La temperatura superficial de POWER NASA obtuvo un buen ajuste, según la clasificación de Martínez-Ortega et al. (2009) (Tabla 3), excepto en Santa Rosa (0,51). La humedad relativa obtuvo una correlación fuerte (0,89-0,92). Similar a la anterior variable, la precipitación presentó una relación entre moderada y fuerte (0,71-0,98) en todas las estaciones excepto en Santa Rosa. El análisis estadístico para el viento fue débil y moderado para todos los puntos de medición, a excepción de Neuquén (0,85).

Tabla 3. Cálculo de índices de correlación de Pearson y Spearman por variable para los datos de POWER NASA vs datos *in situ* del SMN

Ecorregión	Provincia	Puntos de medición	Temperatura		Humedad Relativa		Velocidad del viento		Precipitación	
			Pearson	Spearman	Pearson	Spearman	Pearson	Spearman	Pearson	Spearman
	La Pampa	Santa Rosa	0,83	0,83	0,51	0,51	0,39	0,41	0,28	0,35
	Buenos Aires	Bahía Blanca	1,00	0,99	0,89	0,90	0,52	0,50	0,96	0,96
Espinal	Río Negro	Viedma	0,99	0,99	0,92	0,93	0,31	0,27	0,98	0,96
Monte de llanuras y mesetas	Neuquén	Neuquén	1,00	0,99	0,92	0,92	0,86	0,85	0,89	0,95
	Chubut	Trelew	1,00	0,99	0,92	0,92	0,36	0,32	0,98	0,96
Estepa Patagónica	Río Negro	Maquinchao	0,99	0,99	0,84	0,84	0,70	0,67	0,71	0,80
	Chubut	Esquel	0,99	0,99	0,87	0,88	0,71	0,70	0,86	0,85
Bosques Patagónicos	Río Negro	Bariloche	0,99	0,99	0,90	0,91	0,70	0,68	0,98	0,98

Elaboración propia

La base de datos NCEP\NCAR mostró una buena correlación sólo para la temperatura superficial y humedad relativa (Tabla 4). No se obtuvieron buenos ajustes para el resto de las variables. Además, no fue posible realizar el análisis estadístico para las estaciones de Esquel y Bariloche debido a que la base no posee mediciones en sectores montañosos.

Tabla 4. Cálculo de índices de correlación de Pearson y Spearman por variable para los datos de NCEP\NCAR vs datos *in situ* del SMN

Ecorregión	Provincia	Puntos de medición	Temperatura		Humedad Relativa		Velocidad del viento		Precipitación	
			Pearson	Spearman	Pearson	Spearman	Pearson	Spearman	Pearson	Spearman
	La Pampa	Santa Rosa	0,99	0,99	0,71	0,71	0,27	0,27	0,62	0,69
	Buenos Aires	Bahía Blanca	0,99	0,99	0,79	0,80	0,06	0,05	0,53	0,59
Espinal	Río Negro	Viedma	0,99	0,99	0,91	0,91	-0,23	-0,23	0,54	0,53
Monte de Llanuras y Mesetas	Neuquén	Neuquén	0,95	0,94	0,68	0,69	-0,15	-0,14	-0,07	-0,06
	Chubut	Trelew	0,99	0,99	0,90	0,90	-0,16	-0,17	0,63	0,61
Estepa Patagónica	Río Negro	Maquinchao	0,98	0,98	0,86	0,87	0,52	0,50	0,66	0,64

Elaboración propia

La base de datos 3CN sólo ofrece las variables de temperatura y precipitación hasta 1990 (Tabla 1). Se obtuvo un buen ajuste para la temperatura con la base 3CN (Tabla 5). Sin embargo, las correlaciones más bajas respecto a los datos *in situ* y bases de datos de reanálisis, son relativos a ella. Por lo tanto, no se recomienda su uso.

Tabla 5. Cálculo del coeficiente de correlación de Pearson y Spearman por variable para los datos de 3CN vs datos *in situ* del SMN

Ecorregión	Provincia	Puntos de medición	Temperatura		Precipitación	
			Pearson	Spearman	Pearson	Spearman
	La Pampa	Santa Rosa	0,94	0,93	-0,36	-0,47
	Buenos Aires	Bahía Blanca	0,99	0,95	0,16	0,26
Espinal	Río Negro	Viedma	0,94	0,94	-0,04	-0,02
Monte de Llanuras y Mesetas	Neuquén	Neuquén	0,96	0,95	-0,03	0,04
	Chubut	Trelew	0,99	0,94	0,01	0,06
Estepa Patagónica	Río Negro	Maquinchao	0,94	0,94	0,04	0,08
	Chubut	Esquel	0,99	0,92	0,40	0,43
Bosque Patagónicos	Río Negro	Bariloche	0,93	0,93	0,58	0,57

Elaboración propia

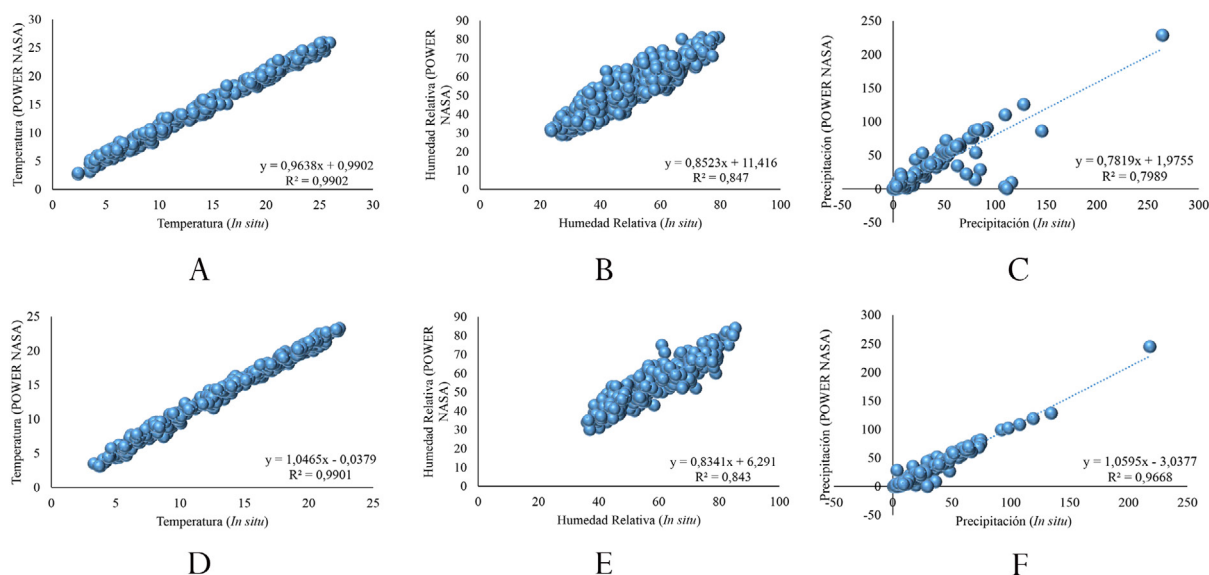
La selección de la base de datos modelados POWER NASA como repositorio alternativo de datos meteorológicos para el norte patagónico se realizó acorde a las correlaciones obtenidas. Además, se

consideraron las desventajas que presentaron las otras bases de datos analizadas. Cabe destacar que para los estudios de cambio climático se necesitan fundamentalmente los datos de temperatura y precipitación, por lo tanto, este repositorio fue el que mejor se correlacionó con la información medida en el terreno. El uso de la variable velocidad del viento de POWER NASA fue descartado debido a que la mitad de las correlaciones fueron débiles.

### 3.2. Análisis estadístico de datos correspondientes a la base de datos POWER NASA vs datos *in situ*, según ecorregión (período enero 1982-diciembre 2015)

Tras determinar que POWER NASA es el repositorio de datos más apropiado para implementar en el norte patagónico, se realizaron gráficos de dispersión y el índice de correlación ( $R^2$ ) entre los datos *in situ* y los de reanálisis, según las diferentes ecorregiones. En la ecorregión de Llanuras y Mesetas (representada por las estaciones Neuquén y Trelew) (Figura 1A) se hallaron los datos de mayor correlación para los parámetros de temperatura y humedad relativa (Figura 3). El ajuste entre los datos de temperatura, humedad y precipitación fue excelente y bueno, de acuerdo a la escala enunciada por Martínez-Ortega et al. (2009) (Tabla 2). Un caso similar fue el de ecorregión Espinal (estación Viedma) (Figura 4).

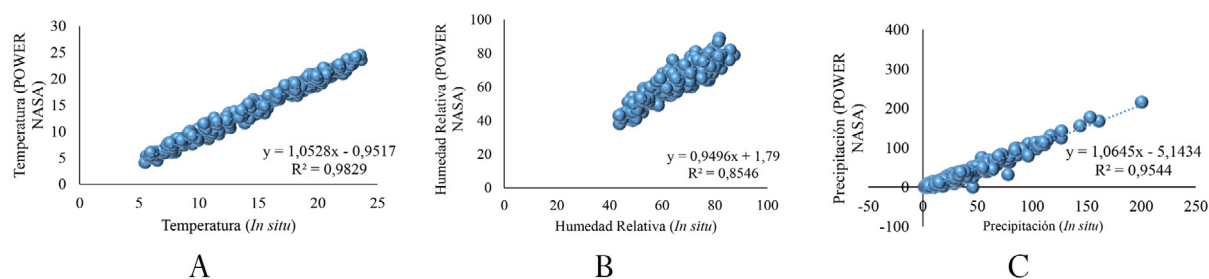
Figura 3. Gráfico de dispersión e índice de correlación ( $R^2$ ) para la ecorregión Monte de Llanuras y Mesetas



A. Temperatura de la estación Neuquén, B. Humedad Relativa de la estación Neuquén, C. Precipitación de la estación Neuquén, D. Temperatura de la estación Trelew, E. Humedad Relativa de la estación Trelew y F. Precipitación de la estación Trelew

Elaboración propia

Figura 4. Gráfico de dispersión e índice de correlación ( $R^2$ ) para la ecorregión Espinal



A. Temperatura de la estación Viedma, B. Humedad Relativa de la estación Viedma y C. Precipitación de la estación Viedma

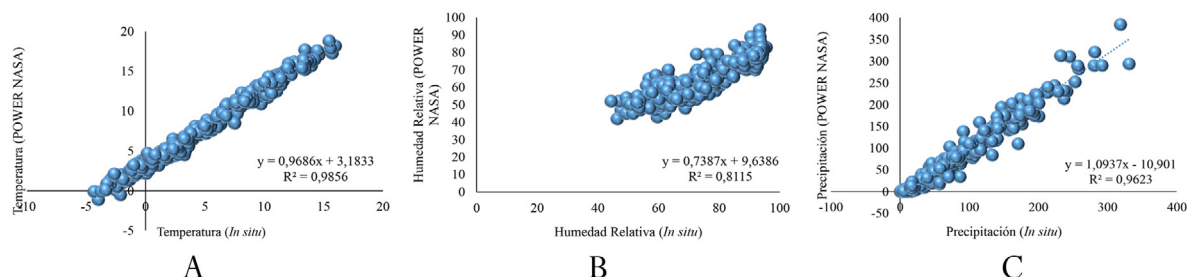
Elaboración propia

En la ecorregión de Bosques Patagónicos se encuentra la estación Bariloche (Figura 1A). Se obtuvieron buenos resultados para la temperatura, humedad y precipitación (Figura 5). En la ecorregión de



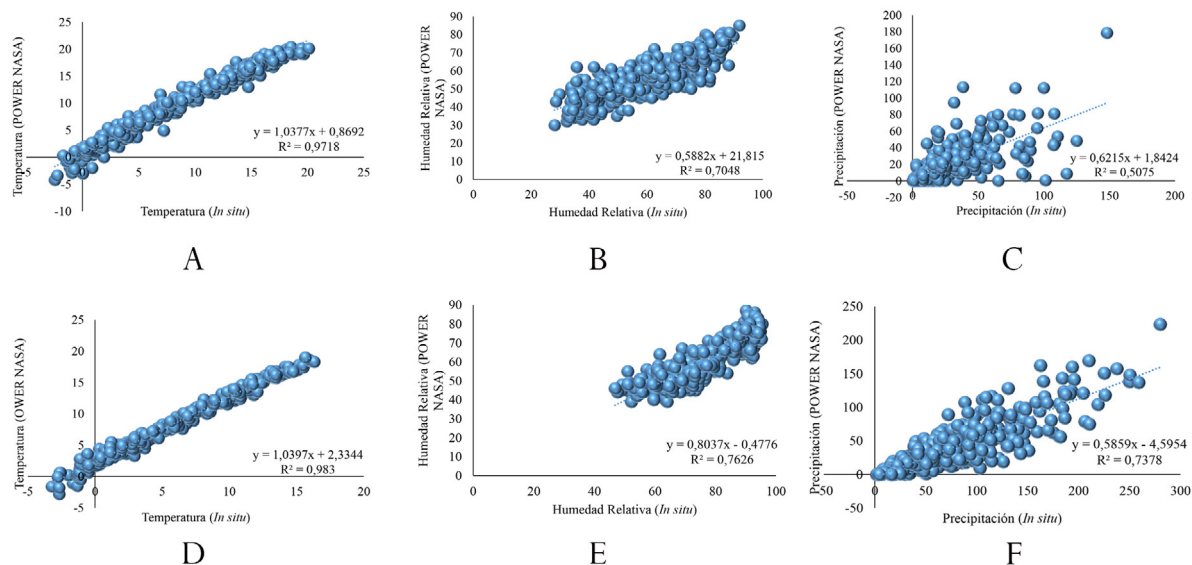
Estepa Patagónica se ubican las estaciones de Maquinchao y Esquel. La temperatura presentó una correlación excelente según la escala de Martínez-Ortega et al. (2009) (Figura 6). La humedad y precipitación obtuvieron ajustes regulares (Figura 6).

Figura 5. Gráfico de dispersión e índice de correlación ( $R^2$ ) para la ecorregión Bosques Patagónicos



A. Temperatura de la estación Bariloche, B. Humedad Relativa de la estación Bariloche y C. Precipitación de la estación Bariloche  
Elaboración propia

Figura 6. Gráfico de dispersión e índice de correlación ( $R^2$ ) para la ecorregión Estepa Patagónica



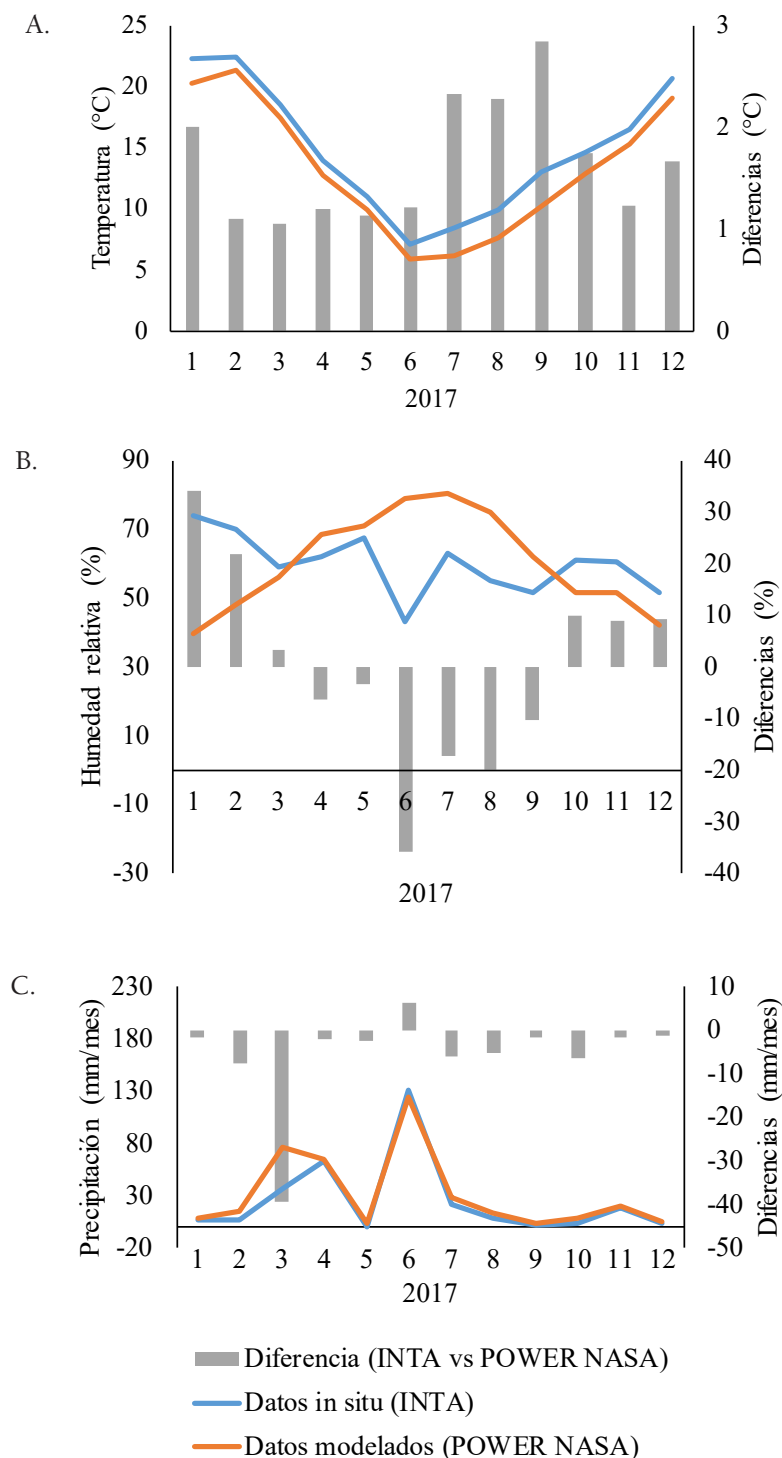
A. Temperatura de la estación Maquinchao, B. Humedad Relativa de la estación Maquinchao, C. Precipitación de la estación Maquinchao, D. Temperatura de la estación Esquel, E. Humedad Relativa de la estación Esquel y F. Precipitación de la estación Esquel.  
Elaboración propia

Sobre la base de la comparación de la base de datos modelados POWER NASA y mediciones *in situ* (SMN e INTA), se determinó que la temperatura fue la variable que presentó la correlación más alta. El ajuste de la humedad y precipitación fue bueno en la mayoría de las estaciones. Las excepciones fueron las mediciones localizadas en la Estepa patagónica donde el ajuste fue regular.

### 3.3. Validación (período enero-diciembre 2017)

La validación cuantitativa se realizó mediante la comparación de datos modelados y observados para detectar limitaciones que impidan aplicar la base de datos en la región de estudio. Se analizaron las variables de temperatura, humedad relativa y precipitación. En la estación de Trelew, localizada en la ecorregión de Monte de Llanuras y Mesetas, las diferencias mensuales de la temperatura, entre datos *in situ* y modelados, fueron menores a 2 °C para todos los meses. La mayor diferencia fue hallada en septiembre con 3 °C. Se determinó que los datos modelados subestiman la temperatura en la región (Figura 7A).

Figura 7. Validación de los datos de la estación Trelew en la ecorregión Monte de Llanuras y Mesetas

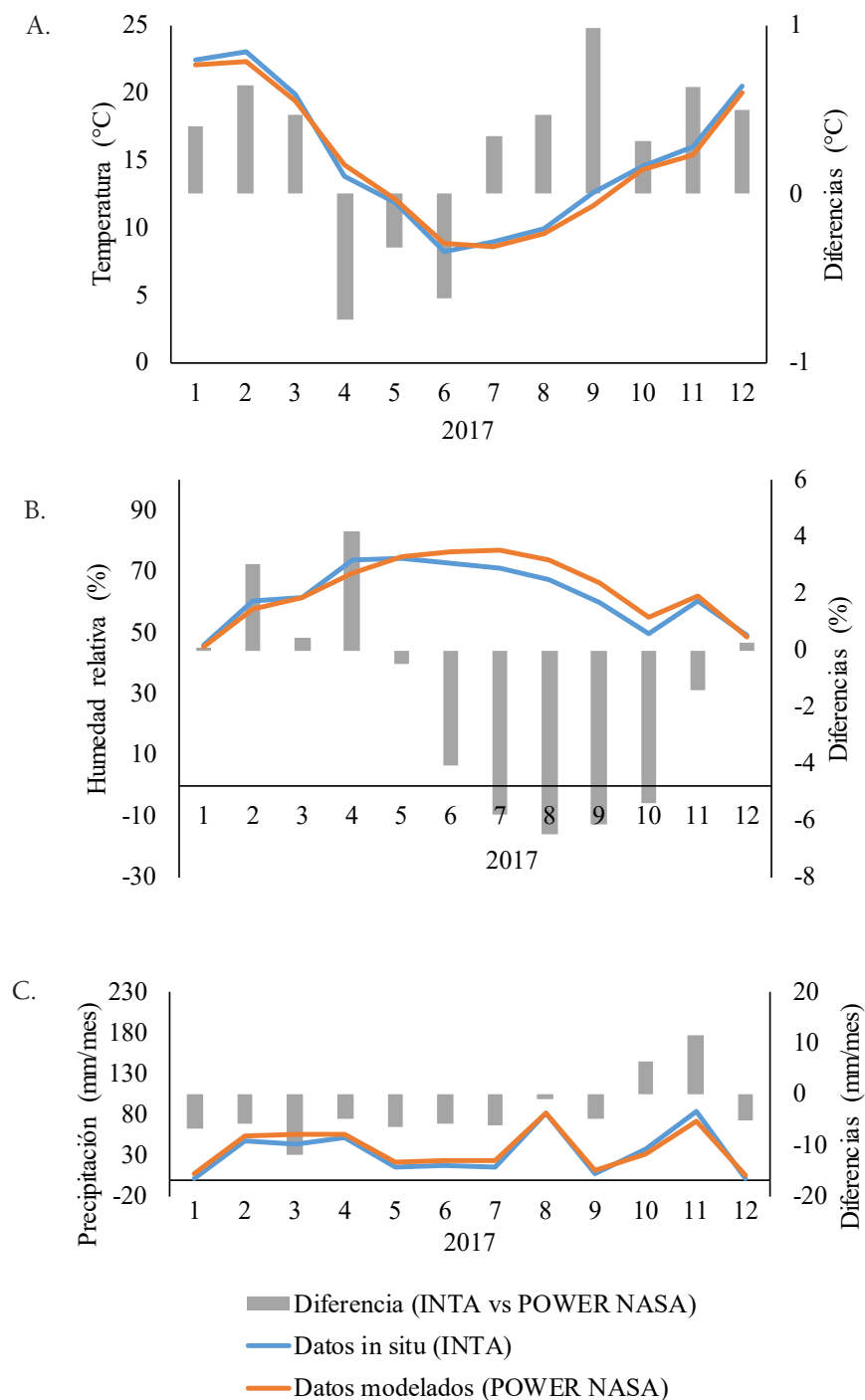


A. Temperatura, B. Humedad relativa y C. Precipitación mensual

Elaboración propia

Se obtuvieron valores de ajuste menores al 36 % de diferencia para la humedad (Figura 7B). Entre los meses de marzo y septiembre, los valores de POWER NASA fueron mayores a los medidos. El resto del año, el repositorio subestimó los valores. En el caso de la precipitación, hubo una gran tendencia a que POWER NASA sobrestimó los acumulados mensuales (Figura 7C).

Figura 8. Validación de los datos de la estación Viedma en la ecorregión Espinal

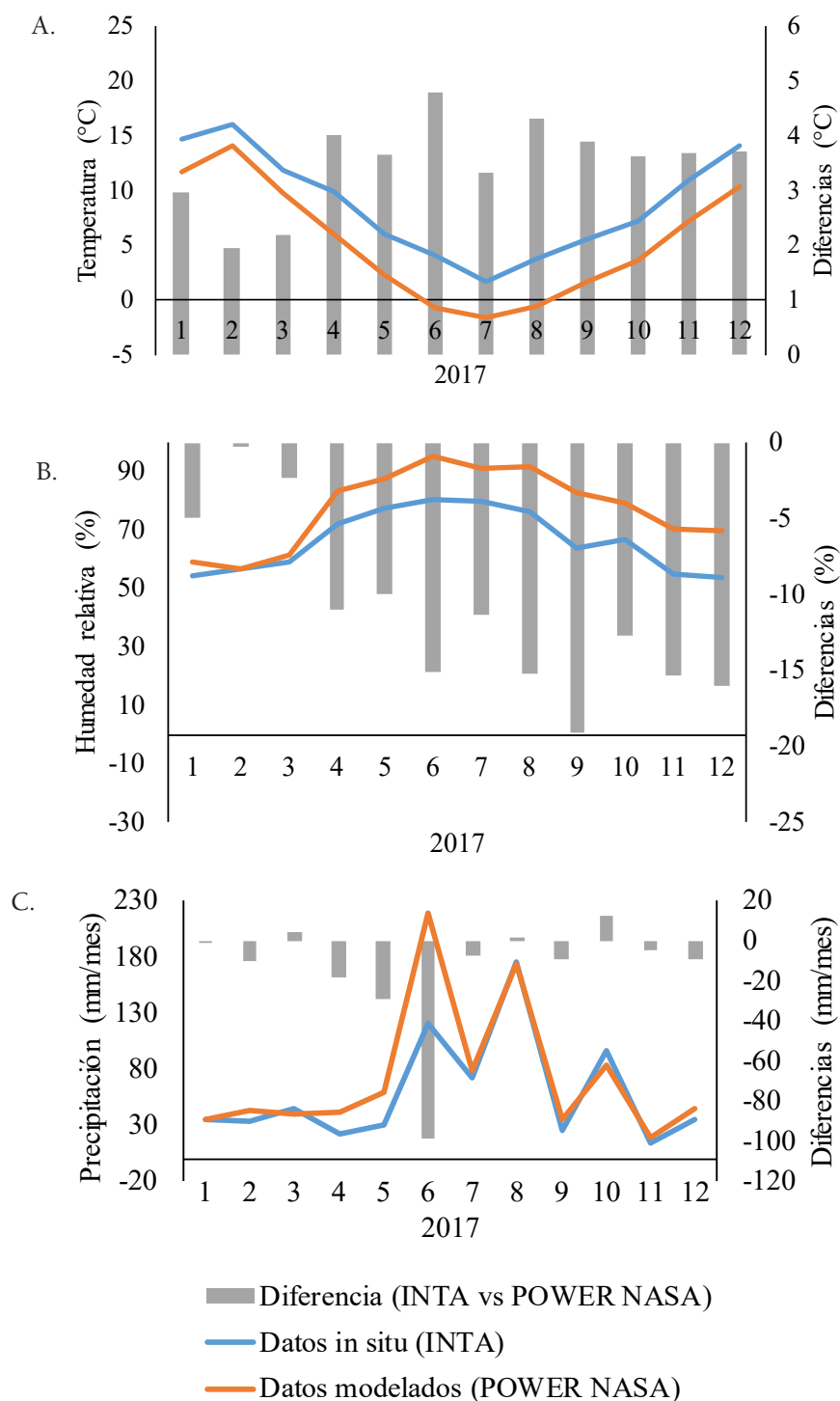


A. Temperatura, B. Humedad relativa y C. Precipitación mensual

Elaboración propia

En la estación localizada en la ecorregión Espinal (Viedma), las diferencias encontradas para la temperatura del aire fueron mínimas (Figura 8A). POWER NASA subestimó la temperatura en 1 °C. Para la humedad se obtuvieron sobrestimaciones inferiores al 7 % del valor medido (Figura 8B). Mientras, para la precipitación, solo se hallaron diferencias menores a 12 mm (Figura 8C). En el resto de los meses, las diferencias no superaron los 6 mm. POWER NASA tiene tendencia a subestimar la temperatura y sobrestimar la precipitación.

Figura 9. Validación de los datos de la estación Bariloche en la ecorregión Bosques Patagónicos

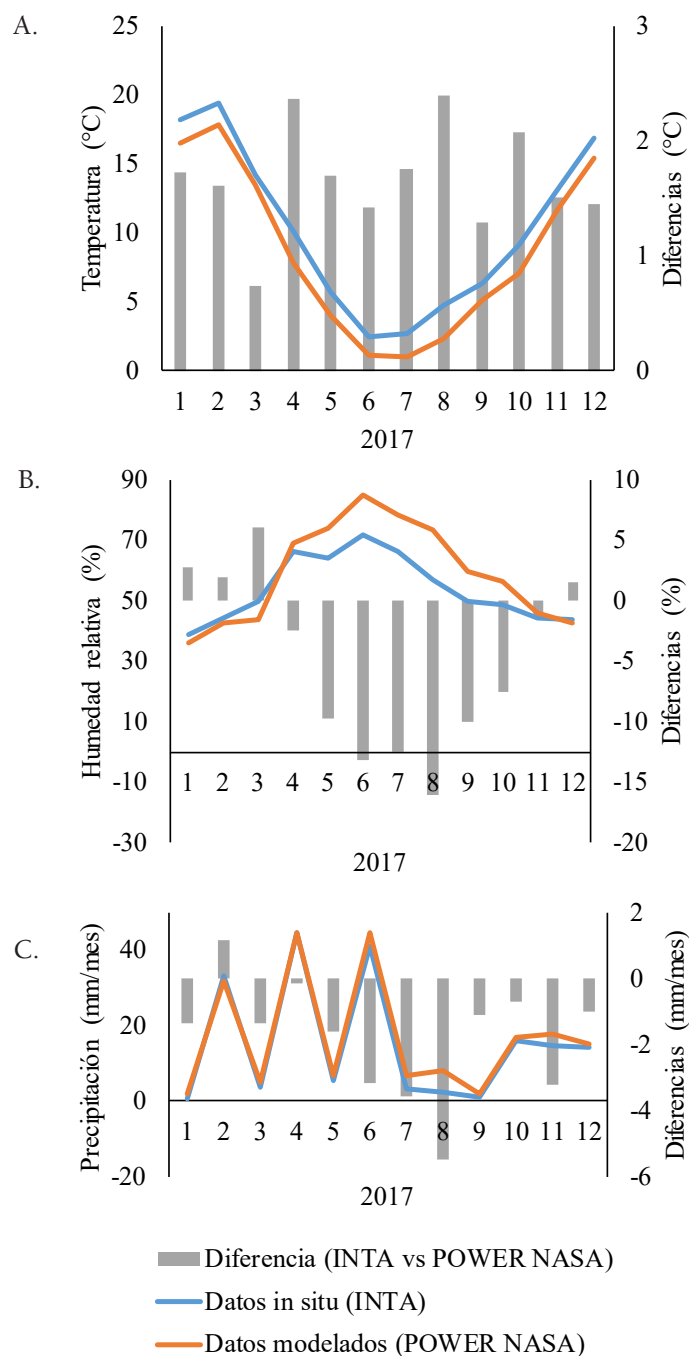


A Temperatura, B Humedad relativa y C Precipitación

Elaboración propia

Para la estación localizada en la ecorregión de Bosques Patagónicos, en relación a la temperatura, los datos fueron sobrestimados por el modelo en 1 °C (Figura 9A). Excepto durante 3 meses (enero, febrero y marzo), la humedad relativa fue sobrestimada (Figura 9B). En 8 meses del año la precipitación fue sobrestimada en más de 30 mm (Figura 9C).

Figura 10. Validación de los datos de la estación Maquinchao en la ecorregión Estepa Patagónica



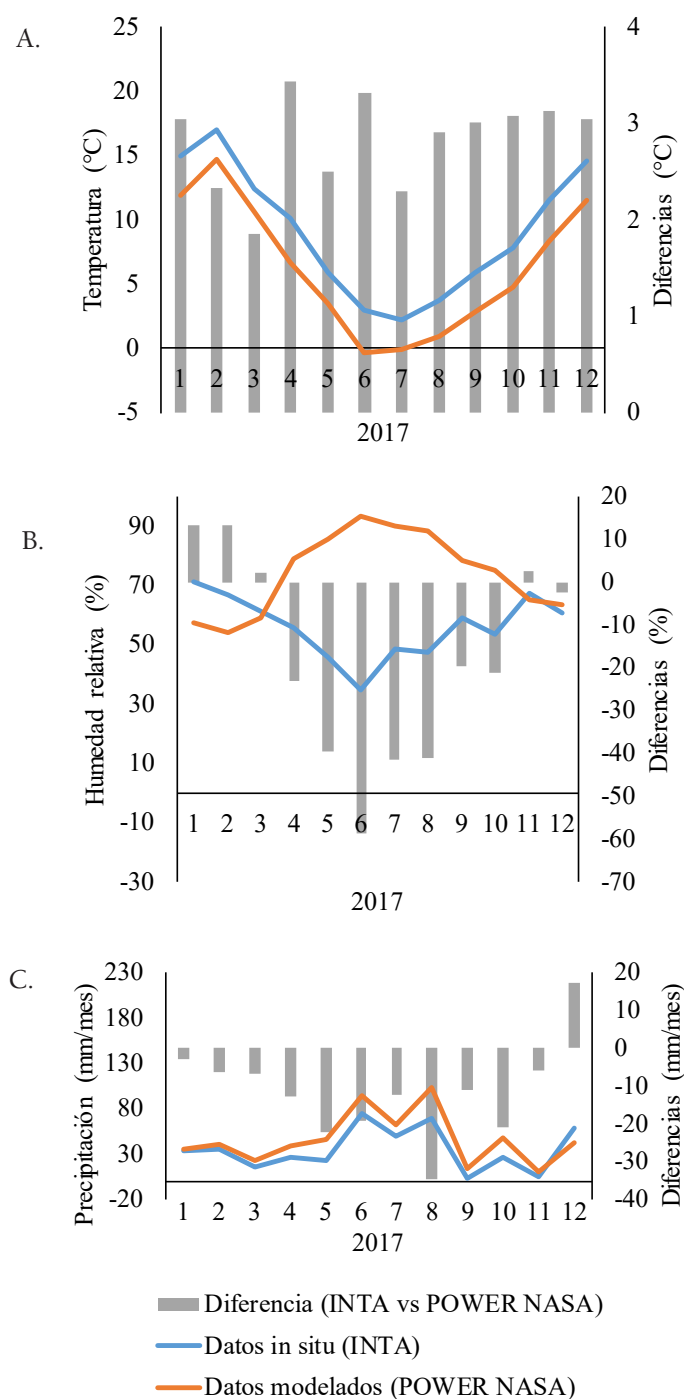
A. Temperatura, B. Humedad relativa y C. Precipitación

Elaboración propia

En relación a la ecorregión de Estepa Patagónica, estuvo representada por las estaciones meteorológicas de Maquinchao y Esquel. Las diferencias entre las variables medidas y modeladas fueron superiores en el sector cordillerano. En Maquinchao, las diferencias de temperatura fueron de 1-2 °C (Figura 10A), mientras que, en Esquel, se detectaron diferencias máximas de 3 °C durante más de la mitad del año (Figura 11A). En Maquinchao, las diferencias de humedad relativa para los datos modelados vs los medidos fueron inferiores al 13 % (Figura 10B). Mientras que, en Esquel, éstas fueron inferiores al 30 % (Figura 11B). La precipitación presentó sobrestimaciones menores a 10 mm, durante todo el año (Figuras 10C y 11C). Si bien las diferencias en Maquinchao no fueron muy altas, en Esquel sí lo fueron.



Figura 11. Validación de los datos de la estación Esquel en la ecorregión Estepa Patagónica



A Temperatura, B Humedad relativa y C Precipitación

Elaboración propia

### 3.4. Supuesto de homogeneidad de las series de tiempo. Prueba de Levene

Los resultados de la prueba de Levene (95 % de confianza) demuestran que, para las variables temperatura y humedad se acepta la hipótesis nula y es posible afirmar que las varianzas de las diferentes muestras son iguales (Tabla 6). La mayor similitud entre muestras fue para la temperatura (0,89-0,96). En cambio, la hipótesis nula se rechaza para la variable precipitación en la estación de Esquel. Por ello, se concluye que hay una diferencia entre las variaciones en la población.

Tabla 6. F-valor por estación y ecorregión

Ecorregión	Provincia	Puntos de medición	Temperatura	Humedad Relativa	Precipitación
Prueba de homocedasticidad					
Espinal	La Pampa	Santa Rosa	0,89	0,75	0,57
	Río Negro	Viedma	0,95	0,69	0,16
	Neuquén	Neuquén	0,96	0,85	0,5
Monte de Llanuras y Mesetas	Chubut	Trelew	0,93	0,77	0,25
	Río Negro	Maquinchao	0,95	0,57	0,14
Estepa Patagónica	Chubut	Esquel	0,90	0,09	0,00
Bosques Patagónicos	Río Negro	Bariloche	0,95	0,55	0,14

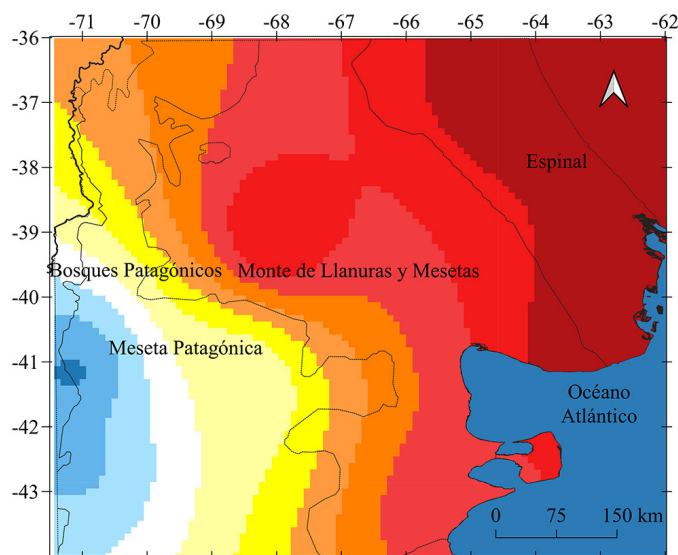
Elaboración propia

En Viedma, Maquinchao, Esquel y Bariloche, la precipitación presentó valores bajos de similitud entre las varianzas. La serie de humedad relativa en Esquel también posee un F-valor (0,09) cercano al nivel de significancia ( $\alpha=0,05$ ). Esto supone la existencia de limitaciones en cuanto a la fiabilidad del cálculo de valores promedio para toda la serie de tiempo.

### 3.5. Análisis de la distribución espacial de los parámetros meteorológicos sobre la base de datos modelados y validados para la región de estudio (año 2017)

Tras cumplirse el supuesto de homogeneidad, la distribución espacial de la temperatura, humedad relativa y precipitación se analizó mediante la interpolación de los datos correspondientes a POWER NASA. A modo de ejemplo, se analizó el mismo año de la validación (2017). Se observó un ascenso de la temperatura en dirección O-E. Los máximos valores hallados fueron 15 °C, en el sector de las ecorregiones de Espinal y NE de Monte de Llanuras y Mesetas. Las mínimas temperaturas se situaron en el sector de la ecorregión Bosques Patagónicos (sector cordillerano) y fueron de ~ 6 °C (Figura 12).

Figura 12. Distribución espacial de la temperatura sobre la base de interpolación de datos modelados y validados para la región



#### Referencias

- Límites administrativos de la República de Argentina (IGN, 2017)
- Ecorregiones de la Norpatagonia (Morello et al., 2012)

Temperatura media anual (°C)



Fuente: datos de POWER NASA (2020). Elaboración propia

En la zona de estudio la humedad relativa varió entre 50 y 80 %, mostrando un gradiente en dirección E-O. Los valores máximos de humedad (~ 80 %) se observaron en el sector cordillerano (ecorregión Bosques Patagónicos) mientras que los mínimos se situaron al NO de la ecorregión de Monte de Llanuras y Mesetas, con registros del 50 % (Figura 13).

Figura 13. Distribución espacial de humedad relativa sobre la base de interpolación de datos modelados y validados para la región

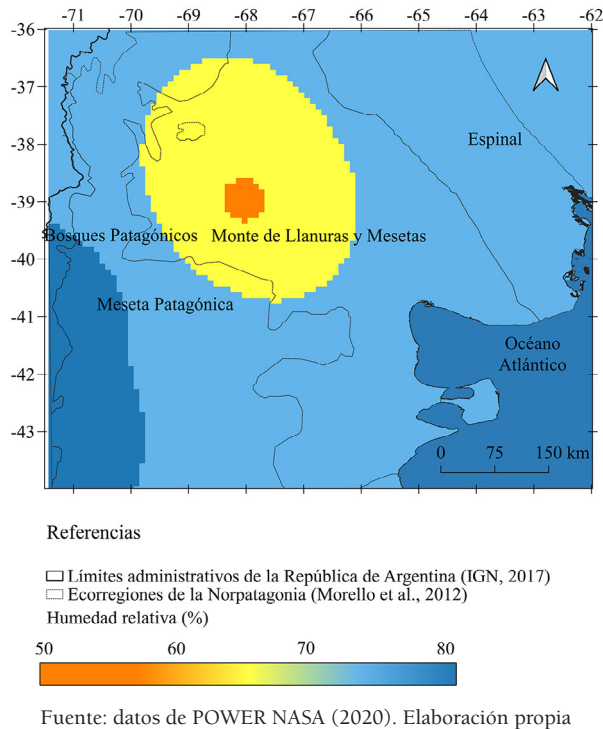
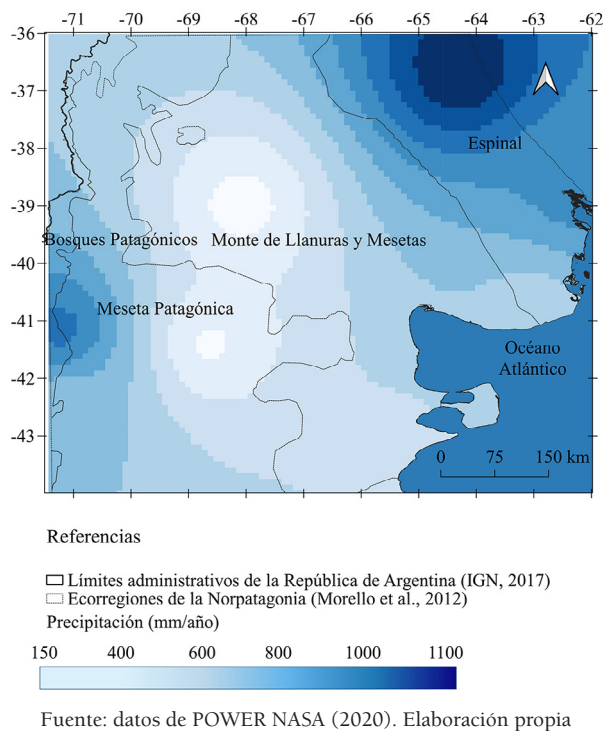


Figura 14. Distribución espacial de la precipitación acumulada sobre la base de interpolación de datos modelados y validados para la región



La precipitación (Figura 14) presentó una distribución espacial similar a la de la humedad. Existe un marcado gradiente entre la zona costera y la continental central y entre esta y la cordillera (Bosques Patagónicos). En Bosque Patagónicos las precipitaciones anuales superan los 800 mm. En el NO de la ecorregión de Montes de Llanuras y Mesetas y NE de Estepa Patagónica, se localizaron dos mínimos de 150 mm/año. Mientras, desde el SO de la ecorregión Espinal, pasando por Montes de Llanuras y Mesetas hasta el E de Meseta Patagónica, la precipitación anual no sobrepasó los 500 mm.

#### 4. Discusión de resultados

La validación de repositorios alternativos en base a datos *in situ*, ha sido de gran utilidad en zonas con baja densidad de estaciones de medición. Ferrelli et al. (2016) demostraron la factibilidad del uso de las series temporales de la variable temperatura de la base NCEP/NCAR para el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Sin embargo, expusieron que la implementación de las variables humedad relativa y precipitación presentaba limitaciones. Gavilan et al. (2019) validó los datos de la Misión de Medición de la Lluvia Tropical (Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)) con datos *in situ* con una metodología similar a la del presente trabajo. El autor, encontró diferencias poco significativas entre los valores *in situ* y modelados.

La Patagonia argentina es un área donde realizar estudios climáticos es un desafío (Garreaud et al., 2009; Bianchi, 2016). La baja resolución espacial de las bases de datos existentes se debe a la gran extensión del territorio argentino. Los resultados obtenidos en las pruebas estadísticas, donde se compararon las series temporales de temperatura, humedad relativa, precipitación y velocidad del viento, establecen que POWER NASA es la base de datos con mayor correlación entre mediciones *in situ* y de reanálisis. La comparación de la base de datos modelados NASA POWER con mediciones convencionales del SMN demostró que, la velocidad del viento es la variable con el ajuste más débil y no se recomienda su uso para el área de estudio. La simulación matemática de esta variable para Argentina posee grandes limitaciones. El hemisferio sur, en general, se caracteriza por presentar una gran extensión de los océanos y escasa área continental. Por lo tanto, el viento alcanza altas velocidades (Prohaska, 1976; Coronato et al., 2017). La orografía también interactúa con el viento, lo cual provoca que el vector se redireccione y, finalmente aumente su velocidad y turbulencia en zonas costeras, cuencas de ríos, valles angostos y zonas montañosas.

La comparación entre los promedios anuales suministrados por la base de datos de reanálisis POWER NASA con la caracterización climática proporcionada por Bianchi y Cravero (2010), Morello et al. (2012) y Coronato et al. (2017) fue exitosa. Los promedios climáticos de las estaciones localizadas en Monte de Llanuras y Mesetas (Neuquén y Trelew) fueron similares a los descritos por las tres investigaciones. En la ecorregión Espinal, Morello et al. (2012) establece que el promedio anual de temperatura oscila entre los 14 y 15 °C, además, la precipitación presenta un fuerte gradiente N-S con acumulados entre los 300 y 1200 mm. Estas características se muestran en las Figuras 12 y 14.

En la ecorregión de Bosque Patagónicos, los valores modelados (8 °C y 800 mm) coincidieron con los presentados por Bianchi y Cravero (2010) y Morello et al. (2012). Sin embargo, en la Estepa Patagónica, la precipitación anual fue sobrestimada por la base de datos de reanálisis POWER NASA. Coronato et al. (2017) establecen que, el valor anual del parámetro meteorológico se encuentra entre los 400 a 500 mm. POWER NASA muestra un valor superior al esperado (560 mm) producto de la sobrestimación de la variable a lo largo del año.

Sin embargo, la base de datos de reanálisis POWER NASA presentó otras limitaciones. Los estudios realizados por Bai. et al. (2010) demostraron la existencia de una buena correlación entre los datos meteorológicos del repositorio POWER NASA y medidos en estaciones terrestres. Sin embargo, los autores encontraron una subestimación en la temperatura en zonas montañosas. Este mismo problema fue detectado en el presente estudio. En Bosques Patagónicos, que se halla bajo la influencia de la Cordillera de Los Andes, las diferencias encontradas entre las series modelada y medida en torno a la temperatura fueron mayores a los 2 °C. En la Estepa Patagónica, las diferencias entre las variables medidas y modeladas se hicieron mayores cuanto más cerca de la cordillera se estaba. Los contrastes de temperatura en Maquinchao fueron de 1 y 2 °C, mientras en Esquel aumentó hasta 3 °C. Si bien en todas las estaciones es evidente la ocurrencia de una subestimación del valor del parámetro, existen altos niveles de correlación y bajas diferencias detectadas en el sector continental y litoral. En conocimiento de estas limitaciones y dado el cumplimiento del supuesto de homogeneidad, es recomendable el uso de los datos de temperatura de POWER NASA como repositorio alternativo para áreas no montañosas y considerándose una subestimación mínima de 1 °C.

En las ecorregiones Espinal, Bosques Patagónicos y Estepa Patagónica, POWER NASA sobrestimó la humedad sin rebasar el 7 %. Mientras en Montes de Llanuras y Mesetas, los valores de humedad fueron subestimados y sobrestimados a lo largo del año. No se obtuvieron buenos resultados para la prueba de Levene en Esquel. En este caso, la implementación de los datos de esta variable meteorológica queda limitada a sectores continentales no montañosos.

Los acumulados de precipitación fueron sobrestimados en todas las ecorregiones, excepto en la estación de Maquinchao. Las máximas diferencias fueron halladas en sectores costeros y montañosos. La hipótesis nula de la prueba de Levene no fue aprobada en Esquel. Además, los valores de similitud entre varianzas en Viedma, Maquinchao y Bariloche, fueron bajos. Por ello, el uso de la variable queda limitado a periodos donde se cumpla el supuesto de homogeneidad para sectores continentales no montañosos.

Investigaciones previas (White et al., 2008, 2011) explican por qué existen estos contrastes entre los datos de POWER NASA y las mediciones *in situ*. Los autores revelan que estas incompatibilidades se asocian a diferencias en la elevación de medición. POWER NASA se basa en elevaciones medias para cuadrículas de 1°. Mientras las estaciones *in situ* tienen una elevación específica. Los resultados de estas investigaciones demostraron que el uso del repositorio POWER NASA no es recomendable como base de datos alternativa en zonas montañosas y aledañas a la costa. Aunque, si es factible su uso para rellenar series de datos meteorológicos. El desarrollo de trabajos de investigación climatológica con el repositorio POWER NASA en los sectores áridos y semiáridos del norte patagónico deben tener en consideración las limitaciones anteriormente planteadas.

## 5. Conclusiones

En regiones vulnerables al cambio climático, como son las zonas áridas y semiáridas pertenecientes al norte patagónico argentino, la escasez de datos meteorológicos impide a los actores sociales y tomadores de decisiones realizar planes actualizados y eficientes de manejo ambiental. Frente a esta problemática hallar una base de datos que genere el menor error en las estimaciones de los datos meteorológicos es de vital importancia, no solo para el área de estudio; sino para cualquier otro sitio del mundo.

De la comparación de tres bases de datos, NCEP/NCAR, 3CN y POWER NASA, en el norte de la Patagonia argentina, se obtuvo que esta última brinda la mejor correlación en cuanto a los índices de Pearson y Spearman. El ajuste fue mejor para la temperatura, luego para la humedad relativa y la precipitación. Los valores de relación fueron moderados para la velocidad del viento indicando que los modelos no explican totalmente la fluctuación de esta variable.

La base de datos 3CN sólo ofrece información de temperatura y precipitación hasta 1990. Además, utilizando esta base se obtuvieron las correlaciones entre dato modelado e *in situ* más bajas, por lo tanto, no es recomendable su uso. NCEP\NCAR mostró una buena correlación para los valores de temperatura superficial. Sin embargo, no se obtuvieron buenos ajustes para el resto de las variables.

Si bien se concluye que la base de datos POWER NASA fue la que mejor ajuste obtuvo con los datos *in situ* (SMN) en la zona de estudio, el repositorio presenta limitaciones. POWER NASA se puede utilizar para las variables escalares, pero no se la recomienda para el vector viento. En el caso de la variable temperatura es factible implementar sus datos en sectores alejados de áreas montañosas. Esta restricción se extiende, además, a zonas aledañas a la costa para la humedad relativa. El análisis de la precipitación queda limitado en áreas litorales y montañosas. Además, debe revisarse el cumplimiento del supuesto de homogeneidad. En consideración a las anteriores limitaciones, los datos del repositorio POWER NASA se pueden utilizar para rellenar series de tiempo incompletas, así como su implementación queda avalada para lugares donde no se hallan estaciones meteorológicas de medición. Dada la simpleza del método de trabajo aquí presentado, el mismo puede ser empleado en otras regiones.

## Financiación

El presente trabajo fue realizado con la financiación del proyecto: Evaluación del riesgo ambiental y vulnerabilidad de la cuenca inferior del río Negro (PICT 2016-1334), financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), convocatoria 2016.

## Agradecimientos

La autoría agradece a la Universidad Nacional del Sur (UNS) y al Consejo Nacional de Investigaciones Científico y Técnicas (CONICET) por el apoyo logístico del presente trabajo.



## Referencias

- Al-Kilani, M. R., Rahbeh, M., Al-Bakri, J., Tadesse, T., & Knutson, C. (2021). Evaluation of Remotely Sensed Precipitation Estimates from the NASA POWER Project for Drought Detection Over Jordan. *Earth Systems and Environment*, 5. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00245-2>
- Bai, J., Chen, X., Dobermann, A., Yang, H., Cassman, K. G., & Zhang, F. (2010). Evaluation of NASA Satellite- and Model-Derived Weather Data for Simulation of Maize Yield Potential in China. *Agronomy Journal*, 1(2), 9–16. <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0085>
- Bianchi, E. (2016). Dinámica espacio-temporal de la relación entre el clima y el funcionamiento de los ecosistemas de Patagonia Norte [Doctoral thesis, Universidad Nacional de COMAHUE]. Repositorio del CONICET. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/79967>
- Bianchi, A. R., & Cravero, S. A. C. (2010). *Atlas Climático Digital de la República Argentina*. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <http://geoportal.idesa.gov.ar/documents/427>
- Bustos, M. L., Ferrelli, F., & Piccolo, M. C. (2017). Estudio comparativo de tres modelos climáticos en Argentina. *Anuario do Instituto de Geociências*, 40(1), 34-43. [https://doi.org/10.11137/2017\\_1\\_34\\_43](https://doi.org/10.11137/2017_1_34_43)
- Collado, A. (2012, July 20). *Desertificación en Argentina: el problema de los 60 millones de hectáreas*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). <https://inta.gov.ar/noticias/desertificacion-en-argentina-el-problema-de-las-60-millones-de-hectareas>
- Coronato, A., Mazzoni, E., Vazquez, M., & Coronato, F. (2017). *Patagonia. Una síntesis de su Geografía Física* (1ª edición digital). Ediciones Universidad Nacional de la Patagonia Austral. <https://www.unpa.edu.ar/publicacion/version-digital-patagonia>
- Ferrelli, F., Bustos, M. L., Piccolo, M. C., Huamantínco Cisneros, M. A., & Perillo, G. M. E. (2016). Downscaling de variables climáticas a partir del reanálisis NCEP/NCAR en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Papeles de Geografía*, 62, 21-33. <https://doi.org/10.6018/geografia/2016/239051>
- Frumonto, O. A. (2017). Aspectos del clima. In D. E. Udrizar-Sauthier, G. E. Pazos, A. M. Arias, & H. H. Podestá (Eds.), *Reserva de Vida Silvestre San Pablo de Valdés: 10 años conservando el patrimonio natural y cultural de Península Valdés, Patagonia Argentina* (pp. 44-55). Fundación Vida Silvestre. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/105312>
- Garreaud, R.D., Vuille, M., Compagnucci, R.H., & Marengo, J. (2009). Present-day South American climate. *Paleogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, 281(3-4), 180-195. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.10.032>
- Gavilan, S., Pastore, J. I., Uranga, J., Ferral, A., Lighezzolo, A., & Aceñolaza, P. (2019). Metodología operativa para la obtención de datos históricos de precipitación a partir de la misión satelital Tropical Rainfall Measuring Mission. Validación de resultados con datos de pluviómetros. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 118(1), 111-121. <https://doi.org/10.24215/16699513e011>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2020). *Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica* [Conjunto de datos]. <http://siga2.inta.gov.ar/#/data>
- Jiménez-Jiménez, S. I., Ojeda-Bustamante, W., Inzunza-Barra, M. A., & Marcial-Pablo, M. J. (2021). Analysis of the NASA-POWER system for estimating reference evapotranspiration in the Comarca Lagunera, Mexico. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 13(2), 201-226. <http://dx.doi.org/10.5154/r.inagbi.2021.03.050>
- Kalnay, E. (2001). Calentamiento Global y Fenómenos Climáticos Extremos. [Conference presentation]. 2do curso de verano, Viejo San Juan, Puerto Rico. <https://www2.atmos.umd.edu/~ekalnay/pubs/PuertoRicoReanalysisKalnay.ppt.pdf>
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., & Kistler, R. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. American Meteorological Society*, 77, 437-470. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TN YRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TN YRP>2.0.CO;2)
- Gutiérrez, P. (2017, March 31). El SMN está creando estaciones meteorológicas con diseño propio. *La Nación*. <https://www.lanacion.com.ar/tecnologia/el-smn-crea-estaciones-meteorologicas-propias-con-impresoras-3d-nid2001039/#:~:text=El%20SMN%20est%C3%A1%20creando%20estaciones%20>

[meteorol%C3%B3gicas%20con%20dise%C3%B1o,mediciones%20y%20predicciones%2031%20de%20marzo%20de%20201700%3A21](#)

- Levene, H. (1960). Robust tests for equality of variances. *Contributions to probability and statistics. Essays in honor of Harold Hotelling*, 279-292.
- Martínez-Ortega, R. M., Tuya-Pendás, L. C., Martínez-Ortega, M., Pérez-Abreu, A., & Cánovas, A. M. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman. Caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2). <http://www.revhabanera.sld.cu/index.php/rhab/article/view/1531/1326>
- Mazzoni, E., & Vázquez, M. (2010). Desertificación en la Patagonia. *Developments in Earth Surface Processes*, 13, 1-24. [https://doi.org/10.1016/S0928-2025\(08\)10017-7](https://doi.org/10.1016/S0928-2025(08)10017-7)
- Meteoblue. (2022, March 28). *Conjunto de Datos de Reanálisis*. Meteoblue. <https://content.meteoblue.com/es/especificaciones/origen-de-los-datos/datos-de-simulacion-meteorologica/conjunto-de-datos-de-reanalisis>
- Moreiras, M. S. (2018). *Fortalecimiento de los sistemas de información, monitoreo y gestión de la información climática*. Ministerio de Producción y Trabajo. [https://www.argentina.gov.ar/sites/default/files/publicacion\\_fondo\\_de\\_adaptacion\\_-\\_modelo\\_final\\_14-5.pdf](https://www.argentina.gov.ar/sites/default/files/publicacion_fondo_de_adaptacion_-_modelo_final_14-5.pdf)
- Morello, J., Matteucci, S. D., Rodriguez, A. F., & Mariana, S. (2012). *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos*. Orientación Gráfica Editora. [https://www.researchgate.net/publication/268447092\\_Ecorregiones\\_y\\_complejos\\_ecosistemicos\\_Argentinos](https://www.researchgate.net/publication/268447092_Ecorregiones_y_complejos_ecosistemicos_Argentinos)
- Organización Meteorológica Mundial. (2014). Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación. *Organización Meteorológica Mundial*, 8, 1128. [http://web.directemar.cl/met/jturno/documentos/wmo\\_8-2014\\_es.pdf](http://web.directemar.cl/met/jturno/documentos/wmo_8-2014_es.pdf)
- POWER NASA Project. (2020). *The Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER)* [Conjunto de datos]. NASA Applied Sciences Program within the Earth Science Division of the Science Mission Directorate. <https://power.larc.nasa.gov7>
- QGIS Project. (2022). *QGIS Training Manual*. <https://docs.qgis.org/3.16/pdf/es/QGIS-3.16-TrainingManual-es.pdf>
- Rodríguez, G.C., & Braga, R. P. (2021). Evaluation of NASA POWER Reanalysis Products to Estimate Daily Weather Variables in a Hot Summer Mediterranean Climate. *Agronomy*, 11, 1207. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061207>
- Sánchez-Cano, J. E. (2019). *Desarrollo sostenible de zonas áridas y semiáridas frente al cambio climático*. Editoriales El Colegio de la Frontera Norte y Universidad Juárez del Estado de Durango. <https://libreria.colef.mx/detalle.aspx?id=7711&AspxAutoDetectCookieSupport=1>
- Shwerdtfeger, W. (1976). The atmospheric circulation over Central and South America. *Climates of Central and South America. World Survey of Climatology Series*, 12, 2–12.
- Sistema Meteorológico Nacional. (2020). *Listado de Estaciones Meteorológicas del SMN* [Conjunto de datos]. Servicio Meteorológico Nacional. <https://datos.gob.ar/dataset/smn-listado-estaciones-meteorologicas-smn>
- Stackhouse, P. W., Barnett, A. J., Tisdale, M., Tisdale, B., Chandler, W., Hoell, J. M., Jr., Westberg, D. J., & Quam, B. (2015). *A Beta Version of the GIS-Enabled NASA Surface meteorology and Solar Energy (SSE) Web Site With Expanded Data Accessibility and Analysis Functionality for Renewable Energy and Other Applications*. American Geophysical Union. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2015AGUFMIN42A..08S/abstract>
- Strahler, A. N. & Strahler, A. H. (1989). *Geografía Física*. Ediciones OMEGA SA. [https://www.academia.edu/9553071/Geografía\\_Física\\_1989\\_Arthur\\_Newell\\_Strahler](https://www.academia.edu/9553071/Geografía_Física_1989_Arthur_Newell_Strahler)
- Viale, M. & Garreaud, R. (2015). Orographic effects of the subtropical and extratropical Andes on upwind precipitating clouds: effects of the Andes on precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(10), 4962-4974. <https://doi.org/10.1002/2014JD023014>
- Villalba, R., Lara, A., Masiokas, M., Delgado, S., Aravena, J. C., Roig, F. A., & Ripalta, A. (2003). Large-scale temperature changes across the southern Andes: 20th-century variations in the context of the past 400 years. *Climatic Change*, 59, 177-232. doi: 10.1023/A:1024452701153.

- White, J. W., Hoogenboom, G., Stackhouse, P. W. & Hoell, J. M. (2008). Evaluation of NASA satellite- and assimilation model-derived long-term daily temperature data over the continental US. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(10), 1574–1584. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.05.017>
- White, J. W., Hoogenboom, G., Wilkens, P.W. Stackhouse, P.W. & Hoell, J.M. (2011). Evaluation of Satellite-Based, Modeled-Derived Daily Solar Radiation Data for the Continental United States. *Agronomy Journal*, 103(4), 1242-1251. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0038>
- 3CN. (2020). *Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2014*. Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático [Conjunto de datos]. “Cambio Climático en Argentina; Tendencias y Proyecciones” (Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera). <http://3cn.cima.fcen.uba.ar>