

Artículo en edición

1
2 **NUEVA BASE DE DATOS RETICULADA DE TEMPERATURA**
3 **PARA LA PROVINCIA DE SANTA CRUZ, ARGENTINA**

4
5 **Leandro Almonacid¹, Natalia Pessacg², Boris Diaz³, Oscar Bonfili⁴, Pablo L. Peri^{3,5}**

6
7 ¹Municipalidad de Río Gallegos– CONVENIO INTA

8 ²Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas Continentales (IPEEC-
9 CCT CONICET-CENPAT)

10 ³Grupo Forestal, Agrícola y Manejo del Agua (FAMA) – EEA Santa Cruz -INTA

11 ⁴Servicio Meteorológico Nacional – Oficina Río Gallegos

12 ⁵Universidad Nacional de la Patagonia Austral - CONICET

13
14 **Autor correspondiente: Leandro Almonacid, almonacid.leandro@inta.gov.ar**

15
16 Manuscrito recibido el 25 de enero de 2021, en su versión final el 8 de julio de 2021

17
18 **Resumen**

19
20 La temperatura del aire es una variable biofísica que incide en la mayoría de los
21 procesos bióticos y abióticos, así como también es una de las variables esenciales en
22 estudios climatológicos, ecológicos e hidrológicos, y para la evaluación del impacto en
23 aplicaciones agrícolas. Sin embargo, la medición y monitoreo de la temperatura del aire
24 *in situ* presenta limitaciones en áreas remotas con limitada infraestructura, como lo es la
25 región patagónica de Argentina y Chile. En este contexto, el objetivo del presente
26 trabajo fue generar una base de datos reticulada de temperatura media mensual,
27 estacional y anual para la provincia de Santa Cruz. Para ello se utilizaron 33 series
28 disponibles de temperatura media mensual en el período 1995-2014, las que fueron
29 interpoladas mediante la técnica geoestadística co-kriging obteniendo un producto
30 reticulado de 20 km de resolución espacial. La Base de Datos de Temperatura
31 Reticulada para Santa Cruz (BTRSC) mostró el mejor desempeño en general al

Artículo en edición

32 compararla con otras bases de datos globales de temperatura disponibles, tanto en el
33 producto anual como estacional. A pesar de ello BTRSC presentó dificultades para
34 representar adecuadamente la temperatura en la región oeste de la provincia, en
35 cercanías a la cordillera de Los Andes. De las bases globales analizadas CRU fue la que
36 presentó el mejor desempeño. La BTRSC es una base de datos de aplicación regional
37 con un buen desempeño para la representación espacio-temporal de la variación de la
38 temperatura, con posibilidad de aplicación en modelos ecológicos, agronómicos e
39 hidrológicos, además de representar un periodo de tiempo base para comparar en
40 estudios de cambio climático.

41

42 **Palabras clave:** Patagonia sur, isotermas medias anuales y estacionales, Co-Kriging,
43 bases globales de temperatura.

44

45 **A NEW GRIDDED TEMPERATURE DATABASE FOR SANTA**
46 **CRUZ PROVINCE, ARGENTINA**

47

48 **Abstract**

49

50 Air temperature is a biophysical variable that affects most biotic and abiotic processes,
51 being essential in climatological, ecological and hydrological studies, and for the
52 evaluation on agricultural practices. However, air temperature measurements and
53 monitoring in situ presents limitations in remote areas with limited infrastructure, such
54 as the Patagonian region of Argentina and Chile. The objective of this work was to
55 generate a reticulated database of monthly, seasonal and annual mean temperature for
56 Santa Cruz province. For this, 33 available series of monthly mean temperature (period
57 1995-2014) were interpolated by using the geostatistical technique Co-Kriging to obtain
58 a reticulated product of 20 km resolution. The Gridded Temperature Database for Santa
59 Cruz (GTDSC) showed the best performance when compared with other available
60 global temperature databases, both in the annual and seasonal products. Despite this, in
61 the western region of the province located close to the Andes mountain range, GTDSC
62 showed the greatest differences in comparison with the other global data bases. CRU

Artículo en edición

63 had the best performance. GTDSC is a regional database with good performance that
64 represented adequately the spatio-temporal temperature variation, with potential
65 application in ecological, agronomical and hydrological models, in addition to represent
66 a base time period for climate change studies.

67

68 **Key Words:** Southern Patagonia, annual and seasonal mean isotherms, co-kriging,
69 global temperature databases.

70

71 1) Introducción

72

73 La temperatura del aire es una variable biofísica fundamental que incide en la mayoría
74 de los procesos bióticos y abióticos (Li et al., 2005; Hooker et al., 2018; Peri et al.,
75 2018; Peri et al., 2019). Los registros de temperatura continuos y extensos en el tiempo
76 son esenciales en estudios climáticos, ecológicos e hidrológicos y permiten determinar
77 variaciones climáticas en diferentes escalas temporales y espaciales (Begert y Frei,
78 2018; Xu et al., 2018). Las bases de datos de temperatura son además un insumo
79 fundamental para la evaluación del impacto del clima en actividades socioeconómicas
80 clave como las agropecuarias (Benavides et al., 2007; Khesali y Mobasheri, 2020) y
81 juegan un rol significativo en el planeamiento, asesoramiento de riesgo, y la toma de
82 decisiones efectivas y confiables respecto al ambiente (Li y Heap, 2008).

83

84 En los últimos años se ha avanzado en distintas técnicas de interpolación que permiten
85 la espacialización de los datos de temperatura a partir de registros puntuales terrenos, en
86 particular en regiones con faltante de datos (Goovaerts, 2000; Lloyd, 2005; Berndt y
87 Haberlandt, 2018). Para variables como la temperatura, fuertemente influenciada por la
88 latitud, la elevación, la pendiente y/o la exposición al sol (Villalba et al., 2003;
89 Benavides et al., 2007; Xu et al., 2018), existen además técnicas geoestadísticas como
90 kriging con variable externa (Benavides et al., 2007; Aalto et al., 2012; Berndt y
91 Haberlandt, 2018) o co-kriging (Li et al., 2005; Bianchi et al., 2016), que incorporan
92 datos auxiliares para mejorar sus estimaciones, como la topografía.

93

Artículo en edición

94 Por otro lado, se encuentran disponibles actualmente bases de datos de temperatura
95 reticulada en escala global o cuasi-global disponibles con diferentes resoluciones
96 espaciales y temporales. Las mismas pueden corresponder a estimaciones remotas a
97 partir de satélites o pueden estar basadas en modelos numéricos que incorporan datos
98 mediante procesos de asimilación (reanálisis), o una combinación de ambos (Hooker et
99 al., 2018).

100

101 Todas estas bases de datos de temperatura reticuladas son una fuente esencial de
102 información especialmente donde las estaciones meteorológicas son escasas. En
103 particular, esta información es fundamental en Patagonia y específicamente en la
104 provincia de Santa Cruz, donde está focalizado este estudio, donde la falta de estaciones
105 se acentúa debido a que es una región caracterizada por una baja densidad poblacional
106 con regiones remotas y de difícil acceso y con grandes extensiones territoriales (Bianchi
107 et al., 2016). Sin embargo, la utilización de bases de datos generadas con cualquiera de
108 estas técnicas requiere de un proceso de validación con estaciones terrenas y técnicas
109 estadísticas que permita evaluar la certidumbre de las mismas. En general, todas las
110 bases de datos de temperatura disponibles logran representar adecuadamente la
111 distribución espacial de esta variable y las tendencias de largo plazo, pero presentan
112 diferencias significativas en escalas regionales y locales (Schumacher et al., 2020). En
113 particular, estas bases de datos son una fuente significativa de incertidumbre para
114 estudios hidrológicos a escalas de cuenca (Bianchi et al., 2016; Pessacg et al. 2015;
115 2018).

116

117 En este contexto es importante resaltar que en Patagonia se cuenta con escasa
118 información meteorológica oficial y que las bases de datos reticuladas no han sido
119 exhaustivamente testeadas en la región. En Patagonia se distribuye sólo el 18 % de las
120 estaciones meteorológicas pertenecientes a la red nacional del Servicio Meteorológico
121 Nacional (SMN, 2021) y sólo 7 de éstas se ubican en la provincia de Santa Cruz. En la
122 provincia existen además otras estaciones meteorológicas, particulares, pertenecientes a
123 instituciones agropecuarias regionales, agencias para el manejo del agua y energía,
124 empresas e instituciones de investigación, entre otros. Esta información es muy valiosa

Artículo en edición

125 y de gran utilidad para estudios climáticos e hidrológicos al significar una densificación
126 de sensores terrenos en zonas de escasa cobertura de estaciones meteorológicas
127 oficiales.

128

129 En la región patagónica los antecedentes sobre testeo de bases de datos globales
130 climáticas son escasos. Bianchi et al. (2016) midieron el desempeño de distintas bases
131 de datos globales para la precipitación y la temperatura, comparándolos con una base
132 reticulada propia generada a partir de la interpolación de un banco de datos
133 meteorológicos para el norte de Patagonia incluyendo a las provincias de Neuquén, Río
134 Negro y Chubut. En este trabajo sólo se midió el desempeño de los productos anuales
135 para ambas variables, obteniendo para precipitación un desvío medio (DM) de hasta 300
136 mm menos de lo observado para aquel con peor desempeño (CRU) y 27 mm para la
137 base propia; mientras que para la temperatura media anual UDEL presentó el peor
138 desempeño con un DM de 1,1 °C por debajo de los valores observados, siendo la base
139 propia la de mejor desempeño con un DM de 0,08 °C. Por otro lado, Almonacid et al.
140 (2021) confeccionaron una base de precipitación reticulada para la provincia de Santa
141 Cruz (BPRSC), la cual fue comparada con cinco bases globales de precipitación, entre
142 ellas: CRU, UDEL, TERRACLIMATE, PERSIANN y ERA5. BPRSC demostró un
143 mejor desempeño para el producto anual, obteniendo un desvío medio porcentual
144 (PBIAS) de 6,7 % mayor a los valores observados; mientras que PERSIANN fue la de
145 peor desempeño con un PBIAS de 70% por sobre los valores observados.

146

147 En este contexto y teniendo en cuenta la necesidad de contar con información adecuada
148 para estudios climáticos, hidrológicos y agropecuarios en la región sur de Patagonia los
149 objetivos del presente trabajo fueron: 1) generar una base de datos reticulada de
150 temperatura media mensual, estacional y anual para la provincia de Santa Cruz para el
151 período 1995-2014 mediante la metodología de co-kriging utilizando toda la
152 información meteorológica disponible y 2) evaluar las principales bases de datos
153 globales reticuladas de temperatura en la región y evaluar el desempeño de la base de
154 datos generada respecto de otras bases de datos globales.

155

Artículo en edición

2) Datos y Metodología

156

157

158 2.1. Área de estudio

159 El área de estudio se encuentra en la región sur de la Patagonia continental, entre los
160 paralelos 45° y 53° S y los 65° y 72° O, cubriendo la totalidad de la provincia de Santa
161 Cruz (Figura 1).

162

163 La región está bajo la influencia del cinturón de viento del oeste del Hemisferio Sur,
164 siendo al sur de los 40 °S notablemente persistentes durante todo el año (Villalba et al.,
165 2003). El clima en esta región puede ser definido como templado o frío templado con
166 un patrón de distribución de las isotermas NO-SE. La temperatura media anual oscila
167 entre los 12°C en la zona noroeste a 3°C hacia el sur (Paruelo et al., 1998). La
168 temperatura media del mes más frío (julio) es mayor a 0°C en toda la Patagonia extra-
169 andina. Entre los factores locales que afectan la temperatura del aire, la topografía y el
170 viento se encuentran entre los más relevantes (Paruelo et al., 1998). Con respecto a la
171 precipitación, el oeste de la provincia de Santa Cruz presenta un gradiente muy
172 marcado, que va desde valores máximos mayores a los 1200 mm año⁻¹ en el límite entre
173 Argentina y Chile a menos de 200 mm año⁻¹ a 100 km de este límite del lado argentino
174 (Almonacid et al. 2020). Este comportamiento es resultado del efecto de la Cordillera de
175 los Andes en bloquear el flujo del oeste (Insel et al. 2009). El ascenso de aire al oeste de
176 la Cordillera genera condiciones híper-húmedas, mientras que a medida que las masas
177 de aire descienden se secan y generan condiciones áridas y altamente evaporativas
178 (Garreaud et al. 2013).

179

180 La franja costera presenta una precipitación media anual entre 200 a 300 mm año⁻¹,
181 aumentando hacia el sur de la provincia; mientras que la zona del centro se caracteriza
182 por ser la más seca, con valores de precipitación entre 130 a 150 mm año⁻¹.

183

184 2.2. Base de datos de temperatura

185 Para la construcción de la base de datos reticulada de temperatura se utilizaron registros
186 mensuales de temperatura media disponibles en el Banco de Datos Hidrometeorológicos

Artículo en edición

187 (BDHM) de la provincia de Santa Cruz (Monserrat et al. 2016). El BDHM compila los
188 registros climáticos históricos, principalmente de precipitación y temperatura para la
189 provincia de Santa Cruz, sur de Chubut y regiones de Chile con recursos hídricos
190 compartidos (Monserrat et al. 2016).

191

192 Del BDHM se seleccionaron 33 estaciones meteorológicas que cumplieron con un
193 registro temporal de temperatura de 20 años entre 1995-2014, con no más del 30 % de
194 datos faltantes. Este período es el que aseguró la disponibilidad de series más extensas
195 de registros históricos continuos de temperatura media mensual (Tmm), así como la
196 mayor confiabilidad en los datos disponibles. También representa un período común a
197 estudios complementarios realizados con precipitación para esta región de interés
198 (Almonacid et al. 2021).

199

200 Las estaciones meteorológicas seleccionadas se encuentran bajo propiedad y
201 responsabilidad de distintos organismos, como la Dirección General de Aguas (DGA –
202 Chile) a cargo de 21 estaciones, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN – Argentina)
203 responsable de 6, mientras que las restantes 6 se encuentran bajo responsabilidad de
204 otros organismos nacionales y agentes privados (Tabla I). Las estaciones seleccionadas
205 se distribuyen en un rango altitudinal que varía entre los 3 y 900 msnm (Figura 1),
206 localizadas principalmente en el sur de Santa Cruz y la Región de Magallanes y
207 Antártica Chilena, mientras que otro gran grupo de estaciones se encuentran al sur de
208 Chubut y en la Región de Aysén (Chile). Las mismas se distribuyen de manera no
209 uniforme sobre el territorio, además de presentar una menor cobertura sobre el lado
210 argentino de la Cordillera de Los Andes. Se seleccionaron estaciones termométricas
211 fuera de los límites administrativos de la provincia de Santa Cruz con el fin de obtener
212 una mejor representación de la temperatura en situaciones de borde. Todas las
213 estaciones analizadas miden la temperatura del aire a 2 metros del suelo. Lo que varía
214 en cada estación es la metodología de toma de datos; mientras que en el SMN un
215 observador meteorológico realiza un registro cada 1 hora durante las 24 hs del día; la
216 DGA cuenta con estaciones automáticas que registran el dato horario y son transmitidos
217 en línea a través de un sistema satelital. Las demás estaciones registran sus datos cada

Artículo en edición

218 una hora siendo almacenados en la memoria de la estación, que luego deben ser
219 descargados regularmente para su interpretación.

220

221 Sobre esta base primaria de datos se realizó un análisis de calidad para todas las series
222 disponibles con el fin de identificar *outliers* (valores atípicos), definidos como aquellos
223 que superan a un rango fijado por cuatro veces la desviación estándar; así como también
224 otros tipos de errores como: repetición de valores para dos meses consecutivos y saltos
225 excesivos entre meses consecutivos. Para evaluar estos errores se confeccionaron
226 grupos de estaciones meteorológicas utilizando un análisis por conglomerados, a partir
227 de la metodología de Ward (Kalkstein et al. 1987). Se consideró cómo variables a la
228 ubicación geográfica, temperatura media anual y estacional, así como la temperatura del
229 mes más cálido (enero) y el mes más frío (julio). Una vez establecidos los grupos,
230 dentro de los mismos se seleccionó cómo estación de referencia a la serie con menor
231 cantidad de datos faltantes. Las demás estaciones de cada grupo fueron comparadas con
232 cada estación de referencia siempre y cuando el valor de correlación entre sus series
233 mensuales fuera mayor a 0,5 ($r > 0,5$). De esta forma los valores sospechosos presentados
234 por cada serie candidata fueron comparados con su serie de referencia. Por otro lado,
235 cuando una estación presentó datos faltantes se utilizó la estación de referencia para el
236 cálculo de los datos (explicado a continuación) y posterior rellenado de la serie, siempre
237 y cuando la correlación con la serie de referencia fuera > 0.5 . En los casos de series con
238 datos faltantes, pero con valores de correlación < 0.5 con la estación de referencia los
239 datos no se rellenaron.

240

241 Los datos faltantes se calcularon mediante la metodología UK *traditional method*
242 (*UKtm*), (Kashani y Dinpashoh, 2002). Los resultados de Kashani y Dinpashoh (2012)
243 evidencian que, entre once metodologías estudiadas, UKtm fue una de las que presentó
244 mejores resultados para la estimación de la temperatura media en zonas secas de Irán.
245 Por otro lado, Shabala et al (2019), encontró que el UKtm tuvo la segunda mejor
246 performance en la estimación de la temperatura diaria máxima y mínima en una región
247 de Sudáfrica.

248

Artículo en edición

249 La metodología UKtm (1) permite el apareamiento de dos series correlacionadas entre
 250 sí, donde es posible a partir de una serie de referencia rellenar datos perdidos de una
 251 serie candidata. Esto permite que el dato a rellenar sea resultado de las variaciones que
 252 se dan en el entorno próximo y no dependan de la variación interanual de la misma serie
 253 que presenta el vacío.

254

$$255 \quad S_{aj} = S_{bj} \times \frac{S_{aj}}{S_{bj}} \quad (1)$$

256

257 Dónde: Sa = Estación meteorológica A candidata; Sb = Estación meteorológica B de
 258 referencia, j = mes del año, \bar{j} : promedio de la serie para el mes j.

259

260 Para cada mes del año, el registro histórico de cada estación de referencia fue
 261 comparado con los datos de la estación candidata con datos perdidos. Asumiendo una
 262 diferencia constante entre las estaciones, es posible luego obtener el valor perdido a
 263 partir de los datos de su estación de referencia para el mismo mes. (Shabalala et al.
 264 2019).

265

266 **2.3. Método de interpolación**

267 Para la representación espacial continua de la temperatura del aire a partir de registros
 268 puntuales (discretos) se utilizó la interpolación espacial. Las técnicas más comúnmente
 269 utilizadas para estimar variables espaciales son diversas y pueden ser clasificadas en
 270 deterministas o geoestadísticas. La principal diferencia entre éstas reside en el criterio
 271 utilizado para asignar los pesos de interpolación. En los métodos determinísticos, los
 272 pesos dependen de la distancia geométrica entre puntos mientras que, en los métodos
 273 geoestadísticos (también denominados “kriging”), se utiliza una función de
 274 semivarianza para su estimación (Li y Heap, 2008; Bianchi et al. 2016).

275

276 Dentro de las técnicas geoestadísticas disponibles se utilizó el método “co-kriging
 277 Ordinario” (CKO). Esta metodología permite la incorporación de variables auxiliares
 278 para la interpolación de una variable primaria como la temperatura (Bianchi et al, 2016).
 279 En particular, dado que la temperatura disminuye con la altitud, se utilizó esta relación

Artículo en edición

280 como variable auxiliar para la predicción del comportamiento espacial de la temperatura
281 (Goovaerts, 2000; Varentsov et al. 2020). Los valores de altitud para la provincia de
282 Santa Cruz fueron extraídos del modelo digital de superficie (DSM) ALOS World 3D
283 (AW3D30 v2.1), desarrollado por la Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA©).
284 Consiste en una grilla planialtimétrica de 30 m de resolución espacial (1 segundo de
285 arco en latitud y longitud), generado a partir de imágenes satelitales ópticas durante la
286 misión ALOS PRISM (Tadono et al. 2016).

287

288 En el presente trabajo se obtuvieron los promedios mensuales de los 33 registros de
289 temperatura media mensual (Tmm) para el período 1995-2014. A partir de la base de
290 registros de Tmm se realizaron las interpolaciones para cada mes, estación y año dentro
291 de la serie temporal propuesta. La resolución espacial del producto reticulado logrado
292 fue de 20 km. Para definir esta resolución espacial se utilizó como referencia a los
293 trabajos de Bianchi et al, 2016 y Almonacid et al, 2021; donde a partir de una base de
294 datos no uniforme espacialmente se confeccionaron retículas de datos climáticos a una
295 resolución de 20 km, obteniendo buenos resultados para la región patagónica. Este
296 producto fue denominado “Base de Datos de Temperatura Reticulada para Santa Cruz”
297 (BTRSC).

298

299 Para las interpolaciones se utilizó el semivariograma esférico, siendo seleccionado entre
300 los modelos gaussiano, lineal y exponencial; al presentar mejor ajuste. Este ajuste fue
301 cuantificado utilizando la raíz del error cuadrático medio (RMSE) generado a partir del
302 método “leave-one-out” (Berndt y Haberlandt, 2018). En este procedimiento un valor
303 observado para una ubicación en particular es removido en forma temporal del
304 procedimiento de interpolación. El valor en dicha ubicación luego es estimado
305 utilizando los valores observados restantes. Este proceso se repite para cada uno de los
306 valores observados.

307

308 2.4. Bases de datos globales de temperatura

309 Se evaluaron diversas bases de datos globales de temperatura (BDGT), algunas de ellas
310 ya testeadas en la región norte de Patagonia (Bianchi et al. 2016). Estas son CRU TS v.

Artículo en edición

311 4.04 (Harris et al. 2020), UDEL v. 5.01 (Willmott y Matsuura, 2001) y ERA5
312 (Hersbach et al. 2020). Las principales características de cada una se resumen en la
313 Tabla II. Los resultados de las BDGT fueron comparados con la BTRSC.

314

315 CRU y UDEL están basadas en redes de estaciones meteorológicas administradas por
316 organismos públicos nacionales. CRU TS v4.04 utiliza un total de 11.800 estaciones en
317 todo el mundo, compiladas a partir de dos fuentes principales: la WMO (World
318 Meteorological Organization) y la NOAA (National Oceanographic and Atmospheric
319 Administration) a través de sus redes de estaciones meteorológicas asociadas, mientras
320 que UDEL utiliza la base de datos GHCN2 (*Global Historical Climatology Network*, en
321 su versión 2 con más de 34.000 estaciones). ERA5 es una base de datos de reanálisis
322 generada con un esquema secuencial de asimilación de datos (Hersbach et al. 2020).

323

324 2.5. Análisis de errores y evaluación de desempeño

325 La variabilidad de las 33 series de temperatura fue analizada mediante el coeficiente de
326 variación (CV%).

327

$$328 \quad CV (\%) = \frac{\sigma}{x} \times 100 \quad (2)$$

329 Donde σ es el desvío estándar de la muestra y x representa la media aritmética.

330

331 El desempeño de las cuatro bases globales de temperatura fue obtenido mediante la
332 comparación entre el valor observado y el valor estimado. Este último fue obtenido a
333 partir de la interpolación bilineal a la ubicación de cada estación meteorológica. La
334 metodología de interpolación bilineal utiliza el promedio ponderado de la distancia de
335 los cuatro valores más cercanos para estimar el valor de un punto de interés
336 (Schumacher et al. 2020). Luego sobre estos valores se procedió a realizar una
337 corrección por altura según lo describe Sheridan et al. (2010). Para ello se calculó a
338 partir de un modelo digital de superficie (ALOS World 3d, Tadono et al. 2016) la altura
339 sobre el nivel del mar de los cuatro píxeles más cercanos a la estación meteorológica
340 (valor observado), siendo la diferencia de altitud entre ambas el valor utilizado en la
341 fórmula de corrección (3) utilizando la tasa de descenso de temperatura de 6,5°C/km.

Artículo en edición

342

343

$$\delta T = [-\delta H \times \gamma] + T \quad (3)$$

344

345 Donde $\delta H = (h_o - h_e)$, h_o =altura de la estación meteorológica y h_e = altura media de los
 346 pixeles cercanos a la estación meteorológica correspondiente a la base global de datos.
 347 γ = es el gradiente adiabático (6,5°C/km).

348

349 El valor observado fue representado por cada una de las 33 estaciones meteorológicas
 350 citadas en la Tabla I.

351

352 El desempeño de cada base reticulada se analizó a partir del error relativo medio
 353 absoluto (RMAE, Li y Heap, 2008) y la raíz del error cuadrático medio relativo
 354 (RRMSE, Li y Heap, 2008). Para realizar este análisis se respetó la resolución espacial
 355 nativa de cada base reticulada.

356

$$RMAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(p_i - o_i)/o_i| \quad (4)$$

358

$$RRMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ([p_i - o_i]/o_i)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

360 Donde O es el valor observado, P es el valor predicho o estimado.

361

362 Para evaluar la calidad de la BTRSC también se utilizó el procedimiento “leave-one-
 363 out” (Berndt y Haberlandt, 2018), en donde un valor observado para una ubicación en
 364 particular es removido en forma temporal del procedimiento de interpolación. El valor
 365 en esa ubicación fue estimado utilizando los valores observados restantes (32
 366 estaciones). Este proceso se repitió para cada uno de los valores observados. Esta
 367 metodología permite la evaluación del ajuste entre el producto reticulado y el valor
 368 observado como si fueran independientes uno del otro (Bianchi et al. 2016; Berndt y
 369 Haberlandt, 2018). A partir de estas diferencias se evaluaron el RMAE (4) y RRMSE
 370 (5).

371

Artículo en edición

372 A fin de realizar un estudio complementario se seleccionaron del Banco de Datos
373 Hidrometeorológicos (BDHM) de la provincia de Santa Cruz (Monserrat et al. 2016),
374 tres estaciones meteorológicas con series incompletas, pero que por lo menos
375 presentaron dos años consecutivos sin datos perdidos. Estas estaciones fueron Río
376 Turbio (2002-2009), Los Huemules (2003-2004) y Cerro Torre (2007-2008), todas
377 ubicadas sobre la región oeste de Santa Cruz (Figura 1, Tabla I). Sobre dichas
378 estaciones se calculó el desvío entre el valor estimado por cada base reticulada y el
379 valor observado, a fin de evaluar la dispersión de dichas bases en la región oeste de la
380 provincia.

381

3) Resultados

382

3.1 Características termométricas de las estaciones meteorológicas

383
384
385 La temperatura media anual (Tma) se encuentra influenciada por la latitud en las
386 estaciones analizadas, presentándose los menores valores de Tma a mayor latitud. La
387 altitud en cambio no presentó influencia sobre dichas estaciones, al ser estaciones
388 ubicadas en rangos altitudinales no mayores a los 430 msnm en la provincia de Santa
389 Cruz, sin tener representación sobre las altas cumbres de la cordillera. Hacia el oeste
390 existe también una disminución de la Tma en concordancia con el característico patrón
391 NO-SE de las isotermas en esta región (Paruelo et al. 1998). En la provincia de Santa
392 Cruz la estación con mayor Tma fue Puerto Deseado, ubicada al noreste de la provincia,
393 con una Tma de 10,5 °C; mientras que el menor valor de Tma se ubicó hacia el sur en el
394 Campo Experimental Potrok Aike INTA con 6,0 °C.

395

396 Con respecto a los valores medios mensuales, enero se presentó como el mes más
397 caluroso para todas las estaciones de la provincia, oscilando entre 16,7 °C y 13,5 °C
398 para las estaciones de Puerto Deseado y Río Gallegos, respectivamente (Figura 2c). El
399 mes de julio representó el mes más frío para las estaciones de la región, donde el valor
400 mínimo medio fue de 0,1 °C para Potrok Aike, y el máximo fue de 3,8 °C para Puerto
401 Deseado.

402

Artículo en edición

403 De las nueve estaciones ubicadas en la provincia de Santa Cruz, Lago Argentino fue la
404 que mostró la mayor variabilidad interanual ($CV=12,5\%$) dentro del periodo analizado,
405 oscilando su media anual entre $6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el año más frío (1997) y $10,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el año
406 más caluroso (2004). Las demás estaciones mostraron su coeficiente de variación entre
407 6 y 10 %, donde las menores variaciones se observaron en las estaciones ubicadas en
408 cercanía a la costa atlántica (Puerto Deseado, Puerto San Julián y Río Gallegos), (Figura
409 2a).

410

411 A partir del análisis de conglomerados mediante la técnica de Ward se pudieron
412 identificar diez grupos conformados entre 2 a 5 estaciones meteorológicas (Tabla III).
413 Estos agrupamientos fueron utilizados para el análisis de calidad, además del relleno
414 de datos para las series con datos perdidos, a partir de una serie de referencia del mismo
415 grupo. El grupo 1, conformado por las estaciones más australes de la región (Río
416 Gallegos, Monte Aymond, Potrok Aike, San Sebastián) presentó una temperatura media
417 anual (T_{ma}) de $6,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo la menor en comparación a los demás grupos (Tabla III);
418 mientras que el grupo con la T_{ma} mayor fue el 6 ubicado al noreste de la región,
419 conformado por las estaciones de Comodoro Rivadavia y Sarmiento, con una T_{ma} de
420 $12,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

421

422 3.2 Evaluación de desempeño de bases reticuladas de temperatura

423 Para el cálculo de los estadísticos se utilizaron 30 de las 33 estaciones meteorológicas
424 disponibles. Esto fue así dado que las estaciones de Comodoro Rivadavia, Puerto
425 Deseado y San Sebastián son estaciones ubicadas al borde del producto generado, donde
426 los valores estimados por BTRSC se apoyan en estaciones ubicadas a más de 200 km,
427 límite del valor umbral establecido para la generación de las interpolaciones.

428

429 Los estadísticos calculados indicaron que la BTRSC fue la base reticulada que mejor
430 representó la variación de la temperatura en la escala temporal anual (Figura 3, Tabla
431 IV). BTRSC subestima la temperatura media anual en la mayoría de las estaciones de
432 validación, oscilando entre $0,2$ y $2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ menos que los valores observados,
433 obteniéndose los mayores errores en situaciones de borde (Figura 3).

Artículo en edición

434

435 CRU se presentó como la base global con mejor desempeño en el producto anual, detrás
436 de BTRSC; mientras que UDEL presentó el peor desempeño en comparación a las
437 demás (Figura 3, Tabla IV). ERA5 presentó en todas las estaciones del año una
438 subestimación de las temperaturas medias estacionales (Figura 4), con las mayores
439 diferencias en el invierno y primavera (subestimaciones de más de 3°C en el invierno y
440 más de 4°C en la primavera para las estaciones chilenas de Bahía Murta y Chile Chico).
441 Salvo en el verano, UDEL presentó los menores desvíos con respecto a los valores
442 observados en todas las estaciones del año (Figura 4), seguido por CRU y BTRSC. A
443 pesar de ello, UDEL presentó la mayor variabilidad en las diferencias estimadas y
444 observadas en comparación a las demás, mientras que BTRSC presentó para todas las
445 estaciones del año una menor variabilidad en estas diferencias (Figura 4). Al analizar el
446 RRMSE fue posible asegurar el comportamiento errático de estas bases globales, el cual
447 aumenta en la época de menor temperatura media, como los son las estaciones de otoño
448 e invierno (Figura 5). BTRSC mantuvo durante todas las estaciones del año un menor
449 valor de RRMSE en comparación a las demás bases globales.

450

451 Si bien se requieren estudios complementarios para determinar las causas, es posible
452 que las bases de datos presenten mayor dispersión y errores en el oeste de la región y en
453 zonas de altura durante la época invernal dado que es la época del año de mayor
454 actividad frontal, debido al ingreso de vaguada desde el Pacífico Sur, y abundantes
455 precipitaciones (Blázquez y Solman 2018) que influyen a su vez los patrones de
456 temperatura. Si las bases de datos utilizadas no cuentan con suficiente información
457 espacial en la zona o no logran capturar adecuadamente esta circulación (como en el
458 caso de los reanálisis) es posible que durante esta estación presenten mayores errores.
459 Estos resultados están en concordancia con lo mostrado por Solman et al. (2013), donde
460 se evidencia una mayor dispersión entre bases de datos de temperatura y un mayor
461 cociente entre dispersión y variabilidad en el oeste de Santa Cruz durante el invierno.

462

463 3.3 Variación espacial de la temperatura en la provincia de Santa Cruz

Artículo en edición

464 Todas las bases de datos analizadas presentaron las temperaturas medias anuales más
465 cálidas hacia el noreste de la provincia, oscilando entre los 10 y 13°C, mientras que las
466 temperaturas más frías se ubicaron hacia el oeste y sur de la provincia, como era de
467 esperar (Figura 6). El análisis de la temperatura en función de la altitud a lo largo de tres
468 transectas longitudinales (46°, 49° y 51° S) permitió identificar que las temperaturas
469 más cálidas se ubican en las zonas más bajas de la provincia localizadas en las zonas
470 costeras; mientras que la temperatura media anual (Tma) disminuye conforme aumenta
471 la altitud hacia las zonas cordilleranas (Figura 7). Esto marca la influencia de la latitud y
472 la altitud en la temperatura media anual de la provincia, sumado a un tercer factor local
473 de cercanía al mar.

474

475 A lo largo de las tres transectas longitudinales analizadas, BTRSC presentó valores de
476 Tma por encima de las demás bases reticuladas, aumentando las diferencias en las zonas
477 de mayor altitud (Figura 7), sobre todo en la transecta longitudinal de los 49°; donde
478 hacia el oeste se alcanzan alturas hasta los 1500 msnm. En estas zonas más elevadas
479 ERA5 fue la que presentó los menores valores de Tma, con valores por debajo de 0°C
480 en la zona sudoeste de la provincia (Figura 6).

481

482 Como se muestra en la figura 6, la distribución de las isotermas varía según la base
483 analizada, donde las isotermas de menor valor se ubican en forma más cercana y
484 paralelas a la distribución principal de la cordillera de Los Andes.

485

486 La falta de datos a partir de estaciones meteorológicas ubicadas en la región oeste de la
487 provincia no permite realizar un análisis exhaustivo del ajuste de cada base reticulada en
488 su representación de la variación térmica, que en esta región es altamente influenciada
489 por la altitud. Son pocos los registros que se encuentran sobre esta región, siendo la
490 mayoría discontinuos o bien de corta duración. En particular, en este estudio se
491 consideraron tres estaciones adicionales con registros de temperatura en periodos más
492 cortos (Río Turbio, 2002-2009; Los Huemules, 2003-2004 y Cerro Torre, 2007-2008),
493 ubicadas sobre zonas de altura, con el fin de analizar el comportamiento de las bases de
494 datos en esta región. De las tres estaciones analizadas, se obtuvieron resultados muy

Artículo en edición

495 disímiles entre la estimación de cada base reticulada y el valor observado. En el caso de
496 Río Turbio, CRU y UDEL representaron muy bien la temperatura media anual y
497 estacional, con una leve subestimación de la misma (Figura 8); mientras que BTRSC
498 sobreestimó dichos valores. ERA5 fue la base de datos que presentó las mayores
499 diferencias para esta estación meteorológica, con valores entre los 4° y 5° menos para el
500 producto anual y de primavera respectivamente. Para las dos estaciones meteorológicas
501 restantes BTRSC sobreestimó la temperatura anual y estacional, mientras que UDEL y
502 ERA5 subestimaron principalmente la temperatura media del invierno y primavera
503 (Figura 8). De acuerdo a estos resultados es de esperar que el producto BTRSC, tanto en
504 el anual como en los estacionales se encuentre sobreestimando a la temperatura en la
505 zona oeste, donde se presentan las mayores altitudes de la provincia, a pesar de haber
506 utilizado una técnica geoestadística de interpolación de datos que incluye en su modelo
507 de estimación a la altitud.

508

509

510 **4) Discusión y conclusiones**

511

512 Las bases de datos de temperatura del aire son un insumo esencial para el estudio del
513 clima, su variabilidad y tendencias cómo también para estudios hidrológicos,
514 agropecuarios, de planificación y conservación ambiental y de manejo de riesgos y
515 emergencias (Larson y Peck 1974; Ebert et al. 2007; Yilmaz et al. 2010; Jiang et al.
516 2012).

517 En la provincia de Santa Cruz, ubicada en el sector sur de Patagonia, donde está
518 focalizado este estudio, son escasos los antecedentes de generación y/o validación de
519 bases de datos reticuladas globales o de bases regionales de temperatura. De Fina (1968)
520 y Soto (2000) son dos de los estudios que abordan esta problemática. Los autores
521 caracterizan la temperatura media anual proponiendo una distribución genérica de
522 isothermas en cartografía de muy baja resolución para la región, sin una descripción
523 metodológica clara y estandarizada para describir apropiadamente la variación espacio-
524 temporal de la temperatura.

525

Artículo en edición

526 En este contexto, en el presente trabajo se creó una nueva base reticulada de datos de
527 temperatura, BTRSC, generada a partir del análisis y procesamiento de los datos
528 termométricos disponibles en el Banco de Datos Hidrometeorológicos de la Provincia
529 de Santa Cruz. De esta forma se obtuvo el primer antecedente regional para la
530 caracterización cartografiada de la distribución espacio-temporal de la temperatura a
531 partir de procedimientos estandarizados para su tratamiento y modelización
532 geoestadística.

533

534 Uno de los objetivos principales que debe cumplir una base de datos reticulada de
535 temperatura es lograr capturar adecuadamente la interacción entre la topografía, la
536 latitud, la circulación atmosférica, el viento y la proximidad a los océanos. Estos
537 factores introducen grandes complejidades en los patrones espaciales de la temperatura
538 en Patagonia (Paruelo et al. 1998; Villalba et al. 2003; Bianchi et al. 2016). En
539 particular, el rol de la Cordillera de los Andes es esencial en el comportamiento de esta
540 variable en esta región, dado el doble rol que ejerce en la disminución de la temperatura
541 con la elevación (Oke, 2002) y en la fuerte influencia que esta barrera topográfica ejerce
542 sobre los patrones de temperatura, asociado al bloqueo de la circulación atmosférica y la
543 reducción del paso de las masas de aire a través de la Cordillera (Insel et al. 2009). La
544 BTRSC representó en forma satisfactoria la interacción de factores como la latitud y la
545 proximidad a los océanos en los patrones espaciales de la temperatura. Los mayores
546 valores de temperatura media anual se obtuvieron en la región noreste de la provincia de
547 Santa Cruz en zonas de baja altitud y latitud en cercanías al mar. En esta zona más
548 cálida las Tma registradas estuvieron entre los 9 y 12 °C (Caleta Olivia y Puerto
549 Deseado, respectivamente), en concordancia con los resultados obtenidos por Soto
550 (2000). Por otro lado, hacia el sudoeste BTRSC presenta un descenso en el valor de la
551 Tma, llegando a valores de 5°C en la zona de Río Turbio y 28 de Noviembre. La zona
552 oeste, al límite con la cordillera de Los Andes muestra una barrera térmica, con una
553 Tma entre 5 y 6 °C ubicada en forma paralela a la cordillera. Esta zona, de elevada
554 altitud, es la región más compleja de representar y donde la BTRSC presentó los
555 mayores déficits.

556

Artículo en edición

557 La comparación de BTRSC con tres bases de datos globales de temperatura evidenció
558 un mejor desempeño general con los menores valores de RRMSE en comparación a las
559 demás bases globales de temperatura, tanto para los productos estacionales como para el
560 producto anual. Bianchi et al. (2016) encontraron que para la representación de la
561 temperatura, bases globales con mayor resolución espacial, como CRU y UDEL
562 tuvieron mejor desempeño que ERA-Interim con menor resolución espacial. La mayor
563 diferencia entre BTRSC y las demás bases globales fue la representación de la
564 temperatura en la franja oeste de la provincia de Santa Cruz, zona cercana a la cordillera
565 de Los Andes. Este aspecto es relevante dado que el patrón de temperatura en la
566 distribución noroeste-sudeste de las isotermas está determinado principalmente por la
567 presencia de Los Andes (Paruelo et al. 1998). Esta es una zona con elevados gradientes
568 altitudinales y con la menor densidad de estaciones meteorológicas que dificulta que se
569 pueda representar adecuadamente la variación térmica. Las pocas estaciones que existen
570 sobre la cordillera de Los Andes, se encuentran sobre el sector chileno, donde la
571 Dirección General de Aguas de Chile (DGA) mantiene una red activa de estaciones
572 meteorológicas en las zonas de los Campos de Hielo Norte y Sur (Bravo et al. 2019). A
573 pesar de ello esta red cuenta con datos muy recientes desde el año 2015. Del lado
574 argentino, existe solo una nueva estación meteorológica activa en cercanías al campo de
575 hielo ubicada al pie del glaciar Torre, cuya administración está bajo el Instituto
576 Argentino De Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA). Esta falta de
577 registros determina una representación incompleta de la variación espacial de la
578 temperatura, sobre todo en situaciones de extrema complejidad como la zona
579 cordillerana. A pesar de estas limitaciones, la red de estaciones utilizada en el presente
580 trabajo para la confección de BTRSC resulta de mayor densidad que aquella utilizada
581 por la mayoría de las bases globales para la elaboración de sus modelos continuos en
582 esta región de Patagonia. Los registros climáticos utilizados por dichas bases suelen
583 realizar sus estimaciones a partir de datos incluidos en la base de registros históricos del
584 Sistema Global de Observación del Clima (GCOS, por sus siglas en inglés; Bianchi et
585 al. 2016).

586

Artículo en edición

587 La base de datos BTRSC presenta dos limitaciones relevantes que deben ser
588 consideradas al momento de utilizar este producto. Por un lado, la longitud de la serie
589 de tiempo de 20 años (1995 – 2014) utilizada en el presente trabajo no cumple con los
590 estándares internacionales sugeridos, donde se consideran periodos de referencia de 30
591 años de información que permitan realizar climatologías que capturen adecuadamente la
592 variabilidad interanual de la variable estudiada (WMO, 2018). La segunda limitación
593 está asociada a la distribución espacial no equilibrada de estaciones de registro
594 termométrico, con escasas estaciones en las zonas gradientes altitudinales relevantes,
595 como la cordillera occidental de Los Andes y la zona de sierras y mesetas del centro de
596 la provincia de Santa Cruz.

597

598 Aun así, la base de datos lograda representa un importante avance en materia de
599 conocimiento de la distribución de las temperaturas regionales. Es una base de datos de
600 aplicación regional con un buen desempeño para la representación espacio-temporal de
601 la variación de la temperatura, con posibilidad de aplicación en modelos ecológicos e
602 hidrológicos, además de representar un periodo de tiempo base para comparar en
603 estudios de cambio climático.

604

605 Agradecimientos

606 Agradecemos a la empresa Enap Sipetrol Argentina S.A por el aporte de recursos al
607 proyecto de investigación, a la Municipalidad de Río Gallegos (Santa Cruz) y, en
608 especial, a Mariano Bertinat, Secretario de Estado de Ambiente de la provincia de Santa
609 Cruz.

610

611 Referencias

612 **Aalto, J., Pirinen, P., Heikkinen, H., Venäläinen, A., 2013.** Spatial interpolation of
613 monthly climate data for Finland: comparing the performance of kriging and
614 generalized additive models. *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 112: 99-111.
615 **Almonacid, L., Pessacg, N., Diaz, B., Bonfili, O., Peri, P. L., 2021.** Nueva base de
616 datos reticulada de precipitación para la provincia de Santa Cruz, Argentina. *Revista*
617 *Meteorológica*, Vol. 46 N°2 (2021) 26-53.

Artículo en edición

- 618 **Barry, R. G., 2013.** Mountain Weather and Climate. Cambridge University Press,
619 Cambridge, 532 pp.
- 620 **Begert, M., Frei, C., 2018.** Long-term area-mean temperature series for Switzerland-
621 Combining homogenized station data and high resolution grid data. International
622 Journal of Climatology, 2018, 38: 2792-2807.
- 623 **Benavides, R., Montes, F., Rubio, A., Osoro, K., 2007.** Geostatistical modelling of air
624 temperature in a mountainous region of northern Spain. Agricultural and Forest
625 Meteorology 146 (2007) 173-188.
- 626 **Berndt, C., Haberlandt, U., 2018.** Spatial interpolation of climate variables in
627 Northern Germany – Influence of temporal resolution and network density. Journal of
628 Hydrology: Regional Studies, 15: 184 – 202.
- 629 **Bianchi, E., Villalba, R., Viale, M., et al., 2016.** New precipitation and temperature
630 grids for northern Patagonia: Advances in relation to global climate grids. Journal of
631 Meteorological Research, 30: 38 – 52.
- 632 **Blázquez, J., Solman, S. A., 2018.** Fronts and precipitation in CMIP5 models for the
633 austral winter of the Southern Hemisphere. Climate Dynamics, Vol. 50, 2705–2717 pp.
- 634 **Bravo, C., Quincey, D. J., Ross, A. N., Rivera, A., Brock, B., Miles, E., Silva, A.,
635 2019.** Air temperature characteristics, distribution, and impact on modeled ablation for
636 the south Patagonia icefield. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 124, 907-
637 925.
- 638 **De Fina, A. L., Garbosky, A. J., Giannetto, F., Sabella, L. J., 1968.** Difusión
639 geográfica de cultivos índices en la provincia de Santa Cruz y sus causas. INTA-Suelos.
640 Publicación 111:29, 1968.
- 641 **Ebert, E., Janowiak, J., Kidd, C., 2007.** Comparison of near-real-time precipitation
642 estimates from satellite observations and numerical models. Bulletin of American
643 Meteorological Society. 88, 47–64.
- 644 **Garreaud R., Lopez, P., Minvielle, M., Rojas, M., 2013.** Large-scale control on the
645 Patagonian Climate. Journal of Climate, Vol. 26, 215-230 pp.
- 646 **Goovaerts, P., 2000.** Geostatistical approaches for incorporating elevation into the
647 spatial interpolation of rainfall. Journal of Hydrology 228 (2000) 113 – 129.

Artículo en edición

- 648 **Harris, I., Osborn, T. J., Jones, P. D., Lister, D. H., 2020.** Version 4 of the CRU TS
 649 monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific Data*, 7: 109, 1
 650 – 18 pp.
- 651 **Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater,**
 652 **J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla,**
 653 **S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., De**
 654 **Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J.,**
 655 **Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R. J., Hólm,**
 656 **E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de**
 657 **Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., and Thépaut, J. –N., 2020.** The
 658 ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 146,
 659 1999–2049.
- 660 **Hooker, J., Duveiller, G., Cescatti, A., 2018.** A global dataset of air temperature
 661 derived from satellite remote sensing and weather stations. *Scientific Data*, 5: 180246
 662 doi: 10.1038/sdata.2018.246 (2018).
- 663 **Insel, N., Poulsen, C., Ehlers, T., 2009.** Influence of the Andes Mountains on South
 664 American moisture transport, convection, and precipitation. *Climate Dynamics*, Vol. 35,
 665 1477-1492 pp.
- 666 **Jiang, S., Ren, L., Hong, Y., Yong, B., Yang, X., Yuan, F., Ma, M., 2012.**
 667 Comprehensive evaluation of multi-satellite precipitation products with a dense rain
 668 gauge network and optimally merging their simulated hydrological flows using the
 669 Bayesian model averaging method. *Journal of Hydrology*, 452–453, 213–225.
- 670 **Kalkstein, L.S., Tan, G.R., Skindlov, J.A., 1987.** An evaluation of 3 clustering
 671 procedures for use in synoptic climatological classification. *Journal of Climate and*
 672 *Applied Meteorology* 26: 717–730.
- 673 **Kashani, M. H., Dinpashoh, Y., 2012.** Evaluation of efficiency of different estimation
 674 methods for missing climatological data. *Stochastic Environmental Research and Risk*
 675 *Assessment*, 26: 59-71.
- 676 **Khesali, E., Mobasheri, M., 2020.** A method in near-surface estimation of air
 677 temperature (NEAT) in times following the satellite passing time using MODIS images.
 678 *Advances in Space Research*, article in press.

Artículo en edición

- 679 **Larson, L. W., Peck, E. L., 1974.** Accuracy of precipitation measurements for
680 hydrologic modeling. *Water Resources Research*, 10(4), 857–863.
- 681 **Li, J., Heap, A. D., 2008.** A review of spatial interpolation methods for environmental
682 scientists. *Geoscience Australia, Record 2008/23*, 137 pp.
- 683 **Li, X., Cheng, G., Lu, L., 2005.** Spatial analysis of air temperature in the Qinghai-
684 Tibet Plateau. *Artic, Antarctic, and Alpine Research*, vol. 37, No 2, 2005, pp. 246-252.
- 685 **Lloyd, C. D., 2005.** Assessing the effect of integrating elevation data into the estimation
686 of monthly precipitation in Great Britain. *Journal of Hydrology* 308 (2005) 128 – 150.
- 687 **Monserrat, M. C., Diaz, B. G., Bonfili, O., Almonacid, L., 2016.** Banco de datos
688 hidrometeorológicos de Santa Cruz. Presentado en: 3er encuentro de Investigadores en
689 Formación de Recursos Hídricos (IFRH, 2016), 6 y 7 de octubre de 2016, Ezeiza,
690 Buenos Aires, 8 pp.
- 691 **Oke, T. R., 2002.** *Boundary Layer Climates*. Routledge, London, 435 pp.
- 692 **Paruelo, J. M., Beltrán, A., Jobbágy, E., Sala, O., Golluscio, R. A., 1998.** The
693 climate of Patagonia: general patterns and controls on biotic processes. *Ecología*
694 *Austral*, 8, 85-101.
- 695 **Peri, P.L., Rosas, Y. M., Ladd, B., Toledo S., Lasagno, R. G., Martínez Pastur,**
696 **G.,2018.** Modelling soil carbon content in South Patagonia and evaluating changes
697 according to climate, vegetation, desertification and grazing. *Sustainability* 10(2), 438.
- 698 **Peri, P. L., Rosas, Y. M., Ladd, B., Toledo, S., Lasagno, R. G., Martínez Pastur,**
699 **G.,2019.** Modeling soil nitrogen content in South Patagonia across a climate gradient,
700 vegetation type, and grazing. *Sustainability* 11, 2707.
- 701 **Pessacg, N., Flaherty, S., Brandizi, S., Solman, S., Pascual, M., 2015.** Getting water
702 right: A case study in water yield modelling based on precipitation data. *Science of*
703 *Total Environment* 537 (2015) 225 – 234.
- 704 **Pessacg, N., Flaherty, S., Brandizi, S., Rehencq, M., GarciaAsorey, M., Castiñeira,**
705 **L., Solman, S., Pascual, M., 2018.** Producción de agua en la Cuenca del río Limay:
706 Modelado y calibración. *Revista Meteorológica*, 43(2):3-23.
- 707 **Schumacher, V., Justino, F., Fernández, Al., Meseguer-Ruiz, O., Sarricolea, P.,**
708 **Comin, A., Venancio, L. P., Althoff, D., 2020.** Comparison between observations and

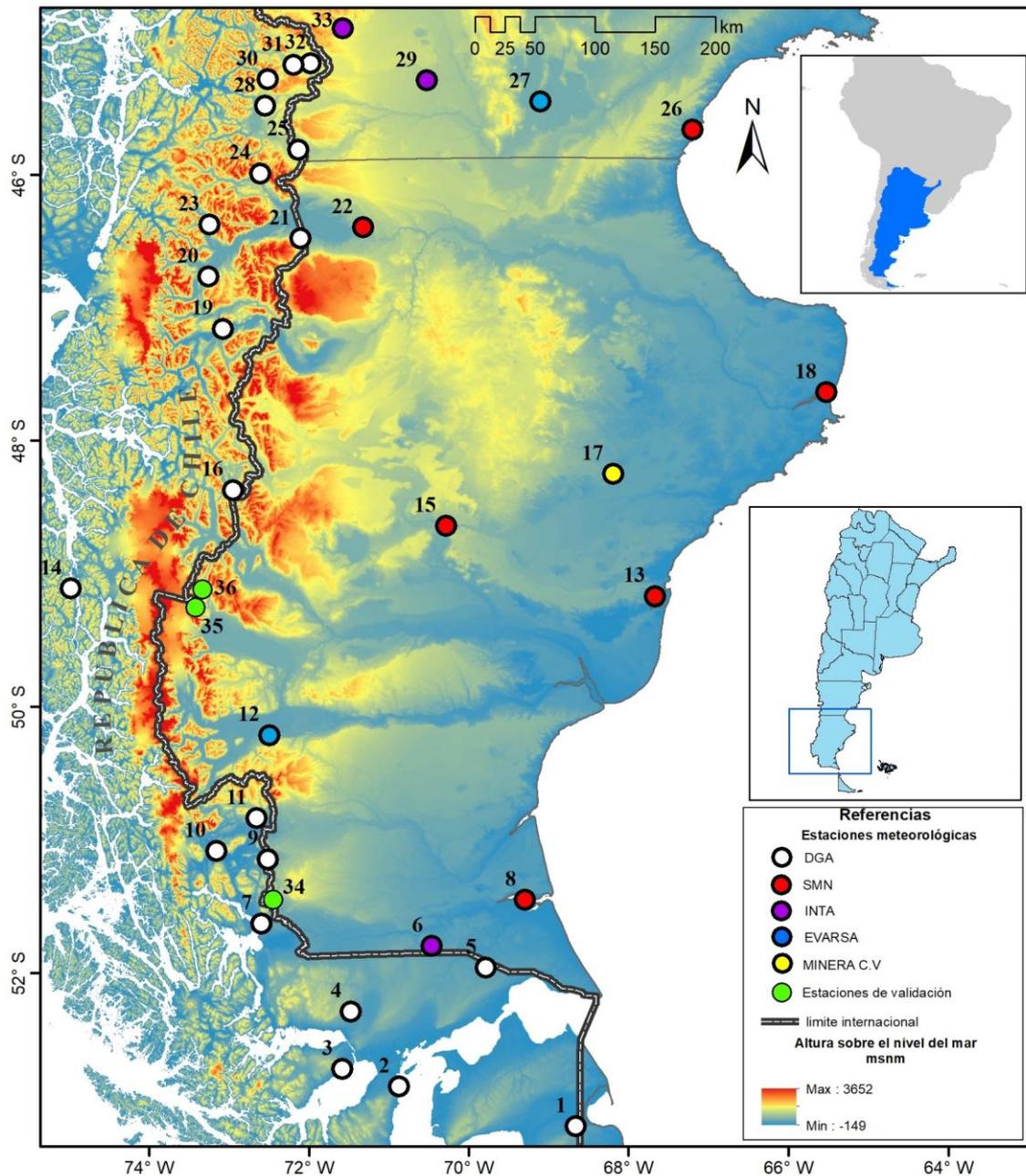
Artículo en edición

- 709 gridded data sets over complex terrain in the Chilean Andes: Precipitation and
 710 temperature. *International Journal of Climatology*, 2020; 1-23.
- 711 **Sheridan, P., Vosper, S., Smith, S., 2018.** A physically based algorithm for
 712 downscaling temperature in complex terrain. *Journal of Applied Meteorology and*
 713 *Climatology*, Vol. 57, 1907 – 1929.
- 714 **SMN, 2021.** <https://datos.gob.ar/dataset/smn-listado-estaciones-meteorologicas-smn>.
 715 Último acceso enero de 2021.
- 716 **Solman, S. A., Sanchez, E., Samulesson, P., da Rocha, R. P., Li, L., Marengo, J.,**
 717 **Pessacg, N. L., Remedio, A. R. C., Chou, S. C., Berbery, H., Le Treut, H., de**
 718 **Castro, M., Jacob, D., 2013.** Evaluation of an ensemble of regional climate model
 719 simulations over South America driven by the ERA-Interim reanalysis: model
 720 performance and uncertainties. *Climate Dynamics*, 41, 1139 – 1157 (2013).
- 721 **Soto, J., 2000.** Mapa de clima: Atlas de la República Argentina. Isohietas medias
 722 anuales. Las condiciones climáticas de la provincia de Santa Cruz. En *El Gran Libro de*
 723 *la Provincia de Santa Cruz 2000*, pag.1321.
- 724 **Tadono, T., Nagai, H., Ishida, H., Oda, F., Naito, S., Minakawa, K., Iwamoto, H.,**
 725 **2016.** Generation of the 30 m-mesh global digital surface model by Alos Prism.
 726 *International Archives of the Photogrammetry, remote Sensing & Spatial Information*
 727 *Sciences*, 2016, Vol. 41, p157-162.
- 728 **Varentsov, M., Esau, I., Wolf, T., 2020.** High resolution temperature mapping by
 729 geostatistical kriging with external drift from large-Eddy Simulations. *American*
 730 *Meteorological Society*, V:148, pp 1026-1048.
- 731 **Villalba, R., Lara, A., Boninsegna, J. A., et al., 2003.** Large-scale temperature
 732 changes across the southern Andes: 20th-century variations in the context of the past
 733 400 years. *Climatic Change*, 59, 177–232.
- 734 **Willmott, C. J. y Matsuura, K., 2001.** Terrestrial Air Temperature and Precipitation:
 735 Monthly and Annual Time Series (1950 - 1999).
- 736 **WMO, 2018.** Guide to climatological practices. WMO-No. 100, World Meteorological
 737 Organization, Geneva, 2018. ISBN 978-92-63-10100-6, pp 140.
- 738 **Xu, C., Wang, J., Li, Q., 2018.** A new method for temperature spatial interpolation
 739 based on sparse historical stations. *Journal of Climate*, vol. 31, 1757-1770.

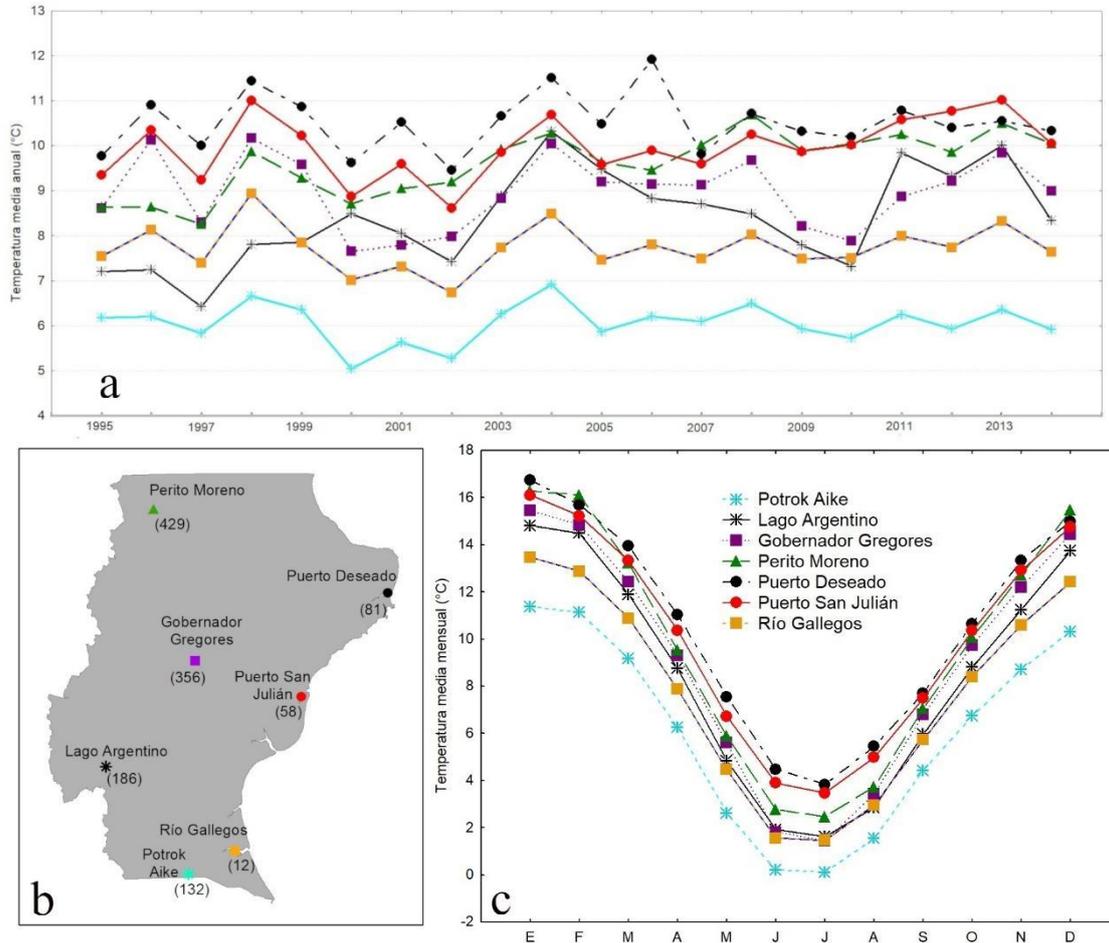
Artículo en edición

740 Yilmaz, K. K., Adler, R. F., Tian, Y., Hong, Y., Pierce, H. F., 2010. Evaluation of a
 741 satellite-based global flood monitoring system. International Journal of Remote
 742 Sensing, 31(14), 3763–3782.

743 Figuras y tablas



744
 745 Figura 1. Región de estudio y ubicación de estaciones meteorológicas con 20 años de
 746 datos medios mensuales (1995-2014) utilizadas para la construcción de una base de
 747 datos reticulados de temperatura.
 748

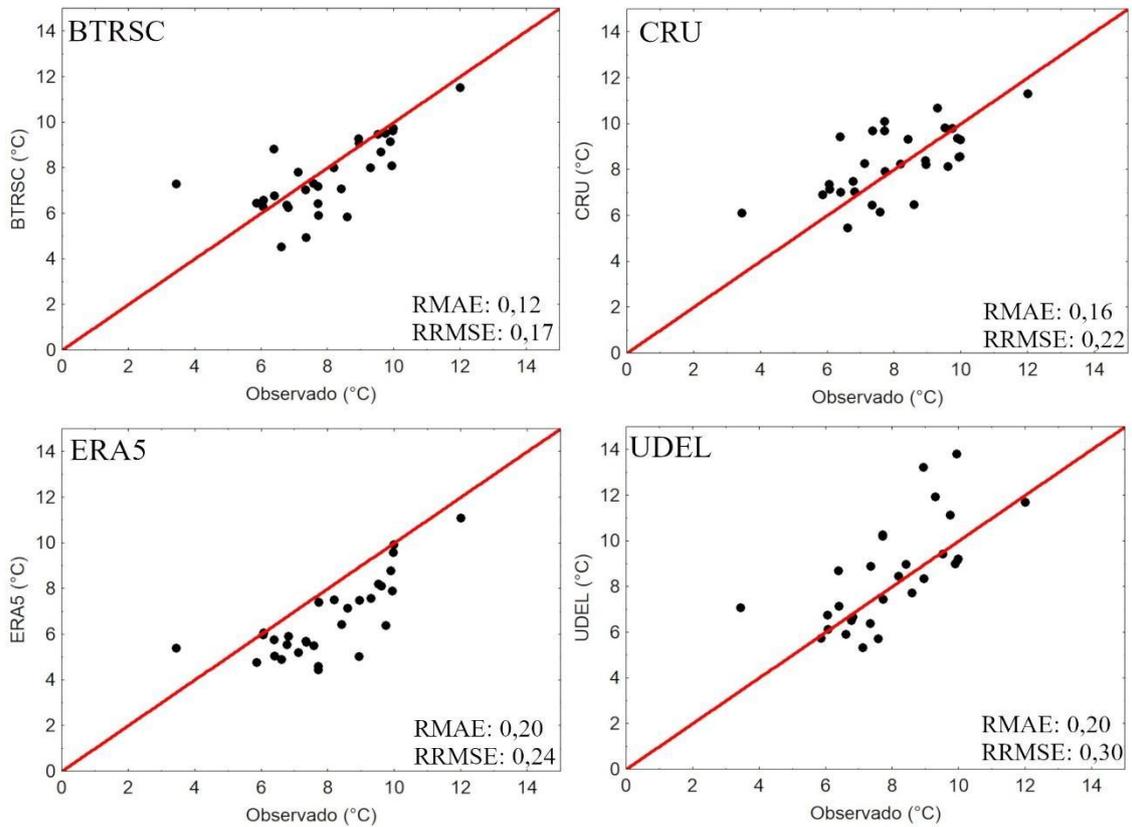


758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770

Figura 2. Temperatura media anual (a) y temperatura media mensual (c) para siete estaciones de la provincia de Santa Cruz (b) para el periodo 1995-2014. Entre paréntesis, la altura sobre el nivel del mar (msnm) de cada estación meteorológica.

Artículo en edición

771



772

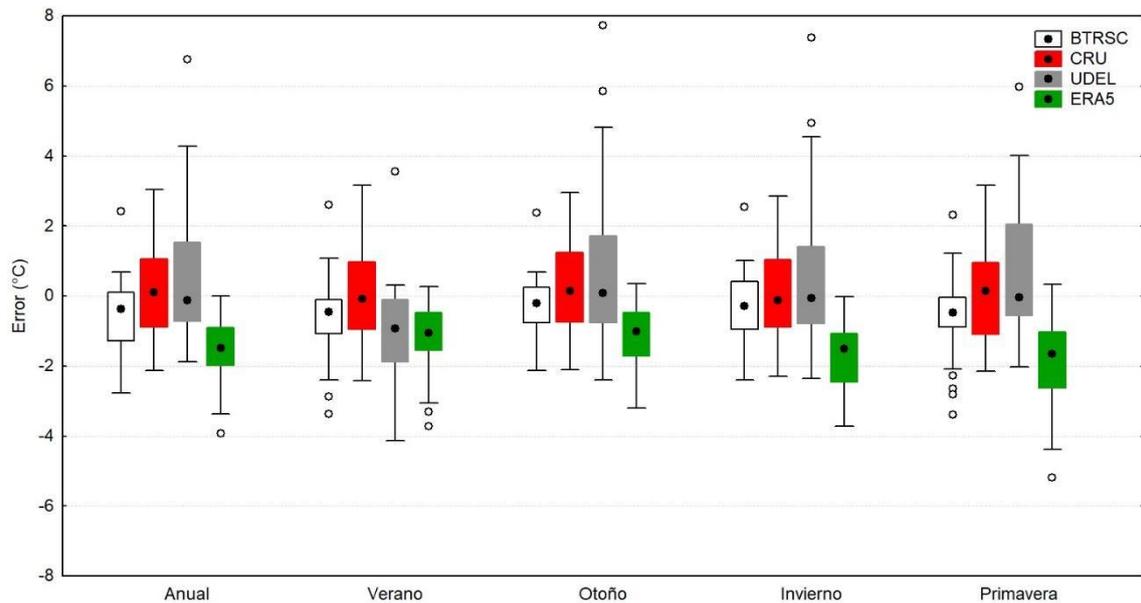
773 Figura 3. Evaluación del desempeño del producto anual de la base de datos BTRSC y de
 774 bases de datos globales de temperatura en comparación a los datos observados en
 775 estaciones meteorológicas para el período 1995-2014. RRMSE: Raíz del error medio
 776 cuadrático relativo; RMAE: Error relativo medio absoluto.

777

778

779

Artículo en edición



780

781

782

783

784

785

786

787

788

789

790

791

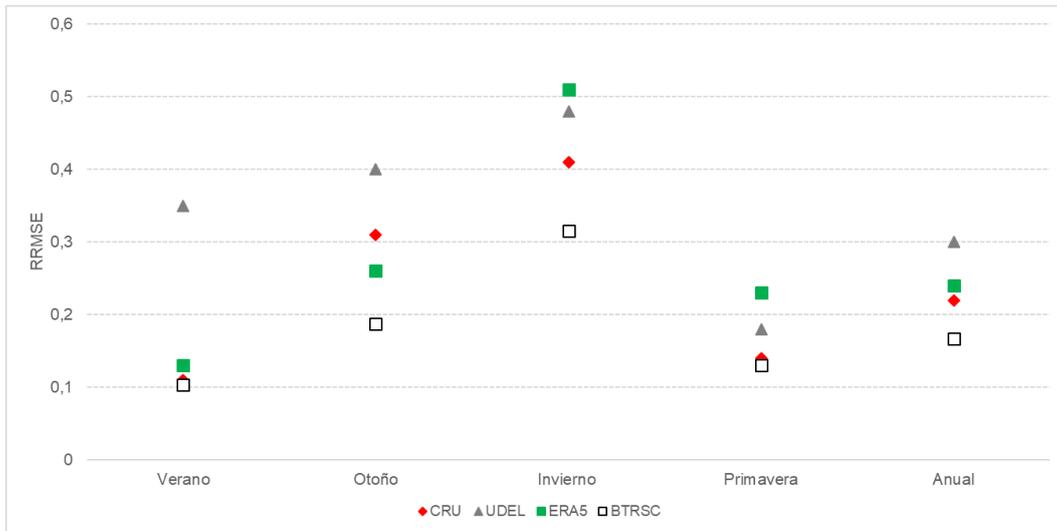
792

793

794

Figura 4. Distribución de los errores (°C) para cuatro bases de datos reticuladas de temperatura en el producto anual y estacionales en comparación a las estaciones de validación para el período 1995-2014.

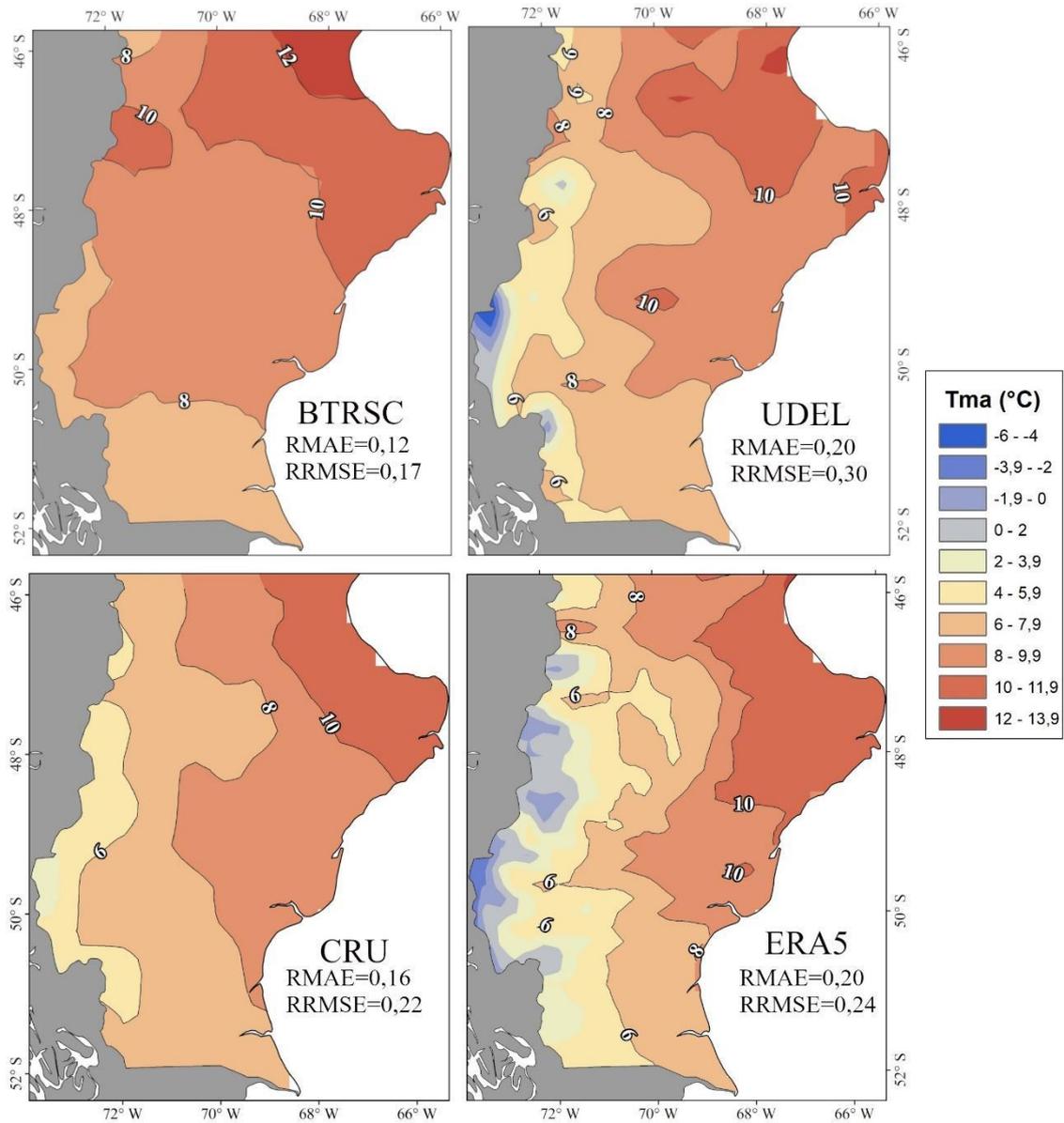
Artículo en edición



795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808

Figura 5. Raíz del error medio cuadrático relativo (RRMSE) para cuatro bases reticuladas de temperatura media estacional y anual, en el período 1995-2014.

Artículo en edición

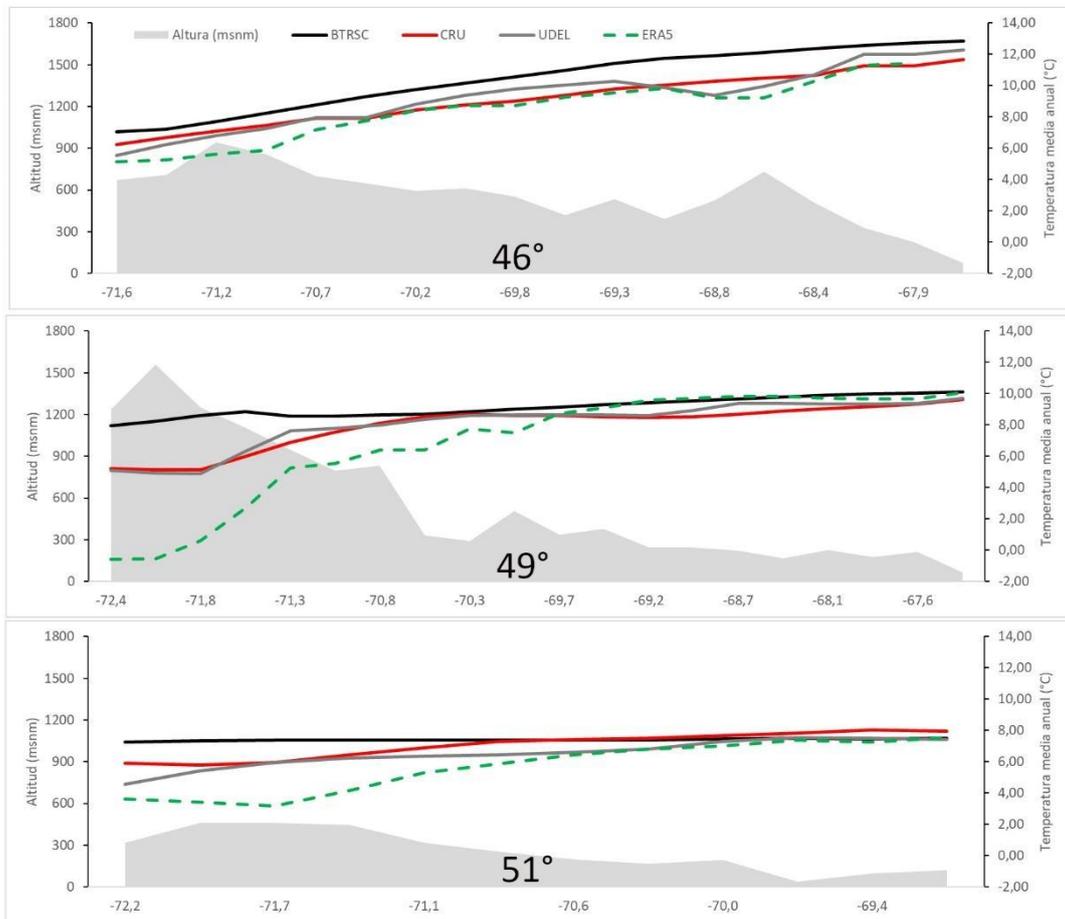


809
 810 Figura 6. Variación espacial de la temperatura media anual (°C) para la provincia de
 811 Santa Cruz para el período 1995-2014, expresada por cuatro bases reticuladas de
 812 temperatura.

813
 814
 815
 816
 817
 818

Artículo en edición

819



820

821 Figura 7. Transectas longitudinales de temperatura media anual (°C) a los 46°, 49° y 51°
 822 de latitud sur expresada para la Base de Temperatura Reticulada para Santa Cruz
 823 (BTRSC) y cuatro bases globales reticuladas de temperatura. En gris se representa la
 824 topografía (msnm) a lo largo de la transecta a partir del modelo digital de elevaciones
 825 ALOS PRISM (30 m).

826

827

828

829

830

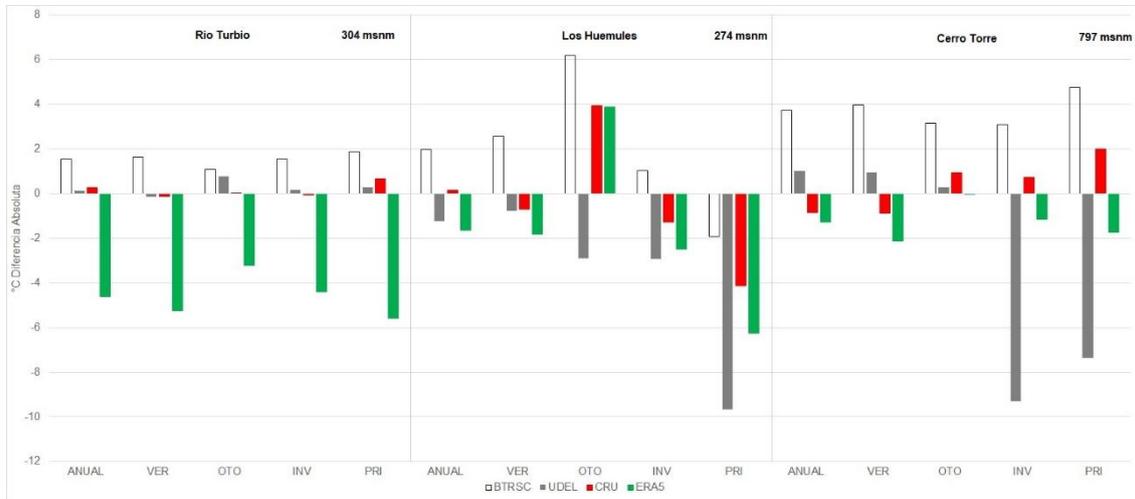
831

832

833

Artículo en edición

834



835

836

Figura 8. Diferencias absolutas entre cuatro bases reticuladas de temperatura y tres estaciones meteorológicas para los productos estacionales y el anual.

837

838

839

840

841

842

843

844

845

846

847

848

849

850

851

852

853

854

855

Artículo en edición

856 Tabla I. Ubicación geográfica de estaciones de temperatura con registros medios
 857 mensuales entre 1995-2014. Latitud (Lat.) y Longitud (Lon.) expresados en decimal de
 858 grado, en el sistema internacional WGS84 (EPSG:4326). Altitud determinada sobre
 859 cartografía topográfica oficial E 1:100.000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN).
 860

NUM	Nombre	Lat.	Long.	Alt. (msnm)	Resp.
1	San Sebastián	-53,32	-68,66	20	DGA
2	Punta Arenas	-53,00	-70,85	37	DGA
3	Isla Riesco	-52,86	-71,55	10	DGA
4	Villa Tehuelche	-52,43	-71,42	190	DGA
5	Monte Aymond	-52,12	-69,76	160	DGA
6	Potrok Aike	-51,95	-70,41	132	INTA
7	Puerto Natales	-51,74	-72,46	45	DGA
8	Río Gallegos	-51,61	-69,28	12	SMN
9	Cerro Castillo	-51,26	-72,35	130	DGA
10	Torres Del Paine	-51,17	-72,95	25	DGA
11	Cerro Guido	-50,94	-72,46	230	DGA
12	Lago Argentino	-50,32	-72,26	186	EVARSA
13	Puerto San Julián	-49,31	-67,78	58	SMN
14	Puerto Edén	-49,13	-74,45	5	DGA
15	Gobernador Gregores	-48,78	-70,16	356	SMN
16	Villa O'Higgins	-48,46	-72,55	270	DGA
17	Cerro Vanguardia	-48,39	-68,27	230	MCV
18	Puerto Deseado	-47,73	-65,92	81	SMN
19	Lord Cochrane	-47,24	-72,58	204	DGA
20	Puerto Guadal	-46,84	-72,71	210	DGA
21	Chile Chico	-46,58	-71,69	306	DGA
22	Perito Moreno	-46,51	-71,01	429	SMN
23	Bahía Murta	-46,45	-72,67	240	DGA
24	Villa Mañihuales	-46,08	-72,10	150	DGA
25	Balmaceda	-45,91	-71,68	511	DGA
26	Comodoro Rivadavia	-45,78	-67,46	58	SMN
27	Sarmiento	-45,58	-69,08	275	EVARSA
28	Coyaique	-45,57	-72,02	310	DGA
29	Río Mayo	-45,41	-70,29	534	INTA
30	Villa Ortega	-45,37	-71,98	550	DGA
31	Ñirehuao	-45,27	-71,70	535	DGA
32	Estancia Año Nuevo	-45,26	-71,52	700	DGA

Artículo en edición

33	Aserradero La Paulina	-45,00	-71,17	841	EVARSA
34	Río Turbio	-51,19	-72,87	302	EA
35	Los Huemules	-49,22	-72,95	455	Ea.LH
36	Cerro Torre	-49,32	-73,03	795	IANIGLA

861

862 *EVARSA: Evaluaciones de Recursos S.A; MCV: Minera Cerro Vanguardia; INTA:

863 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; SMN: Servicio Meteorológico

864 Nacional; DGA: Dirección General de Aguas; EA: Ejército Argentino; Ea. LA: Estancia

865 Los Huemules; IANIGLA: Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias

866 Ambientales.

867

868

869

870

871

872

873

874

875

876

877

878

879

880

881

882

Tabla II. Características de las Bases de Datos Globales de Temperatura(BDGT) testeadas para la provincia de Santa Cruz en el periodo 1995-2014.

BDGT	Resolución	Frecuencia	Periodo	Fuente de datos	Algoritmo o método de interpolación	Estaciones meteorológicas en la región	Referencia
CRU TS v 4.04	0,5°	Mensual	1901-2019	Estaciones meteorológicas	Distancia angular ponderada (ADW)	12	Harris et al. 2020
UDEL v. 5.01	0,5°	Mensual	1900-2014	Estaciones meteorológicas	Interpolación climatológicamente ayudada (CAI)	10	Willmott y Matsuura, 2001
ERA5	0,28°	Horaria	1950-presente	ECMWF	Reanálisis/ensamble 4D/VAR	-	Hersbach et al., 2020

CRU: Climatic Research Unit; UDEL: University of Delaware; ECMWF: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts; NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration. La resolución espacial refiere al producto grillado público ofrecido por los autores.

Artículo en edición

Meteoro logica

Tabla III. Grupos de estaciones meteorológicas siguiendo la metodología de Ward (Kalkstein et al. 1987) y sus características termométricas medias.

Grupo	Estaciones meteorológicas	Tma (°C)	Tmv (°C)	Tmo (°C)	Tmi (°C)	Tmp (°C)
1	Rio Gallegos Monte Aymond Potrok Aike San Sebastián	6,3	10,6	3,4	2,4	8,7
2	Villa Tehuelche Punta Arenas Isla Riesco Puerto Natales	6,5	10,0	4,3	3,3	8,2
3	Lago Argentino Gobernador Gregores	8,7	14,0	5,4	3,7	11,7
4	Villa O'Higgins Puerto Edén Cerro Castillo Torres del Paine Cerro Guido	7,4	11,4	4,9	4,0	9,3
5	Puerto Deseado Cerro Vanguardia Puerto San Julián	10,3	15,3	7,4	5,5	12,9
6	Comodoro Rivadavia Sarmiento	12,6	18,0	9,3	7,5	15,5
7	Rio Mayo Perito Moreno Lord Cochrane	9,8	15,4	6,1	4,8	12,9
8	Puerto Guadal Villa Mañihuales Bahía Murta Chile Chico	9,4	14,0	6,7	5,5	11,5
9	Aserradero La Paulina Balmaceda Estancia Año Nuevo	6,9	11,9	4,1	2,3	9,1
10	Coyaique Villa Ortega Ñirehuao	8,1	12,7	5,4	4,2	10,3

Tma: temperatura media anual; Tmv: temperatura media de verano; Tmo: temperatura media de otoño; Tmi: temperatura media de invierno; Tmp: temperatura media de primavera.

Tabla IV. Evaluación de desempeño de cuatro bases reticuladas de temperatura en sus productos estacionales y anual.

	Anual		Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	RMAE	RRMSE								
BTRSC	0,12	0,17	0,14	0,10	0,13	0,18	0,22	0,31	0,09	0,13
CRU TS v 4.04	0,16	0,22	0,09	0,11	0,24	0,31	0,31	0,41	0,11	0,14
UDEL v. 5.01	0,20	0,30	0,32	0,35	0,29	0,40	0,35	0,48	0,13	0,18
ERA5	0,20	0,24	0,10	0,13	0,22	0,26	0,44	0,51	0,19	0,23

BTRSC: Base de Temperatura Reticulada para Santa Cruz; CRU: Climatic Research Unit; ERA: ECMWF Re-Analysis; UDEL: University of Delaware. RMAE: Error relativo medio absoluto; RRMSE: Raíz del error medio cuadrático relativo.