

## Sequías agropecuarias en la provincia de Santa Cruz, Argentina, en el período 1996-2018

DORA S. MAGLIONE<sup>1</sup>✉; PAULA PAREDES<sup>1,2</sup>; JULIO A. SOTO<sup>1</sup> & OSCAR BONFIL<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Río Gallegos, Argentina. <sup>2</sup>Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Santa Cruz. <sup>3</sup>Servicio Meteorológico Nacional (Regional Río Gallegos).

**RESUMEN.** Las sequías recurrentes afectan tanto a los ecosistemas naturales como a las actividades humanas. Generan daños económicos significativos, en especial cuando son prolongadas. El objetivo de este estudio es detectar y monitorear las sequías agropecuarias en la provincia de Santa Cruz durante el período 1996-2018, utilizando el índice estandarizado de precipitación en escala semestral. El método geoestadístico de kriging permitió estimar la extensión espacial de las áreas afectadas en momentos de relevancia productiva. Se observó una alternancia entre años secos (noviembre de 1996 y 1998) y un año húmedo (noviembre de 1997). El año 2016 se caracterizó por una sequía persistente que afectó de manera grave a las áreas más productivas durante el otoño. Esta variabilidad temporal, que combina eventos secos y húmedos, puede mitigar los efectos en los pastizales. Sin embargo, sequías prolongadas como las de 2016 redujeron la productividad primaria, con repercusiones directas en el sector ganadero.

[Palabras clave: SPI, precipitación, kriging, sector agropecuario, ecosistemas áridos]

**ABSTRACT.** Agricultural droughts in the province of Santa Cruz, Argentina, during the Period 1996-2018. Recurrent droughts affect both natural ecosystems and human activities, generating significant economic damage, especially when prolonged. This study aims to detect and monitor agricultural droughts in the province of Santa Cruz during the period 1996-2018, using the Standardized Precipitation Index on a six-month scale. The geostatistical method of kriging allowed for the estimation of the spatial extent of affected areas during periods of productive significance. An alternation between dry years (November 1996 and 1998) and a wet year (November 1997) was observed. Notably, 2016 was characterized by a persistent drought, severely affecting the most productive areas during autumn. This temporal variability, combining both dry and wet events, may buffer the effects on grasslands; however, prolonged droughts like those in 2016 reduced primary productivity, with direct repercussions on the livestock sector.

[Keywords: SPI, precipitation, kriging, agricultural sector, arid ecosystems]

### INTRODUCCIÓN

La sequía, fenómeno hidrometeorológico caracterizado por un periodo en el que las precipitaciones se sitúan significativamente por debajo del promedio histórico (World Meteorological Organization 2012), es uno de los peligros naturales más impactantes para los ecosistemas (Hayes et al. 2012). Puede manifestarse en cualquier zona climática (Aguilar Lome 2021) y afectar la estructura y la función de la vegetación, así como a su fauna asociada. Además, aumenta la erosión, propicia incendios forestales y genera pérdidas en los sistemas productivos, perjudicando las economías locales y regionales (Tilman and El Haddi 1992; Matailo-Ramírez et al. 2019; Wang et al. 2019; Sánchez et al. 2021; Ortega-Gaucin 2023).

El cambio climático ha exacerbado la frecuencia y la intensidad de las sequías (Cook et al. 2014; IPCC 2021), lo que las convierte

en un tema de relevancia global según la ONU (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres 2021). Spinoni et al. (2019) documentan varios eventos de sequía en distintas partes del mundo, como los de California (2014-2016), Rusia (2010) y las sequías recurrentes en la Patagonia en las últimas décadas. Ortiz et al. (2021) destacan múltiples eventos de sequía en el suroeste de Estados Unidos entre 2011 y 2017. Garreaud et al. (2017) analizaron el déficit hídrico en Chile durante la megasequía de 2010 a 2015 y Naumann et al. (2023) estudiaron el incremento en la severidad y la frecuencia de las sequías en América del Sur.

En Sudamérica, la sequía tiene impactos sociales, económicos y ambientales importantes, ya que muchas actividades — como la agricultura y la generación de energía hidroeléctrica — dependen de las lluvias (Podestá et al. 2018). El sector agropecuario

argentino, una de las principales actividades económicas del país, es muy vulnerable a las sequías, que han aumentado en severidad y frecuencia en los últimos años (Scarpati and Capriolo 2013; Naumann et al. 2023). Según el informe de febrero de 2023 de la Mesa Nacional de Monitoreo de Sequías ([magyp.gob.ar/sitio/areas/d\\_eda/sequia/](http://magyp.gob.ar/sitio/areas/d_eda/sequia/)), creció el área afectada por sequías severas. En la Región Patagónica, en las últimas décadas se registraron eventos de sequía recurrentes, largos y severos (Spinoni et al. 2019).

La Patagonia se divide en dos grandes regiones: la cordillera, con bosques y humedales de mayor pluviometría, y la región extra-andina, árida a semiárida (Miller 1976; Paruelo et al. 1998; Bianchi et al. 2016). Las sequías impactan de manera más rápida y severa en la zona árida y semiárida (Scordo et al. 2018), donde las precipitaciones son clave para la productividad primaria neta aérea (PPNA) (Noy-Meir 1973; Sala et al. 1988). Bondaruk et al. (2022) encontraron que los pastizales áridos y semiáridos resultan más afectados por la sequía que otros ecosistemas, disminuyendo su productividad forrajera hasta en un 50%. Sin embargo, estos efectos se pueden mitigar al intercalarse años secos y húmedos, y aumentan con años sucesivos de similares características hídricas (Oesterheld et al. 2001).

Existen diversos índices para monitorear sequías, basados en variables climáticas como la precipitación, la temperatura y la evapotranspiración, o en datos de sensores remotos (Organización Meteorológica Mundial and Asociación Mundial para el Agua 2016). El uso de índices basados en variables climáticas ofrece una aproximación más completa y permite detectar y monitorear estos eventos, identificando su inicio, duración, magnitud, finalización y extensión espacial mediante herramientas objetivas de análisis (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2020; Podestá et al. 2020; Ortiz et al. 2021). La selección del índice debe basarse en la disponibilidad y la calidad de los datos climáticos, así como en su capacidad para detectar las variaciones espaciales y temporales durante un evento de sequía (Morid et al. 2006). Estos índices permiten clasificar las sequías según su duración y los efectos que producen (Wilhite and Glantz 1985; WMO 2012; Podestá et al. 2018) en: meteorológicas (período mensual), agropecuarias (3 a 6 meses), hidrológicas (6 a 24 meses) y socio-económicas (Penalba and

Rivera 2015; Vicente-Serrano et al. 2015; Cieza Coronel 2019; Freitas Santos et al. 2021).

El SPI (índice de precipitación estandarizado) (McKee et al. 1993), que mide la desviación estándar de la precipitación respecto de la media en un período determinado, es uno de los índices más utilizados y recomendado por su simplicidad, robustez y versatilidad (Organización Meteorológica Mundial and Asociación Mundial para el Agua 2016; Podestá et al. 2020; MAyDS 2020). Al ser estandarizado permite monitorear y comparar en el espacio y tiempo eventos de falta y exceso de precipitaciones (Guttman 1998, 1999; Wu et al. 2007); es positivo para períodos más húmedos y negativo para períodos más secos que lo habitual (McKee et al. 1993; WMO 2012). Su cálculo requiere de series largas de datos de precipitación, que en algunas regiones de Argentina no existen o son de difícil acceso. La Región Patagónica se caracteriza por su baja densidad de estaciones meteorológicas oficiales con más de 30 años de datos de forma continua (Bianchi et al. 2016), lo que dificulta el monitoreo temporal y espacial de las sequías. Esta limitación se suple con datos provenientes de otras fuentes (i.e., estancias, instituciones privadas, etc.) (Hepp et al. 2018; Maglione et al. 2022a; Paredes et al. 2022). El SPI se puede calcular en distintas unidades temporales; en particular, la escala de seis meses (SPI-6) captura la variabilidad estacional de la precipitación, útil para evaluar la sequía en contextos agropecuarios (McKee et al. 1993). Su elección se fundamenta en su capacidad para reflejar con precisión la disponibilidad de agua en el suelo a mediano plazo. Esto permite evaluar tanto déficits como excesos hídricos, y es una herramienta eficaz para entender y tomar decisiones sobre los impactos de la sequía en la producción agropecuaria.

Para estimar el SPI en sitios sin información es necesario recurrir a algún método estadístico. El kriging —un método de interpolación geoestadístico— predice valores en puntos no muestreados mediante la correlación espacial (Cressie 1993). Además de estimar en áreas sin datos, mide la incertidumbre de las predicciones, por lo que es valioso en estudios climáticos y ambientales con datos dispersos. En Santa Cruz fue utilizado en la modelación de variables como la temperatura y la precipitación (Almonacid et al. 2021a,b), demostrando su eficacia en la captura espacial de estos fenómenos (Maglione et al. 2019). Estudios previos, como el de Afzali et al. (2016), mostraron la superioridad de esta técnica

frente a otros métodos para estimar el SPI, mientras que Sarker et al. (2021) subrayaron su consistencia en la representación espacial.

El objetivo de este trabajo fue utilizar el índice estandarizado de precipitación para detectar y monitorear sequías agropecuarias en la provincia de Santa Cruz, usando datos de precipitaciones mensuales de enero 1996 a diciembre 2018. El foco estuvo puesto especialmente en los períodos de mayor relevancia productiva.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La provincia de Santa Cruz posee una superficie de 244458 km<sup>2</sup> y está ubicada al sur de la Argentina. Está limitada por la cordillera de los Andes al oeste y por el mar argentino al este. Su clima es frío/templado, árido/semiárido, y muy variable (Paruelo et al. 1998). La cordillera de los Andes actúa como una barrera para los vientos húmedos, persistentes e intensos, provenientes del Pacífico, lo que provoca que la mayor parte de las precipitaciones queden del lado chileno (Paruelo et al. 1998). Este fenómeno genera una alta variabilidad espacial en las precipitaciones, con promedios anuales desde 700 mm en la cordillera hasta 200 mm en la costa. Gran parte del centro de la provincia recibe menos de 200 mm por año (Paruelo et al. 1998; Almonacid et al. 2021a). Las precipitaciones también varían estacionalmente, siendo máximas en invierno, excepto en el sureste, donde el pico ocurre en verano (Almonacid et al. 2021a). Las temperaturas exhiben un gradiente latitudinal y altitudinal, con medias anuales entre 6 y 8 °C en el oeste, y entre 10 y 13 °C en el noreste (Villalba et al. 2003; Almonacid et al. 2021b).

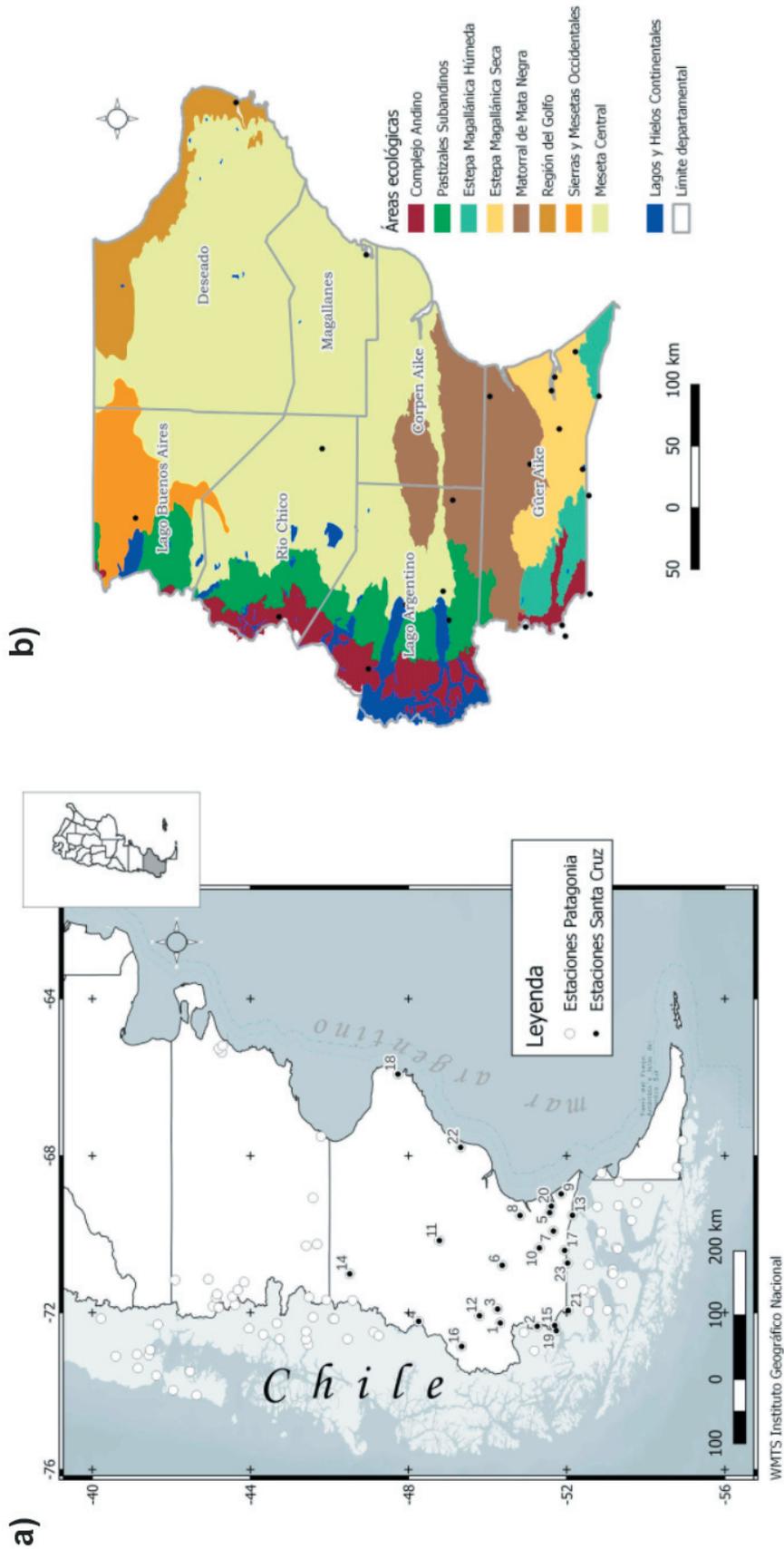
La vegetación, dominada por estepas gramíneas arbustivas, está muy influenciada por la aridez y por la distribución de las precipitaciones. Se pueden diferenciar áreas ecológicas en función de similitud de clima, suelo y vegetación (Oliva et al. 2001) (Figura 1) y de su productividad primaria (Oliva et al. 2019). Hacia la cordillera se encuentran las zonas boscosas (Complejo Andino [CA]) y los Pastizales Subandinos (PS), lugares de alta productividad primaria. Hacia el sur se encuentran dos áreas también de alta productividad, las estepas magallánicas (Estepa Magallánica Húmeda [EMH] y Seca [EMS]), con cobertura vegetal entre el 50 y

80%, dominadas por *Festuca gracillima*, pastos cortos (con especies del género *Poa*, *Bromus*, *Hordeum*, *Carex* y *Pappostipa*, entre otras) y algunos arbustos dispersos. Al norte de la EMS existe una estepa arbustiva (Matorral de Mata Negra [MMN]) en la que la especie dominante es *Mulgrurea tridens*. El centro de la provincia (Meseta Central [MC]) también está dominado por estepas arbustivas, de arbustos enanos, y de baja cobertura vegetal (30-40%); allí, la especie representativa es *Nassauvia glomerulosa*. Al noroeste de la provincia hay un área (Sierras y Mesetas Occidentales [SMO]) de estepas arbustivas dominada por *Mulinum spinosum*, *Senecio filaginoides* y *Adesmia campestris*. Una pequeña franja, en la costa del Golfo San Jorge (GSJ) también está cubierta por una estepa arbustiva, aunque de arbustos más altos (*Trevoa patagonica*, *Colliguaja integerrima* y *Mulinum spinosum*, entre otros). La dinámica estacional de la vegetación está asociada con la disponibilidad de agua y de temperaturas adecuadas para su crecimiento, con el pico de acumulación de biomasa verde generalmente al final de la primavera (octubre-noviembre) y un pequeño rebrote para la zona sur en abril, y en enero para el PS (Paruelo et al. 2001).

La actividad dominante en toda la provincia es la ganadería ovina extensiva, que solo depende de los pastizales. Por lo tanto, riesgos climáticos como las grandes nevadas con temperaturas muy bajas o las sequías pueden afectar la productividad primaria y, en consecuencia, reducir los índices productivos.

### Datos meteorológicos

Se seleccionaron 86 estaciones con registros completos de precipitaciones (en la mayoría de los casos) desde enero de 1996 hasta diciembre de 2018, cumpliendo los requisitos mínimos para el cálculo confiable del SPI (Organización Meteorológica Mundial and Asociación Mundial para el Agua 2016). De estas, 23 estaciones están ubicadas dentro de la provincia de Santa Cruz o a menos de 10 km de los límites de la provincia (Figura 1, Tabla 1), y el resto fue incluido para mejorar la precisión de las interpolaciones y minimizar los errores de predicción en los bordes del área de estudio. La información proviene de diferentes fuentes: Servicio Meteorológico Nacional de Argentina, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, [sig.inta.gov.ar](http://sig.inta.gov.ar)), Dirección General de Aguas de Chile (DGA, [dga.mop.gov.cl](http://dga.mop.gov.cl))



**Figura 1.** a) Estaciones meteorológicas de la Patagonia Austral utilizadas en este trabajo. b) Departamentos de la provincia y áreas ecológicas.  
**Figure 1.** a) Meteorological stations in the Southern Patagonia used in this study. b) Provincial departments and ecological areas.

**Tabla 1.** Estaciones dentro de la provincia de Santa Cruz o a menos de 10 km de su límite provincial.  
**Table 1.** Stations within the province of Santa Cruz or less than 10 km from its provincial border.

Estación	Longitud(°)	Latitud(°)	Área ecológica
1. Calafate (ENARSA)	-72.26241	-50.3197	PS
2. Cerro Castillo*	-72.345	-51.2556	CA
3. Charles Fuhr	-71.90778	-50.252	MC
4. Ea. Entre Rios (ENARSA)	-72.21972	-48.2553	CA
5. Ea. Killik Aike Norte	-69.45	-51.57	EMS
6. Ea. La Porfiada	-70.7906	-50.3687	MMN
7. Ea. Laguna Colorada	-69.9182	-51.6661	EMS
8. Ea. Ototel Aike	-69.52	-50.82	MMN
9. Ea. Punta Loyola	-68.97175	-51.8612	EMS
10. Ea. Ruben Aike	-70.35	-51.31	MMN
11. Gob. Gregores	-70.16	-48.78	MC
12. La Leona (ENARSA)	-72.07758	-49.7939	MC
13. Monte Aymond*	-69.51685	-52.1484	EMH
14. P. Moreno	-71.01	-46.51	SMO
15. Paraje Casas Viejas*	-72.32532	-51.6996	CA
16. Parque Nacional Los Glaciares	-72.86072	-49.3433	CA
17. Potrok Aike (INTA)	-70.41167	-51.9492	EMS
18. Puerto Deseado	-65.91667	-47.7333	GSJ
19. Puerto Natales (DGA)*	-72.45944	-51.7392	CA
20. Río Gallegos	-69.28333	-51.6114	EMS
21. Río Ruben Bajo R9*	-71.94194	-52.0389	CA
22. San Julián	-67.78333	-49.3167	MC
23. Teniente Merino*	-70.73472	-52.0253	EMH

\*Estaciones en el borde externo (ubicadas en Chile). MC: Meseta Central. CA: Complejo Andino. EMH: Estepa Magallánica Húmeda. EMS: Estepa Magallánica Seca. MMN: Matorral de Mata Negra; PS Pastizal Subandino. GSJ: Golfo San Jorge. INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. DGA: Dirección General de Aguas. ENARSA: Energía Argentina Sociedad Anónima

y estaciones no oficiales (establecimientos ganaderos y mineras). Los datos recopilados de organismos oficiales siguen los protocolos de la Organización Mundial de Meteorología, mientras que los provenientes de estaciones no oficiales se correlacionaron con estaciones oficiales cercanas (a una distancia máxima de 100 km) para garantizar su consistencia y detectar posibles anomalías. De las 86 estaciones seleccionadas con datos entre enero de 1996 y diciembre de 2018, 39 presentaron algunos datos faltantes, los cuales se completaron utilizando la media mensual (Medina et al. 2008; Maglione et al. 2022b). Para validar este procedimiento, se compararon las series del índice SPI con y sin datos faltantes, aceptándose solo cuando la correlación entre ambas series fue superior a 0.98.

#### *Cálculo del índice e interpolación*

Para calcular el SPI-6 (índice estandarizado de precipitación a una escala temporal de 6 meses), primero se ajustaron los datos de precipitación de cada una de las 86 estaciones meteorológicas a una distribución gamma,

adecuada para modelar la probabilidad de ocurrencia de diferentes cantidades de precipitación. Luego, los valores se transformaron a una distribución normal estándar para facilitar la comparación de los datos entre diferentes períodos de sequía/humedad y regiones. Para analizar espacialmente el impacto de eventos extremos (SPI-6 > 1 o SPI-6 < -1) sobre la vegetación durante el período de estudio, se seleccionaron momentos específicos para la interpolación (períodos de sequía) mediante el método de kriging. Esta selección incluyó meses y años en los que un número significativo de las 86 estaciones registraron condiciones de sequía severa a extrema o de humedad desde muy húmeda a extremadamente húmeda, con especial atención a octubre-noviembre, cuando se produce un mayor crecimiento vegetativo, y a abril en la zona sur, coincidiendo con el rebrote estacional. Estos momentos fueron priorizados por su influencia directa en la productividad agropecuaria. Se graficó la evolución temporal del SPI-6 (promedio del índice de las estaciones meteorológicas de las Estepas Magallánicas) para evaluar un período

prolongado de sequía y visualizar la magnitud del evento.

La representación espacial del SPI-6 se realizó mediante el método kriging, modelando la correlación espacial a través de un variograma, el cual tiene tres parámetros: el efecto pepita (que refleja la variabilidad inexplicable a distancias muy cortas); la meseta (que indica el nivel máximo de variabilidad observada), y el rango (que es la distancia a partir de la cual las mediciones en diferentes puntos dejan de estar correlacionadas). Se utilizaron tres tipos de variogramas: esférico, exponencial y gaussiano, seleccionando el modelo óptimo mediante el criterio de Akaike (Burnham and Anderson 2002). La interpolación abarcó las 86 estaciones meteorológicas, entre 65° y 75° de longitud oeste y 40° y 55° de latitud sur, utilizando una malla de celdas de 14x14 km. Cada imagen fue recortada por el límite provincial y se clasificaron los píxeles en categorías (Tabla 2). Se calcularon

los porcentajes de superficie afectada por las distintas categorías, tanto a nivel provincial como por área ecológica. Todo el análisis estadístico se realizó usando el software R. Para la construcción final de los mapas se usó en el QGIS. El esquema metodológico se presenta en la Figura 2.

### RESULTADOS

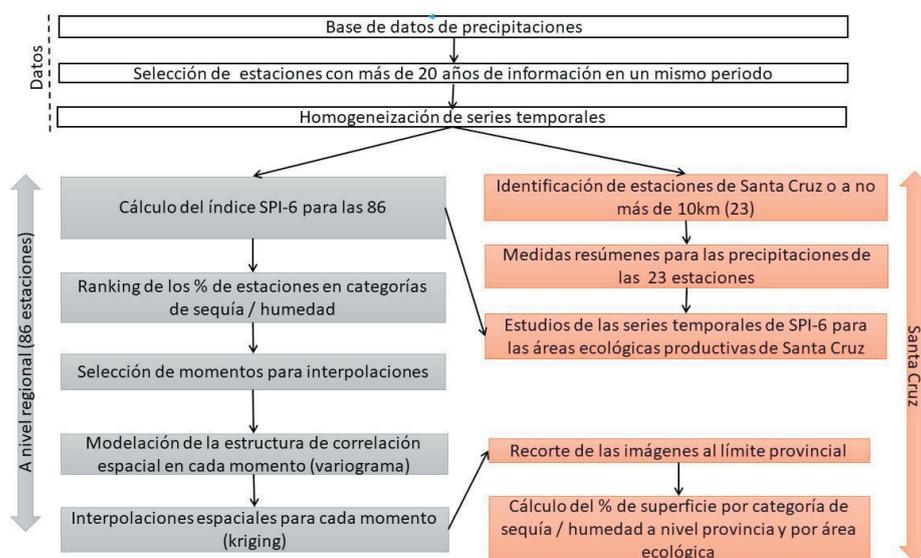
La Figura 3 muestra las medidas resúmenes de la precipitación para las 23 estaciones (Tabla 1) en las áreas ecológicas de Santa Cruz. El Complejo Andino registró la mayor precipitación acumulada anual (404 mm), con un máximo de 646 mm en 2015 y un mínimo de 259 para 2016. La Estepa Magallánica Húmeda presentó una precipitación media anual de 263 mm, con un máximo en 2003 (404 mm) y un mínimo en 2010 (153 mm); la Estepa Magallánica Seca presentó un máximo en 2002 (365 mm) y un mínimo en 1999 (162 mm), siendo la media anual de 241 mm. Las precipitaciones medias anuales para la Meseta Central, el Matorral de Mata Negra y las Sierras y Mesetas Occidentales no superaron los 200 mm.

Se elaboró un ranking de los principales momentos de sequía y humedad (Tabla 3), mostrando el porcentaje de las 86 estaciones que registraron valores de SPI-6 ordenados por intensidad. Para la representación espacial de la sequía, se seleccionaron los meses de noviembre de 1996, 1997 y 1998, que presentan una secuencia de años con condiciones secas

**Tabla 2.** Categorización del índice SPI según rangos de valores (McKee et al. 1993).

**Table 2.** Categorization of the SPI index according to value ranges (McKee et al. 1993).

Rangos	Clasificación
< -2	Extremadamente seco
(-2.0, -1.5)	Severamente seco
(-1.5,-1.0)	Moderadamente seco
(-1.0, 1.0)	Normal o aproximadamente normal
(1.0, 1.5)	Moderadamente húmedo
(1.5, 2.0)	Muy húmedo
≥ 2	Extremadamente húmedo



**Figura 2.** Esquema del diseño metodológico.  
**Figure 2.** Methodological design diagram.

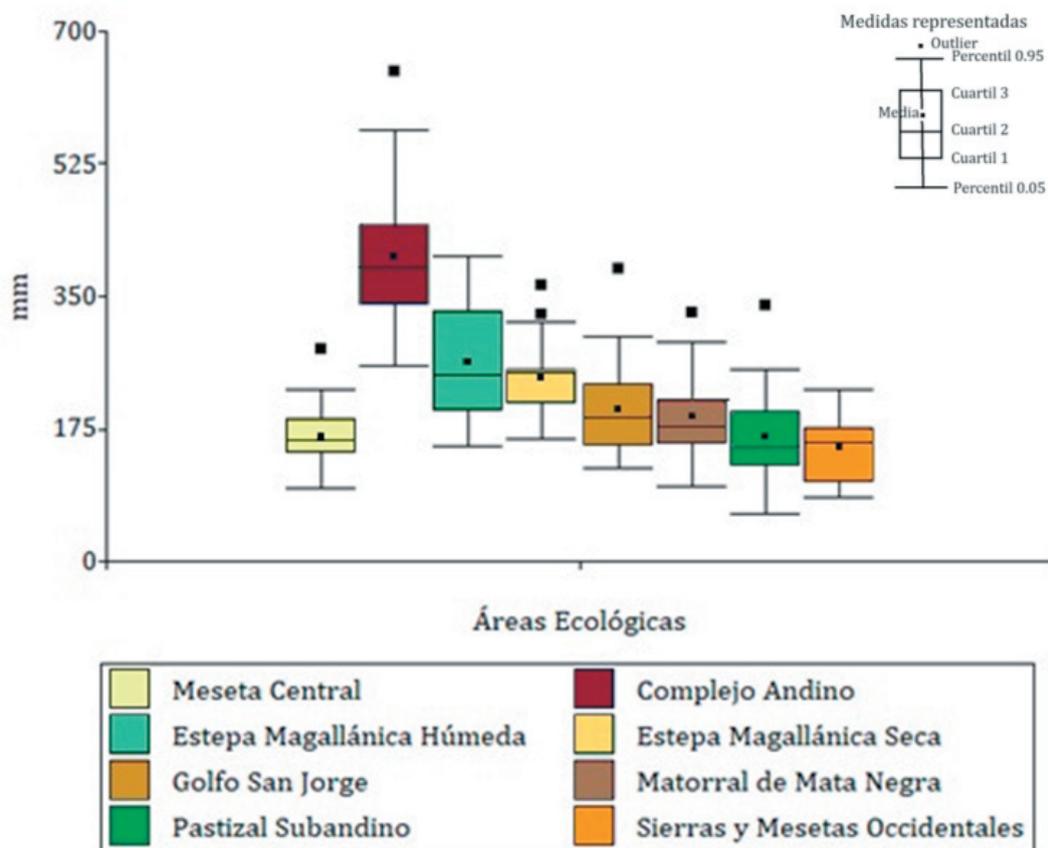
**Tabla 3.** Ranking (%) de los primeros 14 momentos en que las 86 estaciones presentaron categorías de sequía/humedad ordenadas por intensidad del evento.

**Table 3.** Ranking (%) of the first 14 instances when the 86 stations presented drought/wetness categories, ordered by event intensity.

Sequía				Humedad			
Año	Mes	<-1	<-1.5	Año	Mes	>1	>1.5
2016	6	75.76	61.62	2003*	1	58.59	39.39
2016	5	66.67	53.54	2002*	12	54.55	37.37
2016	7	67.68	51.52	2003*	2	55.56	36.36
2016	8	62.63	45.45	2001	3	48.48	28.28
2016*	9	63.64	45.45	2003	3	45.45	23.23
2016*	4	63.64	40.40	1997*	11	38.38	22.22
2016	10	57.58	39.39	2002	10	40.40	22.22
2016	3	61.62	38.38	2002	11	40.40	22.22
2016	2	55.56	35.35	2001	5	32.32	20.20
2016*	11	37.37	25.25	2015	8	37.37	20.20
1996*	11	40.40	25.25	2001	2	48.48	20.20
2002	1	38.38	24.24	1998	12	27.27	18.18
2007	8	39.39	23.23	2017	4	30.30	17.17
1998*	11	31.31	22.22	2003	10	36.36	17.17

\*Momentos seleccionados para interpolar

### Box plot de la precipitación acumulada anual



**Figura 3.** Precipitación registrada en las estaciones de cada área ecológica (Tabla 1) entre enero de 1996 y diciembre de 2018.

**Figure 3.** Precipitation recorded at stations in each ecological area (Table 1) between January 1996 and December 2018.

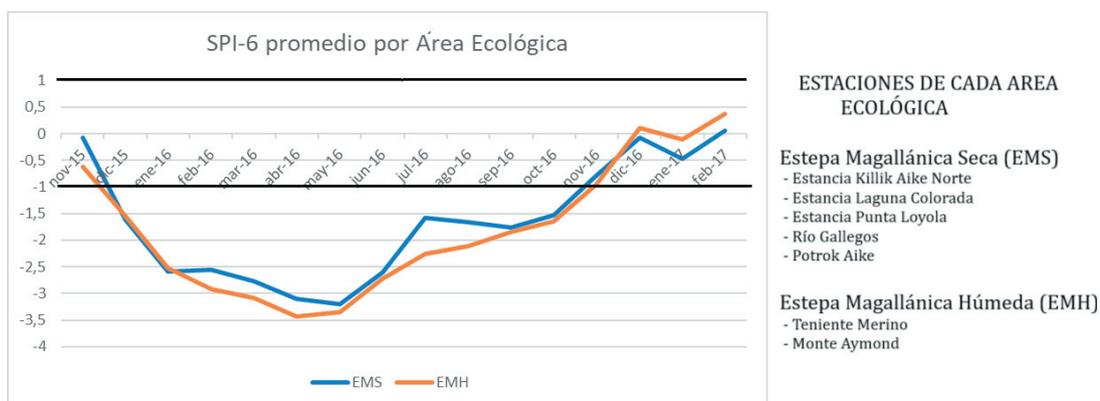
y húmedas consecutivas, con un 31% de las estaciones registrando sequía en esos meses. Para representar un período húmedo significativo, se eligió el verano de 2003 (diciembre de 2002 a febrero de 2003), cuando el 54% de las estaciones superaron un SPI-6 de 1, alcanzando un pico en enero. Finalmente, se incluyeron meses clave de 2016 (abril, septiembre y noviembre), un año marcado por una sequía prolongada, en el que en promedio el 55% de las estaciones mostraron sequía entre enero y octubre, impactando fuertemente en la productividad agropecuaria de la región.

La evolución temporal del SPI-6 para cada estación meteorológica detectó la sequía prolongada del año 2016. En la Figura 4 se muestra la intensidad y duración de esta sequía, para las Estepas Magallánicas (EMS y EMH). En la EMS, desde diciembre de 2015, el SPI-6 tomó valores inferiores a -1 en todas sus estaciones (Tabla 1), siendo la mayor intensidad en Potrok Aike (-3.440) en el mes de mayo. Río Gallegos y Potrok Aike fueron las primeras en presentar valores positivos del

índice en diciembre. Las estaciones de EMH (Tabla 1) también alcanzaron valores inferiores a -1 desde enero de 2016, superando valores positivos recién en diciembre. En Monte Aymond, el menor valor del índice se registró en abril (-3.435).

#### Interpolación kriging

El variograma esférico fue el que mejor modeló la correlación espacial, aunque para septiembre de 2016 también se encontró equivalencia con un variograma gaussiano. Para homogeneizar y garantizar la comparabilidad entre fechas, se utilizó la familia esférica en todas las imágenes. Los parámetros del variograma esférico utilizados en la construcción de la representación espacial de la sequía en cada momento se detallan en la Tabla 4. El efecto pepita mostró variaciones significativas a lo largo del tiempo, con un valor bajo en noviembre de 1996 (0.5291) y los valores más altos en septiembre de 2016 (1.1650 y 1.2295). El rango y la meseta también variaron a lo largo del tiempo,



**Figura 4.** Evolución temporal del SPI-6 entre noviembre 2015 y febrero 2017.

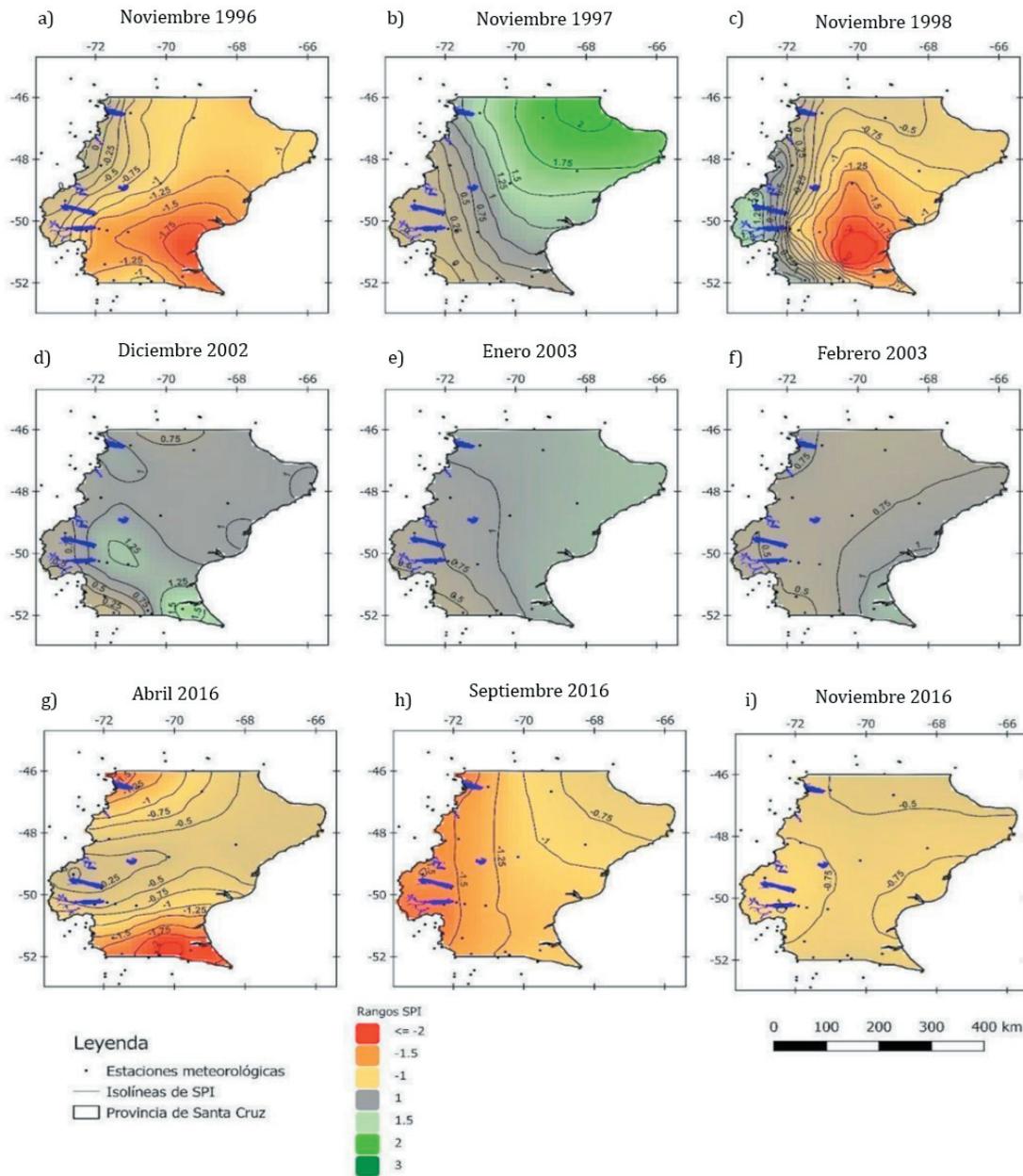
**Figure 4.** Temporal evolution of the SPI-6 between November 2015 and February 2017.

**Tabla 4.** Parámetros del variograma que modela la estructura de correlación espacial.

**Table 4.** Parameters of the variogram that models the spatial correlation structure.

Fecha	Familia	(Meseta;Rango)	Efecto pepita
Noviembre 1996	Esférico	(0.8549;5.6321)	0.5291
Noviembre 1997	Esférico	(0.5296;7.2328)	0.6856
Noviembre 1998	Esférico	(1.6178;2.7988)	0.5811
Diciembre 2002	Esférico	(0.3470;2.1197)	0.8168
Enero 2003	Esférico	(243.36;7710.96)	0.7431
Febrero 2003	Esférico	(578.89;12212.24)	0.6427
Abril 2016	Esférico	(0.5757;3.9171)	0.7635
Septiembre 2016	Esférico	(0.4289;8.1577)	1.1650
	(gaussiano)	(0.3754;4.2020)	1.2295
Noviembre 2016	Esférico	(0.3190;5.7772)	0.6727





**Figura 5.** Mapas de interpolaciones del SPI-6 para la provincia de Santa Cruz para las fechas seleccionadas.

**Figure 5.** Interpolation maps of SPI-6 for the province of Santa Cruz for the selected dates.

abril y septiembre, la Estepa Magallánica Seca y la Húmeda presentaron toda su superficie con valores de sequía, siendo más severa en abril (76% para EMH y 67% para EMS en la categoría severamente seco) y disminuyendo en septiembre (12% y 0% respectivamente para esa categoría). En septiembre, todo el Pastizal Subandino sufrió sequía, con un 54% en categoría severa.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se esperaba que las precipitaciones en el Pastizal Subandino fueran superiores, dadas las características climáticas típicas de la región. Sin embargo, los valores registrados resultaron inferiores a lo previsto. Es posible que esto obedezca a que se dispone de una sola estación meteorológica para el período

de estudio, ubicada en una zona de transición entre dos áreas ecológicas contrastantes: Pastizal Subandino y Meseta Central. Esto dificulta representar de manera precisa la variabilidad espacial de las precipitaciones, tal como se observó en estudios previos que subrayan la importancia de la distribución y la densidad de estaciones meteorológicas en la Patagonia (Almonacid et al. 2021).

Los resultados muestran una variabilidad temporal en los parámetros del variograma (Tabla 4), reflejando cambios en la estructura de la correlación espacial y la variabilidad no explicada a lo largo del tiempo. Las fluctuaciones en el efecto pepita sugieren tanto variaciones en la precisión de las mediciones, como heterogeneidad a pequeña escala, característica común en sistemas ecológicos con una estructura espacial compleja, como ha sido documentado por Afzali et al. (2016) y Sarker et al. (2021) en estudios de sequía a nivel local y regional. Estos cambios en la meseta y el rango indican que la estructura espacial de los datos es dinámica, influenciada por factores temporales, climáticos y geográficos que deben ser investigados más a fondo para comprender su impacto a largo plazo.

El análisis de septiembre de 2016 es particularmente interesante, ya que la compleja estructura espacial en este periodo fue modelada con éxito utilizando dos funciones de variogramas distintos. Esto sugiere una dinámica espacial más compleja comparada con otros periodos, posiblemente asociada a eventos climáticos anómalos o a factores geográficos locales. Este tipo de variabilidad subraya la necesidad de emplear enfoques múltiples para captar la compleja dinámica climática en Patagonia (Garreaud Salazar 2018).

La provincia experimentó un evento húmedo de diciembre del 2002 a febrero del 2003, que impactó en especial en la Meseta Central. Pero debido a sus características áridas, es esperable que la tasa de crecimiento compensatorio de la vegetación sea más lenta debido a limitaciones de recursos (Stuart-Haëntjens et al. 2018). Además, es la zona de mayor desertificación, con numerosos campos abandonados y desocupados (San Martino et al. 2022), y otras actividades económicas que limitan el uso del suelo para la ganadería (Andrade 2012).

Durante los noviembre analizados en este trabajo, se registraron sequías en 1996 y 1998, intercalando con un período húmedo en 1997.

Un patrón similar se observó en enero de 2016 y enero de 2017. Esta alternancia de eventos posiblemente actúe como un amortiguador para los pastizales, según sugiere Oesterheld et al. (2001), disminuyendo el impacto negativo sobre la producción animal.

En el año 2016, la Patagonia Oeste experimentó una sequía extrema durante el verano y otoño (Garreaud Salazar 2018). Sin embargo, en la provincia de Santa Cruz, el impacto más significativo fue en el sector sur durante el otoño, donde las áreas más productivas de la provincia (Estepas Magallánicas Húmeda y Seca) fueron afectadas por sequías extremas en gran parte de su superficie, por lo que el impacto en el ambiente se espera tenga consecuencias más importantes (Spinoni et al. 2019). La intensidad de la sequía disminuyó en el tiempo (Figura 4), pero su persistencia fue evidente incluso en noviembre, cuando los valores de SPI se situaban dentro del rango normal. Sin embargo, para considerar el fin de un evento de sequía, es necesario que el SPI supere el valor de cero (Sarker et al. 2021).

Este estudio mostró una significativa variabilidad espacio-temporal en el déficit de agua en la región durante el período analizado, lo cual resulta ser crucial para planificar y gestionar los recursos; en particular, en la ganadería extensiva, que depende de forma directa de la productividad de los pastizales. Las sequías intensas y prolongadas reducen la disponibilidad forrajera, lo que disminuye el índice de preñez, el peso de los corderos, la señalada y, por lo tanto, la rentabilidad de los establecimientos ganaderos. En estos casos, los productores suelen solicitar apoyo económico, tras la declaración de emergencia agropecuaria. Estas declaraciones, a pesar de estar muchas veces delimitadas por fronteras administrativas, muestran una notable coincidencia con los patrones de sequía identificados mediante las interpolaciones del SPI-6 presentadas en este trabajo. El impacto de las sequías en las actividades económicas, y en particular en la ganadería, varía en función de la capacidad de carga de los campos. En el departamento de Güer Aike, que alberga la mayor concentración de ganado ovino de la provincia (Estepas Magallánicas Seca y Húmeda), se observaron pérdidas en la producción ganadera durante eventos de sequía prolongada o extrema (Roa et al. 2024). Aunque la sequía es uno de los factores que pueden contribuir a estas pérdidas, es necesario considerar que la mortalidad en

la región de la Patagonia resulta de una combinación compleja de factores, incluyendo la depredación, fenómenos meteorológicos adversos y prácticas de manejo del ganado. Lo anterior incide en la reducción de las poblaciones ganaderas y de la fauna silvestre, como el guanaco, cuya disminución durante estos eventos ha sido documentada (Rey et al. 2012). Sin embargo, la falta de estudios cuantitativos que analicen y discriminen las causas específicas de la mortalidad limita la capacidad de establecer la magnitud exacta del impacto de la sequía en comparación con otros factores (Roa et al. 2024).

En años recientes, diversos centros han comenzado a proporcionar información en línea sobre fenómenos meteorológicos y climáticos. A nivel global, destaca la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, [drought.gov/international](https://drought.gov/international)), mientras que a nivel regional, el Sistema de Información sobre Sequías para el sur de Sudamérica (SISSA, [sissa.crc-sas.org](https://sissa.crc-sas.org)). A nivel nacional, la Mesa Nacional de Monitoreo de Sequías (MNMS, [magyp.gov.ar/sitio/areas/d\\_eda/sequia](https://magyp.gov.ar/sitio/areas/d_eda/sequia)) también ofrece datos relevantes. Si bien los resultados de nuestro estudio coinciden en gran medida con los obtenidos por SISSA y MNMS en términos de las áreas afectadas a escala macro, la precisión y el detalle en la representación espacial alcanzados en este trabajo son superiores debido a que usan un número mayor de puntos de datos en la provincia de Santa Cruz; esto permite capturar

mejor las variaciones locales y su aplicación a escala predio para la toma de decisiones. La integración de múltiples fuentes de datos y la aplicación de metodologías geoestadísticas avanzadas (kriging) permitió mejorar significativamente la precisión y la utilidad de la información disponible en la provincia.

Aunque el SPI-6 fue útil para detectar y monitorear sequías basadas en datos de precipitación, incorporar variables adicionales podría capturar mejor los impactos producidos por la sequía. El índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI), que incluye la evapotranspiración calculada con datos de temperatura, no pudo implementarse debido a la falta de registros en muchas estaciones. Esto resalta la importancia de considerar otras variables climáticas y ambientales, como índices de vegetación y datos espectrales, para obtener una evaluación más completa de los impactos de la sequía. Incorporar estas variables podría enriquecer significativamente el análisis y mejorar la precisión del seguimiento de la sequía y sus efectos sobre la vegetación. Considerando que en la Patagonia los eventos de sequía son cada vez más frecuentes y severos (Spinoni et al. 2019), resulta esencial planificar el uso de los recursos naturales, particularmente los pastizales y el agua, como una estrategia de adaptación al cambio climático. Un enfoque más integral que combine múltiples variables podría ser clave para reducir los impactos de la sequía de manera más efectiva.

## REFERENCIAS

- Afzali, A., H. Keshtkar, S. Pakzad, N. Moazami, E. Farahani, and A. Golpaygani. 2016. Spatio-Temporal Analysis of Drought Severity Using Drought Indices and Deterministic and Geostatistical Methods (Case Study: Zayandehroud River Basin). *Desert* 21:165-172. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2016.60325>.
- Aguilar Lome, J. 2021. Identificación temprana y evaluación de procesos de degradación de tierras y sequía empleando datos-imágenes de satélite. Doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Unidad de Posgrado, Lima- Perú. Pp. 123. URL: [tinyurl.com/4537dkuu](https://tinyurl.com/4537dkuu).
- Almonacid, L., N. Pessacg, B. G. Diaz, O. Bonfili, and P. L. Peri. 2021a. Nueva base de datos reticulada de precipitación para la provincia de Santa Cruz, Argentina. *Meteorológica* 46:27-54. <https://doi.org/10.24215/1850468Xe007>.
- Almonacid, L., N. Pessacg, B. G. Diaz, O. Bonfili, and P. L. Peri. 2021b. Nueva base de datos reticulada de la temperatura para la provincia de Santa Cruz, Argentina. *Meteorológica* 47:1-12. <https://doi.org/10.24215/1850468Xe010>.
- Andrade, L. D. 2012. Producción y ambiente en la Meseta Central de Santa Cruz, Patagonia austral en Argentina: desencadenantes e impacto de la desertificación. *Ambiente y Desarrollo* 16:73-92. URL: [tinyurl.com/4njh5rba](https://tinyurl.com/4njh5rba).
- Bianchi, E., R. Villalba, M. Viale, F. Couvreur, and R. Marticorena. 2016. New precipitation and temperature grids for northern Patagonia: Advances in relation to global climate grids. *Journal of Meteorological Research* 30:38-52. <https://doi.org/10.1007/s13351-015-5058-y>.
- Bondaruk, V. F., G. R. Oñatibia, R. J. Fernández, W. Agüero, L. Blanco, M. Bruschetti, et al. 2022. Forage provision is more affected by droughts in arid and semi-arid than in mesic rangelands. *Journal of Applied Ecology* 59:2404-2418. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14243>.
- Burnham, K. P., and D. R. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference: A practical information-theoretic approach (2nd ed.). Springer-Verlag.
- Cieza Coronel, L. G. 2019. Modelación de sequías hidrometeorológicas en cuencas del altiplano peruano. Doctorado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima- Perú. Pp. 149. URL: [tinyurl.com/yck9yp76](https://tinyurl.com/yck9yp76).
- Cook, B. I., J. E. Smerdon, R. Seager, and S. Coats. 2014. Global warming and 21st century drying. *Climate Dynamics* 43:2607-2627. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2075-y>.

- Cressie, N. 1993. *Statistics for Spatial Data*. John Wiley and Sons, New York. <https://doi.org/10.1002/9781119115151>.
- Freitas Santos, M. A., V. S. de Oliveira Costa, and J. D. Galvínco. 2021. Secas meteorológica, agrícola, hidrológica no município de Serrinha-BA. *Revista Brasileira de Climatologia* 28:652-670. URL: [tinyurl.com/mr2vb9k6](https://tinyurl.com/mr2vb9k6).
- Garreaud, R. D., C. Álvarez-Garretón, J. Barichivich, J. P. Boisier, D. Christie, M. Galleguillos, et al. 2017. The 2010-2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences* 21:6307-6327. <https://doi.org/10.5194/hess-21-6307-2017>.
- Garreaud Salazar, R. 2018. Record-breaking climate anomalies lead to severe drought and environmental disruption in western Patagonia in 2016. *Climate Research*. <https://doi.org/10.3354/cr01505>.
- Guttman, N. B. 1998. Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *Journal of the American Water Resources Association* 34:113-121. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05964.x>.
- Guttman, N. B. 1999. Accepting the Standardized Precipitation Index: A Calculation Algorithm. *Journal of the American Water Resources Association* 35:311-322. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x>.
- Hayes, M., M. Svoboda, B. Wardlow, M. Anderson, and F. Kogan. 2012. *Drought Monitoring: Historical and Current Perspectives*. Remote Sensing of Drought: Innovative Monitoring Approaches. URL: [tinyurl.com/5fedhvwv](https://tinyurl.com/5fedhvwv).
- Hepp K., C., C. Reyes S., and R. Muñoz V. 2018. Análisis de datos históricos de cinco estaciones meteorológicas de la región de Aysén (Patagonia). Page 200. INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro de Investigación INIA Tamel Aike, Coyhaique, Aysén-Patagonia, Chile. URL: [biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6686](https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6686).
- IPCC. 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pp. XX *en* V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, et al (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.
- Maglione, D., J. Soto, J. L. Sáenz, and O. Bonfili. 2019. Utilización de diferentes metodologías para la construcción de un mapa de precipitación acumulada en la Provincia de Santa Cruz. *Informes Científicos Técnicos - UNPA* 11:154-169. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v11i1.779>.
- Maglione, D., J. Soto, P. Paredes, Sandoval, O. Bonfili, J. L. Sáenz, S. Luna, and G. Humano. 2022a. Análisis de sequía para la ciudad de Río Gallegos (1964-2020). Pp. 91-99 *en* C. Ampuero, M. Norambuena and Cristhian Gonzáñez (comps.). Libro de resúmenes de las II Jornadas de Geografía de la UNPA UARG - UNPA, Río Gallegos.
- Maglione, D., J. Soto, O. Bonfili, and J. L. Sáenz. 2022b. Metodología estadística para el análisis de variables climatológicas en la provincia de Santa Cruz. Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Río Gallegos. URL: [tinyurl.com/59ku88ah](https://tinyurl.com/59ku88ah).
- Matailo-Ramirez, L. M., Á. E. Luna-Romero, A. R. Cervantes Alava, and F. Y. Vega Jaramillo. 2019. Sequías: efecto sobre los recursos naturales y el desarrollo sostenible. *Agroecosistemas* 7:154-162. URL: [aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/331](https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/331).
- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. 8th Conference on Applied Climatology. Pp. 179-187. Anaheim, California. URL: [tinyurl.com/42ram9fm](https://tinyurl.com/42ram9fm).
- Medina R., R. D., E. C. Montoya R., and A. Jaramillo R. 2008. Estimación estadística de valores faltantes en series históricas de lluvia. *Cenicafé* 59:260-273. URL: [biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/229](https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/229).
- Miller, A. 1976. The Climate of Chile. Pp. 113-145 *en* W. Schwerdtfeger (ed.). *World Survey of Climatology*, Vol. 12. *Climates of Central and South America*, Elsevier, Amsterdam.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAyDS). 2020. Reporte final sobre las bases para una estrategia nacional de adaptación y mitigación de los efectos de la sequía en la República Argentina. Pp. 206. Dirección Nacional de Planificación y Ordenamiento Ambiental del Territorio. Secretaría de Política Ambiental en Recursos Naturales, Buenos Aires, Argentina. URL: [tinyurl.com/yw9fas3u](https://tinyurl.com/yw9fas3u).
- Morid, S., V. Smakhtin, and M. Moghaddasi. 2006. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal of Climatology* 26:971-985. <https://doi.org/10.1002/joc.1264>.
- Naumann, G., G. Podesta, J. Marengo, J. Luterbacher, D. Bavera, J. Navarro, C. Arias Muñoz, et al. 2023. Extreme and long-term drought in the La Plata Basin: event evolution and impact assessment until September 2022. JRC Technical Report, Publications Office of the European Union, Luxembourg. <https://doi.org/10.2760/62557>.
- Noy-Meir, I. 1973. Desert Ecosystems: Environment and Producers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 25-51. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000325>.
- Oesterheld, M., J. Loreti, M. Semmartin, and O. E. Sala. 2001. Inter-Annual Variation in Primary Production of a Semi-Arid Grassland Related to Previous-Year Production. *Journal of Vegetation Science* 12:137-142. <https://doi.org/10.2307/3236681>.
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. 2021. GAR Informe Especial sobre la Sequía 2021: Resumen para responsables de políticas. Ginebra. URL: [tinyurl.com/2mb2cp4r](https://tinyurl.com/2mb2cp4r).
- Oliva, G., P. Paredes, D. Ferrante, C. Cepeda, and J. Rabinovich. 2019. Remotely sensed primary productivity shows that domestic and native herbivores combined are overgrazing Patagonia. *Journal of Applied Ecology* 56:1575-1584. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13408>.
- Oliva, G., L. González, P. Rial, and E. Livraghi. 2001. Cap. 2. Áreas ecológicas de Santa Cruz y Tierra del Fuego. Pp. 38-80 *en* P. Borrelli and G. Oliva (eds.). *Ganadería ovina sustentable en la Patagonia Austral*. Tecnología de Manejo Extensivo. INTA, Buenos Aires. URL: [tinyurl.com/4dsf7vs8](https://tinyurl.com/4dsf7vs8).
- Organización Meteorológica Mundial and Asociación Mundial para el Agua. 2016. *Manual de indicadores e índices de sequía*. (M. Svoboda and B. A. Fuchs, Eds.). Ginebra. URL: [tinyurl.com/38aw4duy](https://tinyurl.com/38aw4duy).
- Ortega Gaucin, D. 2023. Impactos de la sequía en el campo y en las ciudades. *Impluvium* 9:7-13. URL: [tinyurl.com/](https://tinyurl.com/)

- 48rutzrk.
- Ortiz, R., A. Núñez, C. Cathala, A. R. Ríos, and M. Nalesso. 2021. El agua en tiempos de sequía II: lecciones de sequías alrededor del mundo. IDB - TN - 2246. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Administración de Riesgos por Desastres. XII. Series. <https://doi.org/10.18235/0003425>.
- Paredes, P., D. Maglione, M. Sandoval, J. Soto, O. Bonfili, and G. Humano. 2022. Relación entre índices de sequía usando datos meteorológicos y satelitales, en la Estepa Magallánica Seca (Patagonia). *Revista de Investigación en Modelos Financieros* 1:45-62. [https://doi.org/10.56503/rimf/Vol.1\(2022\)/2338](https://doi.org/10.56503/rimf/Vol.1(2022)/2338).
- Paruelo, J. M., A. Beltrán, E. Jobbágy, O. E. Sala, and R. A. Golluscio. 1998. The climate of Patagonia: general patterns and controls on biotic processes. *Ecología Austral* 8:85-101. URL: [tinyurl.com/2ysk6n7s](http://tinyurl.com/2ysk6n7s).
- Paruelo, J. M., E. Jobbágy, and O. E. Sala. 2001. Current distribution of ecosystem functional types in temperate South America. *Ecosystems* 4:683-698. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0037-9>.
- Penalba, O. C., and J. A. Rivera. 2015. Comparación de seis índices para el monitoreo de sequías meteorológicas en el sur de Sudamérica. *Meteorologica* 40:33-57. URL: [ri.conicet.gov.ar/handle/11336/73128](http://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/73128).
- Podestá, G., V. Silva, C. Saulo, J. Báez, R. Pulwarty, R. Stefanski, and R. Heim. 2018. Towards a Drought Information System for South America A Strategic Plan. Technical Report CRC-SAS 2018-001. URL: [tinyurl.com/47h56zks](http://tinyurl.com/47h56zks).
- Podestá, G., M. de los M. Skansi, N. Herrera, and H. Veiga. 2020. Descripción de índices para el monitoreo de sequía meteorológica implementados por el Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur. Reporte Técnico CRC-SAS 2015-001. URL: [tinyurl.com/mryatnpr](http://tinyurl.com/mryatnpr).
- Rey, A., A. J. Novaro, M. Sahores, and M. L. Guichón. 2012. Demographic effects of live shearing on a guanaco population. *Small Ruminant* 107:92-100. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.05.009>.
- Roa, M., R. Bonil, A. G. Schorr, and G. Seeber. 2024. ¿Qué estrategias y tecnologías utilizaron los ganaderos de la provincia de Santa Cruz para atravesar la última sequía? Informe Técnico, INTA. EEA Santa Cruz, Río Gallegos. URL: [tinyurl.com/ek626zxc](http://tinyurl.com/ek626zxc).
- Sala, O. E., W. J. Parton, L. A. Joyce, and W. K. Lauenroth. 1988. Primary Production of the Central Grassland Region of the United States. *Ecology* 69:40-45. <https://doi.org/10.2307/1943158>.
- San Martino, L., P. N. Paredes, D. Ferrante, P. L. Peri, G. E. Oliva, V. B. Gargaglione, et al. 2022. Situación de los establecimientos ganaderos en Santa Cruz para el año 2021. Informe técnico, EEA Santa Cruz, INTA. URL: [tinyurl.com/2srntpmk](http://tinyurl.com/2srntpmk).
- Sánchez, S., R. E. Zanvetto, M. P. Grilli, and A. C. Ravelo. 2021. Impacto de la sequía en los incendios forestales en las Sierras de Córdoba, Argentina. *Asociación Argentina de Agrometeorología. Revista Argentina de Agrometeorología* 12:37-45. URL: [ri.conicet.gov.ar/handle/11336/157645](http://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/157645).
- Sarker, M. H., S. Ahmed, M. S. Alam, D. Begum, T. N. Kabir, R. Jahan, M. M.-U. Haq, and S. T. D. Kabir. 2021. Development and Forecasting Drought Indices Using SPI (Standardized Precipitation Index) for Local Level Agricultural Water Management. *Atmospheric and Climate Sciences* 11:32-52. <https://doi.org/10.4236/acs.2021.111003>.
- Scarpati, O. E., and A. D. Capriolo. 2013. Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal. *Investigaciones Geográficas* 38. <https://doi.org/10.14350/rig.31903>.
- Scordo, F., M. C. Piccolo, and G. M. E. Perillo. 2018. Aplicación del Índice de Precipitación Evapotranspiración Estandarizada (SPEI) para identificar periodos húmedos y secos en la Patagonia andina y extra andina Argentina. *Geosciences = Geociências* 37:423-436. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v37i2.12241>.
- Spinoni, J., P. Barbosa, A. De Jager, N. McCormick, G. Naumann, J. V. Vogt, D. Magni, D. Masante, and M. Mazzeschi. 2019. A new global database of meteorological drought events from 1951 to 2016. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 22:100593. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100593>.
- Stuart-Haëntjens, E., H. J. De Boeck, N. P. Lemoine, P. Mänd, G. Kröel-Dulay, I. K. Schmidt, A. Jentsch, et al. 2018. Mean annual precipitation predicts primary production resistance and resilience to extreme drought. *Science of The Total Environment* 636:360-366. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.290>.
- Tilman, D., and A. El Haddi. 1992. Drought and biodiversity in Grasslands. *Oecologia* 89:257-264. <https://doi.org/10.1007/BF00317226>.
- Vicente-Serrano, S. M., O. Chura, J. I. López-Moreno, C. Azorin-Molina, A. Sánchez-Lorenzo, E. Aguilar, et al. 2015. Spatio-temporal variability of droughts in Bolivia: 1955–2012. *International Journal of Climatology* 35:3024-3040. <https://doi.org/10.1002/joc.4190>.
- Villalba, R., A. Lara, J. A. Boninsegna, M. Masiokas, S. Delgado, J. C. Aravena, F. A. Roig, A. Schmelter, A. Wolodarsky, and A. Ripalta. 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. <https://doi.org/10.1023/A:1024452701153>.
- Wang, Q., Y. Yang, Y. Liu, L. Tong, Q. Zhang, and J. Li. 2019. Assessing the Impacts of Drought on Grassland Net Primary Production at the Global Scale. *Scientific Reports* 9:14041. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50584-4>.
- Wilhite, D. A., and M. H. Glantz. 1985. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International* 10:111-120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>.
- World Meteorological Organization. 2012. Standardized Precipitation Index: User Guide. Page 24. Geneva. URL: [tinyurl.com/32e8atca](http://tinyurl.com/32e8atca).
- Wu, H., M. D. Svoboda, M. J. Hayes, D. A. Wilhite, and F. Wen. 2007. Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology* 27:65-79. <https://doi.org/10.1002/joc.1371>.