

TENDENCIAS RECIENTES EN LAS LLUVIAS DE LA PATAGONIA AUSTRAL

Díaz Boris G.¹, Almonacid Leandro R.², Pessacg Natalia L.³, Colombani Erica N.⁴, González Javier⁴, Monserrat Cecilia⁵, Peri Pablo L.⁶,

¹ INTA EEA Santa Cruz – Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA). Mahatma Gandhi 1322 (9400) Río Gallegos, Santa Cruz (Argentina). Tel: +54 9 02966 442305/306. Correo-e: diaz.boris@inta.gob.ar; ² Convenio Municipalidad de Río Gallegos – INTA CR Patagonia Sur, almonacid.leandro@inta.gob.ar; ³ IPEEC – CCT – CONICET – CENPAT (Puerto Madryn), pessacg@cenpat-conicet.gob.ar; ⁴ INTA EEA Chubut, colombani.eric@inta.gob.ar; ⁵ INTA EEA Santa Cruz, monserrat.mariac@inta.gob.ar; ⁶ INTA – UNPA – CONICET, peri.pablo@inta.gob.ar.

Introducción

El conocimiento de la dinámica espacial y temporal de las lluvias, sus tendencias y patrones, es central para la comprensión del clima y de la hidrología y, en consecuencia, para la planificación hidrológica y agropecuaria (Almonacid *et al.*, 2021). En diversos lugares del mundo, y en Patagonia en particular, se describen recurrentes fenómenos anómalos en relación con las precipitaciones como, entre otros, el aumento en la frecuencia de eventos de sequía, tendencias decrecientes en las lluvias acumuladas y la alteración de sus patrones de distribución espacio-temporal. Sin embargo, en regiones como Santa Cruz y sur de Chubut, el conocimiento aún es escaso como para cuantificar estos fenómenos o aún, describir apropiadamente el significado y magnitud de sus cambios.

La región Patagónica está bajo la influencia del cinturón de viento del oeste del Hemisferio Sur, siendo al sur de 40°S notablemente persistentes durante todo el año (Villalba *et al.*, 2003). La interacción de masas de aire húmedo provenientes del Pacífico con la cordillera de Los Andes determina un fuerte gradiente oeste – este de precipitación a lo largo de la región alcanzando un máximo estimado cerca de la cresta andina, con valores entre 2.000-4.000 mm/año (Garreaud, 2009; Bianchi *et al.*, 2016) hasta más de 9.000 mm/año en el Campo de Hielo Sur (Schwikowski *et al.*, 2013; Sauter, 2019). En cambio, la mayor parte de la estepa patagónica, al este de la cordillera, recibe menos de 200 mm/año (Colombani and Arbuties, 2008; Bianchi *et al.*, 2016; Almonacid *et al.*, 2021).

El objetivo del presente trabajo consiste en modelizar tendencias en las láminas de lluvia acumuladas, anuales y estacionales en la Patagonia Austral, y evaluar su significancia, en el período de 26 años comprendido entre 1995 y 2021.

Materiales y Métodos

Se trabajó con 99 series de datos de lluvias mensuales disponibles en el Banco de Datos Hidrometeorológicos regional (Monserrat *et al.*, 2016) que cubren las 14 grandes regiones hidrográficas (RH) propuestas en la Patagonia Austral (Tabla 1). La base de datos se actualiza periódicamente con registros procedentes de (i) la Dirección General de Aguas (DGA) de la República de Chile, (ii) el SMN de la República Argentina, (iii) la red de estaciones meteorológicas de INTA a través del proyecto SIPAS (Sistema de Información para la Patagonia Sur), y una (iv) red de estaciones particulares, no convencionales. Los datos seleccionados cumplen una secuencia temporal continua entre enero de 1995 y diciembre de 2021. Se les realizó un control de calidad y homogeneización, control de valores atípicos y modelización de datos faltantes siguiendo procedimientos de WMO (Stěpánek *et al.*, 2009).

Para la detección de tendencias en la precipitación y el análisis de su significancia se implementó el test no paramétrico de Mann–Kendall (MK) y estimación de la pendiente de Sen (S), (Bayazit and Önöz, 2009; Collaud Coen *et al.*, 2020). Para limitar la incertidumbre y sesgos ocasionados por efecto de la

autocorrelación, se sometieron los registros a la prueba de Durbin–Watson. Cuando ésta se encontró, se aplicó la técnica de preblaqueo (PB) de von Storch (1995) y Kulkarni and von Storch (1995), para satisfacer así requerimientos de independencia de datos (Bayazit and Önöz, 2009; Collaud Coen *et al.*, 2020).

A partir del estimador S se cuantificó la tasa de cambio de las láminas de precipitación como la proporción de la variación de largo plazo, para diferentes eventos de interés (lluvias estacionales o anuales), entre los extremos de la serie temporal disponible de 26 años (1995 – 2021), (Khudri *et al.*, 2019), [1].

Tabla 1.- Zonificación y codificación hidrográfica de la Patagonia Austral (Díaz *et al.*, 2021).

SISTEMA	DERRAME	RH	DOMINIO	AREA
Río Simpson	Pacífico	01	Binacional	12.182,6
Río Senguer	Endorreico	02	Argentina	50.672,9
Río Chubut *	Atlántico	03	Argentina	63.446,5
Golfo San Jorge	Atlántico	04	Argentina	30.455,7
Lago Buenos Aires	Pacífico	05	Binacional	28.475,7
Río Deseado	Atlántico	06	Argentina	33.855,2
Planicie Central	Endorreico	07	Argentina	40.936,7
Lago San Martín	Pacífico	08	Binacional	14.047,6
Río Santa Cruz	Atlántico	09	Argentina	29.291,0
Río Seco	Atlántico	10	Argentina	23.910,3
Río Vizcachas (Serrano)	Pacífico	11	Binacional	8.693,3
Río Coyle	Atlántico	12	Argentina	29.424,0
Río Gallegos	Atlántico	13	Binacional	19.351,4
Río Chico (Central)	Atlántico	14	Argentina	34.141,8

$$I_{\%95-21} = \frac{(S \cdot Tl)}{P_{1995}} * 100 \quad [1]$$

Donde: S, estimador de pendiente de Sen; Tl, longitud del registro (26 años); P₁₉₉₅, lluvia bruta en 1995; I_{%95-21}, expresión porcentual de la variación de lluvia entre extremos del período, pudiendo ser decrecientes (negativos) o crecientes (positivos).

Para lograr una representación espacial continua sobre el territorio, se realizó una interpolación espacial mediante Kriging Ordinario, uno de los más robustos y comúnmente utilizados para predecir el comportamiento de variables en regiones con escasez de datos (Webster and Oliver, 2007; Berndt and Haberlandt, 2018). A fin de facilitar la interpretación y discusión de resultados de las tendencias calculadas, se implementó una escala de colores y descriptores (Tabla 2).

Resultados y Discusión

Los resultados preliminares evidencian una gran heterogeneidad espacial de las tendencias de precipitaciones en las diferentes regiones hidrográficas de la Patagonia Austral, con un ligero predominio decreciente, tanto para las láminas anuales como en las estacionales (Tabla 3). La tendencia promedio regional para las lluvias anuales resultó de -5,7% en 26 años, con un rango de -0,6% a -24,2% en RH con desarrollo mediterráneo y costero, mientras que en las RH de cordillera sus tendencias anuales

resultaron positivas, entre +4,9% a +20,7%. Estos resultados muestran comportamientos opuestos a los reportados por otros autores para la región, si bien trabajando con datos procedentes de modelizaciones globales no validadas aún en Patagonia Austral (Oliva *et al.*, 2016) o bien con registros de escasas y dispersas estaciones (Oruezabal *et al.*, 2022).

Tabla 2.- Interpretación de resultados de tendencias de la precipitación.

-100 a -50%	Moderada (-)	50 a 100%	Moderada (+)
-50 a -25%	Ligera (-)	100 a 150%	Importante (+)
-25 a 25%	No significativa	> 150%	Significativa (+)
25 a 50%	Ligera (+)		

Los patrones intraanuales resultaron tan heterogéneos como los interanuales, en las diferentes RH, con un predominio de tendencias positivas en las láminas acumuladas de verano y negativas durante primavera. A nivel regional, el promedio en éstas se encontró en +50,9% y -9,1%, respectivamente. Un análisis desagregado en las diferentes RH evidencia tendencias negativas críticas en algunas zonas que comienzan a condicionar, en años recientes, a algunas actividades económicas relevantes para la región, como la ganadería ovina extensiva debido al impacto negativo de la escasez progresiva de lluvias en la productividad primaria neta de pastizales (RH 03, 04, 13 y 14). Sin embargo, la variabilidad interanual resulta lo suficientemente grande, a la escala de análisis planteada, que se dificulta la detección de significancia en sus valores.

Tabla 3.- Tendencias (crecientes o decrecientes) en la dinámica de lluvias anuales y estacionales entre 1995 – 2021, expresado como porcentaje respecto al inicio de cada serie. *Dónde:* A, es la tendencia anual; V, de verano; O, de otoño; I, de invierno; P, de primavera; (*) solo considera el sector argentino; (**) solo la Subregión Hidrográfica (SH) del río Chico

	A	V	O	I	P
RH01 *	+20,7	+19,8	+42,4	+22,1	+40,9
RH02	-11,1	-8,7	-15,5	+17,9	-25,7
RH03 **	-24,2	-5,8	-28,4	+31,1	-60,4
RH04	-11,4	+10,2	-7,6	-52,7	-11,6
RH05 *	-19,2	+47,8	-31,8	-13,0	-19,2
RH06	-4,8	+91,9	-6,2	-3,2	-4,8
RH07	-1,5	+203,0	+8,4	-19,9	-1,5
RH08 *	+11,4	+47,5	-11,8	+39,4	+11,8
RH09	+4,9	+3,4	-6,1	-4,8	+4,9
RH10	-2,3	+104,7	+6,4	-19,6	-2,3
RH11 *	+8,9	+17,1	+31,0	+7,9	+8,9
RH12	-0,6	+12,2	+7,8	-25,2	-0,6
RH13	-13,7	-10,6	-11,5	+7,0	-13,7
RH14	-5,8	+47,3	-15,0	-15,7	-5,8
Promedio	-5,7	+50,9	-6,5	-8,7	-9,1

Conclusiones

Las tendencias observadas en las lluvias anuales y estacionales en las tres décadas recientes resultan heterogéneas en el sur continental de la Patagonia, sin correlaciones evidentes entre los diferentes períodos analizados. Si bien existe en la sociedad una creencia generalizada respecto a un progresivo deterioro de la oferta de lluvias de la región, no resulta posible confirmar por el momento que ello resulte generalizable y si, resulte necesario el planteo de análisis puntuales en el territorio para dimensionar los impactos posibles de un cambio en el comportamiento del fenómeno, más aún cuando de éstos se pretenda aproximar escenarios futuros posibles de disponibilidad de lluvias.

Referencias Bibliográficas

Almonacid, L., Pessacg, N., Diaz, B.G., Bonfilii, O. and Peri, P.L. (2021). “Nueva base de datos reticulada de precipitación para la provincia de Santa Cruz, Argentina”. *Meteorológica* Vol.46(2), 27-54.

Bayazit, M. and Önöz, B. (2009). “To prewhiten or not to prewhiten in trend analysis?” *Hydrological Sciences Journal*, 52:4, 611-624, DOI: 10.1623/hysj.52.4.611.

Berndt, C. and Haberlandt, U. (2018). “Spatial interpolation of climate variables in Northern Germany - Influence of temporal resolution and network density”. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 15: 184 - 202.

Bianchi, E., Villalba, R., Viale, M., Couvreaux, F. and Marticorena P. (2016). “New precipitation and temperature grids for northern Patagonia: Advances in relation to global climate grids”. *Journal of Meteorological Research*, 30: 38 - 52.

Collaud Coen, M., Andrews, E., Bigi, A., Martucci, G., Romanens, G., Vogt, F.P.A. and Vuilleumier, L. (2020). “Effects of the prewhitening method, the time granularity, and the time segmentation on the Mann-Kendall trend detection and the associated Sen’s slope”. *Atmos. Meas. Tech.*, 13, 6945–6964. doi.org/10.5194/amt-13-6945-2020.

Colombani, E. and Arbuties, R. (2008). “Distribución de las precipitaciones en la provincia del Chubut”. Actas XII Reunión Arg. de Agrometeorología, 8 al 10 de octubre, San Salvador de Jujuy, p.9-10.

Diaz Boris, G., Giménez, M., Almonacid, L., Gaspari, F., Bertinat, M. and Peri, P.L. (2021). “Delineación y codificación de cuencas hidrográficas en la Patagonia Austral”. *Boletín Geográfico*, año LXIII, No.43(2), 51 – 69.

Garreaud, R.D. (2009). “The Andes climate and weather”. *Advances in Geosciences*, 22, 3 - 11.

Khudri, M., Hossain Bagmar, S. and Redwan A.M. (2019). “Characterisation of spatio-temporal trend in temperature extremes for environmental decision making in Bangladesh”. *Int. J. Global Warming* Vol.19(4), 364-381.

Monserrat, M. C., Diaz, B. G., Bonfilii, O. and Almonacid, L. (2016). “Banco de datos hidrometeorológicos de Santa Cruz”. Actas 3er Encuentro de Investigadores en Formación de Recursos Hídricos (IFRH, 2016), 6 y 7 de octubre, Ezeiza, Buenos Aires, 8p.

Oliva, G., Gaitan, J. and Ferrante, D. (2016). “Humans Cause Deserts: Evidence of Irreversible Changes in Argentinian Patagonia Rangelands”. Chap.13, R.H. Behnke and M. Mortimore (eds.), *The End of Desertification?*. Springer Earth System Sciences, DOI 10.1007/978-3-642-16014-1_13.

Oruezabal, V.A., Martín, P.B. y Castañeda, M.E. (2022). “Los cambios observados en el régimen de precipitación en la Patagonia Argentina”. *Rev. Fac. Agron.*, La Plata Vol 121(2), 1-16.

Sauter, T. (2019). “Revisiting extreme precipitation amounts over southern North America and implications for the Patagonian Icefields”. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2019, 225, 20p.

Schwikowski, M., Schläppi, M., Santibañez, P., Rivera A. and Casassa G. (2013). “Net accumulation rates derived from ice core stable isotope records of Pio XI glacier, Southern Patagonia Icefield”. *The Cryosphere* 7(5), 1635 – 1644. doi:10.5194/tc-7-1635-2013.

Stěpánek, P., Zahradníček, P. and Skalák, P. (2009). “Data quality control and homogenization of air temperature and precipitation series in the area of the Czech Republic in the period 1961 – 2007”. *Advances in Science and Research*, 3, 23 -26.

Villalba, R., Lara, A., Boninsegna, J.A., Masiokas, M., Delgado, S., Aravena, J.C., Roig, F.A., Schmelter, A., Wolodarsky, A. and Ripalta, A. (2003). “Large-scale temperature changes across the southern Andes: 20th-century variations in the context of the past 400 years”. *Climatic Change*, 59, 177 – 232.

Webster, R. and Oliver, M.A. (2007). “Geostatistics for Environmental Scientists”. John Wiley & Sons, Ltd (Second, Vol. 1).