

## CARACTERÍSTICAS DE LAS PRECIPITACIONES EN ZONAS ÁRIDAS DE LA PATAGONIA NORTE, ARGENTINA

### PRECIPITATION CHARACTERISTICS IN ARID ZONES OF NORTH PATAGONIA, ARGENTINA

Valeria Aramayo<sup>(1)(\*)</sup>, M. Victoria Cremona<sup>(1)</sup>, Roberto J. Fernández<sup>(2)</sup> y Marcelo D. Nosetto<sup>(3)(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Bariloche, San Carlos de Bariloche, Argentina.

<sup>(2)</sup> Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas Vinculadas a la Agricultura, Facultad de Agronomía, Univ. Buenos Aires & Comisión Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

<sup>(3)</sup> Grupo de Estudios Ambientales, Instituto de Matemática Aplicada San Luis, Universidad Nacional de San Luis & Comisión Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

<sup>(4)</sup> Cátedra de Climatología, Agrícola Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos.

(\*) e\_mail: aramayo.valeria@inta.gob.ar

#### RESUMEN

La precipitación es determinante de múltiples procesos en zonas áridas. Abordar su variabilidad es difícil en áreas extensas y de baja densidad de registros como la Patagonia norte. El objetivo de este trabajo es caracterizar la variación temporal y espacial de las precipitaciones, y evaluar productos satelitales de lluvia para esta región. Con los registros diarios de seis estaciones pluviométricas del período 1956-2019, calculamos la acumulada mensual, estacional y anual, sus promedios y tendencias. Además, evaluamos la relación de esos registros con los productos satelitales GPM y TRMM. La precipitación anual varió entre 100 y 640 mm.año<sup>-1</sup>, con una media entre 100 y 300 mm.año<sup>-1</sup> en los últimos cinco años, y tendencia decreciente en las últimas dos décadas. Detectamos una tendencia decreciente en el número de días con precipitación por año y de las precipitaciones inferiores a 10 mm.día<sup>-1</sup>. La precipitación media diaria mostró una leve tendencia al aumento igual que los registros mayores a 10 mm.día<sup>-1</sup>. GPM representó mejor la variabilidad pero ninguno de los dos productos captó la magnitud de las precipitaciones. Es necesario continuar con actualizaciones, datos de mayor detalle y seguimiento de la variabilidad de las precipitaciones.

**Palabras clave:** Precipitación, Patagonia árida, variabilidad de precipitación, tendencias de precipitación.

#### ABSTRACT

Precipitation is the start-up factor of multiple process in arid zones. To address the temporal and spatial variability of precipitation at north Patagonia is difficult given the large area of the region and the low measurement density. The objective of this work is to characterize temporal and spatial variability of precipitation, and to evaluate satellite derived rainfall products for this region. Based on six measurement stations' daily records we calculated monthly, seasonal and annual precipitation, their averages and trends. In addition, we evaluated the relationship between these records with GPM and TRMM satellite products. Annual precipitation varied from 100 to 640 mm.year<sup>-1</sup>, with a 100 to 300 mm average in the last five years, and a downward trend in the last decades. We detected a downward trend in the average number of days with precipitation below 10 mm.day<sup>-1</sup>. The average daily precipitation showed a slight tendency to increase, as well as the frequencies of records greater than 10 mm.day<sup>-1</sup>. GPM was an acceptable estimator of the variability but none of the magnitude of rainfall. Precipitation variability updates, more detailed data and monitoring are needed.

**Keywords:** Precipitation, arid Patagonia, precipitation variability, precipitation trend.

## INTRODUCCIÓN

La precipitación es el factor climático determinante de la erosión hídrica (Rostagno et al. 1999; Cisneros et al. 2012) y punto de partida para la modelación hidrológica (Li y Fang 2016), al tiempo que ejerce un fuerte control sobre la productividad en zonas áridas (Le Houèrou et al. 1988; Jobbagy et al. 2002; Castillo et al. 2021). La variabilidad de la precipitación, tanto espacial como temporal, es de relevancia en estudios climáticos aplicados a diferentes áreas como agronomía, hidrología y meteorología. Los eventos extremos, con intensidades de precipitación altas y baja frecuencia, pueden generar colapsos en la infraestructura,

inundaciones, deslizamientos de laderas y destrucción de caminos (Colombani et al. 2017). En los últimos años, eventos extremos de precipitación en la región de estudio generaron severos daños económicos y perjuicios al bienestar social, registrándose entre otros: evacuaciones, interrupciones del transporte y daños en la infraestructura pública (Figura 1).

El poder erosivo de las precipitaciones depende principalmente de su magnitud, intensidad y frecuencia, pero la interacción con otros factores como la topografía, el tipo y uso del suelo, la permeabilidad y la cobertura definen la generación de escurrimientos y erosión del suelo (Lal 2001).



Figura 1. Titulares de diarios de la región de estudio que reflejan el efecto de precipitaciones extremas en los últimos 20 años.

En el noroeste de la Patagonia argentina las precipitaciones se concentran en invierno y otoño (Paruelo et al. 1998). La interacción entre la topografía, la circulación atmosférica y la distancia a los océanos genera patrones de precipitación complejos tanto espaciales como temporales. La cordillera de Los Andes actúa como barrera a la circulación atmosférica en toda Sudamérica y da lugar no sólo a gradientes climáticos sinópticos sino también a perturbaciones de mesoescala (Bianchi et al. 2016). La humedad que fluye desde el océano Pacífico produce una precipitación anual máxima cercana a 4000 mm en la pendiente oeste de los Andes, mientras al este hay una disminución exponencial que llega a un mínimo por debajo de los 200 mm anuales en el centro

de la Patagonia árida (Jobbagy et al. 1995; Viale et al. 2019). Más hacia el Atlántico, los vientos desde este océano, de dirección predominante noreste, contribuyen con precipitaciones convectivas esporádicas y para alcanzar 400 mm de precipitación media anual en el extremo oriental (Bianchi et al. 2016). En la cordillera de las provincias de Río Negro y Neuquén, se ha investigado la acción combinada de más de un forzante atmosférico sobre la anomalía de eventos de precipitación (González et al. 2015) en línea con otras descripciones de la variación del clima a escala regional (Aravena y Luckman 2009; Peñalba y Rivera 2016). Sin embargo, el clima de las localidades más áridas de la región aún no se ha estudiado con igual énfasis.

Los registros de precipitación proveen información esencial para el cómputo del balance de agua a distintas escalas espaciales. En Patagonia, la capacidad de capturar patrones espaciales y variabilidad climática de mayor detalle está reducida por la escasa densidad de estaciones meteorológicas y la carencia de continuidad de registros en el tiempo (Masiokas et al. 2008; Bianchi et al. 2016). Trabajos anteriores respaldan con información de sensores remotos el abordaje de problemas como la sequía (Easdale et al. 2012) y de controles climáticos sobre el crecimiento de la vegetación (Paruelo et al. 1993; Bianchi et al. 2020). A escala local, basados en registros de 22 años en el noroeste de Chubut, Golluscio et al. (1998) encontraron que la mayor parte de los eventos de precipitación son menores a 5 mm y que la cantidad total de agua aportada por estos eventos es aproximadamente constante a través de los años. De esta manera atribuyen la diferencia entre años húmedos y secos a la ocurrencia de eventos de mayor magnitud, lo cual podría ocurrir en otras zonas áridas similares (Paruelo et al. 1998).

La variabilidad espacial de las precipitaciones es difícil de caracterizar dada la gran extensión de la región árida patagónica y la ya mencionada baja densidad de registros de precipitaciones. En este aspecto, las estimaciones satelitales de precipitación pueden constituir una herramienta valiosa (Brizuela et al. 2015; Pessagc et al. 2015; Colombani et al. 2017; Ovando et al. 2018). Sin embargo, dada la influencia de ciertos factores como por ejemplo la orografía y la intensidad de eventos en la precipitación acumulada, existen desajustes en los productos satelitales respecto de los datos de terreno (Zhang et al. 2018; Wang et al. 2021). Por esto es necesario evaluar el error asociado a las distintas resoluciones temporales actualmente disponibles y de acuerdo al detalle espacial en el área de interés.

El cambio climático y en particular las tendencias de mediano plazo en las precipitaciones son un factor fundamental a tener en cuenta para predecir el comportamiento futuro de los ecosistemas (Knapp et al. 2008), más aún en regiones áridas y semiáridas donde el agua es el principal recurso limitante para la productividad primaria (Noy Meir 1973). De acuerdo a la Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, el noroeste de la Patagonia comparte con el resto del país la tendencia al aumento en la intensidad de las precipitaciones, a pesar de la proyección de una disminución generalizada de la precipitación anual,

que aquí representa pocos milímetros (Barros et al. 2015). La conjunción de tendencias hacia mayores temperaturas y menores precipitaciones anuales, aun en el caso de reducciones pequeñas, configura un escenario de tendencia hacia una mayor aridez (Gaitán 2016; Pessagc et al. 2020).

## OBJETIVOS

Dada la importancia crucial de las precipitaciones en los sistemas productivos de zonas áridas, no solo como un recurso ecológico fundamental sino también como un factor nocivo asociado a procesos erosivos, resulta fundamental contar con una caracterización actualizada de las mismas, de su variación temporal y espacial, y de la posibilidad de utilizar información satelital para estimarla. El objetivo de este artículo es caracterizar la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones y evaluar la relación entre los registros de estaciones en terreno y los productos satelitales de precipitación para la norpatagonia árida Argentina. En particular buscamos brindar una descripción de las precipitaciones medias anuales, estacionales, mensuales y diarias, describir la magnitud y frecuencia de las precipitaciones anuales y diarias, y reconocer si existen cambios en ellas a lo largo del tiempo. Asimismo, evaluamos la asociación entre dichos registros de terreno y su relación con la ubicación geográfica. Por último, analizamos la relación de esos registros de terreno con los productos satelitales GPM y TRMM (de la NASA) a distintas escalas temporales.

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en el oeste de la provincia de Río Negro, que contiene a la cuenca alta del arroyo Comallo. Está comprendida entre las latitudes 41° y 41.5° sur y longitudes 70.5° y 70° oeste. La cuenca constituye el límite oeste del Sitio Piloto Jacobacci perteneciente al *Observatorio Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación* (<http://www.desertificacion.gob.ar>) y es territorio de intervención de múltiples proyectos del INTA (<https://www.argentina.gob.ar/inta>) como la actual “Plataforma de Innovación Territorial Semiárido sur de la provincia de Río Negro (Secano)”, entre otros. La topografía es quebrada, con altitudes entre 700 y 1990 msnm. El clima de la región es templado-frío, con vientos dominantes del oeste.

Las precipitaciones se concentran en invierno y periódicamente ocurren en forma de nieve; por el contrario, en verano existe un marcado déficit hídrico. Las temperaturas medias son de 16.4° para el mes de enero y de 2.3° para julio (Massaferró et al. 2012; Gaitán et al. 2004). La forma de uso de la tierra más extendida en la región es el pastoreo por herbívoros domésticos (Gaitán 2016) y existen zonas urbanas, entre ellas, las localidades de Comallo y Pilcanieyu que concentran la mayor población y demanda de agua de la zona.

## METODOLOGÍA

### Datos pluviométricos y su análisis

Los registros de precipitación recopilados pertenecen a bases de datos de organismos estatales y establecimientos privados de localidades cercanas al área de estudio (Figura 2), seleccionados por presentar frecuencia diaria durante más de veinte años y con baja proporción de datos faltantes (Tabla 1).



Figura 2. Ubicación de la cuenca alta del arroyo Comallo y de las estaciones pluviométricas cercanas utilizadas en este estudio. La tabla de la derecha indica la distancia de cada estación de registro a la localidad de Comallo.

Tabla 1. Características de las bases de datos pluviométricas.

Estación de medición	Lat. , Long.	Altitud (m.s.n.m.)	Serie	Fuente	% datos faltantes	Precipitación media anual (mm)
Comallo	-41.11, -70.38	820	jun-1973 a dic-2019	DPA <sup>[1]</sup>	4%	212
Corralito	-40.72, -70.71	657	abr-1999 a dic-2019	AIC <sup>[2]</sup>	0%	298
Pilcanieyu	-41.15, -70.68	980	ene-1966 a nov-2018	Ea. Pilcanieyu <sup>[3]</sup>	14%	280
Las Bayas	-41.46, -70.67	993	mar-1986 a ago-2019	BDHI <sup>[4]</sup>	5%	233
Maquinchao	-41.25, -68.70	888	abr-1956 a dic-2019	SMN <sup>[5]</sup>	2%	195
Río Chico	-41.71, -70.48	961	ago-1962 a dic-2019	BDHI	16%	185

<sup>[1]</sup>Departamento Provincial de Aguas de Río Negro, <sup>[2]</sup>Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro, <sup>[3]</sup>Estancia Pilcanieyu, <sup>[4]</sup>Base de Datos Hidrológica Integrada, Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica, <sup>[5]</sup>Servicio Meteorológico Nacional.

Los registros correspondientes a Río Chico sólo se usaron para la caracterización de valores diarios y de la asociación con datos satelitales recientes dado que para los períodos anteriores tiene datos faltantes demasiado

frecuentes. En la serie de Pilcanieyu los datos faltantes están concentrados en el período de 1974 a 1984.

A partir de los registros diarios de las estaciones de

Comallo, Corralito, Pilcanieú, Las Bayas y Maquinchao se calculó la precipitación acumulada mensual y anual. Para esto, solo se tuvieron en cuenta aquellos meses y años sin datos faltantes. Una vez obtenida la precipitación anual, calculamos la frecuencia absoluta y acumulada por tamaño en clases crecientes de a  $50 \text{ mm.año}^{-1}$ , entre 0 y  $600 \text{ mm.año}^{-1}$ , para las cinco estaciones de medición. Con los datos de precipitación mensual analizamos la distribución estacional (verano, otoño, invierno, primavera) a lo largo de las series. Para eso asignamos como meses de verano a diciembre, enero y febrero, de otoño a marzo, abril y mayo, de invierno a junio, julio y agosto, y de primavera a septiembre, octubre y noviembre, y calculamos el porcentaje del total anual que se registra en cada estación. Además, revisamos la participación de la precipitación mensual a lo largo del año como porcentaje promedio que precipita en cada mes para cada serie de registros.

De la combinación de las series de precipitación anual obtuvimos un promedio regional y evaluamos su tendencia temporal. Este primer análisis sugirió la existencia de cambios de la precipitación anual en ciertos períodos, por eso evaluamos las tendencias de cada una de las series para tres ventanas de tiempo: primero para el período completo (1956-2019), segundo para el período anterior a 1995, que abarca la primera mitad de la serie de Comallo, y tercero para el período más reciente que incluye los últimos 23 años (1996 al 2019). Paralelamente ilustramos el comportamiento del mediano plazo de la precipitación anual de cada serie mediante la media móvil de 10 años.

A escala diaria, para cada estación de medición y para el promedio construido con las seis estaciones de medición, analizamos año por año el número de días con precipitación y la lámina media de precipitación diaria (en mm). También estudiamos la distribución de las precipitaciones diarias clasificadas en cuatro clases de acuerdo a su magnitud en:  $0-10 \text{ mm.día}^{-1}$ ,  $10-20 \text{ mm.día}^{-1}$ ,  $20-40 \text{ mm.día}^{-1}$  y  $40$  a más de  $100 \text{ mm.día}^{-1}$ , con especial atención a los días con más de  $40 \text{ mm}$  por su asociación a posibles eventos extremos que generan erosión hídrica. Para cada clase calculamos año por año para cada estación y para el promedio de las seis: la frecuencia total ( $f$ ) como la cantidad de registros diarios correspondientes a cada una de las clases y la frecuencia porcentual ( $f\%$ ) como el porcentaje de  $f$  sobre el número total de días con precipitación. Luego evaluamos la tendencia del

número de días con precipitación, la lámina media de precipitación diaria (mm) y los  $f\%$  de las clases definidas anteriormente, con un análisis de regresión lineal tomando el p-valor como criterio de significancia. En estos análisis de tendencias consideramos las mismas tres ventanas de tiempo que en la escala anual: primero el período completo 1956-2019, segundo el período 1956-1995 y por último el período 1996-2019. Los análisis estadísticos para todas las tendencias se realizaron en el software Prisma.

Desde el punto de vista espacial, estudiamos la correlación de la precipitación anual entre las distintas estaciones de medición y la relación de dicha correlación con la distancia longitudinal (de oeste a este), latitudinal (de norte a sur), euclidiana (en línea recta) y altitudinal entre todos los pares de estaciones.

#### Datos satelitales y su relación con datos de terreno

Los productos satelitales de precipitación se obtuvieron de la plataforma web Giovanni (NASA, <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>) que toma datos de las bases de libre acceso TRMM (por sus siglas en inglés Tropical Rainfall Measuring Mission; Adler et al. 2003; Huffman et al. 2007) y GPM (por sus siglas en inglés Global Precipitation Measurement; Huffman et al. 2019). Ambos productos, generados a partir de mediciones satelitales de las agencias NASA y en cooperación con JAXA en el caso de GPM, brindan estimaciones de precipitación multi-satélite. El producto TRMM 3B42 contiene datos de precipitación acumulada diaria con resolución espacial de  $0.25^\circ$  de latitud y longitud. El producto GPM 3IMERGEM V0.6 se genera con datos acumulados de precipitación cada 3 horas con una resolución espacial de  $0.1^\circ$  por pixel.

Los valores diarios, mensuales y anuales de TRMM y GPM se relacionaron con las precipitaciones de las seis estaciones de medición (Comallo, Corralito, Pilcanieú, Las Bayas, Maquinchao y Río Chico) registrados en el período más reciente sin datos faltantes en los registros de terreno: del 1/1/2014 al 31/12/2016. Se evaluó la correlación entre los productos satelitales y los datos de terreno, calculándose el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el error medio de estimación (RMSE) por dos vías. La primera con el dato puntual de cada estación contra el valor del correspondiente al pixel que la contiene en cada uno de los productos satelitales. En el caso de TRMM, dado el mayor tamaño de pixel, calculamos la proporción aportada por cada pixel a

un área circular de 10 km de radio alrededor de cada estación de registro. La segunda vía de análisis consistió en la relación entre los valores promedio de TRMM y GPM para el área completa de la cuenca alta del Comallo contra el valor de precipitación promedio para el área obtenido por el método de los polígonos de Thiessen con los datos de terreno.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Datos de estaciones pluviométricas

Para brindar una caracterización actualizada de las precipitaciones en zonas áridas del norte de Patagonia, sistematizamos los registros disponibles de seis localidades con datos de precipitación diaria en el sudoeste de Río Negro. Nuestros resultados demostraron que estas precipitaciones presentan cualidades reconocidas para zonas áridas: tienen un carácter variable en el tiempo, son escasas y de baja frecuencia (Noy Meir 1973; Magliano et al. 2015).

El carácter variable de las precipitaciones se evidencia en las diferentes escalas de tiempo analizadas. Por ejemplo, el espectro de registros anuales tuvo mínimos por debajo de 100 mm.año<sup>-1</sup> y un máximo de 640 mm.año<sup>-1</sup> (Figura 3). Particularmente la serie de Comallo fluctuó entre 84 y 437 mm.año<sup>-1</sup>, con diferencias entre años sucesivos de 20 a 304 mm. En cuanto a la frecuencia por magnitud de precipitación anual, tres cuartas partes de los registros son inferiores a 300 mm.año<sup>-1</sup> (Tabla 2). En Comallo, Las Bayas y Maquinchao el 50% de los registros anuales fue inferior a 200 mm.año<sup>-1</sup>. En Corralito y Pilcanieú el 50% de los registros se ubican entre 250 y 300 mm.año<sup>-1</sup>. Asimismo, la probabilidad de que llueva menos de 150 mm.año<sup>-1</sup> varía de un mínimo de 2% en Pilcanieú a un máximo de 37% en Las Bayas. Las diferencias de precipitación entre periodos y áreas conllevan consecuencias en el funcionamiento de los sistemas áridos a diferentes escalas (Reynolds et al. 2004; Yadhjian y Sala 2008) y en las oportunidades de aprovechamiento del agua de lluvia (Epele et al. 2018; Magliano et al. 2019).

Dentro del año, si bien las precipitaciones se concentraron en fines de otoño e invierno, tal como se había descrito por investigaciones anteriores (Paruelo et al. 1998), el aporte porcentual de cada estación (verano, otoño, invierno, primavera)

no es constante a lo largo de los años (Figura 4). Además encontramos una diferencia entre localidades de oeste a este en la distribución intra-anual de las precipitaciones. En invierno sucede el mayor aporte hacia el oeste, en Comallo, Corralito, Pilcanieú y Las Bayas, con un promedio de 44% de la precipitación anual, y en verano las precipitaciones aportan en promedio menos del 12%. En esas cuatro estaciones de medición la contribución del invierno fue superada por el otoño entre 40 y 19% de los años de cada serie, y por la primavera entre 19 y 11% de los años. En Maquinchao, en cambio las cuatro estaciones aportan al total anual una magnitud similar (verano 23%, otoño 32%, invierno 24%, primavera 21%) y dos tercios de los años tienen mayores precipitaciones en otoño-invierno que durante el resto del año. El aporte de precipitaciones otoñales promedia el 30%, con un mínimo de 26% para Corralito y un máximo de 32% para Pilcanieú y Maquinchao.

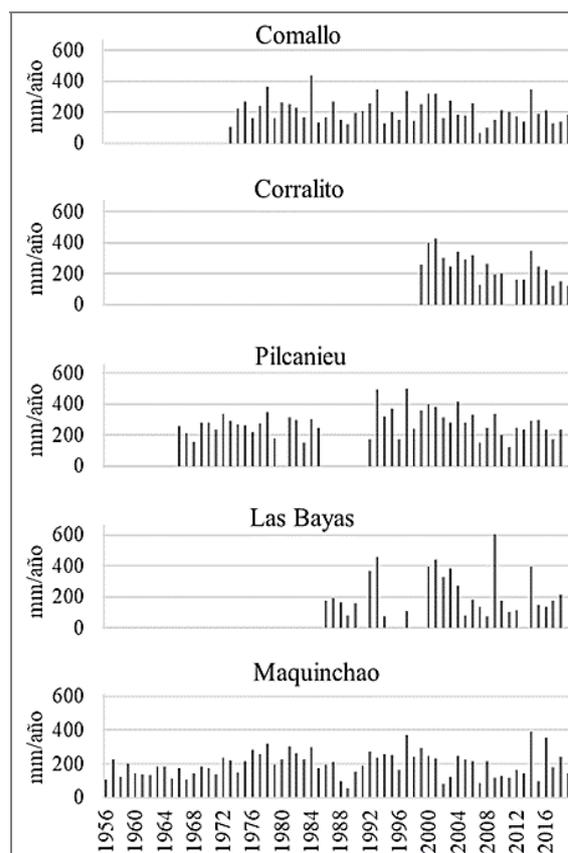
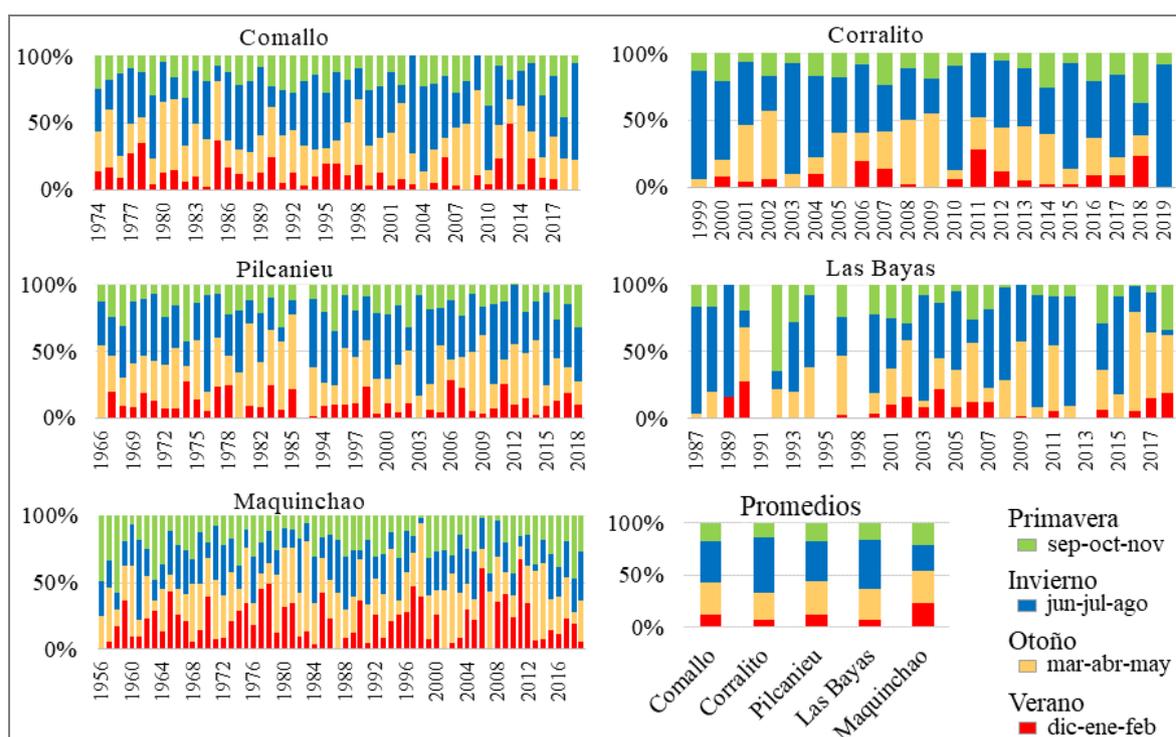


Figura 3. Precipitación anual (mm.año<sup>-1</sup>) para las estaciones de medición del SO de Río Negro: Comallo (1973-2019), Corralito (1999-2019), Pilcanieú (1966-2019), Las Bayas (1986-2019) y Maquinchao (1956-2019).

**Tabla 2. Frecuencia (f) absoluta (abs.) y acumulada (acu%) por clase de precipitación anual en mm.año<sup>-1</sup>, para cinco estaciones de medición en el SO de Río Negro.**

	f*	Clase de precipitación (mm.año <sup>-1</sup> )										
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	>
Comallo	abs.	0	1	10	13	9	6	5	1	1	0	0
	acu.%	0	2	24	52	72	85	96	98	100		
Corralito	abs.	0	0	3	4	4	3	4	0	2	0	0
	acu.%	0	0	15	35	55	70	90	90	100		
Pilcanieú	abs.	0	0	1	7	11	12	8	4	1	2	0
	acu.%	0	0	2	17	41	67	85	93	96	100	
Las Bayas	abs.	0	4	6	7	1	1	1	4	1	1	1
	acu.%	0	15	37	63	67	70	74	89	93	96	100
Maquinchao	abs.	0	5	16	13	17	8	2	3	0	0	0
	acu.%	0	8	33	53	80	92	95	100			



**Figura 4. Participación porcentual de las precipitaciones de primavera (barra verde), invierno (barra azul), otoño (barra amarilla) y verano (barra roja) en el total anual a lo largo de los años en cada una de las estaciones de medición.**

El aporte mensual a la precipitación anual, expresada como el porcentaje del total anual que precipita en cada mes, es mayor entre mayo y agosto para las cinco localidades (Figura 5). Las mayores diferencias de aporte promedio entre meses se dan en Corralito, con 20% más de precipitaciones en

junio que en diciembre, y las menores en Maquinchao, con menos de 5% de diferencia entre los mismos meses. A esta escala se repite la semejanza de distribución temporal de las precipitaciones entre las estaciones de medición Comallo, Corralito, Pilcanieú y Las Bayas. En

Maquinchao, en cambio, la diferencia entre las precipitaciones mensuales es menor (Figura 5). Esto podría deberse a un aumento paulatino hacia el este de la influencia moderadora del régimen de precipitaciones que ejerce el ingreso de humedad desde el océano Atlántico (Bianchi et al. 2016).

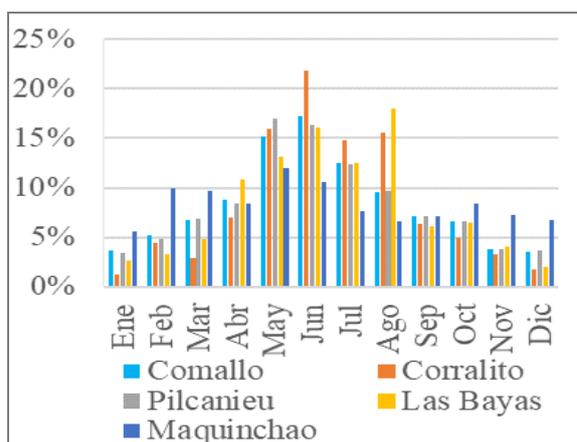


Figura 5. Participación porcentual de las precipitaciones mensuales en el total anual en promedio para cada una de las cinco estaciones de medición.

La escasez de precipitaciones se reflejó claramente en la elevada ocurrencia de días sin precipitación (Tabla 3) y años con menos de 300 mm (Tabla 2).

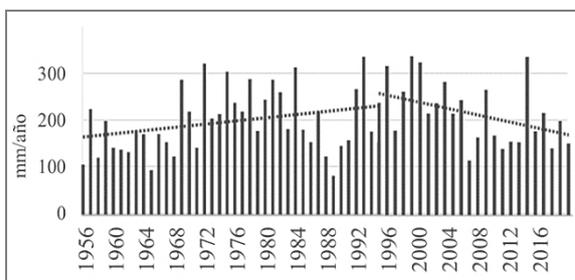
Ambas variables decaen fuertemente en frecuencia al aumentar la magnitud de la lámina de precipitación. A escala diaria la gran mayoría de los ingresos son de magnitud menor a  $10 \text{ mm.día}^{-1}$ , con más de 75% de los registros en este rango para todas las estaciones de medición. La frecuencia porcentual del aporte de esta clase de precipitación diaria varió entre 90% (en Maquinchao) y 75% (en Las Bayas y Río Chico). Le siguen los eventos de 10 a  $20 \text{ mm.día}^{-1}$  con una frecuencia mínima de 7% en Maquinchao y máxima de 19% en Las Bayas. Al aumentar la magnitud de la precipitación diaria, la frecuencia disminuye drásticamente en todas las series (Tabla 3).

Todas las estaciones de medición han aportado al menos siete registros mayores a  $40 \text{ mm.día}^{-1}$  en el período de 1956 a 2019. Esa magnitud diaria puede asociarse a eventos extremos, en que la intensidad de la precipitación supere la capacidad de infiltración de los suelos (Cisneros et al 2012). En todas hubo ingresos diarios superiores a  $80 \text{ mm.día}^{-1}$  pero sólo en Maquinchao y Las Bayas hubo registros por encima de  $100 \text{ mm.día}^{-1}$ . Se identificaron 6 días con precipitación extrema registrados simultáneamente en al menos tres estaciones ocurridos en: marzo de 1975, marzo del 1984, junio de 1993 y de 2004, febrero de 2006 y abril de 2014.

Tabla 3. Frecuencias ( $f$ ) por clase de precipitación diaria en  $\text{mm.día}^{-1}$  para cada estación de medición. *abs*: indica la frecuencia absoluta de registros de la clase,  $f\%$ : el porcentaje de  $f_{abs}$  de cada clase sobre el total de días con precipitación

	$f^*$	Clase de precipitación ( $\text{mm.día}^{-1}$ )				
		0	(0-10]	(10-20]	(20-40]	(40- >100)
Comallo	<i>abs</i>	15687	1037	220	52	19
	$f\%$	-	78	16	4	1
Corralito	<i>abs</i>	6204	1212	117	37	10
	$f\%$	-	88	8	3	0
Pilcanieú	<i>abs</i>	14807	1375	254	86	18
	$f\%$	-	79	15	5	1
Las Bayas	<i>abs</i>	10398	716	182	44	14
	$f\%$	-	75	19	5	1
Maquinchao	<i>abs</i>	20062	2575	215	66	13
	$f\%$	-	90	7	2	0
Río Chico	<i>abs</i>	16965	783	188	73	7
	$f\%$	-	75	18	7	1
Promedio	$f\%$	-	81	14	4	1

Al considerar todo el período de análisis (1956-2019) no se observaron tendencias temporales en la precipitación anual en la región de estudio. Sin embargo, en el análisis de períodos más cortos se identificaron tendencias significativas tanto de ascenso como de descenso. En los últimos 23 años se detectó una tendencia general decreciente significativa que promedió  $-4.7 \text{ mm.año}^{-1}$  ( $p\text{-valor} = 0.03$  y  $R^2 = 0.22$ ) (Figura 6). Luego de un período relativamente húmedo entre 1999 y 2002, todas las estaciones registraron tendencia negativa con tasas que variaron entre  $-9 \text{ mm.año}^{-1}$  (Estación Corralito) y  $-3 \text{ mm.año}^{-1}$  (Estación Río Chico). Por otro lado, en el período previo a 1995 el promedio de todas las estaciones no registró una tendencia significativa y solo Maquinchao mostró un aumento de las precipitaciones anuales, con una tasa de  $2 \text{ mm.año}^{-1}$  ( $p\text{-valor}=0.016$  y  $R^2=0.14$ ).

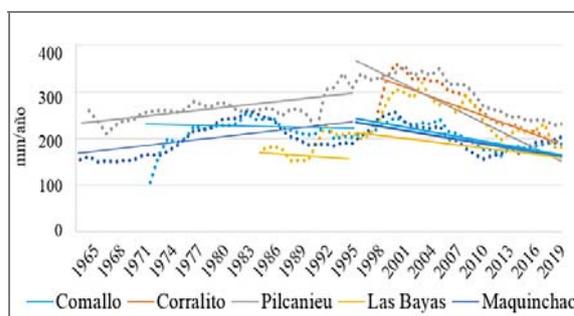


**Figura 6.** Precipitación anual promedio de cinco estaciones de medición en el SO de Río Negro (en barras) y su tendencia en los períodos 1956-1995 y 1996-2019 (en trazas punteadas).

Las fluctuaciones del ingreso de agua por precipitaciones en el mediano plazo, representado por la media móvil, fue diferente de acuerdo al lugar pero cabe notar que en los últimos 5 años todas las series convergieron en un rango de 100 mm alrededor de los  $200 \text{ mm.año}^{-1}$  (Figura 7). Dado que el estudio de tendencias y promedios está sesgado por la ventana de tiempo considerada, nuestra incorporación de registros más actuales difiere de los resultados de descripciones anteriores. Los promedios del presente trabajo son inferiores a los históricos, como por ejemplo la precipitación media anual era de 232 mm para Comallo según Godagnone y Bran (2009) y actualmente se redujo a 212 mm en la serie 1973-2019. Los valores por debajo de los promedios históricos en todas las estaciones de medición para las últimas décadas coinciden con sequías reportadas en áreas cercanas a la región de este estudio (Solano-Hernández et al. 2020).

Para el periodo completo de 1956 a 2019 detectamos una tendencia a la reducción en los promedios del

número de días con precipitación por año y de la participación de las precipitaciones inferiores a  $10 \text{ mm.día}^{-1}$ , al tiempo que la precipitación media diaria presentó una leve tendencia al aumento igual que las frecuencias de registros mayores a  $10 \text{ mm.día}^{-1}$  para el promedio de las estaciones estudiadas. En el mismo periodo encontramos iguales tendencias en la estación de medición de Comallo y sólo tendencia al aumento de la lámina media diaria en Maquinchao. En Río Chico mostraron tendencia negativa las frecuencias de precipitación diaria entre 10 y 40 mm, y tendencia al aumento la de precipitación de hasta  $10 \text{ mm.día}^{-1}$ , pero todos con menores niveles de ajuste (Tabla 4).



**Figura 7.** Tendencias hasta 1995 y 1996-2019 (en líneas llenas) y media móvil de 10 años (en trazas punteadas) de la precipitación anual para cinco estaciones de medición en el SO de Río Negro.

En el periodo anterior a 1995 también hubo tendencia a la disminución del promedio de días con precipitación y al aumento en la precipitación media diaria promedio. Esa tendencia al aumento se repitió en Pilcanieú y Maquinchao. Las frecuencias de cada clase de precipitación diaria también presentaron tendencias para el promedio, con decrecimiento de las precipitaciones menores a  $10 \text{ mm.día}^{-1}$  y crecimiento de las clases superiores. Entre todas las estaciones de medición, Maquinchao presentó tendencia a una menor frecuencia de registros por debajo de  $10 \text{ mm.día}^{-1}$  y al incremento de los registros entre 10 y  $20 \text{ mm.día}^{-1}$ . Pilcanieú sólo presentó tendencia positiva en la frecuencia de días con lámina mayor a 40 mm (Tabla 5).

El período 1996-2019 mostró la mayor tasa de reducción en la cantidad de días con precipitación promedio por año (Tabla 6). Particularmente en Corralito, esa caída estuvo acompañada por decrecimiento de la lámina de precipitación media diaria y de la frecuencia porcentual de precipitaciones diarias mayores a 40 mm, y, al mismo tiempo, tendencia al aumento en la

frecuencia porcentual de precipitaciones diarias inferiores a 10 mm. En Comallo y Las Bayas se repite la disminución en el número anual de días con precipitación. La misma variable tiene tendencia positiva en Maquinchao con variaciones anuales menores a 1.5 días con precipitación.año<sup>-1</sup>. Por otro lado, Maquinchao y Río Chico compartieron una tendencia negativa en el tamaño promedio de las precipitaciones diarias. En Río Chico ese comportamiento se correspondió con decrecimiento en los registros de 10-20 mm.día<sup>-1</sup> y crecimiento de los días con menor lámina diaria.

Los cambios en las frecuencias de eventos menores a 10 mm.día<sup>-1</sup> podrían indicar un comportamiento diferente al aporte constante de eventos de baja magnitud que postularon Golluscio et al. (1998) décadas pasadas para el sur del área de estudio. A escala ecosistémica estos eventos pueden adquirir una importancia mayor de lo que podría sugerir su

limitada contribución sobre la precipitación anual (Dunkerley 2021). También hubo registros de precipitación diarios de gran magnitud y baja frecuencia que, dependiendo de su intensidad, podrían disparar procesos erosivos. Para el este de la Patagonia, Rostagno et al. (1999) explicaron la generación de escurrimientos en base a datos de precipitación sub-horarios, y encontraron que los eventos de la estación cálida eran más cortos y de mayor intensidad que en la estación más fría. En nuestra zona se podría brindar mayor precisión sobre la intensidad y erosividad de las precipitaciones si hubiera información de resolución temporal sub-diaria o sub-horaria, como se ha planteado en otras regiones del mundo (Dunkerley 2019). Por ello es importante la generación de información detallada en la región, basada en una red oficial con mayor densidad de mediciones y con un registro seguro que permita continuidad en las actualizaciones.

**Tabla 4. Pendiente (b) de la tendencia para el período 1956-2019 con su desvío estándar (ds), coeficiente de ajuste (R<sup>2</sup>) y valor de significancia para b≠0 (p-valor) del número de días con precipitación (n° días con pp), la precipitación (Pp) media diaria<sup>(1)</sup> (mm) y la frecuencia porcentual (f %) de las clases de precipitación diaria sobre el total de días con precipitación, para las estaciones de medición con tendencia significativa.**

		Período 1956-2019					
		n° días con pp	Pp media diaria (mm)	f% 0-10mm	f% 10-20mm	f% 20-40mm	f% 40->100mm
Comallo	b ± ds	-0.78 ± 0.08	0.21 ± 0.03	-0.94 ± 0.16	0.61 ± 0.11	0.22 ± 0.08	0.11 ± 0.05
	R <sup>2</sup>	0.66	0.49	0.45	0.43	0.15	0.12
	p-valor	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0084	0.0223
Maquinchao	b ± ds		0.02 ± 0.01				
	R <sup>2</sup>		0.09				
	p-valor	ns	0.02	ns	ns	ns	ns
Río Chico	b ± ds		-0.10 ± 0.03	0.75 ± 0.21	-0.48 ± 0.12	-0.26 ± 0.11	
	R <sup>2</sup>		0.2	0.23	0.28	0.12	
	p-valor	ns	0.0026	0.0008	0.0002	0.0208	ns
Promedio regional	b ± ds	-0.22 ± 0.05	0.04 ± 0.01	-0.28 ± 0.04	0.20 ± 0.03	0.05 ± 0.02	0.03 ± 0.01
	R <sup>2</sup>	0.23	0.19	0.39	0.41	0.08	0.24
	p-valor	< 0.0001	0.0004	< 0.0001	< 0.0001	0.0283	< 0.0001

<sup>(1)</sup>Lámina media de precipitación diaria considerando sólo los días con registros > 0 mm.día<sup>-1</sup>.

**Tabla 5. Pendiente (b) de la tendencia para el período 1956-1995 con su desvío estándar (ds), coeficiente de ajuste ( $R^2$ ) y valor de significancia para  $b \neq 0$  (p-valor) del número de días con precipitación (n° días con pp), la precipitación (Pp) media diaria (mm) y la frecuencia porcentual (f %) de las clases de precipitación diaria sobre el total de días con precipitación, para las estaciones de medición con tendencia significativa.**

		Periodo 1956-1995					
		n° días con pp	Pp media diaria (mm)	f% 0-10mm	f% 10-20mm	f% 20-40mm	f% 40->100mm
Pilcaniehu	b ± ds		0.11 ± 0.04				0.08 ± 0.04
	$R^2$		0.26				0.19
	p-valor	ns	0.012	ns	ns	ns	0.04
Maquinchao	b ± ds		0.06 ± 0.01	-0.28 ± 0.05	0.21 ± 0.04		
	$R^2$		0.38	0.43	0.38		
	p-valor	ns	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	ns	ns
Promedio regional	b ± ds	-0.27 ± 0.11	0.08 ± 0.02	-0.52 ± 0.09	0.37 ± 0.06	0.11 ± 0.04	0.04 ± 0.009
	$R^2$	0.13	0.29	0.49	0.51	0.13	0.39
	p-valor	0.023	0.0003	< 0.0001	< 0.0001	0.021	< 0.0001

**Tabla 6. Pendiente (b) de la tendencia para el período 1996-2019 con su desvío estándar (ds), coeficiente de ajuste ( $R^2$ ) y valor de significancia para  $b \neq 0$  (p-valor) del número de días con precipitación (n° días con pp), la precipitación (Pp) media diaria (mm) y la frecuencia porcentual (f %) de las clases de precipitación diaria sobre el total de días con precipitación, para las estaciones de medición con tendencia significativa.**

		Periodo 1996-2019					
		n° días con pp	Pp media diaria (mm)	f% 0-10mm	f% 10-20mm	f% 20-40mm	f% 40->100mm
Comallo	b ± ds	-0.60 ± 0.20					
	$R^2$	0.32					
	p-valor	0.006	ns	ns	ns	ns	ns
Corralito	b ± ds		-0.14 ± 0.04	0.48 ± 0.21			-0.09 ± 0.04
	$R^2$		0.37	0.23			0.23
	p-valor	ns	0.005	0.033	ns	ns	0.032
Las Bayas	b ± ds	-1.38 ± 0.47					
	$R^2$	0.3					
	p-valor	0.008	ns	ns	ns	ns	ns
Maquinchao	b ± ds	1.06 ± 0.38	-0.14 ± 0.06				
	$R^2$	0.27	0.32				
	p-valor	0.011	0.05	ns	ns	ns	ns
Río Chico	b ± ds		-0.15 ± 0.05	1.02 ± 0.27	-0.94 ± 0.22		
	$R^2$		0.29	0.4	0.47		
	p-valor	ns	0.008	0.001	0.0003	ns	ns
Promedio regional	b ± ds	-0.68 ± 0.15					
	$R^2$	0.5					
	p-valor	0.0001	ns	ns	ns	ns	ns

Como primera aproximación a la variabilidad espacial de las precipitaciones se analizó la correlación de la precipitación anual entre las distintas estaciones de medición. Las localidades con mayor correlación entre sí son el par Corralito-Pilcanieú y el par Comallo-Corralito. Entre todas las demás series el coeficiente de determinación fue inferior, hasta un mínimo de 0.01 entre Las Bayas, localidad de mayor altitud, y Maquinchao, localidad del extremo este (Tabla 7).

La localización relativa de las estaciones de medición estudiadas no mostró patrones que permitan definir relaciones directas entre ubicación espacial y precipitación anual. No se encontraron asociaciones significativas con las distancias

longitudinal, latitudinal, euclidiana ni altitudinal. La baja densidad de estaciones pluviométricas, dificulta el estudio de gradientes dentro del área. Las particularidades de cada localidad pueden escapar a la representación de patrones del clima basada en datos de sensores remotos apoyadas sobre grillas con baja densidad de puntos de control en terreno. En sentido opuesto, es posible que la información remota capture señales de precipitación llamativas donde no existen datos de terreno para validarlas. Ante la posibilidad de que las condiciones locales tengan influencia en la magnitud y distribución de las precipitaciones revisamos los productos derivados de imágenes satelitales antes de su extrapolación a escala de mayor detalle.

**Tabla 7. Coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de la asociación entre precipitaciones anuales de las cinco estaciones de medición para el período 1956-2019.**

	Comallo	Corralito	Pilcanieú	Las Bayas
Corralito	0.51			
Pilcanieú	0.3	0.66		
Las Bayas	0.22	0.13	0.14	
Maquinchao	0.31	0.19	0.18	0.01

### Productos satelitales y su relación con estaciones pluviométricas

El grado de ajuste entre los datos de precipitación satelitales y de terreno varió según la escala temporal y el producto satelital considerados (Tabla 8). A la escala diaria y la anual se observaron bajos niveles de ajuste entre los productos satelitales y los registros puntuales de terreno, detectándose una performance ligeramente superior del producto GPM por sobre TRMM. A nivel mensual la estimación satelital mejora sensiblemente y es mejor en el caso del producto GPM (Figura 8). Sin embargo, aún en este caso se estima un RMSE elevado ( $42 \text{ mm.mes}^{-1}$ ) teniendo en cuenta la pequeña magnitud de la precipitación media mensual ( $22 \text{ mm.mes}^{-1}$ ). Integrandolo a nivel de la cuenca alta del Comallo por el método de polígonos de Thiessen, encontramos mejores valores de ajuste para GPM que para TRMM en todas las escalas temporales. Sin embargo, se repite un RMSE elevado en los registros mensuales para GPM ( $63 \text{ mm.mes}^{-1}$ ). A escala de cuenca los

coeficientes para las estimaciones anuales carecen de relevancia dado que sólo se estudian 3 años.

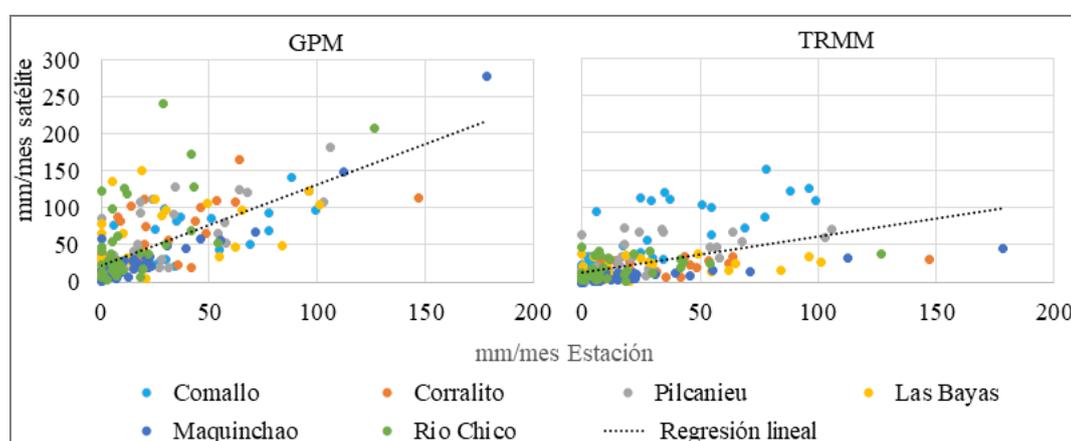
Atendiendo las limitaciones antes mencionadas sobre la representatividad de la información remota, la asociación entre los registros de terreno y los productos satelitales permite salvar algunas carencias y contar con información de interés para nuestra región (Pessacg et al. 2020). En nuestro trabajo la performance de GPM fue mejor que para TRMM en cuanto a la captura de la variabilidad, pero no en la representación de la magnitud de las precipitaciones (Tabla 5). Estudios anteriores coinciden en un mejor ajuste de las estimaciones de GPM cuando se aumenta el paso temporal de diario a mensual (Gavilán et al. 2018). Al sur de nuestra área de interés se encontró que las imágenes de satélite subestimaban las precipitaciones extremas registradas en estaciones de terreno en eventos extremos (Colombani et al. 2017). Por el contrario, en el noreste del país las estimaciones de TRMM sobreestiman los registros

de estaciones locales, y los errores de ajuste resultaron inferiores en latitudes menores y con mayor precipitación (Brizuela et al. 2015; Gavilán et al. 2018). Para el producto GPM la captura de

la orografía y la capacidad de representar fuertes intensidades ha mejorado respecto de TRMM, pero es todavía un desafío (Zhang et al. 2018; Wang et al. 2021).

**Tabla 8.** Coeficientes de ajuste  $R^2$  y RMSE de la relación entre todos los registros de seis estaciones de medición en el SO de Río Negro y las estimaciones de precipitación diaria ( $\text{mm.día}^{-1}$ ), mensual ( $\text{mm.mes}^{-1}$ ) y anual ( $\text{mm.año}^{-1}$ ) de GPM y TRMM, para cada estación puntual y para la ponderación del área de la cuenca por polígonos de Thiessen, en el período 2014-2016.

	Estimaciones	$\text{mm.día}^{-1}$		$\text{mm.mes}^{-1}$		$\text{mm.año}^{-1}$	
		$R^2$	RMSE	$R^2$	RMSE	$R^2$	RMSE
Puntual	GPM	0.26	9	0.47	42	0.11	328
	TRMM	0.07	4	0.26	28	0.18	178
Cuenca	GPM	0.14	7	0.76	63	0.98	510
	TRMM	0.03	4	0.35	29	0.65	225



**Figura 8.** Relación de la estimación de precipitaciones mensuales ( $\text{mm.mes}^{-1}$ ) de GPM y de TRMM con los registros de precipitación en terreno de seis estaciones del árido de Río Negro: Comallo (celeste), Corralito (naranja), Pilcanieú (gris), Las Bayas (amarillo), Maquinchao (azul), Río Chico (verde).

El seguimiento de la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones constituye una de las bases para la comprensión de múltiples cambios en los procesos ecosistémicos (Knapp et al. 2008). En especial es interesante conocer las fluctuaciones en parámetros del clima y su efecto en los ecosistemas áridos en el contexto de cambio climático (Bianchi et al. 2020). La disminución esperada para las precipitaciones en el noroeste y centro de la Patagonia no sólo afectará a los sistemas productivos basados en pastizales naturales sino también a la recarga de las cuencas (Masiokas et al. 2008; Brendel et al. 2020; Pessacg et al. 2020). Dado que la actividad ganadera es la principal forma de uso de la tierra de la región, los registros en cada localidad y, más aún, en cada establecimiento ganadero permitirían contar con una base de información sólida para predecir variables biofísicas como la productividad primaria (Fabricante et al. 2009,

Bandieri et al 2020) y tomar decisiones de manejo a tiempo en pos de mejorar los índices productivos (Castillo et al. 2021) y asegurar la provisión de agua.

## CONCLUSIONES

Este trabajo brinda una caracterización actualizada de las precipitaciones en la región árida del sudoeste de Río Negro, con descripciones a escala diaria, mensual y anual. La sistematización de las seis bases de registros y la recopilación de trabajos locales permitieron un panorama regional de la variabilidad de las precipitaciones y posibles tendencias para el corto plazo. Detectamos series de precipitación anual con tendencias negativas, cambios en la cantidad anual de días con precipitación y en el aporte al total anual de acuerdo a la magnitud diaria. Además, presentamos la primera evaluación para

esta región del desempeño de productos satelitales de precipitación lo cual permitirá seleccionar productos útiles para otras aplicaciones en sitios carentes de registros puntuales.

Esta información permite avanzar en el conocimiento de fenómenos a distintas escalas, pero continúa pendiente la descripción de eventos subsidiarios. El contexto de cambio climático y la ocurrencia de extremos resalta la necesidad de contar con estudios actualizados y de mayor detalle para el seguimiento de la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones. Sumado a que los pastizales áridos del noroeste de la Patagonia argentina cobijan actividades productivas fuertemente condicionadas por los parámetros del clima y su variabilidad, por lo cual el conocimiento acerca del ingreso de agua por precipitaciones constituye una de las bases para la comprensión de múltiples procesos en los sistemas de la región.

#### AGRADECIMIENTOS

Especialmente a los organismos que proveyeron las bases de datos para este trabajo y a los establecimientos Estancia Pilcañeu y Neneo Ruca. Este trabajo fue posible gracias al financiamiento INTA de Becas Profesionales RES76/2014, DN1006/2015. A los colegas del INTA EEA Bariloche que revisaron e hicieron aportes valiosos al trabajo.

#### REFERENCIAS

- Adler, R. F., Kummerow, C., Bolvin, D., Curtis, S., y Kidd, C. (2003). Status of TRMM monthly estimates of tropical precipitation. In *Cloud Systems, Hurricanes, and the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)* (pp. 223-234). American Meteorological Society, Boston, MA.
- Aravena, J. C., y Luckman, B. H. (2009). Spatio-temporal rainfall patterns in southern South America. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(14), 2106-2120.
- Bandieri, L. M., Fernández, R. J., y Bisigato, A. J. (2020). Risks of neglecting phenology when assessing climatic controls of primary production. *Ecosystems*, 23(1), 164-174.
- Barros, V., Vera, C., Agosta, E., Araneo, D., Camilloni, I., Carril, A. y Solman, S. (2015). Cambio climático en Argentina; tendencias y proyecciones. 3 Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera. Anexo II.
- Bianchi, E., Villalba, R., Viale, M., Couvreur, F., y Marticorena, R. (2016). New precipitation and temperature grids for northern Patagonia: Advances in relation to global climate grids. *Journal of Meteorological Research*, 30(1), 38-52.
- Bianchi, E., Villalba, R., y Solarte, A. (2020). NDVI Spatio-temporal patterns and climatic controls over northern Patagonia. *Ecosystems*, 23(1), 84-97.
- Brendel, A.S., del Barrio, R.A., Mora, F., León, E.A., Flores, J.R., Campoy, J.A. (2020). Current agro-climatic potential of Patagonia shaped by thermal and hydric patterns. *Theoretical and Applied Climatology*, 142 (3-4), 855-868.
- Bruzuela, A. B., Nasetto, M. D., Aguirre, C. A., y Bressán, M. P. (2015). Comparación de datos de precipitación estimada por TRMM con mediciones en estaciones meteorológicas de Entre Ríos, Argentina. *UD y la geomática*, (10), 18-26.
- Castillo, D. A., Gaitán, J. J., y Villagra, E. S. (2021). Direct and indirect effects of climate and vegetation on sheep production across Patagonian rangelands (Argentina). *Ecological Indicators*, 124, 107417.
- Cisneros, J. M. (2012). *Erosión hídrica. Principios y técnicas de manejo*. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Colombani, E., Behr, S., y Brandizi, L. (2017). Estimación de precipitaciones extremas a través de GSMAP y aplicación hidrológica a la crecida del arroyo Telsen, Chubut, Patagonia Argentina. *Meteorológica*, 42(1), 53-66.
- Dunkerley, D. L. (2019). Rainfall intensity bursts and the erosion of soils: an analysis highlighting the need for high temporal resolution rainfall data for research under current and future climates. *Earth Surface Dynamics*, 7, 345-360.
- Dunkerley, D. L. (2021). Light and low-intensity rainfalls: A review of their classification, occurrence, and importance in landsurface, ecological and environmental processes. *Earth-Science Reviews*, 103529.
- Easdale, M. H., Lopez, D. R., Bianchi, E., Bruzone, O., Villagra, S. E., Siffredi, G. L., y Oricchio, P. (2012). Una herramienta para monitorear sequías en regiones áridas y semiáridas de Patagonia Norte. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 38(2), 158-164.
- Epele, L. B., Manzo, L. M., Grech, M. G., Macchi, P., Claverie, A. Ñ., Lagomarsino, L., y

- Miserendino, M. L. (2018). Disentangling natural and anthropogenic influences on Patagonian pond water quality. *Science of the Total Environment*, 613, 866-876.
- Fabricante, I., Oesterheld, M., Paruelo, J.M. (2009). Annual and seasonal variation of NDVI explained by current and previous precipitation across Northern Patagonia. *Journal of Arid Environments*, 73 (8), 745-753.
- Gaitán, J.J., López, C., Ayesa, J., Bran, D., y Umaña, F. (2004). Características y distribución espacial de los paisajes y los suelos del área Bariloche-Comallo. *Área de Investigación en Recursos Naturales*. INTA EEA Bariloche.
- Gaitán, J. J. (2016). *Atributos estructurales y funcionales de los ecosistemas áridos y semiáridos de la Patagonia y su relación con factores abióticos y el uso antrópico*. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires.
- Gavilán, S., Pastore, J. I., Lighezzolo, A., Ferral, A., Uranga, J., y Aceñolaza, P. (2018). Metodología operativa para la generación de datos históricos de precipitación a partir de la misión satelital Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) y validación de los resultados. In *X Congreso de AgroInformática (CAI)-JAIIO 47* (CABA, 2018).
- Godagnone, R.E. y Bran, D.E. (Eds.) (2009). *Inventario integrado de los recursos naturales de la provincia de Río Negro: geología, hidrología, geomorfología, suelos, clima, vegetación y fauna*. Ediciones INTA, 89-350 pp.
- Golluscio, R. A., Sala, O. E., y Lauenroth, W. K. (1998). Differential use of large summer rainfall events by shrubs and grasses: a manipulative experiment in the Patagonian steppe. *Oecologia*, 115(1-2), 17-25.
- González, M.H., Garbarini, E.M. and Romero, P.E. (2015). Rainfall patterns and the relation to atmospheric circulation in northern Patagonia (Argentina). In Justin A. Daniels ed., *Advances in Environmental Research*. 6 (41), NY, US A, NOVA Science Publications, 85-100.
- Huffman, G.J., Stocker, E.F., Bolvin, D.T., Nelkin, E.J., Jackson, T. (2019). GPM IMERG Final Precipitation L3 Half Hourly 0.1 degree x 0.1 degree V06, Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Accessed: [feb/2021].
- Huffman, G.J., Adler, R.F., Bolvin, D.T., Gu, G., Nelkin, E.J., Bowman, K.P., Hong, Y., Stocker, E.F., Wolff, D.B. (2007). The TRMM multi-satellite precipitation analysis: quasi-global, multi-year, combined-sensor precipitation estimates at fine scale. *Journal of Hydrometeorology*, 8(1), 38-55.
- Jobbágy, E. G., Paruelo, J. M., y León, R. J. (1995). Estimación del régimen de precipitación a partir de la distancia a la cordillera en el noroeste de la Patagonia. *Ecología Austral*, 5(01), 047-053.
- Jobbágy, E. G., Sala, O. E., y Paruelo, J. M. (2002). Patterns and controls of primary production in the Patagonian steppe: a remote sensing approach. *Ecology*, 83(2), 307-319.
- Knapp, A. K., Beier, C., Briske, D. D., Classen, A. T., Luo, Y., Reichstein, M., y Weng, E. (2008). Consequences of more extreme precipitation regimes for terrestrial ecosystems. *Bioscience*, 58(9), 811-821.
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land degradation and development*, 12(6), 519-539.
- Le Houérou, H. N., Bingham, R. L., y Skerbek, W. (1988). Relationship between the variability of primary production and the variability of annual precipitation in world arid lands. *Journal of arid Environments*, 15(1), 1-18.
- Li, Z., y Fang, H. (2016). Impacts of climate change on water erosion: A review. *Earth-Science Reviews*, 163, 94-117.
- Magliano, P. N., Fernández, R. J., Mercu, J. L., & Jobbágy, E. G. (2015). Precipitation event distribution in Central Argentina: spatial and temporal patterns. *Ecohydrology*, 8(1), 94-104.
- Magliano, P. N., Mindham, D., Tych, W., Murray, F., Nosetto, M. D., Jobbágy, E. G., Niborski, M. J., Rufino, M. C., y Chappell, N. A. (2019). Hydrological functioning of cattle ranching impoundments in the Dry Chaco rangelands of Argentina. *Hydrology Research*, 50(6), 1596-1608.
- Masiokas, M. H., Villalba, R., Luckman, B. H., Lascano, M. E., Delgado, S., y Stepanek, P. (2008). 20th-century glacier recession and regional hydroclimatic changes in northwestern Patagonia. *Global and Planetary Change*, 60(1-2), 85-100.
- Massaferro, G. I., Arrigoni, G. I., Boschín, M. T., Fernández, M. M., Crivelli, E. A., y Cordero, J. A. (2012). Indicadores de tecnología y etnodinamia: el análisis de pigmentos en el paraje arqueológico Comallo Arriba, provincia de Río Negro, Argentina. *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino*, 17(1), 117-127.
- Noy Meir, I. (1973). Desert ecosystems: environment and producers. *Annual review of ecology and systematics*, 4(1), 25-51.
- Ovando, G., Sayago, S., Bellini Saibene, Y., y Bocco, M. (2018). Evaluación del desempeño de productos satelitales para estimar precipitación en

- Córdoba (Argentina). En *X Congreso de AgroInformática (CAI)-JAIIO 47* (CABA, 2018).
- Paruelo, J. M., Aguiar, M. R., Golluscio, R. A., León, R. J., y Pujol, G. (1993). Environmental controls of NDVI dynamics in Patagonia based on NOAA-AVHRR satellite data. *Journal of Vegetation Science*, 4(3), 425-428.
- Paruelo J.M., Beltrán A., Jobbágy E.G., Sala O.E., Golluscio R.A. (1998). The climate of Patagonia: general patterns and controls on biotic process. *Ecología Austral*, 8, 85–101.
- Peñalba, O. C., y Rivera, J. A. (2016). Precipitation response to El Niño/La Niña events in Southern South America—emphasis in regional drought occurrences. *Advances in Geosciences*, 42, 1-14.
- Pessacg, N., Flaherty, S., Brandizi, L., Solman, S., y Pascual, M. (2015). Getting water right: A case study in water yield modelling based on precipitation data. *Science of the Total Environment*, 537, 225-234.
- Pessacg, N., Flaherty, S., Solman, S., y Pascual, M. (2020). Climate change in northern Patagonia: critical decrease in water resources. *Theoretical and Applied Climatology*, 140, 807-822.
- Reynolds, J. F., Kemp, P. R., Ogle, K., y Fernández, R. J. (2004). Modifying the ‘pulse–reserve’ paradigm for deserts of North America: precipitation pulses, soil water, and plant responses. *Oecologia*, 141(2), 194-210.
- Rostagno, C.M., Coronado, F., Puebla, D., del Valle, H.F. (1999). Runoff and erosion in five land units of a closed basin of northeastern Patagonia. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 13, 281–292.
- Solano-Hernández, A., Bruzzone, O., Groot, J., Laborda, L., Martínez, A., Tittonell, P. y Easdale, M. H. (2020). Convergence between satellite information and farmers’ perception of drought in rangelands of North-West Patagonia, Argentina. *Land Use Policy*, 97, 104726.
- Viale, M., Bianchi, E., Cara, L., Ruiz, L. E., Villalba, R., Pitte, P. y Zalazar, L. (2019). Contrasting climates at both sides of the Andes in Argentina and Chile. *Frontiers in Environmental Science*, 7, 69.
- Wang, J., Petersen, W.A., Wolff, D.B. (2021). Validation of satellite-based precipitation products from TRMM to GPM. *Remote Sensing*, 13, 1745.
- Yahdjian, L. y Sala, O. E. (2008). Do litter decomposition and nitrogen mineralization show the same trend in the response to dry and wet years in the Patagonian steppe? *Journal of Arid Environments*, 72(5), 687-695.
- Zhang, S., Wang, D., Qin, Z., Zheng, Y. y Guo, J. (2018). Assessment of the GPM and TRMM precipitation products using the rain gauge network over the Tibetan Plateau. *Journal of Meteorological Research*, 32(2), 324-336.

**Tipo de Publicación: NOTA TECNICA.**

**Trabajo recibido el 28/03/2022 y aprobado para su publicación el 25/04/2022.**

#### COMO CITAR

Aramayo, V.; Cremona, M. V.; Fernández, R. J.; Nosetto, M. D. (2022). Características de las precipitaciones en zonas áridas de la Patagonia norte, Argentina. *Cuadernos del CURIHAM*, 28, 43-58. DOI: <https://doi.org/10.35305/curiham.v28i.180>

*Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia: Creative Commons Atribución -No Comercial -Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>)*

