

2017

REPORTE ANUAL DE LA EVOLUCIÓN DEL CLIMA EN CHILE

DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL

DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE

Sección Climatología – Oficina de Cambio Climático



Junio -2018

REPORTE ANUAL DE LA EVOLUCIÓN DEL CLIMA EN CHILE

Informe climático preparado en el marco del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022, para dar cumplimiento con el objetivo específico “Mejorar el Sistema de monitoreo de las principales variables climáticas a nivel nacional como base de información para el seguimiento de la evolución climática en Chile”, Ficha MA2 de las líneas de acción para el Eje de Adaptación, Anexo I.B.

Documento elaborado por la Oficina de Cambio Climático de la Sección de Climatología de la Dirección Meteorológica de Chile.

Dirección General de Aeronáutica Civil.

Junio de 2018

CONTENIDO

1. Antecedentes Generales		
1.1	Introducción	3
1.2	Contexto Climático	4
1.3	Resumen de hechos climáticos relevantes y récords 2017	6
2. Comportamiento de la temperatura		
2.1	Temperatura media y extremas	9
	Temperatura media	9
	Temperaturas extremas	11
2.2	Índices climáticos extremos de temperatura	12
	Olas de Calor	12
	Días de Verano	14
	Heladas	15
	Noches cálidas/frías y días cálidos/fríos	16
	Rango diurno de temperatura	18
	Otros índices extremos climáticos de temperatura	20
3. Comportamiento de la Precipitación		22
3.1	Tendencias y análisis decadal	22
3.2	Análisis anual y estacional	24
3.3	Índices climáticos extremos de precipitación	26
	Tendencias (1961-2017)	26
	Otros índices extremos climáticos de precipitación	29
4. Comportamiento de la Sequía		31
4.1	La sequía más extensa	31
5. Conclusiones		35
6. Referencias		36
7. Anexos		37

ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Introducción

El constante monitoreo del clima nos provee de una herramienta eficaz para el entendimiento de los procesos de la atmósfera y del océano, pero más aún permite evidenciar el comportamiento anómalo del clima y detectar las zonas más vulnerables respecto a la severidad por eventos extremos climáticos.

El propósito de este informe es colaborar con el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022, específicamente en el eje de Adaptación cuyo objetivo es: mejorar el sistema de monitoreo de las principales variables climáticas a nivel nacional como base de información para el seguimiento de la evolución climática en Chile. En este contexto, la Dirección Meteorológica de Chile tiene como actividades la puesta en marcha de la red de 68 estaciones meteorológicas automáticas operativas y el análisis de información climática que anualmente se recopila, para obtener una visión técnica y concisa de la evolución del clima.

Las variables que aquí se expresan son la temperatura y precipitación, junto a las relaciones con otros índices climáticos y oceánicos, que pueden influir en el comportamiento del clima. El siguiente informe se compone de un análisis climático del 2017 y un resumen de los hechos y eventos más relevantes ocurridos en términos climáticos en el país durante el 2017. En la sección 2, se realiza una comparación de la temperatura y precipitación del 2017 respecto a períodos climáticos anteriores, y un análisis de la sequía meteorológica a lo largo del país. Las tendencias de los índices de cambio climático más significativos se muestran en la sección 3. Finalmente, se discute acerca del alcance de este trabajo.

1.2 Contexto climático

El análisis de la temperatura media global muestra que año 2017 fue el segundo año más cálido desde que se tienen mediciones, presentando una anomalía de 0.89°C sobre el promedio 1951-1980 según el conjunto de datos GISS-TEMP de la Administración Nacional de la Aeronáutica y el Espacio (NASA) de los Estados Unidos (Fig. 1). Con esto, el 2017 se transformó en el año más cálido sin la presencia de un evento de El Niño, hecho que marca un precedente en el aumento de temperatura que comenzó durante el siglo XIX asociado a la emisión de gases de efecto invernadero por efecto antropogénico. Es considerable que 17 de los 18 años más cálidos han ocurrido durante el actual siglo, exhibiendo en los últimos tres años un calentamiento excepcional.

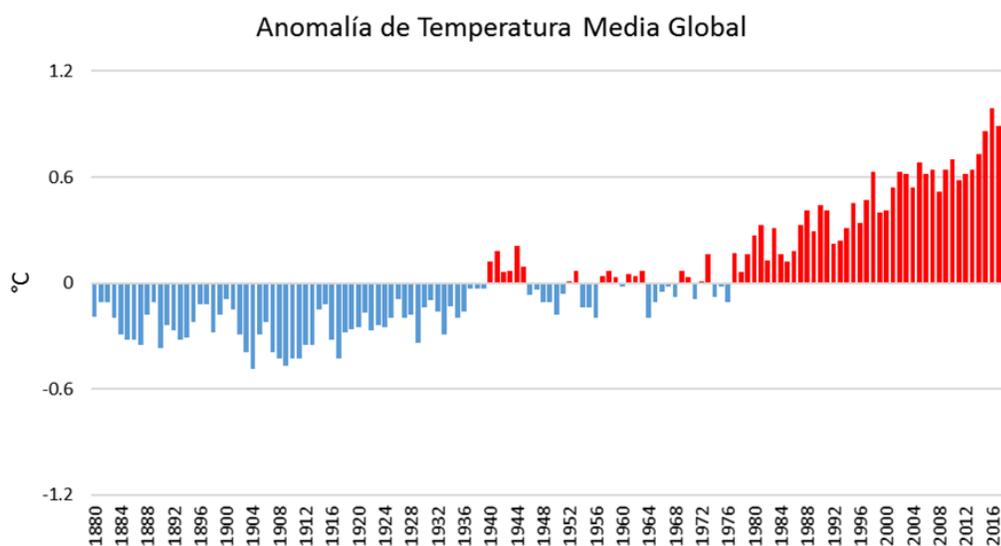


Fig. 1. Anomalía de temperatura media global (°C), conjunto de datos GISS-TEMP. Período de referencia 1951-1980. Fuente: NASA-GISS.

En relación con las variaciones de interacción océano-atmósfera, el 2017 se caracterizó por presentar un escenario neutro en cuanto a la temperatura superficial del mar (TSM) en la región del Pacífico ecuatorial a comienzos de año, lo que se mantuvo hasta el invierno austral. Durante la primavera se desarrolló un evento frío de La Niña, la cual alcanzó categoría débil durante el último trimestre impactando principalmente en la disminución de la temperatura durante este período. Particularmente en Chile el año comenzó con un verano cálido en la zona centro-sur del país, producto de anomalías positivas de altura geopotencial en 300 hPa (Fig. 2a), asociadas al paso de dorsales en altura y a un anómalo posicionamiento de la Alta de Bolivia sobre territorio chileno. Esto permitió que se registraran diversos récords de temperatura máxima y se generaran condiciones favorables para la propagación e intensificación de incendios forestales

durante el mes de enero. Al mismo tiempo, valores negativos de geopotencial y de presión se observaron en la zona austral, que originaron eventos de precipitaciones de diversa intensidad durante la primera parte del año.

Durante el invierno predominaron anomalías negativas de altura geopotencial y de presión en la zona sur y austral (Fig. 2b y 2d), asociadas a un aumento en la frecuencia de sistemas frontales por la zona, por lo que las precipitaciones se presentaron cerca de valores normales e incluso lluviosos en algunas estaciones durante ese periodo. Al contrario, en la zona norte y central predominaron condiciones anticiclónicas reflejadas en anomalías positivas de altura geopotencial en 300 hPa (Fig. 2b) favoreciendo condiciones mayormente secas en términos de pluviometría.

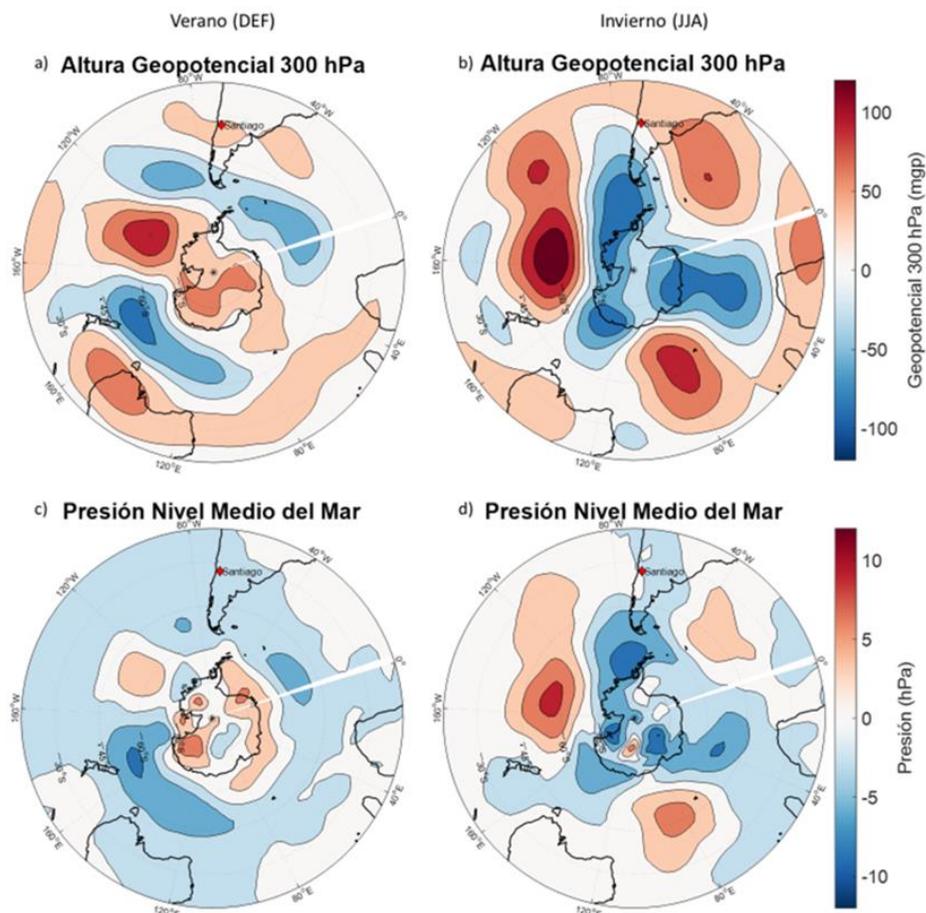


Figura 2. Anomalías de altura geopotencial y presión a nivel medio del mar para verano (izquierda) e invierno (derecha) 2017.

1.3 Resumen de hechos climáticos relevantes y récord del 2017



Ciudad (Estación Meteorológica)	Récord 2017	Récord Anterior (desde 1961)
Calama (Ad. El Loa)	El promedio anual de temp. mínima alcanzó 4°C al igual que el record anterior. El trimestre Enero-Febrero-Marzo (EFM) promedió 8.7°C de temp. Mínima.	4.0°C el 2005. 8.1°C el 2001.
Antofagasta (Ap. Cerro Moreno)	En junio se acumuló 19.6 mm de agua caída. El trimestre de invierno Junio-Julio-Agosto (JJA) acumuló 19.6 mm.	14.1 mm en junio de 1991 14.2 mm en JJA de 2015
La Serena (Ad. La Florida)	El promedio de Febrero de Temp. Mínima alcanzó los 16.1°C. En mayo se acumuló 116.6 mm de agua caída. El trimestre EFM promedió 15.4°C de temp. Mínima. El trimestre de Otoño (MAM) fue el más lluvioso con 116.6 mm.	15.7°C en febrero de 1983 68.6 mm en mayo de 2003 15.2°C en EFM de 1983 70.4 mm en MAM de 2003
Combarbalá (Estación INIA)	En mayo se acumuló 206.6 mm de agua caída. El trimestre de otoño (MAM) fue el más lluvioso con 206.6 mm.	136.5 mm en Mayo de 1993. 185.2 mm en MAM de 1993.
Isla de Pascua (Ap. Mataverí)	Los promedios de temp. máxima de Marzo, Abril y Mayo fueron 28.1°C, 27.1°C y 24.7°C, respectivamente. El promedio de temp. mínima en Abril fue de 20.8 °C. El promedio de temp. máxima de Otoño alcanzó 26.6 °C. Los meses de mayo y diciembre fueron los más secos con 15.2 mm y 15.8 mm y fue el segundo año más seco con 661 mm. El semestre de abril a septiembre fue el más seco con un total de 219.6 mm.	Marzo 28°C en 1972; abril 26.9°C en 1972 y 24.6°C en 1993 20.3°C en Abril de 2004 26.4°C en MAM de 1972 19 mm en mayo de 1993 y 16.9 mm en diciembre de 2014 371.7 mm de 2016
Arch. Juan Fernández	El promedio de enero de temp. máxima alcanzó los 23.7°C . Los promedios de temp. mínima en enero y febrero fueron 17.8°C y 18.3°C, respectivamente.	23.6°C en enero de 1972 17.6°C en enero y 18.2°C en febrero, ambos en 1989
Valparaíso (Ad. Rodelillo)	El promedio de temp. máxima en abril alcanzó 22.1°C. Trimestre EFM promedió 24.3°C de temp. máxima.	21.3°C en Abril de 2015. 24.2°C en EFM en 1993
Valparaíso (SERVIMET)	El trimestre EFM igualó el record anterior en el promedio de temp. máxima de 22°C.	22°C en EFM de 1980.
Santiago (Quinta Normal)	Se registró la máxima temp. del año de 37.4°C el 25 de enero. Se registró la máxima temp. mínima del año de 19.5°C el día 26 de febrero. El promedio de temp. mínima en Enero alcanzó 15°C. El trimestre EFM promedió 30.9°C de temp. máxima.	37.3°C el 14 de diciembre de 2016. 19.1°C el 8 de febrero de 2013. 14.5°C en enero de 2016 30.7°C en EFM el 2012.
Curicó (Ad. Gral. Freire)	Los promedios de enero y febrero de la temp. máxima alcanzaron los 32.8°C y 31.6°C, respectivamente. El trimestre EFM promedió 30.8°C de temp. máxima. Se registró la máxima temp. mínima diaria de 19.2°C el 26 de enero de 2017. Los trimestres EFM y FMA promediaron 13.1°C y 10.9°C de temp. mínima, respectivamente.	31.6°C en enero de 2009 y 31°C en febrero de 1999 30.4°C en EFM de 2015. 19.0°C el 20 de febrero de 1980 12.7°C en EFM de 2008 y 10.7°C en FMA de 2016
Chillán (Ad. Gral. Bdo. O'Higgins)	Se registró la máxima temp. del año que alcanzó 41.5°C el 26 de enero. Se alcanzó el promedio de temp. máxima en enero de 31.5°C. Se registró la máxima temp. mínima del año de 20.4°C el 23 de febrero. El promedio de febrero de temp. mínima alcanzó 12.6°C.	39.5°C el 25 de febrero de 1963. 31.5°C en Enero de 2015. 18.5°C el 26 de Febrero de 2005 12.3°C en Febrero de 2008.
Concepción (Ap. Carriel Sur)	Se registró la máxima temp. del año que alcanzó 34.1°C el 26 de enero. El promedio de enero de la temp. máxima alcanzó 25°C. El promedio de febrero de la temp. mínima alcanzó 12.7°C. Los trimestres EFM y FMA, promediaron 12.1°C y 11.1°C de temp. Mínima.	33.4°C el 31 de Diciembre de 1977 24°C en enero de 2014. 12.6°C en febrero de 1980 11.9°C y 10.8°C, el 2016 y 1993.
Osorno (Ad. Cañal Bajo)	Se registró la máxima temp. mínima del año de 18.2°C el 20 de febrero. Promedio de febrero de temp. mínima fue de 10.6°C.	17.8°C el 6 de marzo de 1987. 9.9°C en febrero de 1980
Puerto Montt (Ap. El Tepual)	Se registró la máxima temp. mínima del año de 17.9°C el 22 de febrero.	17.3°C el 3 de marzo de 2005.

*Todos los récords están calculados a partir del año 1961 a excepción de Calama, Rodelillo e Isla de Pascua que comienzan con información validada desde 1971.

2. Comportamiento de la Temperatura

2.1 Temperatura media y extremas

Temperatura Media

Durante el año 2017 la temperatura media en Chile alcanzó 13.4°C ubicándose 0.61°C sobre el promedio 1961-1990. Cabe destacar, que este año no estuvo influenciado por episodios de El Niño (evento mediante el cual logra aumentar la temperatura media en varias décimas de grado, como en el caso del 2016). Con este registro, se alcanzan 7 años consecutivos con valores sobre el promedio y se mantiene el año 2016 como el más cálido desde 1961 con 13.8°C.

La tendencia del calentamiento durante los últimos 57 años (1961-2017) (Fig. 3), es de 0.11 °C/década en Chile, influenciada en mayor medida por la zona central, la cual aumenta a razón de 0.17°C por cada 10 años. Regionalmente, las ciudades de Curicó y Calama fueron las que presentaron los más elevados promedios de temperatura media en Chile respecto a su climatología, de 15.2°C y 13.8°C, respectivamente. Se destaca que estos años están dentro de los tres más cálidos desde que se tiene registro.

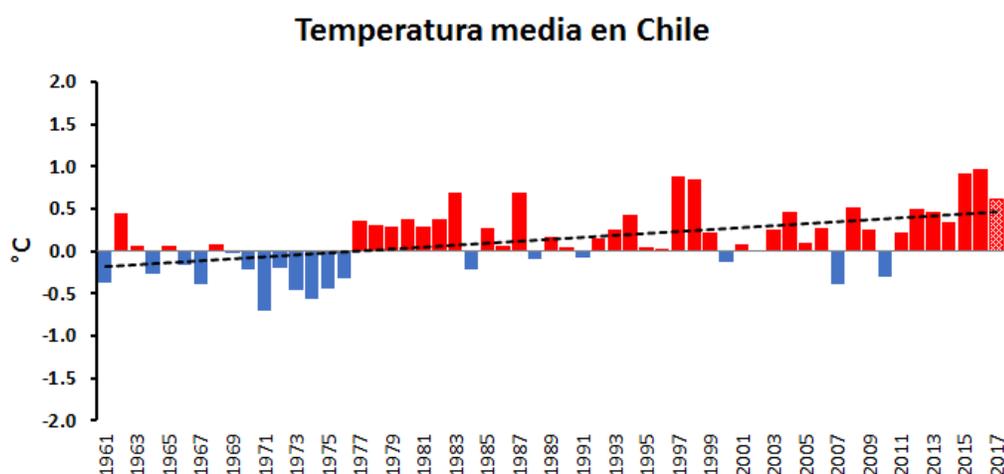


Fig. 3: Anomalías de temperatura media en Chile desde 1961 hasta el año 2017 respecto al periodo climático 1961-1990.

Con el fin de analizar el ciclo anual de la temperatura media a lo largo de Chile, se dividió el país en cuatro macrozonas; **Costa Norte** que incluye las ciudades de Arica, Iquique, Antofagasta, La Serena; **Costa Centro-Sur** incluye Valparaíso, Concepción, Valdivia,

Osorno y Puerto Montt; **Valle** considera Calama, Santiago, Curicó, Chillán y Temuco y finalmente la **Zona Austral** que incluye Coyhaique, Balmaceda y Punta Arenas.

En la zona norte en la zona norte costera (Fig. 4), la temperatura media durante el 2017 (línea roja), se presentó más cálida que el promedio 1961-1990 (línea gris) en el primer trimestre del año, repitiéndose esta condición durante la primera quincena de mayo, mientras que hacia el resto del año se mantuvo cercana a la curva del promedio, con pequeñas fluctuaciones en noviembre y diciembre en las cuales la temperatura media es más fría que el promedio. En la costa centro norte del país y en el valle centro sur, se destaca que el promedio de la temperatura media durante el verano, hasta incluso la primera semana de marzo fue extraordinariamente más cálida, entre 5°C y 6°C sobre el promedio climatológico, respectivamente. Cabe mencionar que, en esta temporada se produjeron los incendios forestales más catastróficos que ha presentado el país y además se alcanzaron a registrar récords de temperatura. Por otro lado, la temperatura media en la zona centro norte se presentó más baja de lo normal durante la última semana de junio y de julio, manteniéndose el resto del año cercano al promedio. En el valle en cambio, hubo un rápido descenso de la temperatura entre fines de mayo y junio, siendo más bajas que el promedio climatológico.

La zona austral inició el año con temperatura más fría que el promedio, destacando la media a fines de junio que llegó a -7.8°C. La segunda mitad del semestre, la temperatura se mantuvo en torno al promedio.

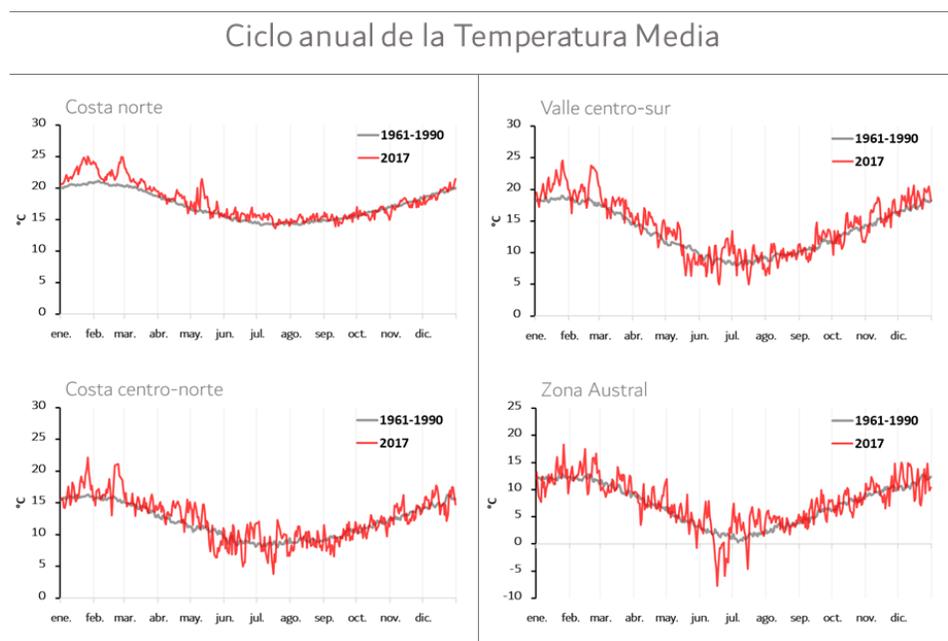


Fig. 4: Evolución anual de la temperatura media durante el año 2017 (línea roja) y ciclo anual del promedio 1961-1990 (línea gris), para las macrozonas Costa norte, Costa centro-sur, Valle centro-sur y zona austral.

Temperatura Extremas

Las fluctuaciones de la temperatura mínima y máxima muestran diferencias espaciales en cuanto a su tendencia. Si bien, la anomalía de temperatura máxima durante el año 2017 fue positiva (más cálida) en todas las zonas geográficas, se observan contrastes entre la costera norte (anomalías negativas) y el resto del país (anomalías positivas) y en las últimas dos décadas principalmente (Fig. 5). Esta observación, hace que la tendencia en la costa norte sea negativa ($-0.03^{\circ}\text{C}/\text{década}$), mientras que en la costa centro-sur, en el valle centro-sur y en la zona austral son positivas con $0.10^{\circ}\text{C}/\text{década}$, $0.16^{\circ}\text{C}/\text{década}$ y $0.16^{\circ}\text{C}/\text{década}$, respectivamente (Fig. 5).

Completamente diferente son las anomalías respecto de la temperatura mínima (Fig. 6), donde se observa una tendencia positiva clara especialmente en la zona norte costera, sin embargo, gran parte se explica al significativo salto climático de 1976 (Fig. 6) (Villaruel et al, 2006; Jacques-Coper and Garreaud, 2014).

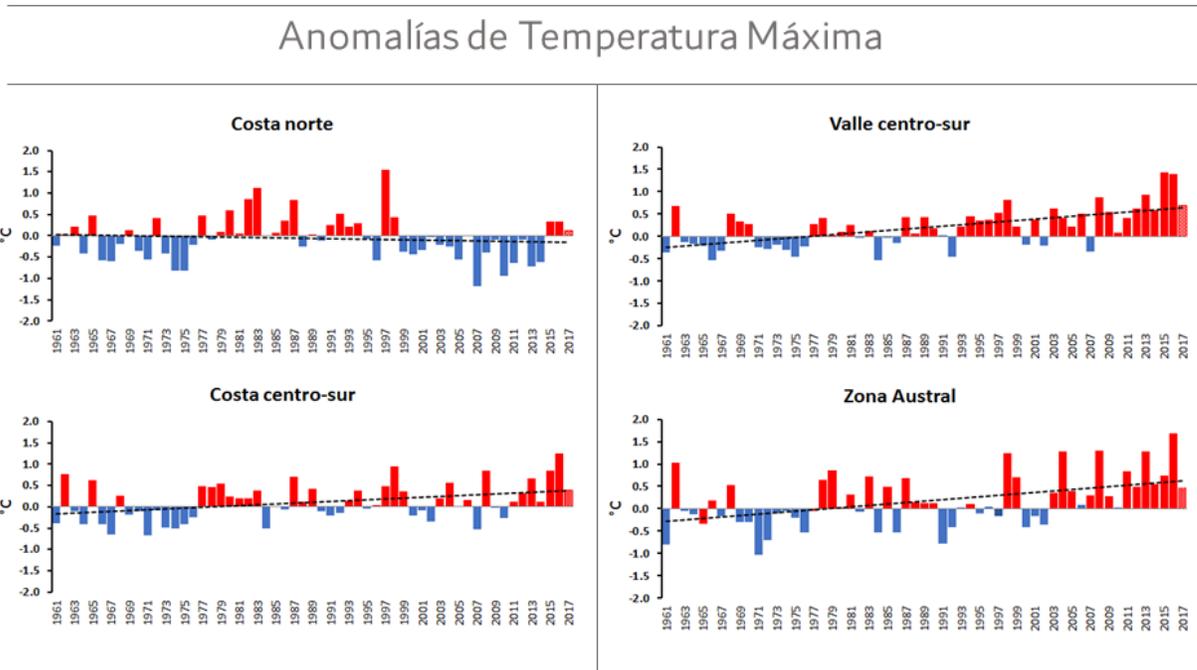


Fig. 5: Anomalías de temperatura máxima desde 1961 hasta el año 2017 respecto al periodo climático 1961-1990, expresadas en $^{\circ}\text{C}$, para las macrozonas Costa norte, Costa centro-sur, Valle centro-sur y zona austral. La línea segmentada muestra la tendencia lineal de la serie.

Específicamente, las tendencias de la temperatura mínima entre 1961 y 2017 fueron de $0.2^{\circ}\text{C}/\text{década}$ en la costa norte, $0.07^{\circ}\text{C}/\text{década}$ en la costa centro-sur, $0.21^{\circ}\text{C}/\text{década}$ en el valle centro-sur y la zona austral la tendencia fue de $0.04^{\circ}\text{C}/\text{década}$. Conjuntamente, se

muestran años donde la temperatura especialmente la mínima se eleva más allá de 2°C producto de eventos de El Niño, por ejemplo, 1982 y 1997 (Fig. 6). A pesar de estas variaciones naturales del sistema climático, el año 2017 se presentó más cálido de lo norma en concordancia con la tendencia positiva, destacando la costa norte del país donde fue de +1.3°C.

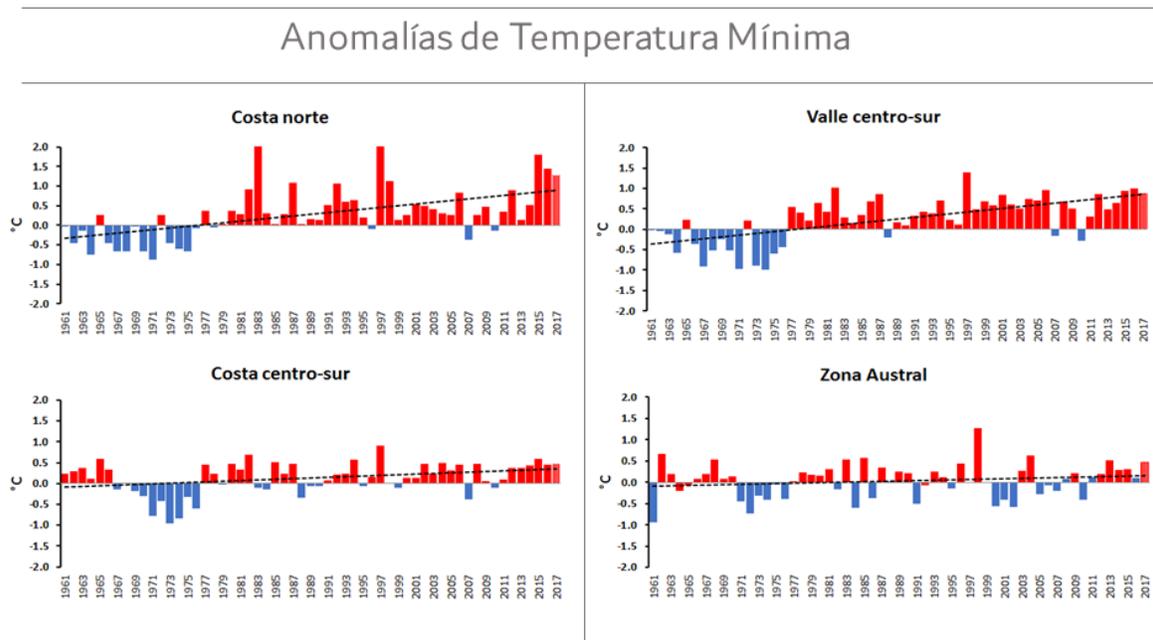


Fig. 6: Anomalías de temperatura mínima desde 1961 hasta el año 2017 respecto al periodo climático 1961-1990, expresadas en °C, para las macrozonas costa norte, costa centro-sur, valle centro-sur y zona austral. La línea segmentada muestra la tendencia lineal de la serie.

Anomalía: es la diferencia entre el valor y su promedio definido. En climatología y para efectos de cambio climático, el promedio climatológico de comparación es el promedio o mediana considerando los 30 años entre 1961-1990.

2.2 Índices Climáticos Extremos de Temperatura

Olas de Calor

Una de las consecuencias del aumento de la temperatura máxima es, mayor frecuencia, duración e intensidad de las olas de calor*, las cuales han presentado un incremento significativo del orden de dos a tres eventos en comparación con la mitad del siglo XX en la zona centro sur del país.

La tendencia de estos eventos extremos muestra que los principales incrementos se observan en los valles y las áreas precordilleranas, mientras que tendencias negativas,

aunque no significativas se presentan en las estaciones ubicadas en la costa desde Arica hasta Concepción incluyendo el Archipiélago Juan Fernández, producto probablemente de la sinergia con las tendencias de la temperatura del mar del Pacífico (Fig. 7a). Los impactos de las olas de calor están fuertemente relacionadas con la salud, la agricultura, el secamiento de acuíferos y desplazamiento de vectores, entre otros; pero sin lugar a dudas, en esta última temporada* 2016-2017, la contribución de la presencia de olas de calor en época de incendios forestales trajo consecuencias adversas. Algunas de las ciudades que registraron mayor cantidad de eventos fueron Santiago y Curicó, 9 y 8 respectivamente, cuando en promedio se registran entre 1 a 2 eventos por temporada (promedio 1961-1990). Efectivamente, en Santiago esta temporada es la mayor desde 1961 (Fig. 7 b), mientras que, en Curicó alcanzó a ser el segundo año con más eventos de olas de calor (Fig. 7 c), luego de la temporada 2014-2015.

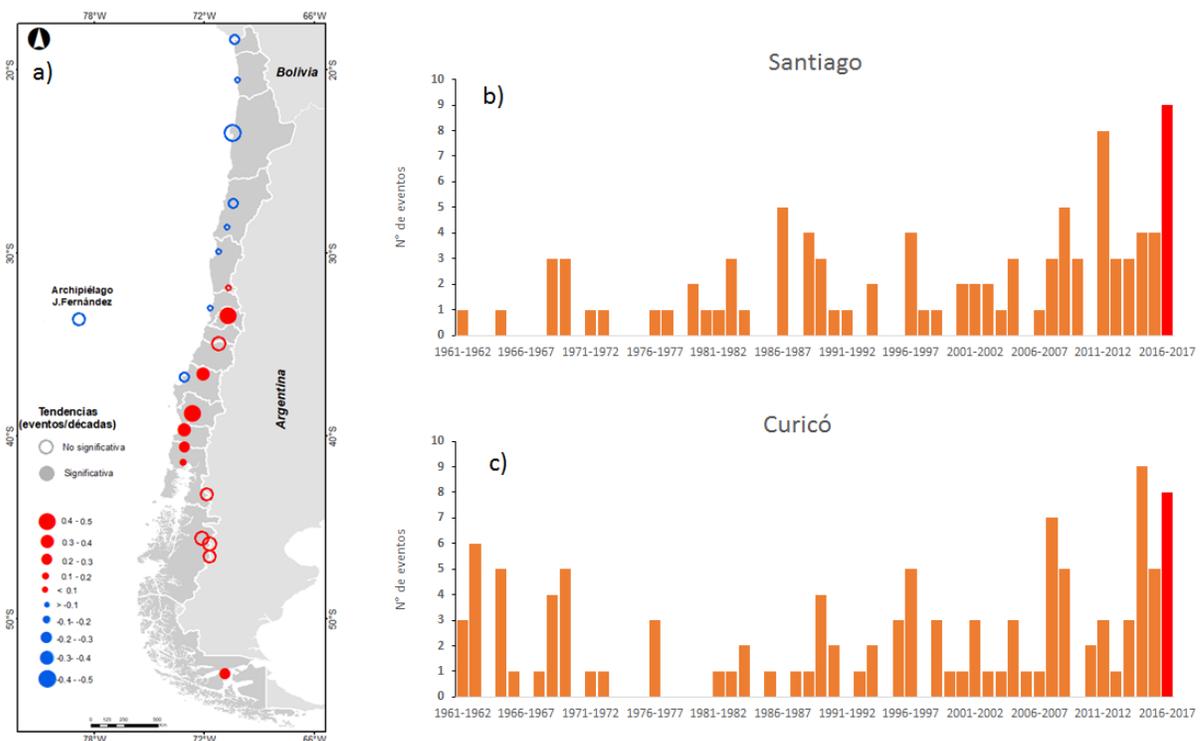


Fig. 7: a) mapa de tendencias del número de eventos de olas de calor en el periodo 1961 hasta el 2017. El tamaño de los círculos es proporcional al valor de la tendencia en eventos por décadas. Círculos rojos/azules corresponden a tendencias positivas/negativas. Los círculos sombreados representan tendencias significativas al 95% de confianza. b) y c) son series del número de eventos por año en Santiago y Curicó, respectivamente.

Olas de Calor: se define como tres o más días consecutivos en que la temperatura máxima supera el umbral del percentil 90%, de cada estación. La temporada se refiere al periodo comprendido entre noviembre a marzo (Vilches y Villarroel, 2017).

Días de Verano (SU25 y SU30)

Al igual que el índice de Olas de Calor, los días de verano (**SU**, summer days) que se definen como los días en que la temperatura máxima supera los 25° y 30°C, han mostrado un notorio incremento desde la región metropolitana hasta la región de Aysén, presentando tendencias significativas entre 5 y 1 día por década en las ciudades de Santiago, Curicó, Chillán, Temuco, Valdivia, Puerto Montt, Coyhaique y Balmaceda, en los días de verano sobre 25°C (**SU25**).

Tabla Nro. 1: Número de días de Días de Verano sobre 25°C (SU25) y sobre 30°C (SU30). Primera columna es el 2017, luego el promedio climatológico (1961-1990) y se indica la tendencia en días por década. Las tendencias significativas están coloreadas.

	Días de Verano (SU25)			Días de Verano (SU30)		
	2017	Prom. (Días)	Tendencia (días/dec.)	2017	Prom. (Días)	Tendencia (días/dec.)
Arica	97	82	-1.7	0	0.5	-0.1
Iquique	78	67	-2.1	0	1.4	-0.1
Calama	87	67	11.5	0	0.2	0.0
Antofagasta	34	13	-1.1	1	0.1	0.0
Copiapó	249	238	0.3	115	59.5	2.6
La Serena	12	1	0.4	0	0.0	0.0
Valparaíso	12	3	0.6	0	0.1	0.0
Juan Fernandez	15	3	-0.1	0	0.0	0.0
Santiago	170	150	4.6	87	45.6	6.1
Curicó	139	119	3.7	77	35.7	3.9
Chillán	117	103	2.6	55	28.4	3.2
Concepción	23	11	0.3	2	0.4	-0.1
Temuco	53	36	4.5	3	3.8	1.2
Valdivia	35	27	3.2	5	2.6	0.7
Osorno	24	21	1.7	1	1.6	0.2
Puerto Montt	2	3	0.8	0	0.2	0.1
Coyhaique	8	9	1.6	0	0.7	0.4
Balmaceda	2	5	1.0	0	0.3	0.2
Punta Arenas	0	0	0.0	0	0.0	0.0

En aquellas ciudades como Santiago y Curicó el incremento de los días sobre 30°C es considerable, la tendencia indica que los **SU30** se incrementan en 6 y 4 días por cada diez años, respectivamente (Tabla nro. 1). Efectivamente, el 2017 en Santiago se superó el récord que ostentaba el 2016 de 77 días a 87 días. Lo mismo sucede con Curicó donde se registraron 77 días mientras que el máximo había sido el 2008 con 73 días. En Chillán el promedio de SU30 son 28 días, en los últimos tres años han sido sobre 55 días (Fig. 8).

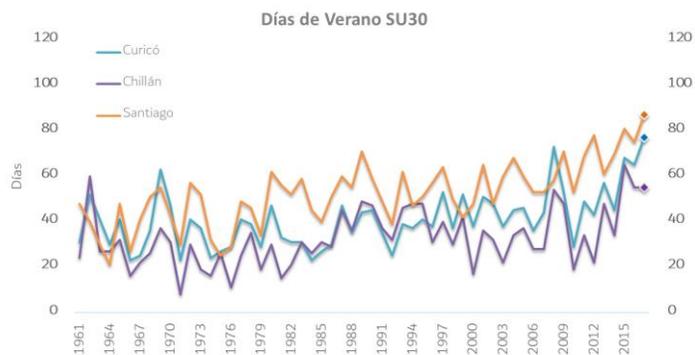


Fig. 8: Número de días de verano al año (días con temperatura máxima mayor a 30°C) en Santiago, Curicó y Chillán.

Heladas

Las heladas son aquellos días cuando se presentan con temperatura mínima menor o igual de 0°C (**FD0**), tienen diversas implicancias tanto en la agricultura como en la población más vulnerable desprovista de refugio y también afecta la calidad del aire producto de la demanda de calefacción. En este sentido tiene ventajas que la tendencia de los días con heladas esté disminuyendo en la mayor parte del país, a excepción de Temuco, Puerto Montt y Balmaceda. Los valores varían entre -9 a -1 día por década, siendo significativas en Curicó, Chillán y Punta Arenas (Tabla Nro. 2). Por ejemplo, en Curicó el número de heladas por año contempla períodos fríos como en la década de los 60, donde el FD0 se incrementa y, además, se presentan años particularmente fríos dominados por la variabilidad interanual asociada a episodios de La Niña (Fig. 9). A pesar de estas variaciones, la tendencia lineal muestra la disminución de las heladas de 3.4 días por década.

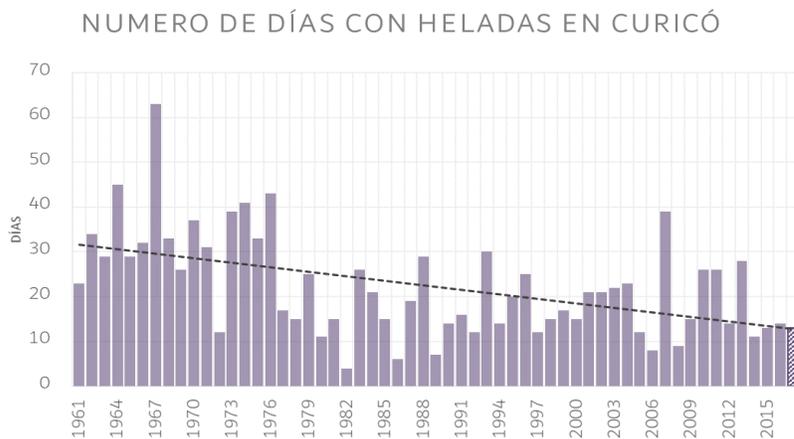


Fig. 9. Número de heladas por año en Curicó. Línea segmentada es la tendencia lineal de -3 heladas por década.

En general la cantidad de heladas del 2017 fueron menores o se mantuvieron en el rango del promedio climatológico, pero se incrementaron respecto al 2016, probablemente producto de la incursión de un mayor número de masas de aire frío. En algunas estaciones como Chillán aumentaron de 22 en promedio a 32 en el 2017, mientras que en Temuco se originaron 40 heladas, superando el promedio de 29 (Tabla nro. 2).

Tabla Nro 2: Número de días con heladas (Temp. Mínima $\leq 0^{\circ}\text{C}$). Primera columna año 2017, luego el promedio climatológico (1961-1990) y la tendencia en días por década. Las tendencias significativas están coloreadas.

	Heladas (FDO)		
	2017	Prom. (días)	Tendencia (días/dec.)
Calama	56	90.2	-9.6
Copiapó	0	1.7	-0.7
Santiago	5	7.9	-0.4
Curicó	13	25.8	-3.4
Chillán	32	22.4	-1.2
Concepción	2	5.4	-0.5
Temuco	40	28.7	0.9
Valdivia	30	30.2	-0.9
Osorno	26	36.2	-0.5
Puerto Montt	25	23.9	1.3
Coyhaique	60	57.7	-0.6
Balmaceda	79	97.8	2.4
Punta Arenas	54	79.7	-3.8

Noches Cálidas/Frías y Días Cálidos/Fríos

Las noches cálidas (**TN90p**) es probablemente el indicador más consistente para describir el calentamiento actual, de hecho, a lo largo del país la única estación (de las estudiadas) que no presenta un incremento es Puerto Montt. Aproximadamente el 60% de las estaciones presentan tendencias positivas significativas desde 1961-2017 y estas varían entre 0.4 a 5.2 días por década (Tabla Nro. 3). Por otro lado, las estaciones del norte del país presentan los mayores porcentajes de cambio (sobre el 125%), las que también presentan disminución de las noches frías, pero marcada por una variabilidad interanual que está relacionada con los eventos de El Niño, tal como se aprecia en la figura 10 donde los eventos de El Niño 1982, 1997 y 2015 lograron incrementar las noches cálidas en un 200%. Durante el 2017, los días cálidos (**TX90p**) alcanzaron entre 28% y 20%, respectivamente; dominando por sobre los extremos fríos.

El panorama en la zona central no es diferente a lo que ocurre a nivel global, el incremento de las noches cálidas alcanzó el 30% siendo el cuarto año con mayor número de noches cálidas en 56 años (Fig. 10). Los días cálidos por su parte alcanzaron el tercer

año con mayor cantidad de estos extremos, considerando que llevamos 10 años consecutivos con más días cálidos que fríos. En la zona sur, igualmente dominan los índices extremos cálidos pero el incremento es más estable en las noches cálidas. Los años 2015 y 2016 siguen siendo los que han presentado un mayor número de éstos.

Tabla Nro. 3: Porcentaje de noches cálidas (TN90p), noches frías (TN10p), días cálidos (TX90p) y días fríos (TX10p). Primera columna es el 2017, luego se indica el porcentaje de cambio del indicador respecto al promedio climatológico 1961-1990 y la tendencia en días por década. Las tendencias significativas son coloreadas.

	Noches Cálidas (TN90p)			Noches Frías (TN10p)			Días Cálidos (TX90p)			Días Fríos (TX10p)		
	2017	%Cambio	Tendencia (%días/dec.)	2017	%Cambio	Tendencia (%días/dec.)	2017	%Cambio	Tendencia (%días/dec.)	2017	%Cambio	Tendencia (%días/dec.)
Arica	36	269	5.2	2	-81	-2.5	12	21	-0.3	7	-23	0.9
Iquique	27	167	1.6	0	-100	-2.9	7	-30	-1.0	12	16	1.8
Calama	27	166	2.5	3	-76	-2.3	10	1	2.4	7	-39	-1.1
Antofagasta	27	163	2.7	1	-92	-2.4	11	5	-0.9	19	86	2.1
Copiapó	12	22	1.1	4	-65	-3.0	28	181	0.6	9	-7	0.7
La Serena	23	125	2.6	2	-76	-1.7	19	81	0.3	4	-64	0.1
Valparaíso	12	14	0.5	4	-65	-2.3	15	42	0.7	2	-76	-1.2
Juan Fernandez	17	69	0.5	8	-25	-1.4	10	-4	-0.7	13	25	0.8
Santiago	14	36	1.3	3	-68	-1.2	21	99	1.9	6	-44	-1.1
Curicó	20	95	0.5	1	-87	-2.1	24	139	1.5	8	-25	-0.6
Chillán	18	72	1.7	7	-28	-1.1	17	63	1.0	9	-13	-0.5
Concepción	16	56	1.4	4	-65	-1.3	12	13	0.4	8	-18	-0.7
Temuco	10	-2	1.6	16	56	0.5	12	22	1.0	9	-17	-0.8
Valdivia	11	7	0.4	11	10	-0.3	12	13	1.0	11	5	-0.5
Osorno	13	23	1.0	6	-38	-0.2	11	4	0.5	9	-10	-0.9
Puerto Montt	13	54	-0.1	9	7	0.1	12	18	0.7	8	-16	-0.6
Coyhaique	11	22	0.4	10	4	-0.1	11	4	0.9	7	-28	-0.4
Balmaceda	14	36	0.5	9	-15	0.7	13	27	1.1	6	-39	-0.8
Punta Arenas	16	64	1.6	5	-47	-1.0	16	54	1.0	6	-44	-0.4

Noches y Días Cálidos/Fríos: Las noches/días cálidos se definen como el porcentaje de días cuando la temperatura mínima/máxima esta sobre el percentil 90%, las noches/días fríos son cuando están por debajo del percentil 10%.



Fig. 10: Porcentaje de días al año de los índices a) noches cálidas y frías, y b) días cálidos y fríos. Las noches /días cálidos (rojo) representan los días sobre el percentil 90% de la temperatura mínima/máxima, mientras que las noches/días fríos (azul) son los días bajo el percentil 10%.

Rango Diario de Temperatura (DTR)

La amplitud térmica o el rango diario de temperatura (**DTR**) es otro índice para evaluar las variaciones que experimenta el clima respecto al cambio climático. Este índice tiene impactos en la agricultura especialmente frutales y en las condiciones de estabilidad en los primeros niveles de la tropósfera (calidad del aire). En Chile las tendencias son comparables con lo que sucede a nivel global, es decir tendencias negativas del **DTR** de

aproximadamente 0.18°C por década a nivel país, producto del incremento más lento de la temperatura máxima que la mínima.

Entre Arica y Copiapó la disminución es similar a regiones del hemisferio norte, con tendencias negativas y significativas de aproximadamente 0.39°C por década, mientras que en la zona central el decrecimiento es en promedio de 0.11°C (Tabla Nro. 4). A modo de ejemplo, en la figura 11 se muestra el decrecimiento sólido del DTR en Arica de $-0.4^{\circ}\text{C}/\text{década}$, donde su promedio anual es de 6.1°C y el 2017 la disminución llegó a 4.7°C .

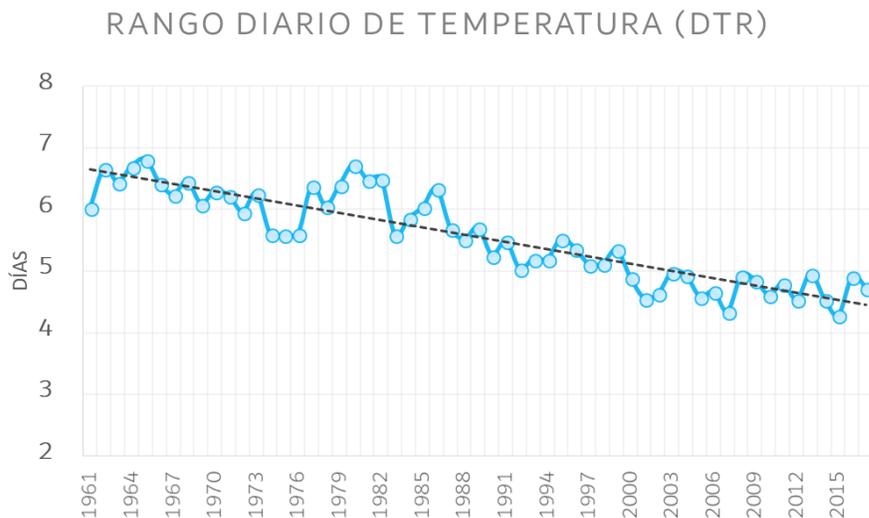


Fig. 11. Rango diario de temperatura (DTR) anual para Arica, desde 1961-2017. La línea segmentada es la tendencia lineal de la serie. En la tabla se muestra los valores del 2017 el promedio de 1961-1990 y la tendencia del 1961-2017.

Otro punto que llama la atención es que, en el tramo de La Serena hasta Concepción, ya sea en valles o costa, el DTR disminuye salvo en Santiago que aumenta, aunque no de forma significativa, pero lo hace a la misma razón que las estaciones ubicadas al sur desde Temuco hasta Balmaceda, una razón probable de este aumento podría ser el factor urbano.

Respecto al 2017, este sigue la tendencia a disminuir en la mayoría de las estaciones, pero como se menciona anteriormente en Santiago el 2017 presentó un DTR de 14.9°C , 8 décimas de grado sobre el promedio.

Tabla Nro. 4: Rango diario de temperatura (DTR, Diurnal Temperatura Range) expresados en °C. Primera columna año 2017, luego se indica el promedio climatológico 1961-1990 y la tendencia en °C por década. Las tendencias significativas son coloreadas.

	Rango Diario Temp (DTr)		
	2017	Prom. (°C)	Tendencia (°C/dec.)
Arica	4.7	6.1	-0.39
Iquique	4.7	6.4	-0.37
Calama	19.4	20.7	-0.13
Antofagasta	4.8	6.4	-0.35
Copiapó	17.8	17.3	-0.33
La Serena	7.6	7.9	-0.17
Valparaíso	6.7	6.3	-0.04
Juan Fernandez	5.0	5.2	-0.16
Santiago	14.9	14.1	0.10
Curicó	13.2	13.6	-0.11
Chillán	13.6	13.5	-0.08
Concepción	9.4	9.9	-0.11
Temuco	12.1	11.4	0.11
Valdivia	11.1	10.8	0.10
Osorno	10.6	10.7	0.05
Puerto Montt	8.5	8.4	0.14
Coyhaique	8.9	8.8	0.10
Balmaceda	9.0	9.2	0.20
Punta Arenas	6.9	7.0	-0.05

Otros índices asociados a la temperatura

Como se ha evidenciado con los índices más significativos, la mayoría tienen un factor común que es el calentamiento. Aquellos índices asociados a la temperatura mínima como la temperatura mínima absoluta (TNn) muestra un aumento en todo el país, pero más significativo entre Arica y Curicó. En promedio aumenta $0.23^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ por década y en algunas ciudades puede alcanzar 0.7°C por década (Tabla nro. 5). Durante el 2017 la TNn fue superior que el promedio en la mayoría de las estaciones, no obstante, cabe destacar valores bajo el promedio en Coyhaique -15°C , Balmaceda -20.8°C y Punta Arenas de -10.8°C . En esta misma línea, el máximo de la temperatura mínima (TNx), fue el que presentó los mayores cambios respecto al 2016, incorporando nuevas marcas climáticas que se registraron en enero, como Santiago con 19.5°C , Curicó 19.2°C y Chillán 20.4°C , y en febrero la TNx consiguió 18.2°C en Osorno y 17.9°C en Puerto Montt (Tabla nro. 5).

Con respecto a la temperatura máxima absoluta (TXx) también presenta tendencias positivas, pero menos significativas que los índices asociados a la temperatura mínima, debido a que la temperatura máxima está más afectada por factores locales. En ciudades

como Santiago, Valdivia y Puerto Montt este aumento es considerable, de más de 0.4°C por década, y es probable que el efecto urbano sea una de las causas que se suman a este aumento. En este índice también se superaron récords, las **TXx** llegaron a 37.4°C en Santiago, 41.5° en Chillán y 34.1°C en Concepción.

Tabla Nro. 5: Valores máximos/mínimos de la temperatura máxima y mínima. Se indica el valor del índice del 2017, el promedio en el periodo 1961-1990 y la tendencia lineal de todo el largo de la serie (1961-2017). Los valores que están en color rojo/azul indican tendencia positiva/negativa significativa, al 95% de confianza (Vásquez y Villarroel, 2017).

	Máximo de la Temp Max (TXx)			Mínimo de la Temp Max (TXn)			Máximo de la Temp Min (TNx)			Mínimo de la Temp Min (TNn)		
	2017	Prom. (°C)	Tendencia (°C/dec.)									
Arica	30.0	28.5	0.11	17.1	16.7	0.00	24.6	22.0	0.24	10.3	8.1	0.53
Iquique	30.0	29.3	0.03	16.2	15.9	0.04	24.1	21.4	0.11	11.5	8.5	0.71
Calama	29.5	29.0	0.15	8.1	12.2	-0.07	13.4	11.7	0.45	-5.4	-7.1	0.13
Antofagasta	30.3	27.5	0.02	14.7	14.8	-0.05	22.3	19.6	0.16	9.0	6.9	0.30
Copiapó	36.2	33.7	0.26	14.3	17.6	-0.35	20.9	17.2	0.25	0.0	-0.4	0.54
La Serena	27.1	25.1	0.22	11.9	11.4	0.09	20	16.6	0.31	3.4	2.7	0.23
Valparaíso	29.0	26.9	0.27	11.7	10.9	0.07	18.3	17.5	-0.02	5.0	4.4	0.40
Juan Fernandez	28.8	25.8	0.01	11.4	11.8	0.00	21.6	19.3	0.29	5.6	6.0	0.17
Santiago	37.4	34.2	0.34	8	7.2	0.25	19.5	16.2	0.27	-3.0	-1.9	0.05
Curicó	37.3	34.3	0.16	4.8	5.4	-0.07	19.2	17.1	-0.06	-2.3	-4.4	0.39
Chillán	41.5	35.3	0.18	5.4	5.8	-0.12	20.4	15.8	0.40	-3.9	-4.0	0.13
Concepción	34.1	28.9	0.00	9.6	9.4	0.13	17.6	15.8	0.24	-1.3	-1.5	0.08
Temuco	35.0	33.4	0.32	3.5	5.7	0.01	16.8	15.6	0.37	-4.8	-4.7	0.09
Valdivia	35.2	31.5	0.46	2.9	4.1	-0.17	17.8	15.7	0.12	-3.6	-4.6	0.25
Osorno	32.1	31.3	-0.01	5	4.7	0.19	18.2	15.4	0.28	-5.5	-5.5	0.05
Puerto Montt	29.4	27.4	0.41	5.4	5.6	0.03	17.9	15.1	0.23	-3.8	-4.7	0.22
Coyhaique	27.9	29.9	0.08	-2.1	-3.0	0.10	15.4	15.0	0.07	-15.0	-10.9	0.09
Balmaceda	27.4	28.7	0.11	-5.6	-4.4	0.01	15	13.4	0.18	-20.8	-16.4	-0.19
Punta Arenas	21.0	22.7	0.11	-1.8	-1.4	0.23	12	11.6	0.32	-10.8	-9.4	0.25

Otros índices que se encuentran en menor proporción territorial son las noches tropicales (**TR20**: son los días en que la temperatura mínima supera los 20°C), se evidencia que se están presentando en algunas ciudades donde no es usual, por ejemplo, en Copiapó, Juan Fernández y Chillán. En general mayor cantidad de **TR20** ocurren en Arica, Iquique y Antofagasta donde, este 2017 superaron notablemente el promedio mostrándose acorde con la tendencia a incrementarse (Tabla nro. 6).

Al otro extremo, los días gélidos (**ID0**: días en que la temperatura máxima es igual o inferior a 0°C) se presentan en Coyhaique, Balmaceda y Punta Arenas con 4, 7 y 3 días en promedio, respectivamente. En el 2017 Coyhaique y Punta Arenas presentaron un día gélido menos que el promedio y Balmaceda se mantuvo (Tabla nro. 6).

Tabla Nro. 6: Noches tropicales (TR20) y días gélidos (ID0). Se indica el valor del índice del 2017, el promedio en el periodo 1961-1990 y la tendencia lineal de todo el largo de la serie (1961-2017). Los valores que están en color rojo/azul indican tendencia positiva/negativa significativa, al 95% de confianza.

	Noches Tropicales (TR20)				Días Gélidos (ID0)		
	2017	Prom. (Días)	Tendencia (días/dec.)		2017	Prom. (Días)	Tendencia (días/dec.)
Arica	80	21	9.3	Coyhaique	3	4	-0.3
Iquique	61	12	2.1	Balmaceda	7	7	-0.4
Antofagasta	23	2	0.4	Punta Arenas	2	3	-0.2
Copiapó	1	0	0.0				
Juan Fernandez	7	1	0.2				
Chillán	1	0	0.0				

3. Comportamiento de la precipitación

3.1 Tendencias y análisis decadal

La precipitación en Chile debido a su extensión latitudinal responde a diferentes patrones de variabilidad climática; la zona central es influenciada por patrones como la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y la Oscilación del Sur El Niño (ENSO), la zona sur y austral la Oscilación Antártica (AAO) tiene un rol significativo en la modulación de la variabilidad de la precipitación. Esto, sumado a los cambios generados por el cambio climático, contribuye a la manifestación de las tendencias observadas durante las últimas décadas.

En este contexto, las principales características del actual régimen de precipitación en Chile es la disminución en la zona centro, la cual se hace más evidente y significativa en la zona sur, probablemente se puede explicar por la menor frecuencia de eventos de precipitación que se han observado en cada una de las estaciones de este sector. Por otro lado, en la zona norte y austral se advierte un aumento en la cantidad de precipitación (Fig. 12 a).

En un análisis secular (1914-2017) de las ciudades de Santiago y Concepción, el constante déficit se observa en la tendencia negativa significativa que domina a lo largo de la serie del orden de 9 mm/década y 45 mm/década, respectivamente. Santiago muestra mayor variabilidad interanual que Concepción, debido entre otros factores a la presencia de El Niño (1982, 1992 y 1997) (Fig. 12 b y c).

Es destacable que, dentro de los más de 100 años de registro, ambas ciudades estén transitando por la década más seca con valores inferiores a los observados durante sequías intensas como en los 60' en Santiago y los años 90' en Concepción. En Santiago la presente década está marcada principalmente por los años 2011 y 2013 (el 6° y 8° año más seco dentro de los 100 años del análisis), mientras que en Concepción esta década incorpora 4 de los diez años más secos: 2013, 2016, 2015 y 2012 (2°, 3°, 7° y 8° lugar respectivamente). Aunque el 2017 ha sido uno de los años más lluviosos de la última década en la zona central, igualmente Santiago finalizó con un leve déficit del 11%, mientras que, el déficit en Concepción alcanzó un 16%, condición que extiende temporalmente la sequía en esta zona.

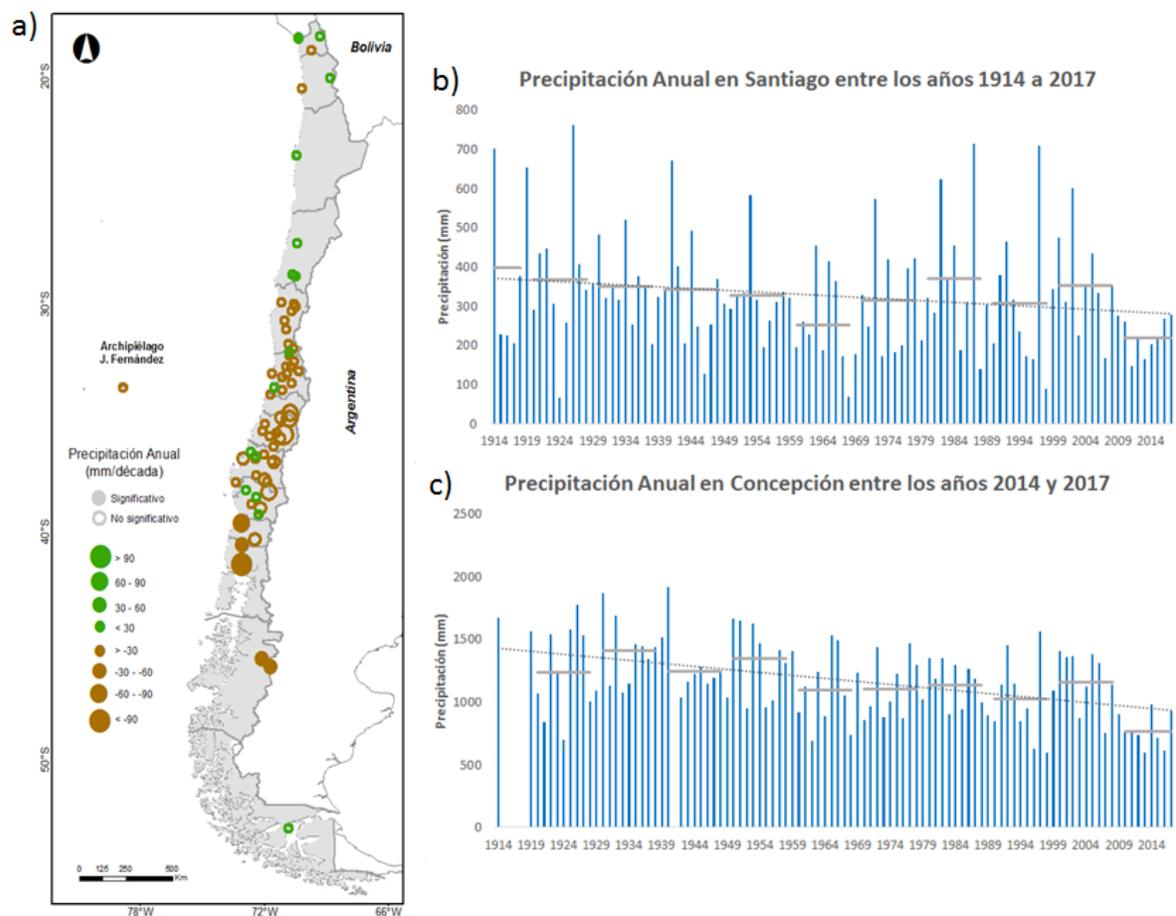


Fig.12: a) mapa de tendencias de la precipitación anual en Chile en mm/década. El tamaño de los círculos es proporcional al valor de la tendencia. Los círculos que están sombreados son significativos al 95% de confianza (Vásquez y Villarroel, 2017). b) precipitación anual en Santiago y c) Concepción entre los años 1914 a 2017. En línea punteada se indica la tendencia lineal, y las barras horizontales grises señalan el promedio decadal.

3.2 Análisis anual y estacional

Análisis Anual

La variabilidad año a año de la precipitación es propia de Chile. Existe una diferencia importante entre el año 2016 y 2017. El contraste se encuentra principalmente en que el 2016 se presentó con valores por debajo del valor climatológico en la zona comprendida entre La Serena y Concepción. En promedio tuvo un 30% menos de precipitación, siendo la zona más afectada la Región del Biobío, en Chillán y Concepción terminaron el año con déficit de 54.1% y 44.5%, respectivamente.

Al finalizar el 2017 la situación anual se presentó con la zona norte más lluviosa que lo normal, particularmente por el evento que afectó las regiones de Atacama y Coquimbo con un superávit sobre el 100% hasta La Serena y aproximadamente 22% en Valparaíso (Fig. 13); sin embargo, la zona central de igual forma terminó con déficit promedio de 17%, variando entre 6% en Curicó y 29% en San Fernando. La zona sur entre Temuco y Puerto Montt, la cantidad de precipitación anual estuvo dentro de los valores normales, no así, en la zona Austral donde se presentó más lluviosa que lo normal, particularmente por los meses de invierno, por ejemplo, en Coyhaique se acumularon 1326 mm al año, siendo el segundo más lluvioso después del año 1977.

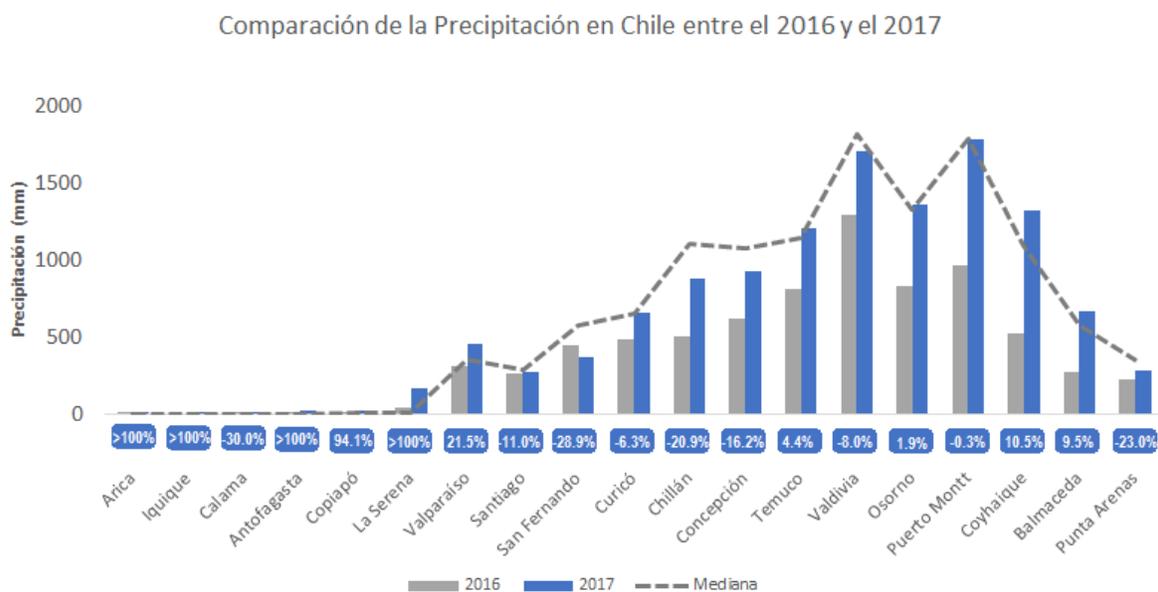


Fig. 13: Comparación de la precipitación total anual del 2016 (barra gris) y 2017 (barra azul). Las cajas azules muestran el déficit/superávit del 2017. La línea negra segmentada indica la mediana del periodo 1961-1990.

Análisis Estacional

El comportamiento estacional de la precipitación fue heterogénea respecto a cada zona climática del país. En las estaciones del altiplano chileno, se observa un déficit en su periodo de lluvias que corresponde al verano y otoño austral, de alrededor un 13% y 15%, respectivamente. Todas las estaciones del año presentaron déficit, pero los montos acumulados durante 2017 fueron superiores comparados con la última década, donde el déficit llega a casi 25% (Fig. 14). En la zona centro norte, producto de los episodios de precipitación extrema durante mayo, el otoño se presentó con superávit que se escapan de los rangos normales con 629%, mientras que el invierno presentó un déficit de 28%.

Diferente es lo ocurrido en la zona central, donde el déficit más importante fue en otoño con un 16%, mientras que en invierno y primavera los porcentajes fueron ligeramente menores (Fig. 14). El verano en la zona sur y austral fue más lluvioso que lo normal para este periodo con superávit en promedio de 29%. Lo mismo ocurre en invierno donde el superávit alcanzó 7% y 25% respectivamente. En cambio, la primavera fue menos lluviosa con déficit que alcanzaron hasta un 29% en la zona austral.

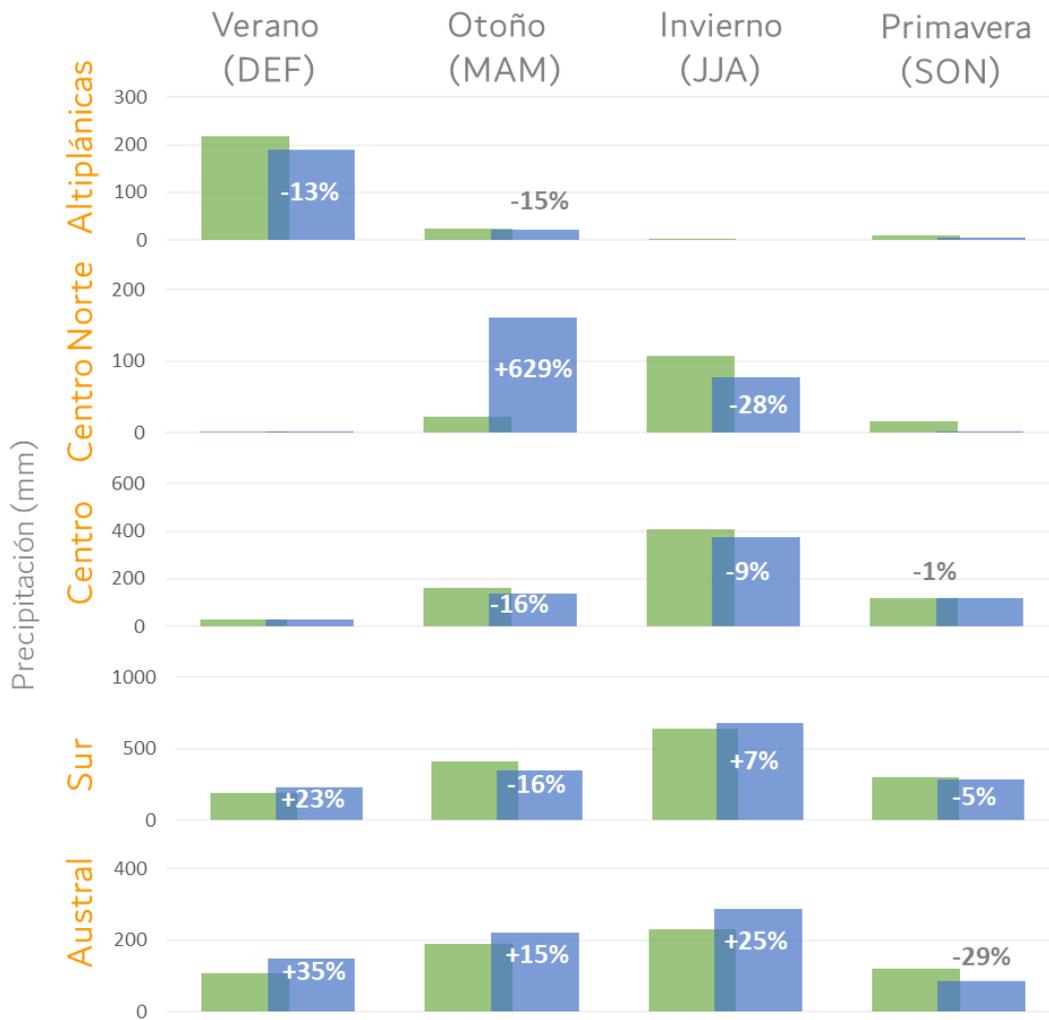


Fig. 14: Precipitación total acumulada en los trimestres de verano, otoño, invierno y primavera, para 5 macrozonas. Las barras azules corresponden al 2017 y las verdes es el promedio del acumulado en el periodo 1961-1990. Los porcentajes son con respecto a la climatología 61-90.

3.3 Índices climáticos extremos de precipitación.

Tendencias (1961-2017)

La disminución en la cantidad de la precipitación anual es robusta en la zona central y sur con tendencias de -40 mm por década en promedio, variando entre -5 mm y -90 mm por década dependiendo de la localidad. Consistentemente, el número de días con precipitación sobre 1 mm (RND) decrece a una razón promedio de 3 días por década, variando entre -2 y -4 días, principalmente entre Chillán y Puerto Montt. Es considerable

mencionar que el mayor cambio de los **RND** es en Juan Fernández con una disminución de 5 días cada diez años (Tabla nro. 7a). Sin embargo, en la zona norte entre los 18°S y 29°S, la tendencia de la precipitación total (**PRCTOT**) es positiva, aunque no son significativas, debido a las características climáticas de esta región. Aunque, cualquier incremento ya sea en el número de días (**RND**) o en la cantidad de precipitación es importante de considerar. Los extremos asociados a la precipitación parecen ser la razón central de los actuales eventos climáticos que se han presentado en estas regiones, donde se observa un incremento de la intensidad de la precipitación (**SDII**) y la precipitación extrema (**R95p**) (Fig. 15 y Tabla nro. 7 h y i). Respecto al resto del país, es mayor el incremento de los eventos extremos de precipitación que los decrementos y aquellos significativos se presentan en la región de Arica y Parinacota, de Valparaíso y la región del Biobío.

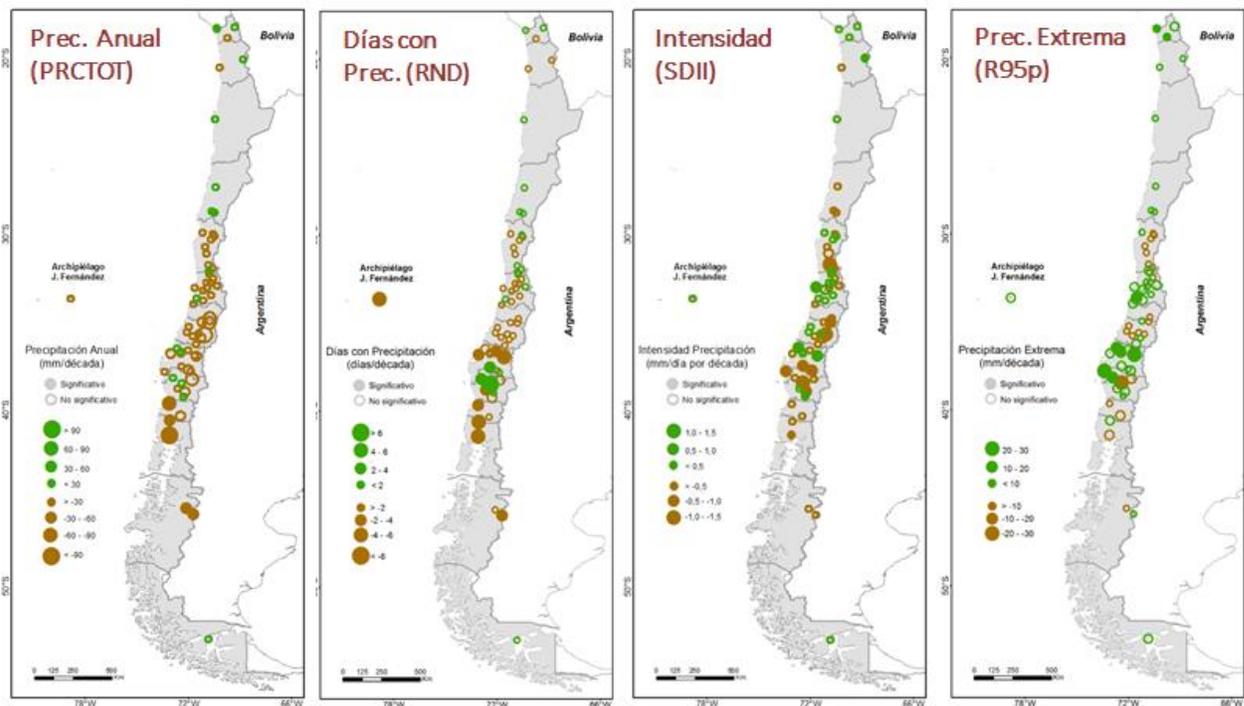


Fig. 15: Mapas de tendencia de precipitación anual, días con precipitación, intensidad y precipitación extrema. El tamaño del círculo es proporcional al valor de la pendiente. Los círculos rellenos muestran tendencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Es probable que los últimos eventos en la zona norte estén asociados a esta tendencia. En Antofagasta se ha observado en esta última década, un incremento de eventos de

precipitación máxima (**Rx1day**) sobre los 18 mm, cuyos episodios de 2015 y recientemente en junio de 2017, causaron lamentablemente pérdidas de vidas y daños materiales (Fig. 16). En este último episodio el total en 24 horas fue de 18.4 mm en Antofagasta, mientras que el promedio de los eventos no supera los 2 mm. La disminución de estos episodios sólo se observa en Curicó, Chillán, Concepción y Puerto Montt, el resto del territorio muestra un incremento (Tabla nro. 7f).

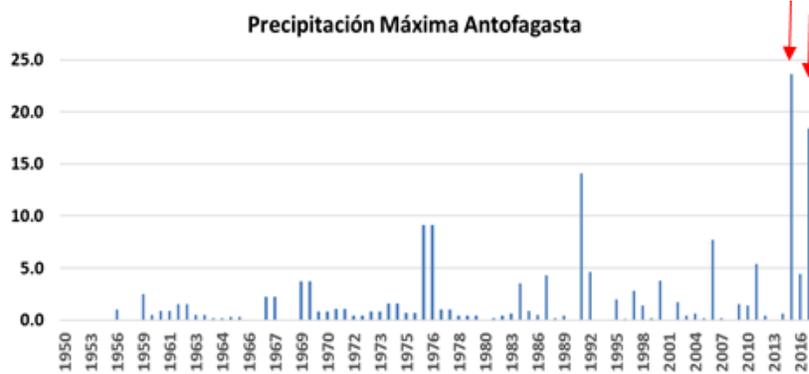


Fig. 16: El gráfico muestra la precipitación máxima en 24 horas en Antofagasta. Las flechas indican los episodios del 2015 y 2017 donde sobrepasan los eventos de 1975 y 1992. Las figuras son de La Tercera y radio Biobío.

El índice de precipitación máxima en 5 días (**Rx5day**), también se presentó anómalo respecto al promedio, en la zona centro norte. Particularmente en La Serena el evento que se presentó entre los días 10 al 12 de mayo acumuló 108.6 mm, lo que provocó numerosas situaciones de emergencia por inundaciones en Coquimbo, La Serena y la ciudad de Chañaral quedó dividida en dos tras el desborde del río Salado (prensa, Biobío Chile) (Tabla nro. 7g). El agua caída durante este evento provocó que se originara un récord mensual para mayo en La Serena con un total de 116.6 mm, siendo el 2003 el anterior máximo con 68.6 mm.

Otros índices de extremos de precipitación

En cuanto a los índices de frecuencia, lo más significativo es la disminución de los días con precipitación mayor a 1 mm (**R1mm**), desde Chillán al sur, además de Juan Fernández. Aunque durante el año 2017 el **R1mm** se mantuvo en torno al promedio en esta zona, a excepción de Coyhaique que presentó 141 días con lluvia siendo el promedio de 62 días (Tabla nro. 7 a). Los días con precipitación fuerte (**R10mm**) y muy fuerte (**R20mm**), también exhiben tendencias negativas desde Valparaíso hasta Balmaceda, particularmente en las regiones de Los Ríos y Los Lagos esta disminución es más evidente variando entre -1 a -2 días por década (Tabla Nro. 7 b y c). Cabe destacar, que en el norte los días con **R10mm** se duplicaron respecto a su promedio y los eventos de precipitación sobre 30 mm se incrementaron de 6 a 9 en el 2017 en Valparaíso.

Los índices de periodos o de longitud, como la longitud de los periodos secos (CDD) y la longitud de los periodos con lluvia (CWD), que se definen como el máximo de días consecutivos en que no llueve y el máximo de días en que llueve, respectivamente; no han presentado cambios significativos, no obstante, se destacan las tendencias negativas del **CDD** entre -3 y -11 días por década en la zona norte, es decir, el periodo seco se ha ido acortando. Algunos valores interesantes del 2017 son en Arica con 182 días consecutivos, mientras que, en promedio son 332 días. Asimismo, Iquique, Antofagasta, Copiapó, La Serena, Valparaíso y Curicó, redujeron el número de días en casi un 40% en promedio (Tabla nro. 7 d).

Por el contrario, el periodo de días consecutivos lluviosos **CWD** disminuye ligeramente entre -0.4 a -1 día por década. Se destaca Juan Fernández, donde el promedio de días con lluvia es de 11 días, sin embargo, durante el 2017 fueron 8 días consecutivos. De igual forma ocurre con Valdivia y Osorno, que tiene un promedio de 13 días de lluvia, observándose este año 8 días en ambas ciudades. Caso contrario ocurre, por ejemplo, en Antofagasta donde los pocos episodios de lluvias no alcanzan un día generalmente, en el 2017 fueron dos días consecutivos (Tabla nro. 7e).

Tabla nro. 7: Valores de los índices de cambio climático asociados a la precipitación para 19 estaciones de Chile. Se indica el valor del índice del 2017, el promedio en el periodo 1961-1990 y la tendencia lineal en el periodo 1961-2017. Los valores que están en color rojo/azul indican tendencia positiva/negativa significativa, al 95% de confianza.

	a) Días con prec. (R1mm)			b) Días con prec. (R10mm)			c) Días con prec. (R20mm)			d) Longitud de días lluviosos (CWD)		
	2017	Prom. (Días)	Tendencia (días/dec.)	2017	Prom. (Días)	Tendencia (días/dec.)	2017	Prom. (Días)	Tendencia (días/dec.)	2017	Prom. (Días)	Tendencia (días/dec.)
Arica	2	0	0.1	-	-	-	-	-	0.0	1	0	0.0
Iquique	2	0	0.0	-	-	-	0	0	0.0	1	0	0.0
Calama	1	1	0.0	0	0	-0.1	0	0	0.0	1	1	0.1
Antofagasta	3	1	0.1	1	0	0.1	0	0	0.0	2	0	0.1
Copiapó	3	2	0.1	1	0	0.0	0	0	0.0	1	1	-0.1
La Serena	9	7	-0.2	4	2	0.0	2	1	0.0	3	2	-0.1
Valparaíso	28	27	-1.0	13	12	-0.1	9	6	-0.1	3	5	-0.3
Juan Fernandez	133	135	-5.0	30	30	-0.4	12	11	-0.1	8	11	-0.7
Santiago	26	27	-0.5	9	11	-0.3	2	4	0.0	3	4	-0.2
Curicó	42	48	-1.8	24	23	-1.3	12	12	-0.5	3	6	-0.3
Chillán	79	74	-2.0	31	36	-1.4	15	18	-0.5	6	8	-0.4
Concepción	89	83	-2.0	33	36	-1.4	17	18	-0.9	4	9	-0.3
Temuco	120	120	-3.3	39	41	-1.1	15	14	-0.1	11	11	-0.2
Valdivia	140	143	-3.8	60	63	-2.9	25	30	-1.3	8	14	-0.2
Osorno	142	141	-4.2	42	46	-2.2	17	18	-1.1	8	12	-0.2
Puerto Montt	184	182	-4.4	62	64	-3.7	24	22	-1.7	17	16	-0.6
Coyhaique	141	62	-1.0	36	34	-1.2	15	12	-0.7	9	9	-0.4
Balmaceda	87	86	-3.2	18	18	-1.1	9	5	-0.5	6	7	-0.4
Punta Arenas	74	81	0.7	3	6	0.0	1	1	0.1	4	5	0.0

	e) Longitud de días secos (CDD)			f) Prec. Máxima en 1 día (Rx1day)			g) Prec. Máxima en 5 días (Rx5day)			h) Intensidad de prec. (SDII)		
	2017	Prom. (Días)	Tendencia (días/dec.)	2017	Prom. (mm)	Tendencia (mm/dec.)	2017	Prom. (mm)	Tendencia (mm/dec.)	2017	Prom. (mm/día)	Tendencia (mm días/dec.)
Arica	182	332	-8.5	1.7	0.6	0.2	1.7	0.7	0.3	1.4	0.3	0.2
Iquique	258	346	-3.0	4	0.7	0.0	4	0.8	0.0	2.5	0.5	0.0
Calama	207	292	-9.3	2.6	4.4	-0.5	2.8	4.8	-0.4	2.6	2.7	-0.1
Antofagasta	156	316	-10.6	18.4	1.6	0.8	19.6	1.7	0.8	6.9	0.8	0.5
Copiapó	142	229	2.5	18.4	8.7	0.4	18.4	10.4	0.3	8.4	5.6	-0.1
La Serena	131	154	-1.5	71.4	30.4	1.0	108.6	40.0	1.1	18.7	10.0	0.5
Valparaíso	95	103	1.3	50.1	57.4	3.3	88.7	103.2	0.7	16.1	13.6	0.6
Juan Fernandez	25	21	-0.1	45.9	71.4	0.6	138.4	117.6	0.7	8.1	7.7	0.1
Santiago	108	103	-2.0	51.4	46.3	0.2	62.8	82.8	-0.8	10.5	11.0	0.0
Curicó	57	78	1.0	61.8	70.1	-2.5	120.1	141.9	-8.6	15.5	14.4	-0.2
Chillán	53	51	-0.7	45.8	75.3	-0.3	100	150.7	-1.9	11.0	14.4	-0.2
Concepción	35	42	0.5	49	77.8	-1.3	85.4	155.4	-6.5	10.4	13.2	-0.3
Temuco	24	27	1.4	65.9	55.7	0.3	134.9	116.8	-1.1	9.9	9.5	0.1
Valdivia	28	22	0.9	76.8	83.0	1.3	130.7	178.8	-3.5	12.1	13.0	-0.2
Osorno	26	22	0.3	59.1	54.7	1.0	100.1	119.8	-2.1	9.4	9.3	-0.1
Puerto Montt	13	16	0.0	43.6	55.1	-1.3	100.6	116.5	-3.8	9.6	9.8	-0.3
Coyhaique	18	22	0.3	82.4	50.3	2.2	106.6	110.1	-3.7	9.2	8.5	-0.2
Balmaceda	33	30	0.9	50.5	38.8	1.5	80.7	72.6	-1.7	7.5	6.7	-0.1
Punta Arenas	26	26	-1.0	20.4	22.1	1.4	26.8	35.9	1.7	3.4	4.2	0.0

	i) Prec. Intensa (R95p)			j) Prec. Extrema (R99p)		
	2017	Prom. (mm)	Tendencia (mm/dec.)	2017	Prom. (mm)	Tendencia (mm/dec.)
Arica	0	0.0	0.2	0	0.0	0.2
Iquique	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Calama	0	1.3	-0.4	0	0.0	0.0
Antofagasta	18.4	0.3	0.8	18.4	0.0	0.9
Copiapó	0	2.5	0.8	0	0.0	0.7
La Serena	71.4	20.2	1.1	71.4	5.8	1.5
Valparaíso	96.9	82.6	5.8	0	25.9	6.4
Juan Fernandez	329.6	285.5	2.4	0	98.3	4.9
Santiago	51.4	70.9	-0.1	0	19.4	0.1
Curicó	114.3	153.2	-8.8	0	40.7	-0.8
Chillán	94.8	222.2	-3.3	0	65.7	1.9
Concepción	92.8	241.5	-12.9	0	72.4	1.4
Temuco	206.8	240.1	-2.3	131.4	70.8	4.2
Valdivia	281.7	411.5	-21.4	76.8	124.4	-3.4
Osorno	280.8	279.0	-7.3	160.1	77.4	5.8
Puerto Montt	365.2	347.6	-38.4	0	97.0	-13.4
Coyhaique	437.8	236.0	-16.7	302.9	73.2	-0.4
Balmaceda	247.5	129.9	-8.6	91.9	39.3	2.6
Punta Arenas	45.2	68.7	4.3	0	20.7	2.9

4. Comportamiento de la sequía

La sequía en todas sus definiciones es probablemente uno de los impactos más significativo del cambio climático alrededor del globo y particularmente en Chile. Sin embargo, estos eventos no se explican tan sólo con el cambio climático, además participan la variabilidad natural del clima como los eventos de La Niña y la fase negativa de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) que determinan los periodos secos. El CR2 en el informe a la nación menciona que “las sequías de uno o dos años son un elemento recurrente en el clima de Chile Central, los últimos seis años destacan como el periodo seco de mayor duración y extensión territorial desde mediado de siglo pasado” (CR2, 2015). Este periodo donde predomina escasez de precipitaciones es denominado “megasequía” (CR2, 2015) y sumado a otros factores como aumento de la población e incremento de la demanda de agua, el recurso hídrico ha llegado a niveles críticos principalmente en las regiones Metropolitana y de Valparaíso (AGRIMED, 2014). Por estos motivos es sustancial el seguimiento del comportamiento de la sequía en términos climáticos, porque es la base para considerar la vulnerabilidad hídrica, agrícola y social respecto de los recursos hídricos. Para aportar a este objetivo, se utiliza el índice estandarizado de precipitación (SPI, siglas en inglés) como un índice común y estandarizado para comparar distintas zonas climáticas y evaluar la intensidad y duración con otras sequías meteorológicas. Ver anexo A para las definiciones.

4.1 La sequía meteorológica más extensa

En términos generales el país concluyó el 2017 con déficit a excepción de la zona norte y austral. En términos del índice de sequía (SPI, standarized precipitation index), se presentó en rangos *normales a ligeramente seco* en la zona central, Isla de Pascua y Juan Fernández; y en rango *lluvioso* en el resto del territorio. A pesar de este “descanso”, la situación de sequía permanece inalterable desde el año 2009 aproximadamente, lo que se escapa de otras sequías como la ocurrida en 1924, 1968 y 1998, que fueron las más intensas.

Para evaluar la sequía de manera objetiva se considera: (1) macrozonas debido a la diversidad climática del país y a la influencia de la variabilidad natural y (2) la ocurrencia de un episodio de sequía cuando continuamente presentan valores negativos del índice

estandarizado de precipitación (SPI) con una intensidad de -1 o menos (WMO 1096, 2014). Con estas consideraciones, se puede identificar en la zona norte centro que desde 1971 se han presentado 6 eventos de sequía, de los cuales el que ha tenido mayor duración fue entre 1988-1990 (3 años) y que es comparable con el periodo seco 2012-13 (Fig. 17).

Los últimos años como se evidenció en las secciones anteriores, se ha incrementado significativamente el número de eventos extremos de precipitación, por lo que el índice **SPI** muestra valores en rango *lluvioso*. La influencia de estos eventos ocurre hasta la macrozona centro norte y parte de la zona central. Por lo tanto, respecto a este punto, la escasez de agua no se debe únicamente a la falta de precipitación, sino más bien sugiere la intervención de otros factores socioeconómicos. Sin embargo, estos eventos contribuyeron a llenar los embalses para riego, no obstante, a nivel nacional los embalses terminaron con un déficit de un 24% (Boletín DGA 476, 2017).

Situación diferente es la que contempla la zona central, aunque coinciden en los periodos secos, la sequía actual es la más prolongada cubriendo desde el 2012 hasta el 2015, intensificándose de nuevo el 2016, totalizándose 6 años de sequía según el SPI (Fig. 17).

En la zona sur, la duración de la sequía actual es la más predominante del país, se mantiene en un valor bajo -1 desde el año 2010 hasta el 2017, alcanzando 8 años consecutivos con déficit de agua caída. En cuanto a la intensidad, se observa que la sequía 2010-2017 es comparable a los otros tres episodios alcanzando la máxima intensidad en el año 2016.

En la zona austral, la sequía muestra otros periodos secos significativos entre 1983 hasta parte de 1989, interrumpido por el año 1986, sin embargo, la intensidad de la sequía actual 2016-2017 no tiene precedentes (Fig. 17). Punta Arenas no se aleja de esta observación, debido a que los últimos 8 años la sequía se ha ido intensificando, llegando al 2016 con índices entre -2 y -3 que no habían sido registrados anteriormente.

En resumen, las regiones más afectadas y que continúan con SPI negativo son: centro sur costa, valle central, sur y Punta Arenas. En el anexo nro.2 se encuentran las series del SPI de 12 meses para 41 localidades del país.

Índice estandarizado de precipitación de 12 meses (1971-mar2018)

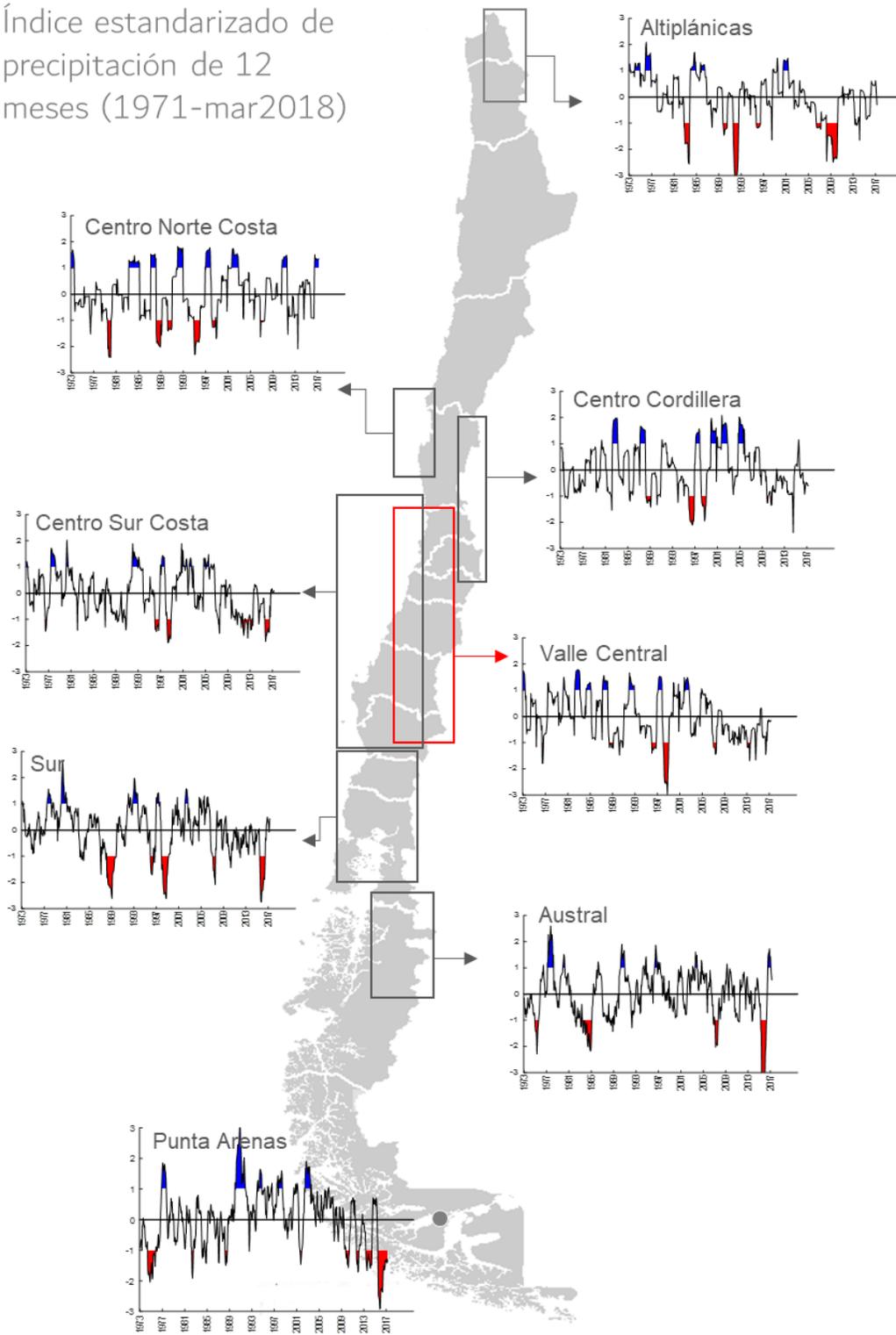


Fig. 17: Series del Índice de sequía estandarizado (SPI) para el periodo de 12 meses entre los años 1971-hasta marzo de 2018. El área de color rojo indica los periodos secos bajo el índice -1 , mientras que el color azul indica los periodos lluviosos.

En general, los escenarios de cambio climático abarcan áreas continentales y lamentablemente las islas o zonas extremas quedan fuera del análisis por motivos de resolución de los modelos numéricos, siendo que estas áreas representan la mejor señal climática, ya que, no están fuertemente intervenidas por componentes urbanos, tal es el caso de Isla de Pascua y el archipiélago de Juan Fernández.

En ambas la evolución de la sequía es incluso más extrema en el último periodo que en las zonas continentales, observándose un índice negativo desde el 2009. En Isla de Pascua, la situación por falta de precipitación es extrema, siendo el 2017 el segundo año más seco desde hace medio siglo y como se observa en la serie del SPI no se han presentado situaciones de similar magnitud (Fig. 18). En Juan Fernández, específicamente en la isla Robinson Crusoe, el último año estuvo dentro de los rangos normales, aunque también la sequía fue tan intensa y prolongada que difícilmente se podría revertir esta situación con un año lluvioso (Fig. 18).

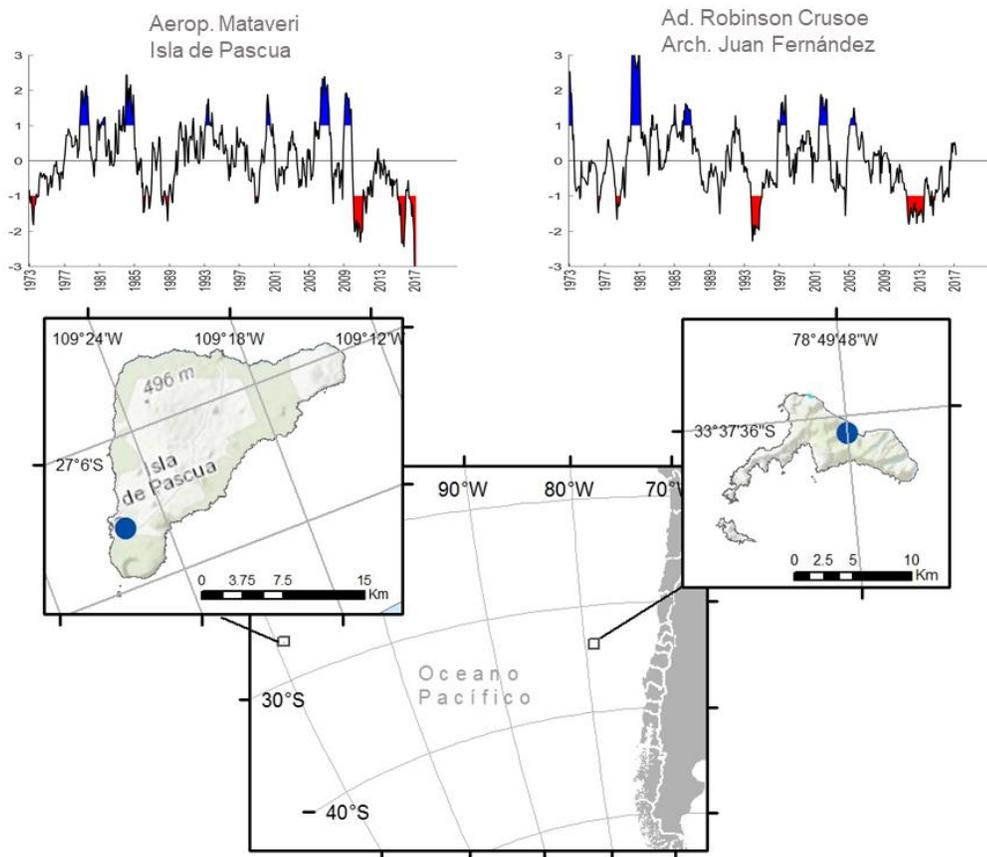


Fig. 18: Series insulares del Índice de sequía estandarizado (SPI) para el periodo de 12 meses entre los años 1971-hasta marzo de 2018 de Isla de Pascua (izquierda) y Arch. Juan Fernández (derecha).

5. CONCLUSIÓN

El presente reporte fue desarrollado en el marco del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022, comprometido por Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, para dar cumplimiento con el objetivo específico “Mejorar el Sistema de monitoreo de las principales variables climáticas a nivel nacional como base de información para el seguimiento de la evolución climática en Chile”, Ficha MA2 de las líneas de acción para el Eje de Adaptación, Anexo I.B (PANCC, 2017).

En este sentido, los efectos del cambio climático han comenzado a observarse en nuestro país, afectando las principales variables climáticas como la temperatura y precipitación, en especial los eventos extremos, que han presentado cambios significativos durante los últimos años impactando en diferentes áreas, ya sea económicas como sociales.

Estos cambios implicarán incrementar los esfuerzos en la Dirección Meteorológica de Chile, que es la encargada de vigilar el estado del clima, con el fin de fortalecer las capacidades y sistemas de vigilancia para seguir contribuyendo a la seguridad y planificación de las diferentes actividades que se realizan en Chile.

6. REFERENCIAS

Datos meteorológicos recopilados. Fuentes: Dirección General de Aguas, Servicio Meteorológico de la Armada de Chile (SERVIMET), Agroclima y Dirección Meteorológica de Chile.

Dirección General de Aguas: Información pluviométrica, fluviométrica, estado de embalses y aguas subterráneas. Boletín Nro. 476 (2017)

Fotografías. Prensa online La Tercera, Radio Biobío, Diario de Atacama, soychile.cl.

Jacques-Coper, M and R. Garreaud: Characterization of the 1970s climate shift in South America Int. J. Climatol. (2014) DOI: 10.1002/joc.4120.

Ministerio Medio Ambiente: Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2017-2022. MMA (2017).

Vásquez R. y C. Villarroel: Tendencias de índices de Extremos Climáticos de precipitación y temperatura en Chile. Poster V Congreso de Oceanografía Física, Meteorología y Clima del Pacífico Sur (2017). DOI: 10.13140/RG.2.2.18482.50882.

Vilches C. y C. Villarroel: Olas de Calor en Chile. Poster V Congreso de Oceanografía Física, Meteorología y Clima del Pacífico Sur (2017). DOI: 10.13140/RG.2.2.16804.78723.

Villarroel C., B. Rosenblüth and P. Aceituno: Climate change along the extratropical west coast of South America (Chile): daily max/min temperatures. 2006. Proceedings of 8ICSHMO.

WMO: Standardized Precipitation Index User Guide. WMO-No. 1090 (2012).

7. ANEXOS

1. Definiciones Índices de Cambio Climático

Los índices de cambio climático son utilizados para llevar a cabo un seguimiento en términos de frecuencias, umbrales y rangos de las variables de temperatura y precipitación. La ventaja de su uso es que son índices estandarizados de manera que pueden ser comparables con los índices del globo y poner en contexto los impactos regionales del cambio climático en el país.

Debido a la diversidad climática y geográfica de nuestro país, es que se seleccionan los índices más representativos y significativos para cada macrozona, en trabajos anteriores (Villarroel, 2006; Vásquez y Villarroel, 2017) se establecen algunos índices que han evolucionado a niveles preocupantes, sin embargo, en el anexo B2, se adjuntan los valores de la tendencia de cada índice y para ciudad estudiada. Además, se describe la metodología utilizada para su cálculo y el significado de cada uno de los indicadores.

Tabla a1: Índices de cambio climático calculados mediante el programa Rclimdex (bbb, 1990). La tabla indica la sigla del índice la definición y las unidades expresadas.

Índice	Definición	Unidad/década	
FD	Días con heladas	$TN < 0^{\circ}C$	días
SU25	Días de verano	$TX > 25^{\circ}C$	días
SU30	Días de verano	$TX > 30^{\circ}C$	días
WSDI	Duración de secuencia caliente (6 o más días consecutivos)	$TX > P90$	días
CSDI	Duración de secuencia fría (6 o más días consecutivos)	$TN < P10$	días
TX_x	Valor máximo temperatura máxima	$max(TX)$	$^{\circ}C$
TX_n	Valor mínimo temperatura máxima	$min(TX)$	$^{\circ}C$
TN_n	Valor mínimo temperatura mínima	$min(TN)$	$^{\circ}C$
TN_x	Valor máximo temperatura mínima	$max(TN)$	$^{\circ}C$
DTR	Rango diario de temperatura	$TX - TN$	$^{\circ}C$
TN10p	Noches frías	$TN < P10$	%
TX10p	Días fríos	$TX < P10$	%
TN90p	Noches cálidas	$TN > P90$	%
TX90p	Días cálidos	$TX > P90$	%
R1mm	Días con precipitación	$RR > 1 \text{ mm}$	días
R10mm	Días con precipitación sobre 10 mm	$RR > 10 \text{ mm}$	días
R20mm	Días con precipitación sobre 20 mm	$RR > 20 \text{ mm}$	días
R30mm	Días con precipitación sobre 30 mm	$RR > 30 \text{ mm}$	días
CDD	Longitud máxima de días secos	$\sum n^{\circ} \text{días, si } RR < 1 \text{ mm}$	días
CWD	Longitud máxima de días húmedos	$\sum n^{\circ} \text{días, si } RR > 1 \text{ mm}$	días
SDII	Intensidad de precipitación	$\sum RR / n^{\circ} \text{días, si } RR > 1 \text{ mm}$	mm/día
R95pTOT	Precipitación anual cuando $RR > P95$	$\sum RR, \text{ si } RR > P95$	mm
R99pTOT	Precipitación anual cuando $RR > P99$	$\sum RR, \text{ si } RR > P99$	mm
Rx1day	Precipitación máxima en 1 día	$Rx1day = max(RR)$	mm
Rx5day	Precipitación máxima en 5 días	$Rx5day = max(RR)$	mm
PRCPTOT	Precipitación Total	$\sum RR$	mm
NHW	Número de eventos de Olas de Calor	$\sum NHW, \text{ si } Tx > P90(Tx) \text{ por } 3 \text{ días o más}$	nro. Eventos
DHW	Duración de la Ola de calor máxima	$\sum \text{días, si } Tx > P90(Tx) \text{ por } 3 \text{ días o más}$	días
SPI3	Índice Estandarizado de Precipitación 3 meses (agro)	$SPI > 3 \text{ meses}$	u.e
SPI6	Índice Estandarizado de Precipitación 6 meses (hidrología)	$SPI > 6 \text{ meses}$	u.e
SPI12	Índice Estandarizado de Precipitación 12 meses (Clima)	$SPI > 12 \text{ meses}$	u.e

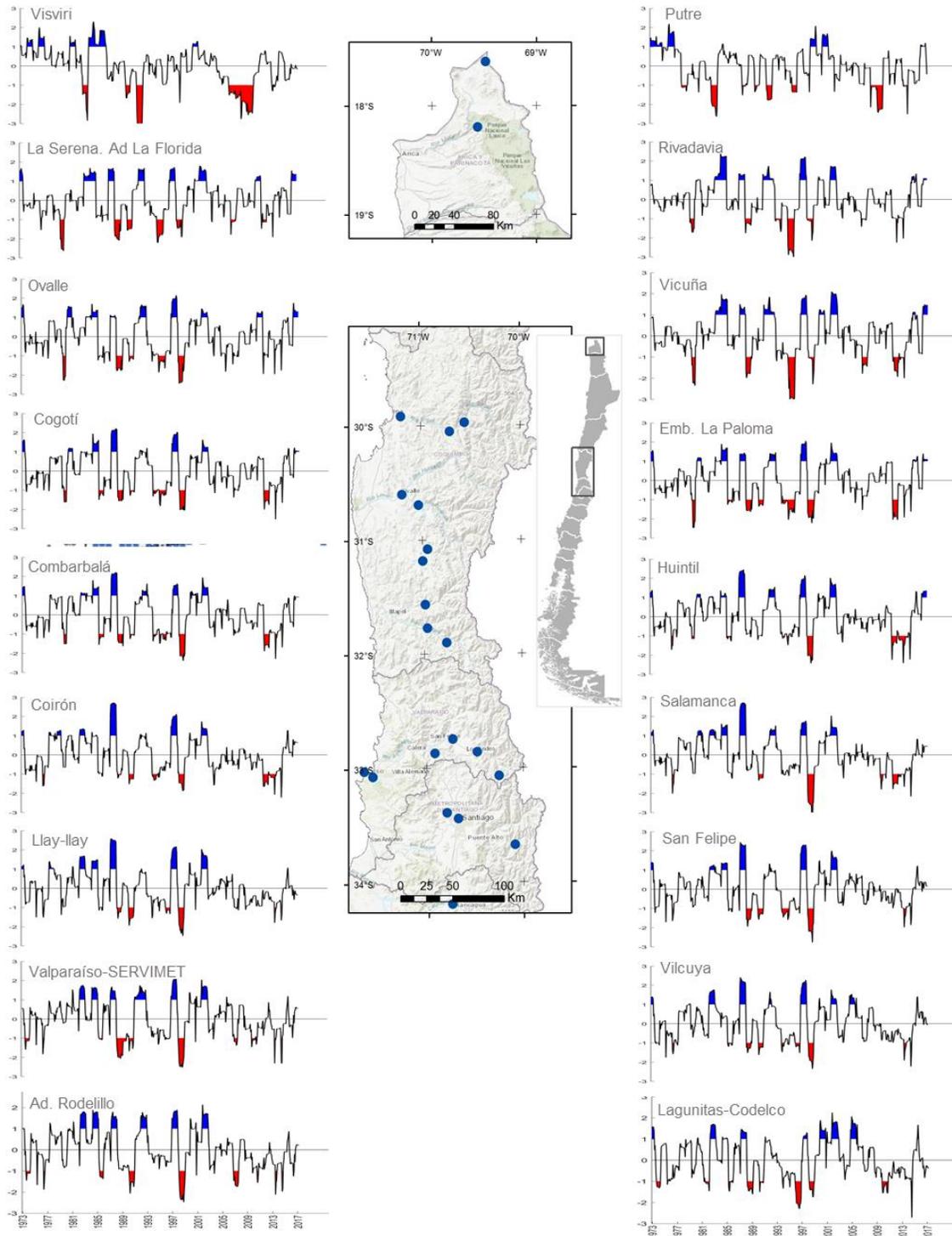
2. Definiciones de los índices de sequía

Índice estandarizado de Precipitación (SPI, Standardized Precipitation Index): El SPI se basa en la probabilidad de precipitación para distintos tiempos de escala. La probabilidad de la precipitación observada se transforma en un índice. El cálculo se realiza mediante el ajuste de una distribución de probabilidad que luego se transforma en una distribución normal para que el SPI medio sea cero, así valores positivos indican periodos más lluviosos y valores negativos indican periodos secos (McKee et al 1993). La Organización

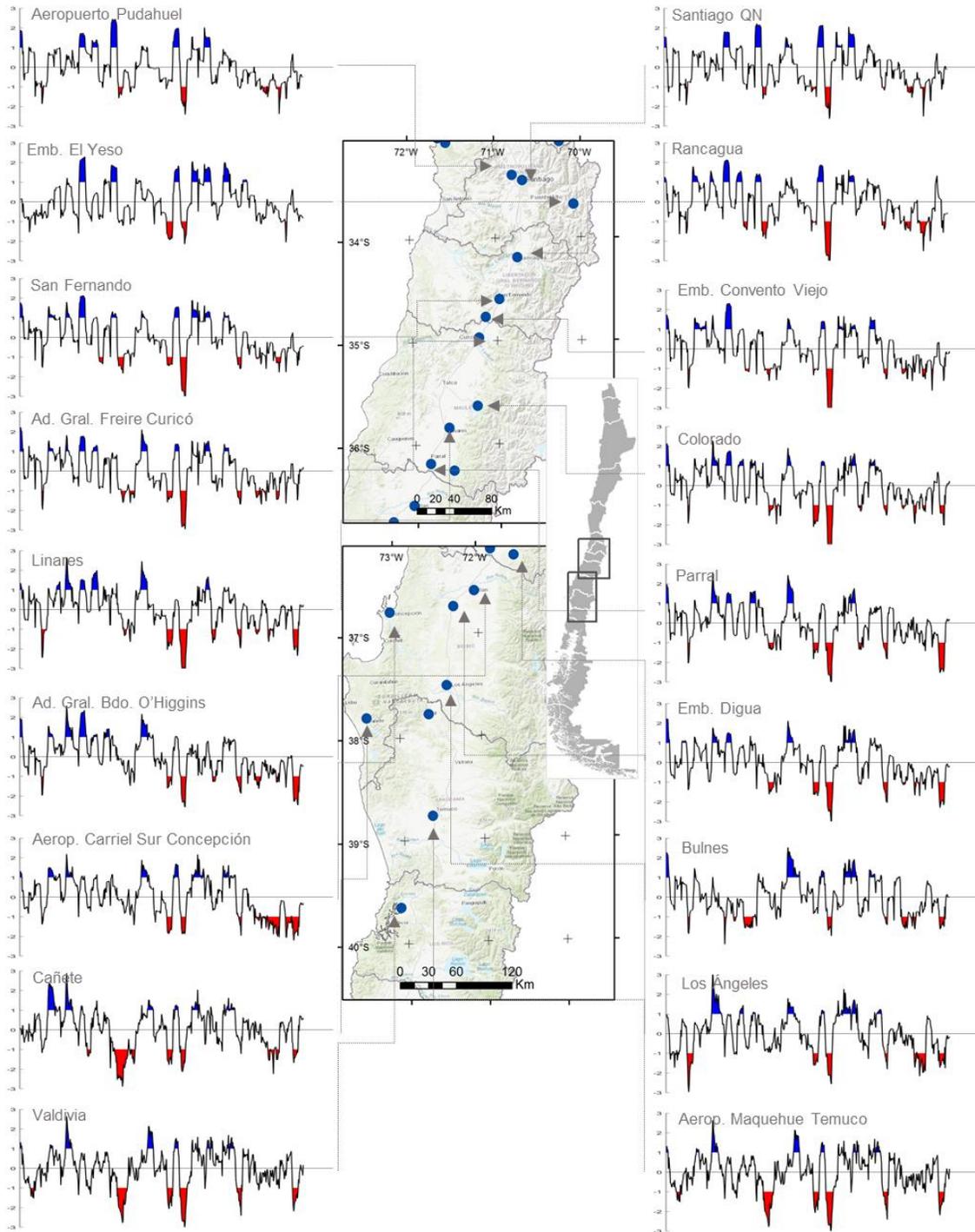
Meteorológica Mundial (OMM) recomienda la utilización de este indicador en los servicios hidrológicos (OMM, 1090).

Series de SPI para 41 localidades (1971-mar2018)

Región de Arica y Parinacota hasta región de Valparaíso



Región Metropolitana hasta región de La Araucanía



Región de Los Lagos hasta región de Magallanes y la Antártica Chilena

