2018

REPORTE ANUAL DE LA EVOLUCIÓN DEL CLIMA EN CHILE

Lago Cochrane
Región de Aysén

REPORTE ANUAL DE LA EVOLUCIÓN DEL CLIMA EN CHILE

Informe climático del año 2018, preparado en el marco del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANCC) 2017-2022, para dar cumplimiento al 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 Cambio Climático de la Sección de Climatología de la Dirección Meteorológica de Chile.
Dirección General de Aeronáutica Civil.

Mayo, 2019

CONTENIDO

1. **ANTECEDENTES GENERALES**
   - 1.1 Introducción 4
   - 1.2 Contexto Climático 5
   - 1.3 Resumen de hechos climáticos relevantes y récords del 2018 8

2. **COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA**
   - 2.1 Temperatura anual y estacional 9
   - 2.2 Tendencias de temperatura 18
   - 2.3 Índices climáticos extremos de temperatura 20
   - 2.4 Isoterma 0°C 24

3. **COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN**
   - 3.1 Precipitación total anual y estacional 27
   - 3.2 Tendencias de precipitación 32
   - 3.3 Índices climáticos extremos de precipitación 33
   - 3.4 Sequía meteorológica 37

4. CONCLUSIÓN 44
5. REFERENCIAS 45
6. ANEXOS 46

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Introducción

El propósito de este informe es colaborar con el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANCC) 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 (DMC) tiene entre las actividades PANCC, realizar un informe de la evolución del clima anualmente.

El primer informe correspondiente al año 2017, publicado en junio del 2018, presentó la problemática de recopilación de los datos y su control de calidad debido al extenso período de ejecución del informe. Este año, se redujo el período y se incorporaron al análisis de los índices de cambio climático los datos de la estación meteorológica de Rapa Nui y datos de temperatura de estaciones antárticas. Además, se incorporó un análisis de la altura de la isoterma cero con el fin de evaluar su comportamiento y evolución. Respecto a la sequía, para hacer el seguimiento de esta condición climática, se incrementó el número de estaciones meteorológicas de 41 a 70 y además, su análisis incluyó las serie de datos desde el año 1961, de acuerdo a la recomendación de la OMM (*) para evaluar los cambios en las variables climáticas respecto del cambio climático.

El siguiente informe se compone de un análisis climático del 2018 y un resumen de los hechos y eventos más relevantes ocurridos en términos climáticos en el país durante el año 2017. En las secciones 2 y 3, se realiza una revisión anual y estacional de los datos de temperatura, precipitación e índices asociados, aparte de comparar el año 2018 - respecto a los años precedentes - con énfasis en observar el comportamiento en cuanto a su tendencia de largo plazo. Finalmente, se comentan los alcances de este informe.

(*) Reglamento Técnico de la OMM N°49, en reconocimiento de la necesidad de establecer una base estable para la evaluación a largo plazo del cambio climático y de la variabilidad del clima, se define un período de referencia fijo como el período de 30 años que abarca del 1 de enero de 1961 al 31 de diciembre 1990. Este período de referencia reglamentario debería utilizarse para comparar el cambio climático y la variabilidad del clima en todos los países.

1.2 Contexto climático

La temperatura media global durante el año 2018 presentó un valor de **0.83 °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 2018 se transformó en el **cuarto año más cálido** en los registros, que comienzan en 1880, siendo los últimos cinco años, los años más cálidos desde el inicio de las mediciones.

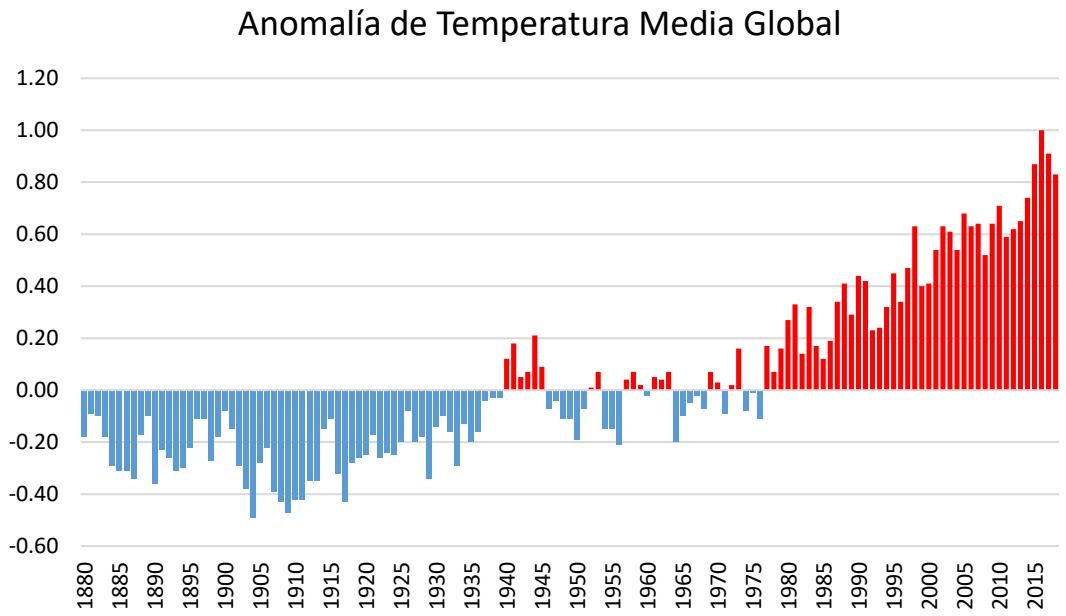


Fig. 1: Anomalía de temperatura media global (°C), conjunto de datos GISS-TEMP. Período de referencia 1951-1980. Fuente: elaboración propia con datos NASA-GISS.

El año 2018 comenzó con una condición de *La Niña débil,* la cual fue constatada por la temperatura superficial del mar (TSM), estuvo presente hasta el trimestre febrero-marzo-abril. Luego los valores de la TSM se mantuvieron dentro del rango neutro pasando de valores negativos a positivos, indicando el probable desarrollo de un evento de *El Niño*. Esta condición inicial favoreció el registro de temperaturas bajas en la costa norte del país y altas temperaturas en la zona central (Fig. 2), asociadas al paso de dorsales en altura. Al mismo tiempo, valores negativos de altura de geopotencial de 500 hectopascales (hPa) y de presión a nivel del mar se observaron en la zona austral, que originaron eventos de precipitación de diversa intensidad durante la primera parte del año.

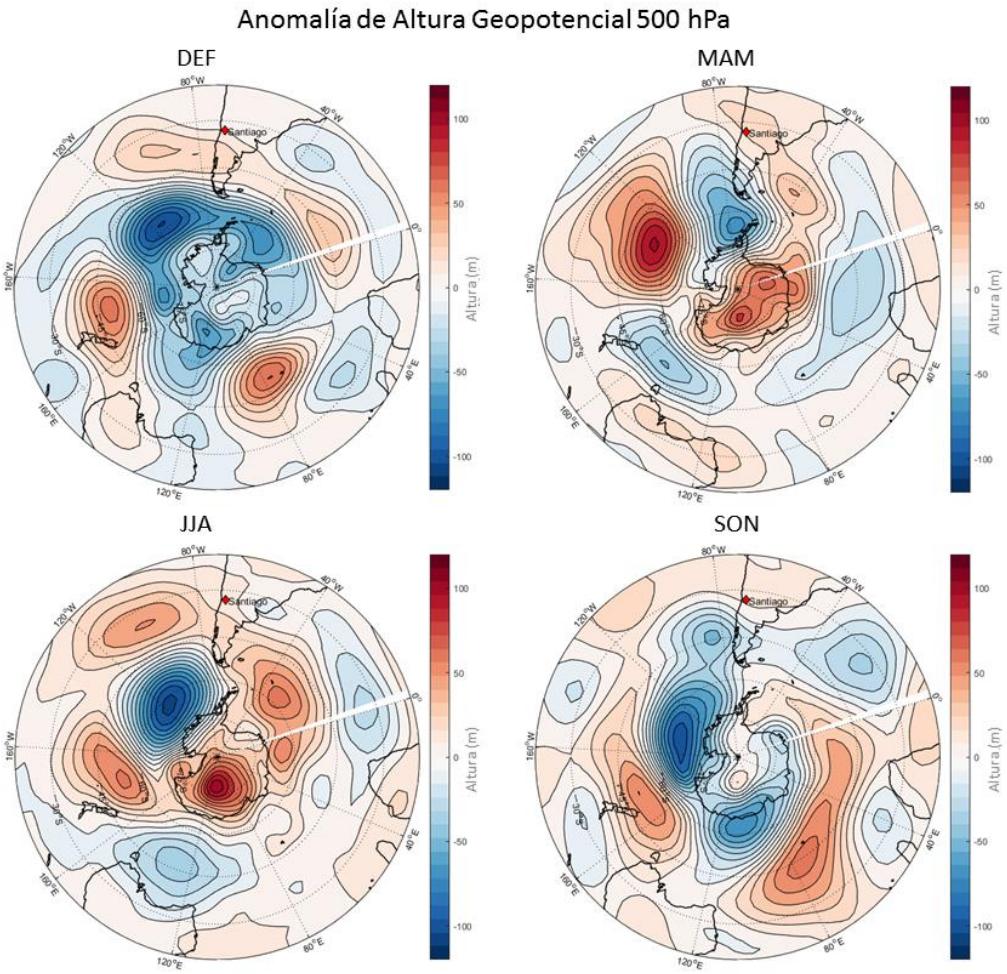


Fig. 2: Anomalías de altura geopotencial para verano (DEF), otoño (MAM), invierno (JJA) y primavera (SON) 2018. Fuente: elaboración propia con datos de NCEP-NCAR.

Durante los meses otoño (MAM) y principalmente en invierno (JJA) se observaron valores positivos de altura geopotencial y de presión a nivel del mar que estuvieron asociados a una menor cantidad de eventos de precipitación, transformándose en uno de los inviernos más secos de la zona centro sur. Posteriormente en primavera (SON) ingresaron sistemas frontales más al norte, reflejado en valores bajos de presión a nivel del mar y de altura geopotencial de 500 hPa, que permitieron recuperar, en parte, el déficit pluviométrico en la zona centro-sur.

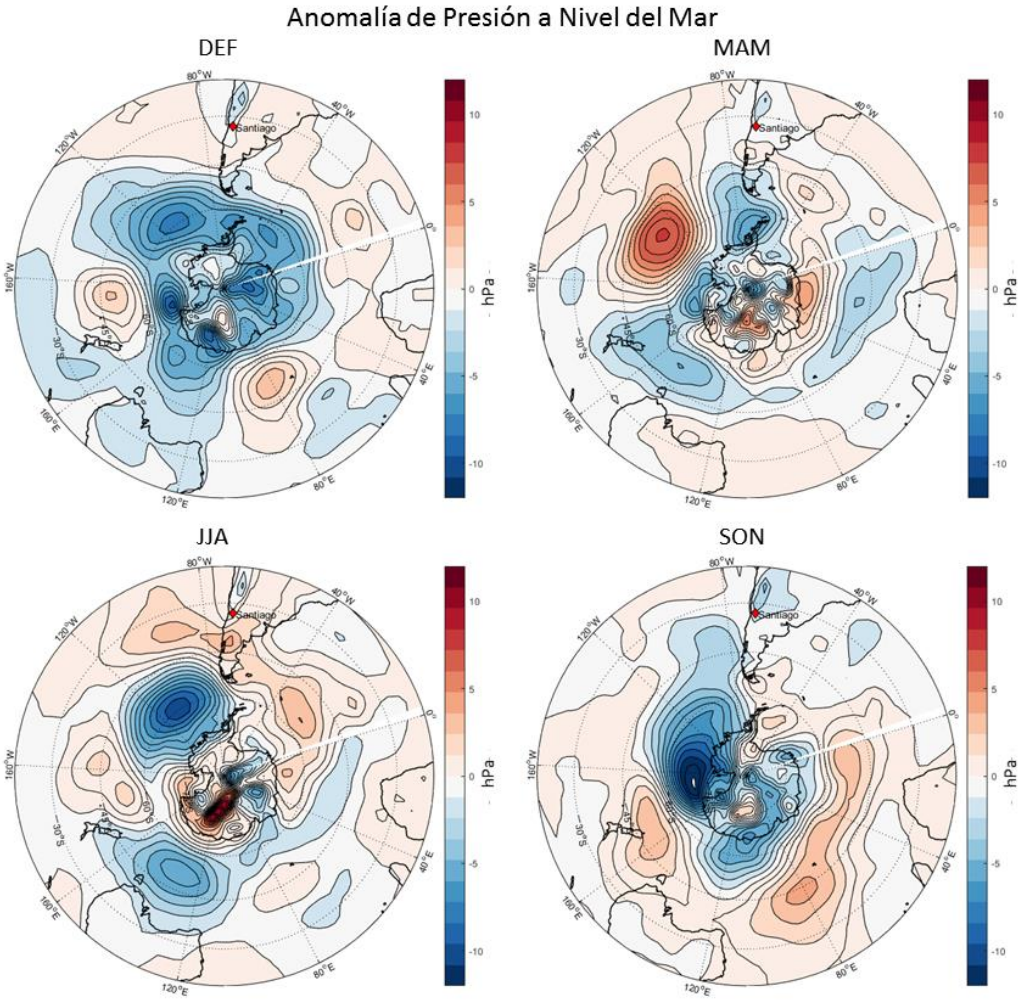


Fig. 3: Anomalías de presión a nivel medio del mar para verano (DEF), otoño (MAM), invierno (JJA) y primavera (SON) para 2018. Fuente: elaboración propia con datos de NCEP-NCAR.

1.3 Resumen de hechos climáticos relevantes y récord del 2018

Destacados y récord 2018

Precipitación		
Localidad o Estación	**Periodo**	**Fenómeno climático**
Antofagasta	Octubre	Récord de 1.8 mm siendo el octubre más lluvioso de 58 años
Curicó	Invierno	Es el 5to. año más seco con 182.2 mm, el primero fue en 1998 con 53.8 mm
Chillán	Invierno	Cuarto invierno más seco con 257mm. El récord es en 1968 con 177.8 mm.
Concepción	Invierno	Es el 2do más seco con 248.9 mm. El más seco fue el 2016 con 246.8 mm.
Temuco	Junio	Tercer junio más seco con 57.1 mm. El récord fue en junio de 1996 con 10.3 mm.
	Verano	Cuarto verano más seco 50.8 mm. El verano más seco fue en 1986 con 16.2 mm.
Valdivia	Junio	Récord de junio más seco desde 1964, con 100 mm. El anterior fue en 1996 con 115 mm.
	Mayo-Junio-Julio	Récord de trimestre más seco con 394 mm. El anterior fue 407.4 mm en el 2016.
Puerto Montt	Julio	Cuarto julio más seco 86.8 mm. El récord es en julio de 2014 con 79.5 mm
	Verano	Cuarto verano más seco con 121 mm, el más seco es el 2014 con 80 mm.
Coyhaique	Julio	Tercer julio más seco con 35.7 mm. El récord lo tiene el año 1998 con 25.2 mm.
Balmaceda	Julio	Fue el segundo julio más seco con 10.8 mm. El récord lo tiene julio de 1988 con 7 mm.

Temperatura		
Localidad o Estación	**Periodo**	**Fenómeno climático**
Calama	Anual	Es el 3er. año con temperatura mínima más alta con 4.0°C, el más alto es el 2017 con 4.1°C.
Isla de Pascua	Anual	Es el 5to. año con temperatura máxima más alta con 24.5°C, el más alto es el 2002 con 24.9°C.
Rodelillo	Anual	Récord de temperatura media más alta con 19.80°C, superando al año 1990 con 19.79°C.
	Primavera	Récord de temperatura, primavera más cálida con 20.7°C, superando a los 19.9 registrados en 1994 y 2016.
Pudahuel	Anual	Récord de días de verano con temperatura sobre 25°C con 181 días en el año.
	Anual	Récord de temperatura media más alta con 23.9°C, superando al año 2015 con 23.7°C.
Quinta Normal	Anual	Récord de días de verano con temperatura sobre 25°C con 184 días en el año.
	Anual	Es el 2do. año con mayor rango diario de temperatura (DTR) con 15.6°C.
	Anual	Es el 3er. año con temperatura máxima media más alta con 23.9°C, el más alto es el 2015 con 24.2°C.
Curicó	Anual	Quinto año con temperatura máxima media más alta con 21.7°C. El récord se registró el 2016 con 22°C.
Chillán	Anual	Es el tercer año con mayor cantidad de días con heladas, registrando 41 días bajo 0°C.
	Invierno	Es el 3er. año invierno con temperatura media más fría con 2.5°C. En 1967 el invierno registró 1.6°C.
Temuco	Anual	Se registra la temperatura máxima más baja el 26 de julio con 2.7°C.
Puerto Montt	Anual	Es el 2° año con más días con heladas, con 41 días con temperatura inferior a 0°C.
Coyhaique	Anual	Segundo registro de temperatura mínima más alta el 5 de febrero con 17.8°C, el anterior fue de 18°C en 1965.

2. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA

2.1 Temperatura anual y estacional 2018

Temperatura Media

La temperatura media en Chile continental durante el 2018 alcanzó los **13.3°C**, siendo **0.27°C** más cálida que lo normal. La zona antártica presentó una temperatura media de -1.8 °C, siendo 0.9°C más alta que el período de referencia. Asimismo, Rapa Nui, superó el promedio en +0.4 °C, mientras que, en Juan Fernández, la temperatura media alcanzó los 15.4°C, siendo 0.2°C por debajo del promedio climatológico.

Tabla N°2: Ranking de años más cálidos.

10 años más calidos			
Rank	Años	T°med.	Anomalía
1	2016	14.0	0.91
2	2015	13.9	0.87
3	1997	13.9	0.80
4	1998	13.8	0.72
5	1983	13.7	0.65
6	1987	13.7	0.65
7	2017	13.6	0.53
8	2008	13.6	0.51
9	2012	13.6	0.48
10	2004	13.5	0.44
21	2018	13.3	0.27

(*) Estadística desde 1961. Periodo de referencia 1961-1990. Sobre la base de 20 estaciones, sin considerar Península Antártica y Rapa Nui.

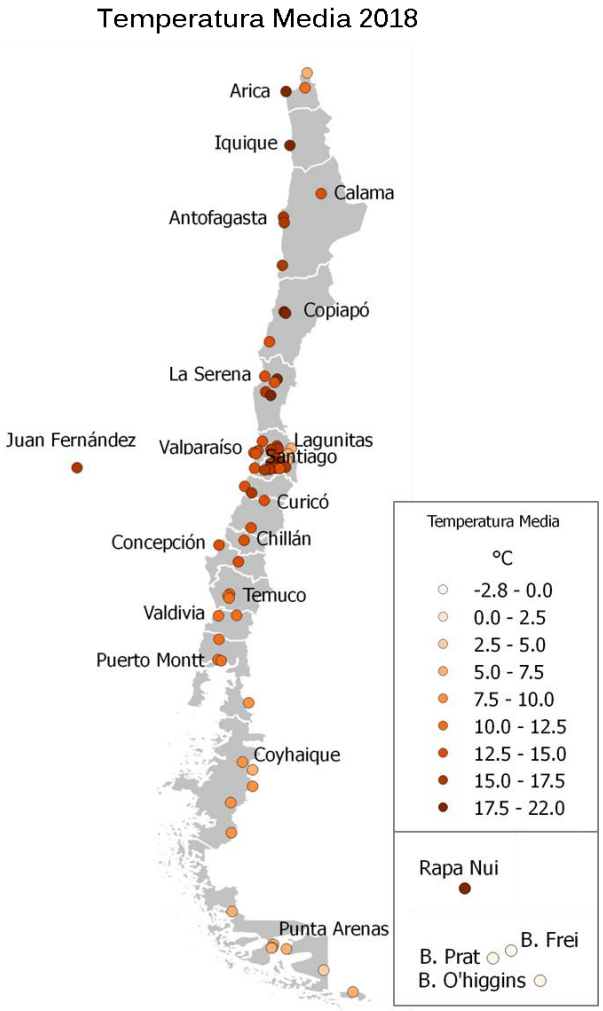


Fig. 4: Temperatura media en Chile durante el 2018.

El año 2018 estuvo en el puesto 21 del ranking de los años más cálidos registrados desde 1961, manteniéndose como el año más cálido el 2016 con una anomalía que supera 0.9 °C (Tabla N° 2). Cabe destacar, que 6 de los 10 años más cálidos han ocurrido en el siglo XXI, mientras que el resto de los años cálidos han sido influenciados por episodios de *El Niño*.

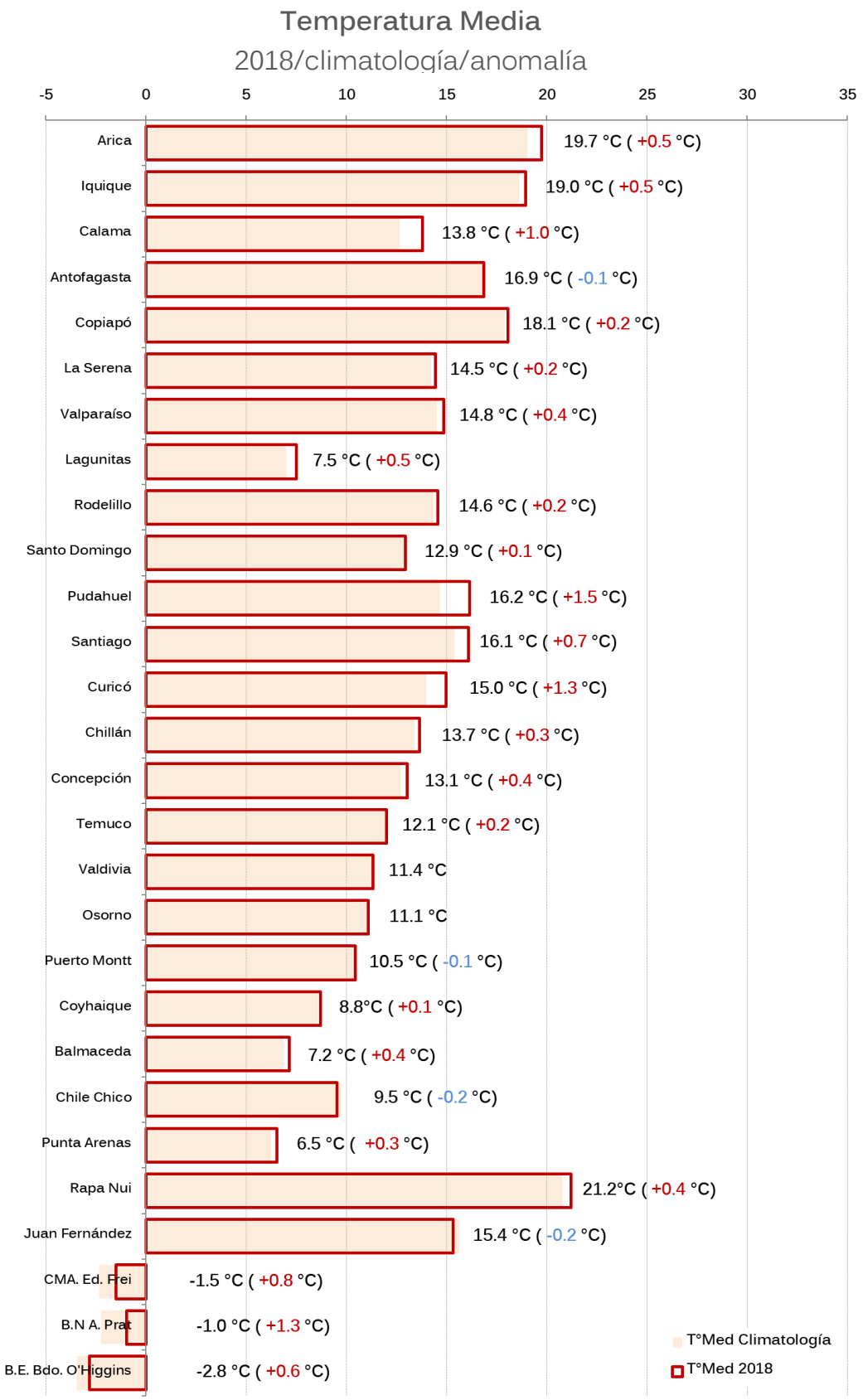


Fig.5: Temperatura media de 28 estaciones meteorológicas durante el 2018 (caja roja) y el promedio climatológico (barra). Se muestra la anomalía en °C respecto al promedio 1961-1990, a excepción de Calama, Lagunitas, Rodelillo, Pudahuel y las bases antárticas.

La localidad que registró una mayor temperatura promedio fue Rapa Nui con 21.2 °C, por su condición de clima tropical, mientras que, la que registró una temperatura más fría fue la estación Base Antártica Bernardo O'Higgins con -2.8°C. En general, se presentaron anomalías positivas entre 0.1 °C – 1.5 °C, destacándose las estaciones de Calama, Pudahuel, Curicó y Base Antártica Prat, las cuales superaron 1°C de anomalía durante este año.

Aunque más frío que el 2017, el verano del año 2018 fue igualmente cálido, especialmente en la zona central y sur, presentando anomalías que superan los 1.8°C, en Santiago y Curicó (Fig. 6). En otoño comenzó a enfriarse en la zona sur, pero se mantuvieron las temperaturas cálidas al interior de la zona central. Durante invierno, lo que marcó la diferencia, fue el registro de anomalías negativas (más frío) en prácticamente todo el país, mostrando coherencia con un invierno escaso en precipitaciones. El intenso anticiclón que dominó este período permitió que los sistemas de bajas presiones incursionaran hacia el sur, causando un efecto contrario en Punta Arenas y en la península Antártica, donde las anomalías positivas superaron los 2°C (Fig. 6).

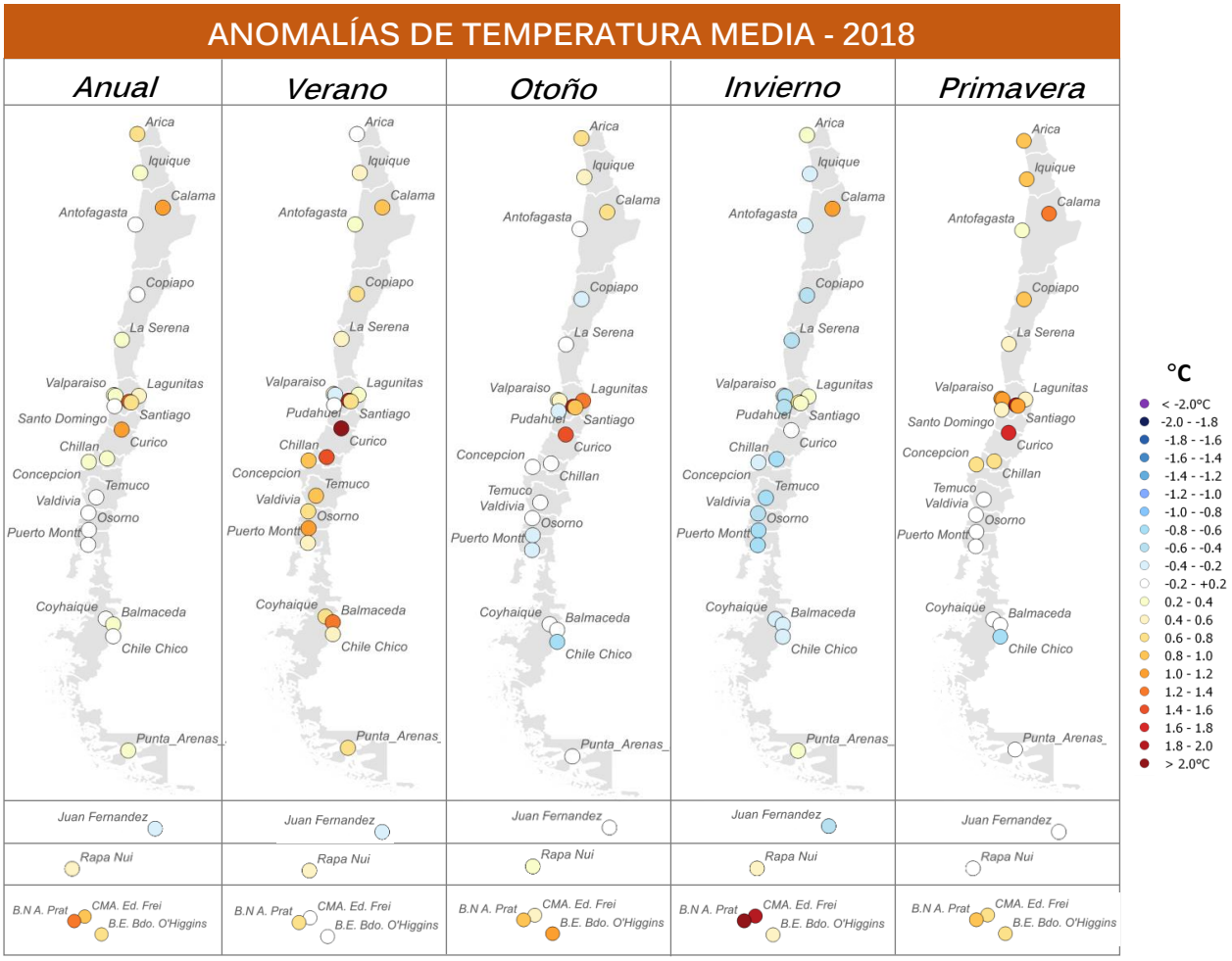


Fig. 6: Anomalía en °C de la temperatura media anual y estacional.

Temperatura Máxima

La temperatura máxima en Chile continental durante el 2018, promedió **18.5 °C**, siendo **0.3°C** más alta que el promedio climatológico. La estación de Copiapó registró la temperatura más alta, con 27.1°C, casi 6 décimas por sobre lo normal. La temperatura más baja registrada en el continente fue en Punta Arenas, con un promedio de 10°C (Fig. 7).

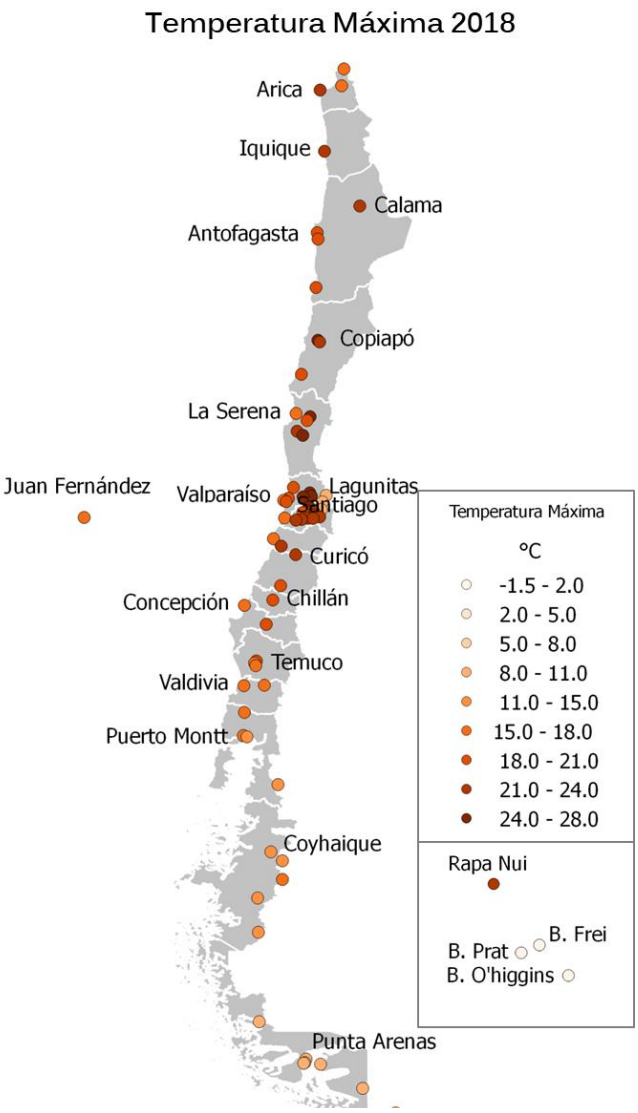


Fig. 7: Temperatura máxima media anual durante el 2018.

La mayoría de las estaciones ubicadas en la costa, desde Arica hasta La Serena y entre Santo Domingo y Juan Fernández, presentaron condiciones más frías que el promedio (Fig. 8). El resto del país, invariable en la última década, registró temperaturas máximas más altas que lo normal en las estaciones de Pudahuel con 24°C y Santiago (Quinta Normal) con 23.9°C, siendo 1.6°C y 1.4°C por sobre el promedio 1961-1990. El 2015 sigue siendo el año de mayor temperatura máxima registrada en la Región Metropolitana. También, se destaca el calentamiento en la península antártica alcanzando a +1.1°C, en la Base Prat (lado oeste de la península) (Fig. 8).

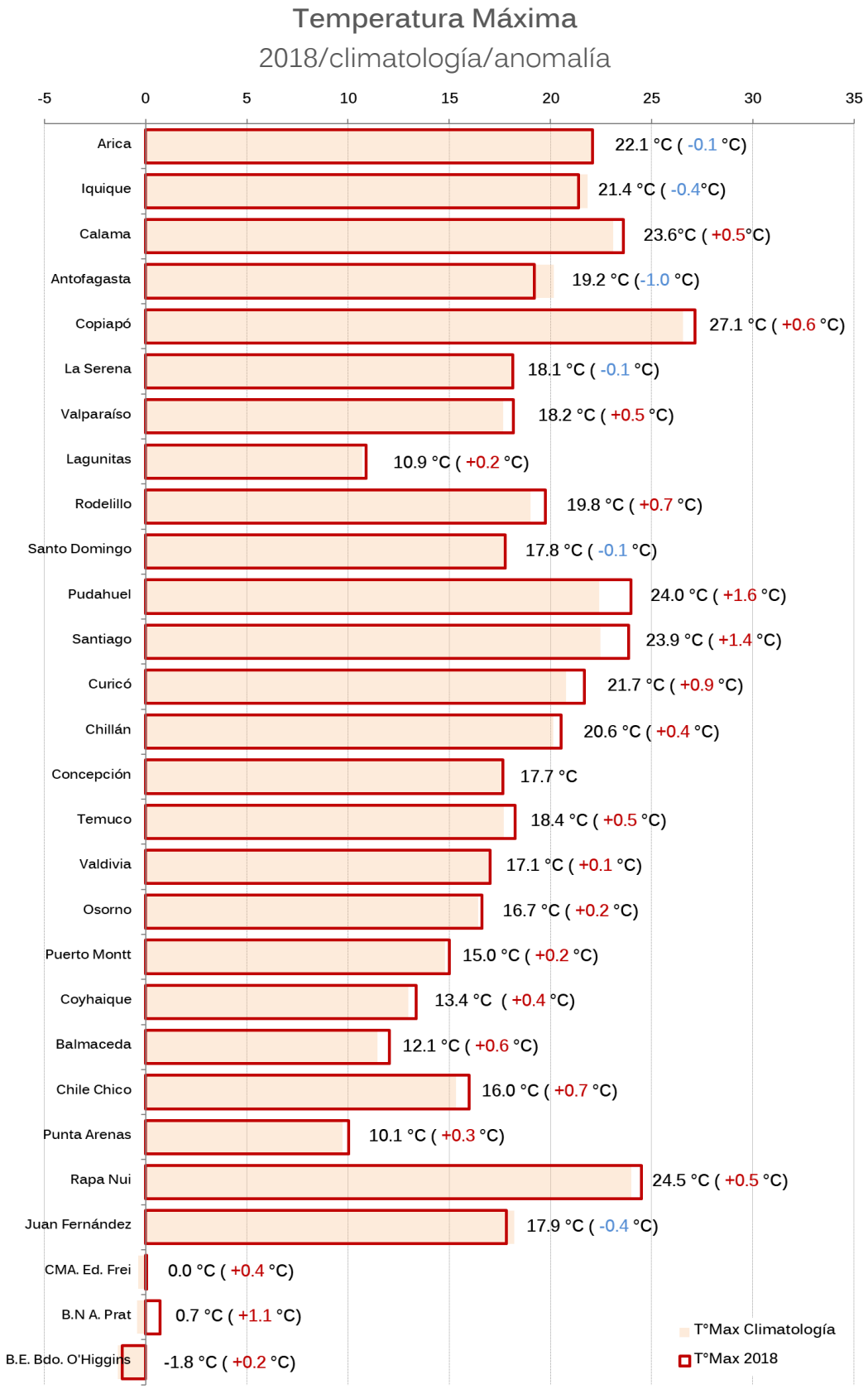


Fig.8: Temperatura media máxima de 28 estaciones meteorológicas durante el 2018 (caja roja) y el promedio climatológico (barra). Se muestra la anomalía en °C respecto al promedio 1961-1990, a excepción de Calama, Lagunitas, Rodelillo, Pudahuel y las bases antárticas.

La costa norte se mantuvo con temperaturas máximas más frías hasta el invierno, mientras que la zona central, especialmente en los valles, el calentamiento se mantuvo durante todo el año (Fig. 9). En la zona sur, sólo durante el verano se presentaron anomalías positivas significativas respecto a lo normal, siendo hasta 1.8°C más cálido en Balmaceda y Temuco, el resto de año fue ligeramente más frío (Fig. 9).

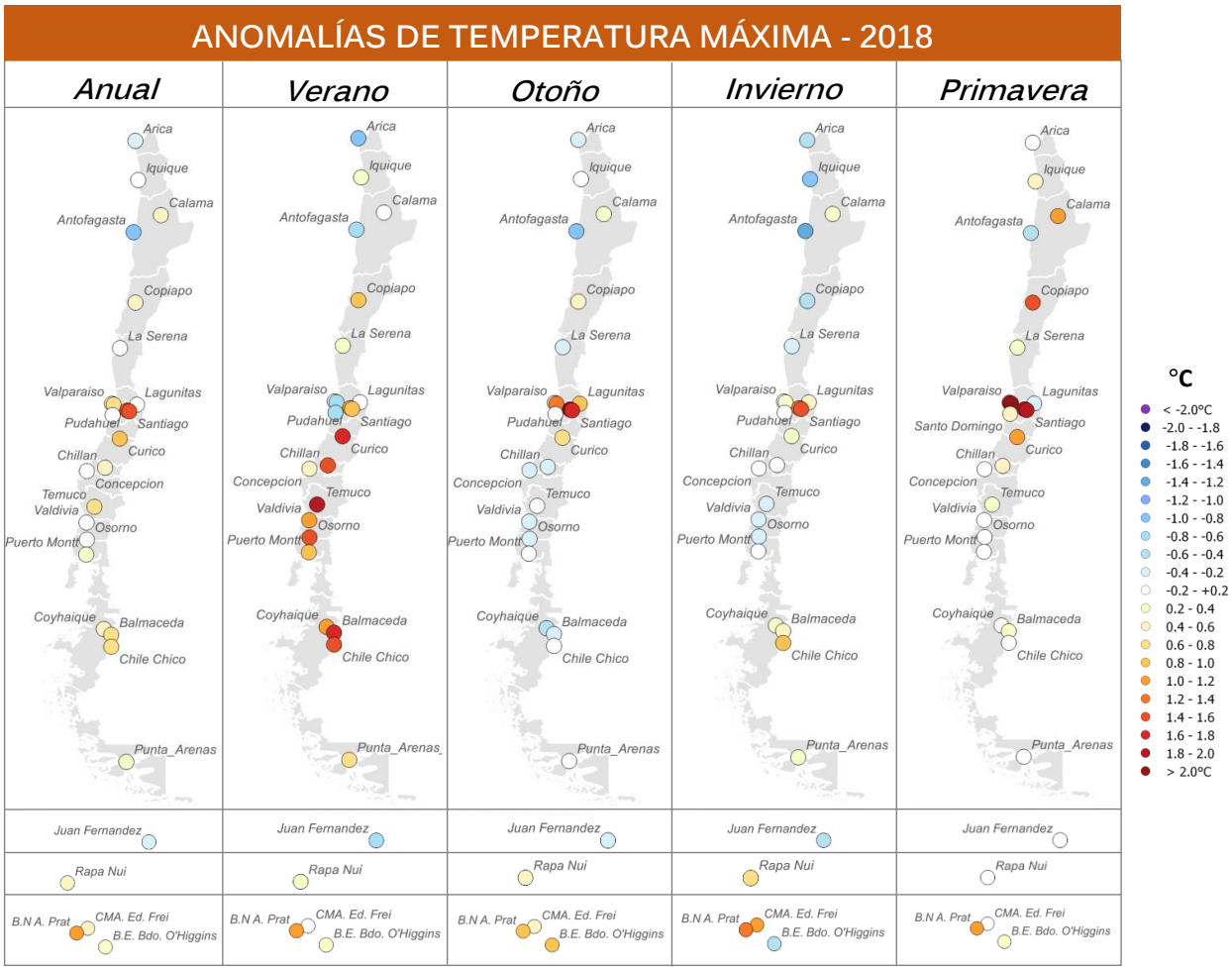


Fig.9: Anomalías de temperatura media máxima, anual y estacional.

Temperatura Mínima

La temperatura mínima en Chile continental durante el 2018, promedió **8.2°C**, siendo **0.2°C** más alta que el promedio climatológico, sin embargo, se encuentra en la mediana de los últimos 58 años. Según el ranking, el año 1997 sigue siendo el año más cálido (9.0°C, + 0.8°C) respecto a la temperatura mínima producto del intenso evento de *El Niño*.

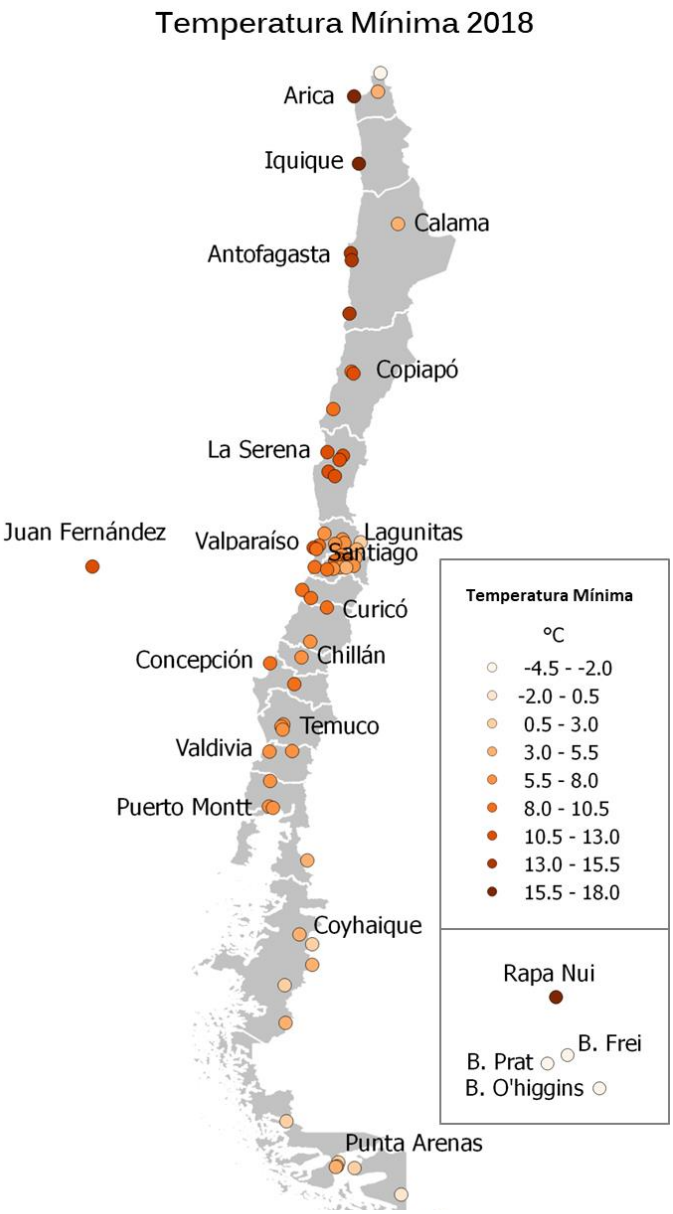


Fig. 10: Temperatura mínima media anual durante 2018.

Al contrario de lo ocurrido con la temperatura máxima, la temperatura mínima en sectores costeros de la zona norte presentó valores más altos que lo normal, alcanzando 17.4°C en Arica (Fig. 10), por sobre 1.4°C del promedio, una causa probable se debió al aumento de la temperatura superficial del mar ante un evento de *El Niño* que se avecinaba. Entre las regiones de Valparaíso y del Biobío, se mantuvieron altos los valores de la temperatura mínima, a pesar de ser un año muy seco. Sin embargo, en la zona sur, dominaron las anomalías negativas (más frío) con valores de hasta -1.0 °C más bajo que el promedio en Chile Chico (Fig. 11). Es destacable y preocupante el calentamiento observado en esta variable en la Península Antártica, con rangos entre 1.1°C y 1.4°C más altos que el promedio. Por ejemplo, en la Base O'Higgins, el promedio de la temperatura mínima es de -5.5°C y durante el año 2018 fue de -4.5°C.

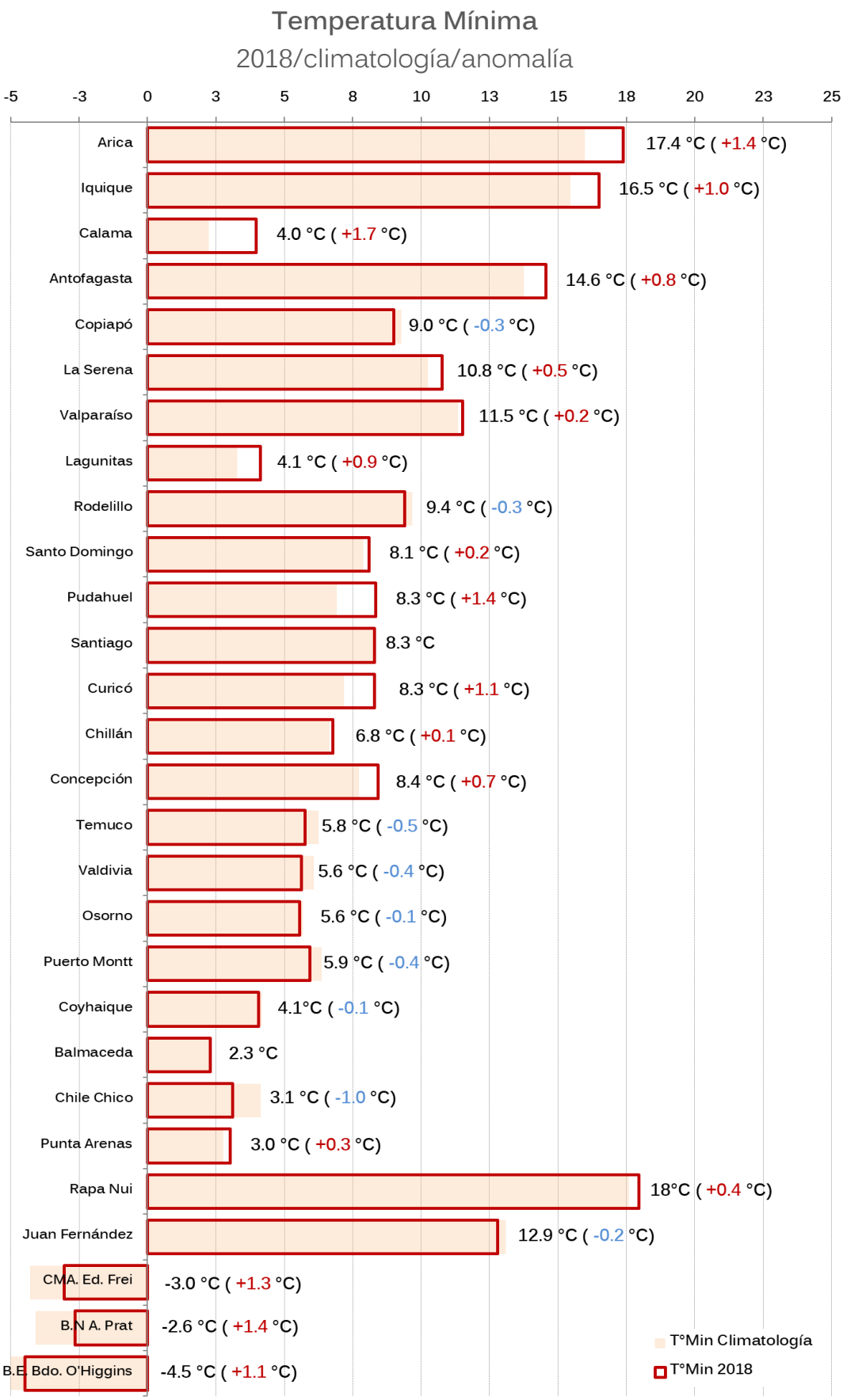


Fig.11: Temperatura media mínima de 28 estaciones meteorológicas durante el 2018 (caja roja) y el promedio climatológico (barra). Se muestra la anomalía en °C respecto al promedio 1961-1990, a excepción de Calama, Lagunitas, Rodelillo, Pudahuel y las bases antárticas.

Durante todo el año, en la zona norte se presentaron anomalías positivas (más cálidas), tanto en la costa como en el interior, destacándose principalmente la primavera, estación del año que presentó las mayores diferencias con respecto a su promedio (+1.8°C en Arica, ver Fig. 12). En la zona central, sin embargo, el verano fue la época en que se presentaron las mayores anomalías, destacándose Pudahuel que fue 2.5°C más cálido que el promedio.

Un invierno seco y significativamente más frío tuvo el año 2018 en casi todo Chile continental. Las anomalías negativas de la temperatura en los meses de invierno abarcaron desde Copiapó hasta Chile Chico, promediando -0.84°C (Fig. 12). La diferencia se observó en el continente antártico, donde el invierno presentó una anomalía de 3.6°C sobre el promedio en la Base Prat, 2.7°C en la Base Frei y 1.8°C en la Base Bernardo O'Higgins (Fig. 12), siendo el invierno del año 2018 el más cálido en los últimos 15 años.

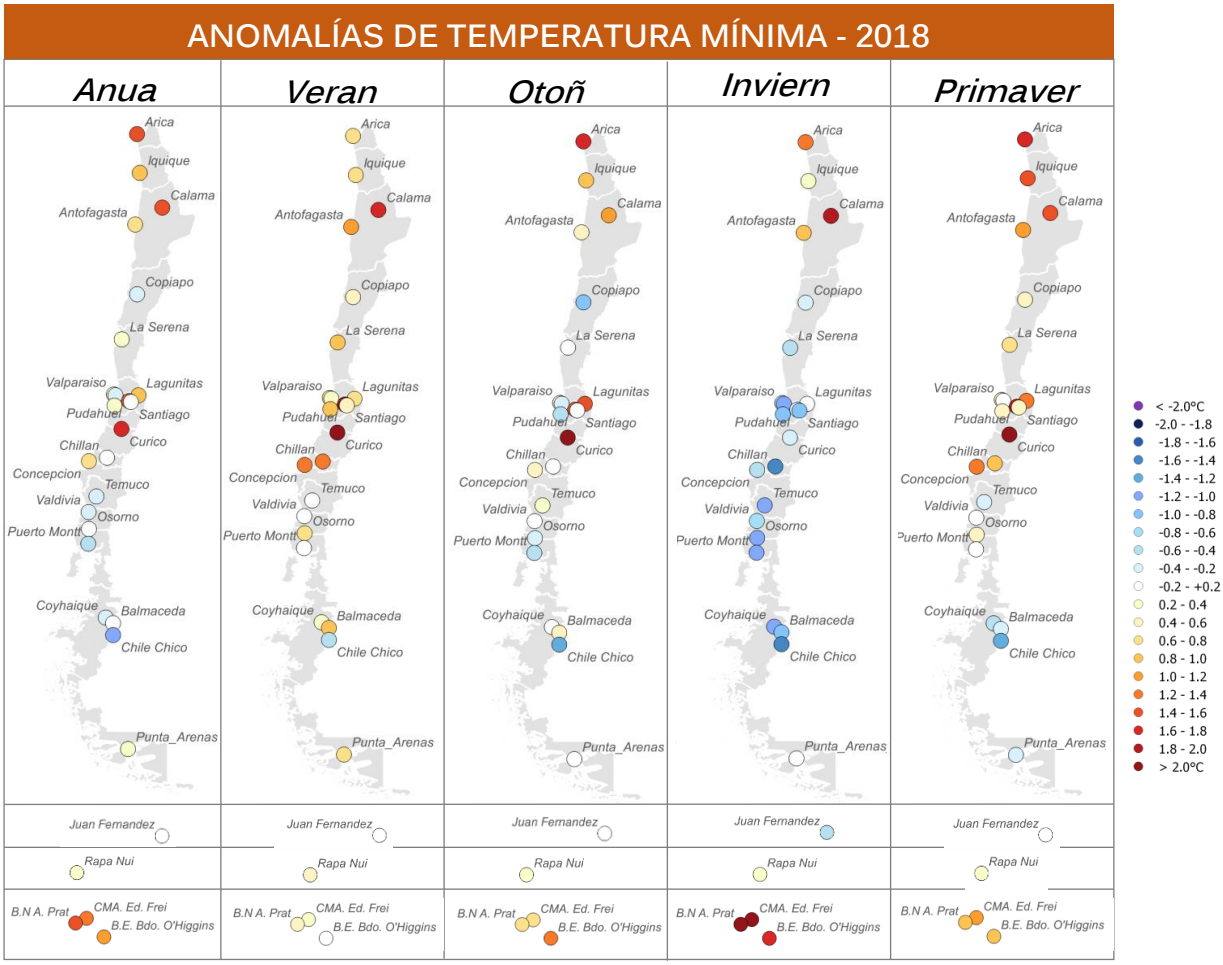


Fig.12: Anomalías de temperatura media mínima, anual y estacional.

2.2 Tendencias de temperatura

El 2018 es el octavo año consecutivo donde las temperaturas registraron valores mayores al promedio manteniéndose la tendencia al aumento observado durante los últimos años, siendo esta del orden de **0.11**°C por década, entre el período 1961 y 2018 (Fig. 13). Desde mediados de 1976 (salto natural climático) se observa un régimen climático más cálido, pero que en la última década (2009-2018) se ha intensificado, siendo 0.4°C más cálido que la normal climática. De las ciudades que poseen un largo y continuo registro, **Calama** es la ciudad de Chile que presenta la mayor tendencia, donde la temperatura media aumenta a un ritmo de 0.21°C por década, probablemente debido a que es una de las pocas ciudades que presenta registros en altura, siendo esta área la que mayores cambios experimenta (Falvey y Garreaud, 2016). Por otro lado, en la zona central, también se presentan tendencias significativas, especialmente en Santiago y Curicó, ciudades que se ven influenciadas por el verano, estación del año en que la temperatura media experimenta grandes aumentos (Vásquez y Villarroel, 2017).

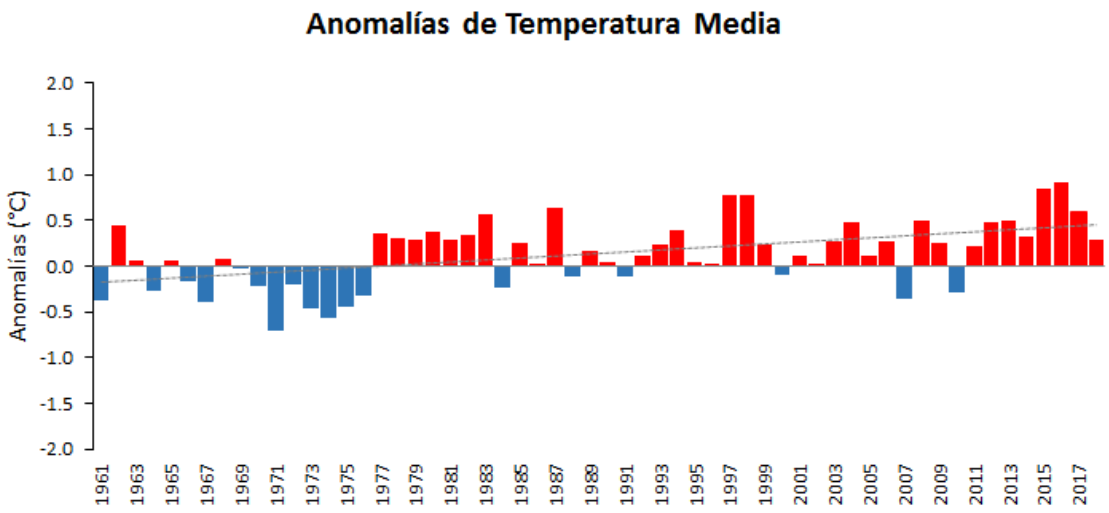


Fig. 13: Tendencia de temperatura media en Chile en términos de anomalías respecto al período climático 1961-1990 (Fuente: 20 estaciones meteorológicas DMC).

Respecto a las temperaturas extremas, tanto la temperatura mínima como la máxima, exhiben un aumento sostenido de **0.13°C y 0.08°C**, respectivamente (Fig. 14). En concordancia con lo que se observa a nivel global, la temperatura mínima aumenta a un ritmo mayor que la temperatura máxima, debido a que se ve influenciada directamente a los cambios de suelo y a la exposición costera. En Chile, la notoria diferencia en la rapidez de crecimiento, se debe al aporte de las estaciones del norte del país, donde se observan tendencias de 0.27°C/década, 0.26°C/década y 0.37°C/década en Calama, Iquique y Arica, respectivamente. Tendencias similares se observan en

Copiapó, Curicó, Chillán y Concepción donde la tendencia supera los 0.2°C por década. Otra ciudad donde se observan cambios significativos en la temperatura mínima es Punta Arenas cuyo incremento es de 0.15°C/década, mayor que el promedio nacional.

Respecto a la temperatura máxima, si bien a nivel país es menos homogénea que la temperatura mínima, se observa un patrón coherente con la disminución en la costa norte e incrementos en todo el resto del país (ver Índices Climáticos en portal web – www.meteochile.gob.cl).

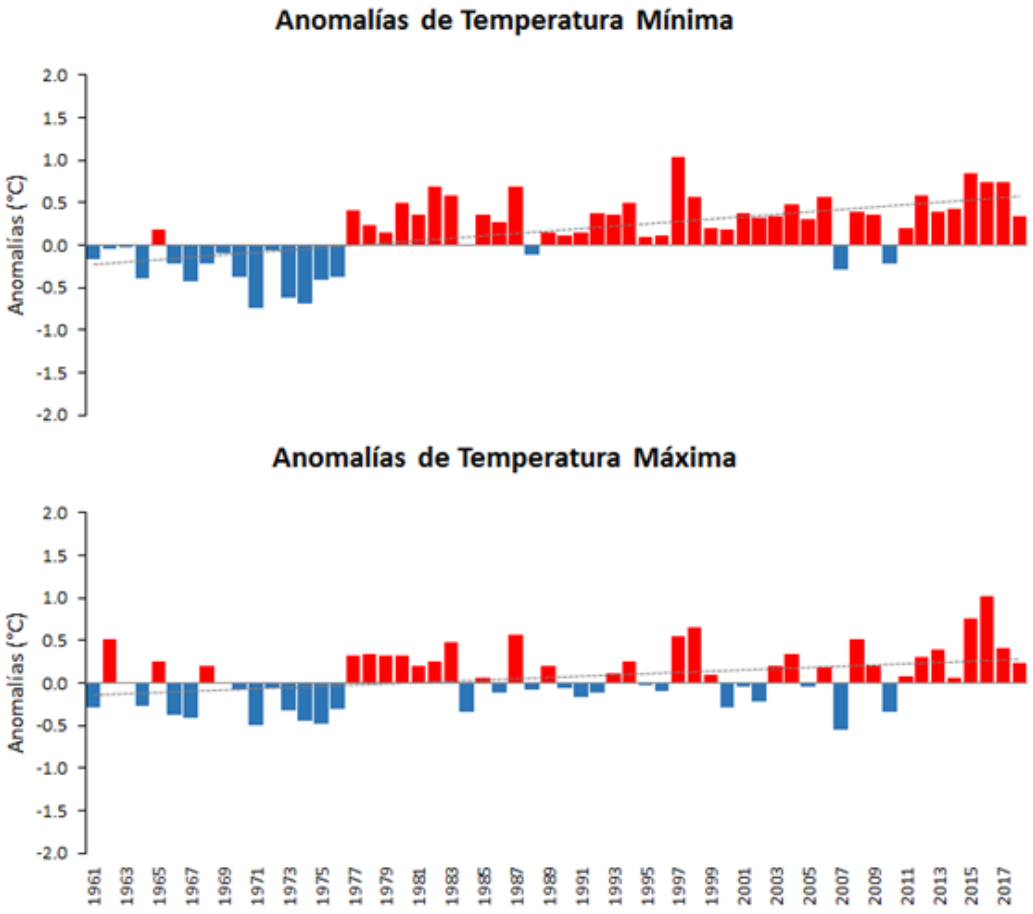


Fig. 14: Tendencia de temperatura mínima (panel superior) y máxima (panel inferior) en Chile, en términos de anomalías respecto al período climático 1961-1990 (Fuente: 20 estaciones meteorológicas DMC)

2.3 Índices Climáticos Extremos de Temperatura

Olas de Calor

En Chile durante la temporada 2017-18, se registró una notable disminución de la cantidad de episodios de olas de calor en comparación con la temporada 2016-17, lo opuesto, se observó en las localidades de Temuco, Puerto Montt y Chile Chico, donde se incrementaron de 1 a 2 los episodios de olas de calor durante la presente temporada. Del mismo modo, la temporada 2017-18 también se presentó por debajo del período de referencia, excluyendo las ciudades de Curicó, Temuco y Puerto Montt (Fig. 15).

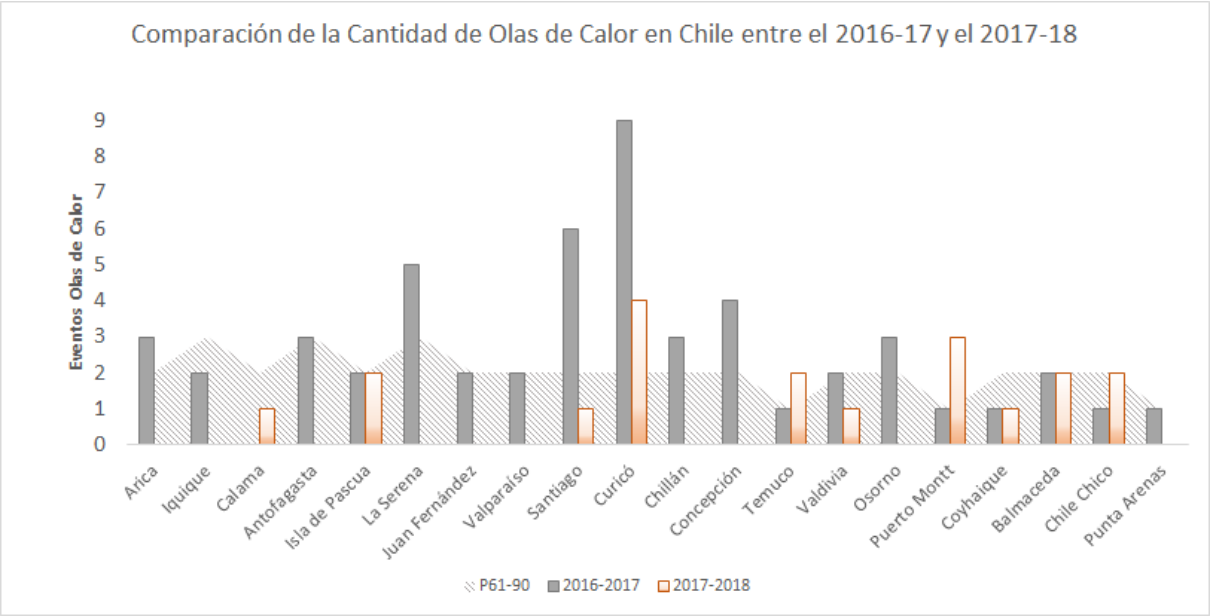
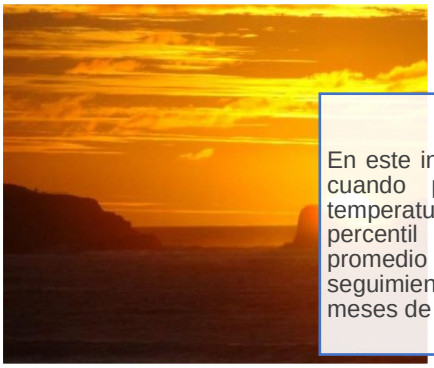


Fig. 15: Número de eventos de olas de calor registradas en la temporada 2017-18 (barras naranjas) comparadas con la temporada 2016-17 (barras grises) y el período de referencia 1961-1990 (sombreada).

Definición Ola de Calor



En este informe, una ola de calor se define, cuando por tres días consecutivos la temperatura máxima supera el umbral del percentil 90% (calculado a partir de un promedio móvil de 5 días). La temporada de seguimiento de las olas de calor es entre los meses de noviembre a marzo.

En estas ciudades se observa que, en los últimos años el número de olas de calor se ha duplicado respecto a 1961-1990, señalando un incremento en la frecuencia de estos eventos, tal como se observa en la figura 16. Respecto a la intensidad, expresada como el promedio de temperatura en los días de duración del evento, no hay tendencias claras respecto a su aumento, solo se observa una leve tendencia positiva en Temuco de no más 1 décima de grado (Fig. 16).

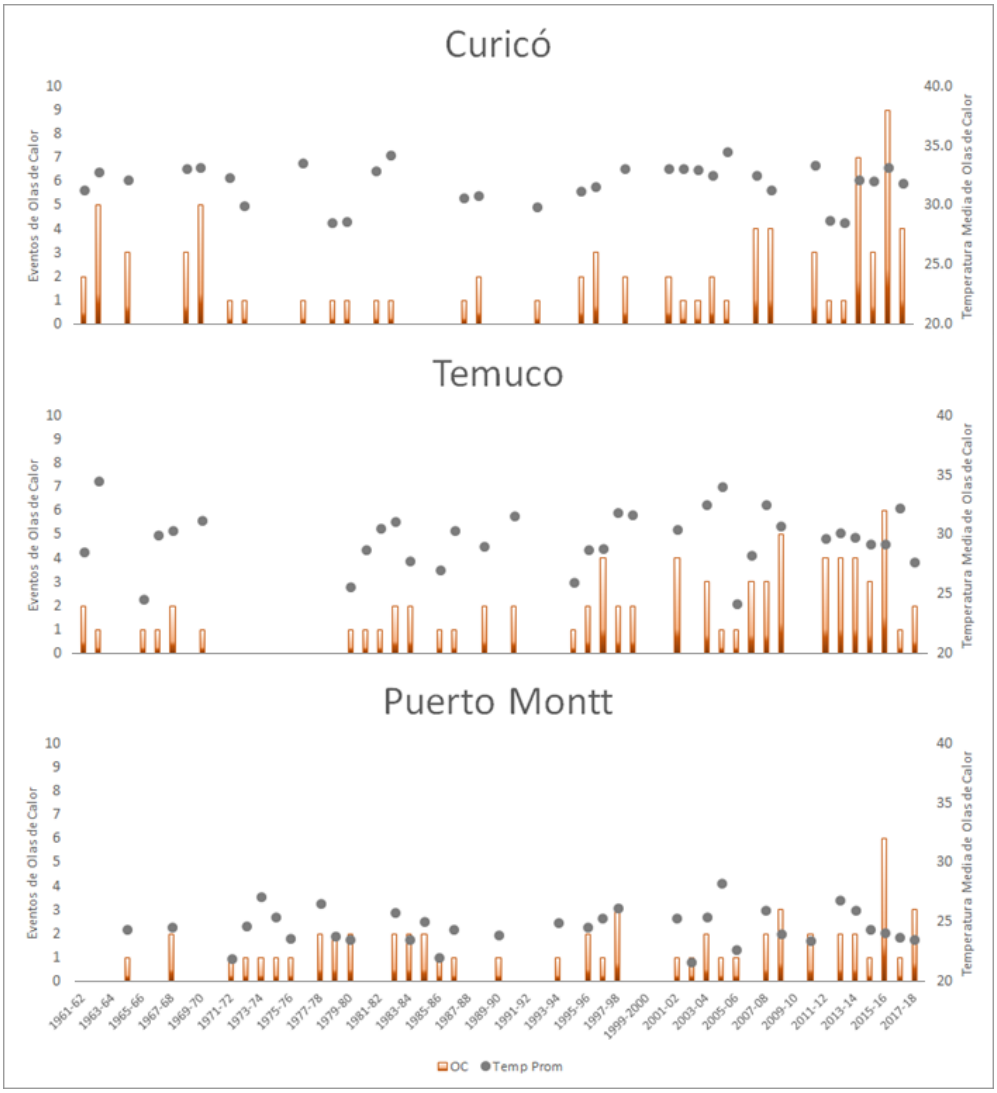


Fig. 16: Número de eventos de olas de calor desde 1961 a la fecha (barras naranjas). Los puntos indican la temperatura media de las olas de calor ocurridas en la temporada.

Noches cálidas

El sector costero de la zona norte se caracterizó por un año cálido, principalmente debido al aumento de la temperatura superficial del mar, incrementando el número de noches cálidas en un 18% (base 10%) (Fig. 17). Cabe destacar que las noches cálidas han aumentado en forma significativa en este sector, principalmente por la tendencia positiva de temperatura mínima, además, porque este índice es fuertemente influenciado por eventos de *El Niño*. Por ejemplo, las décadas con más noches cálidas

1991-2000 y 2011-2018 fueron dominadas por grandes eventos de *El Niño* (1997 se incrementó en 54%, 2015-16 en 57%).

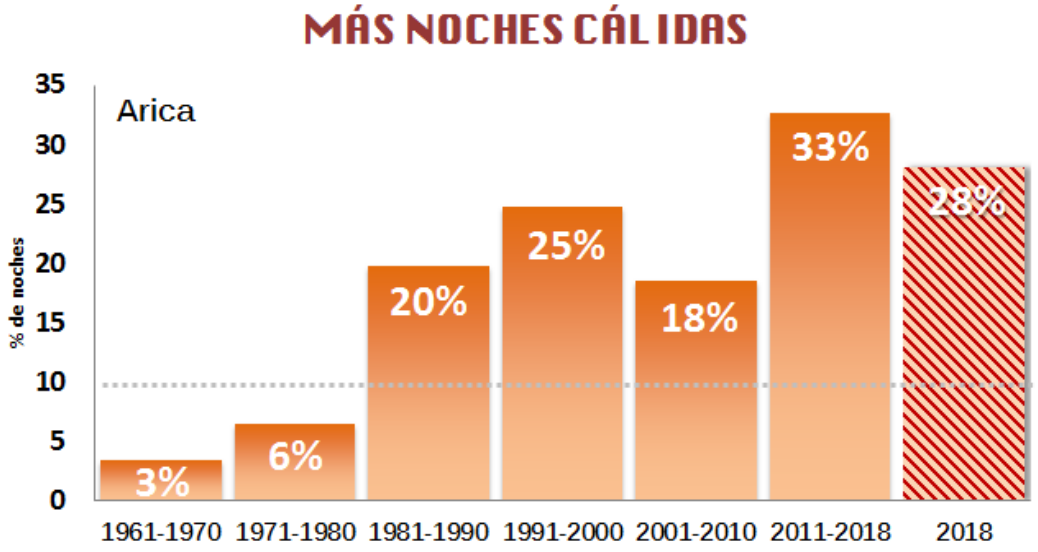


Fig. 17: Variación decadal de las noches cálidas en Arica expresado en porcentaje de días al año con temperatura mínima sobre el percentil 90%.

Días Cálidos

En la zona central, si bien, presentó un invierno frío, durante el verano y primavera, el 10% de los días con temperatura máxima más alta fueron mayor que el promedio, utilizando como ejemplo Santiago durante este año alcanzó un 16% (Fig. 18). En esta última década, los días cálidos se han duplicado respecto a décadas pasadas, sobre todo en ciudades de los valles centrales.

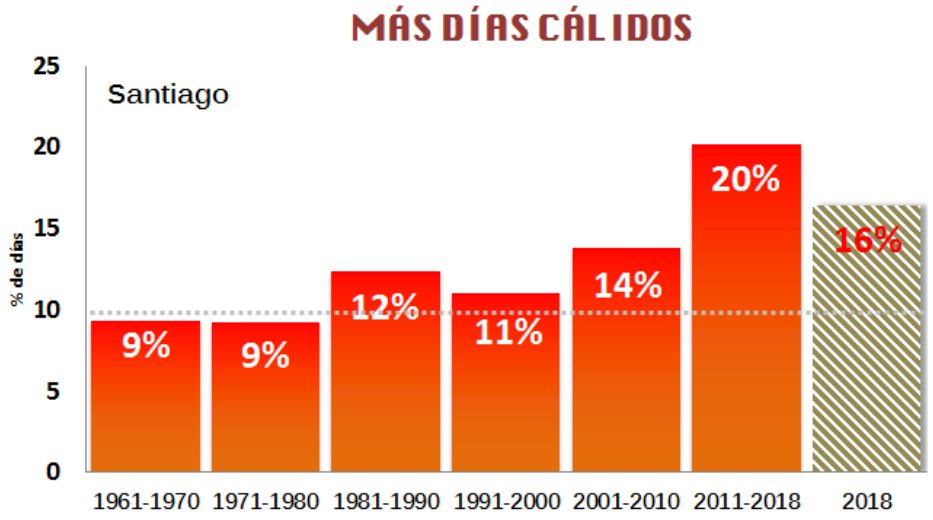


Fig. 18: Variación decadal de los días cálidos en Santiago, expresado en porcentaje de días al año con temperatura máxima sobre el percentil 90%.

Heladas (FD)

Notorio es el descenso del número de días con heladas (temperatura mínima bajo 0°C) en Calama durante el año 2018, llegando a 40 de un promedio de 90 heladas por año (Fig. 19). Desde la última década es posible apreciar una disminución generalizada en todas las ciudades, donde ocurren heladas, debido al aumento de la temperatura mínima. Sin embargo, en la zona central y sur del país, durante el 2018 se registró un invierno más frío y el número de heladas estuvo dentro del promedio.

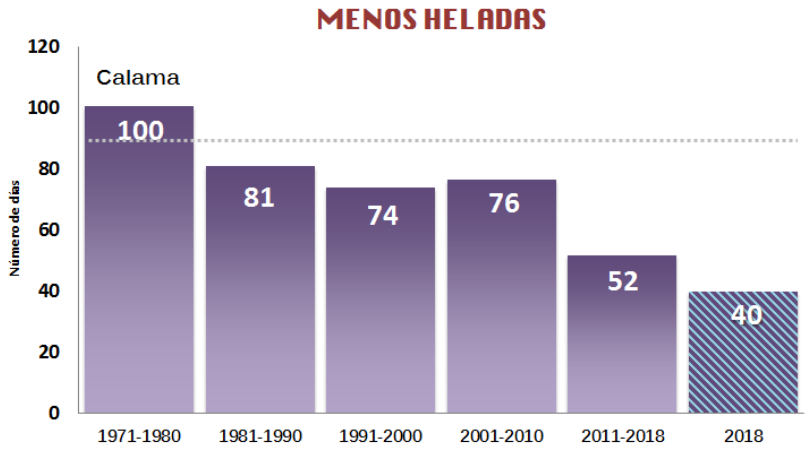


Fig. 19: Variación decadal del número de días con heladas (temperatura mínima bajo los 0°C) en Calama.

Días de verano (SU30)

El incremento de los días de verano o días con temperatura máxima por sobre 30°C en Curicó es significativo. De un promedio de 36 días, en el 2018 se registraron 70 días donde se superó ese umbral (Fig. 20). Lamentablemente este índice está relacionado con desastres como incremento de olas de calor y la incidencia en la intensificación de los incendios forestales.

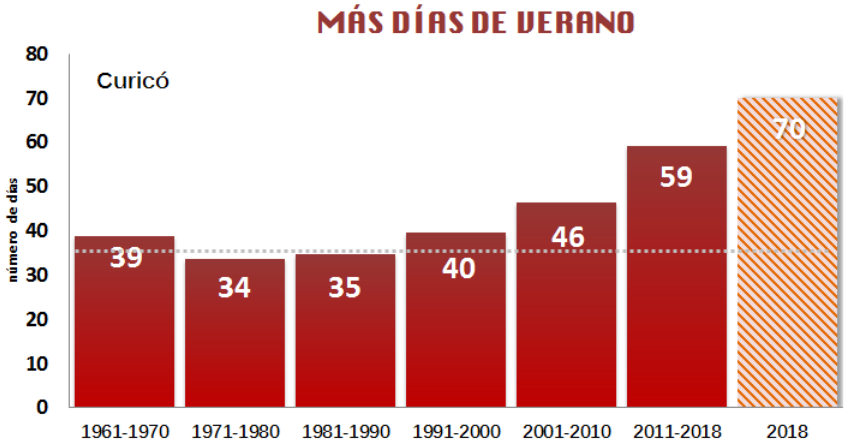


Fig. 20: Variación decadal de los días con temperatura máxima que supera el umbral de los 30°C (días de verano SU30) en Curicó.

2.4 Isoterma 0°C

Una variable importante en el contexto de cambio climático es la altura de la isoterma cero, que es el nivel donde la temperatura del aire pasa de valores positivos a negativos, y que sirve como referencia del nivel donde la precipitación cambia de líquida (agua) a sólida (nieve) (Fig. 21). En años recientes, se ha observado un mayor interés, debido a un incremento en los eventos extremos de precipitación y temperatura, que podrían influir en la ocurrencia de remociones en masa o aumento de caudales, sumado al incremento de la población expuesta.

Figura 21: Desplazamiento altitudinal de la isoterma cero en Chile. Fuente: Ing. Rodrigo Valdés Pineda. Impactos del Cambio Climático, Adaptación y Desarrollo en las Regiones Montañosas de América Latina (Carrasco, Cassasa, Pizarro y Saravia, 2011)

Para estimar la altura de la isoterma de 0°C se utilizan observaciones de altura desde radiosondas, a partir de los valores de temperatura medidos en la vertical. Cuatro son las estaciones de radiosonda en Chile con datos continuos: *Antofagasta, Santo Domingo, Puerto Montt y Punta Arenas*. Tanto en Antofagasta como en Puerto Montt, las observaciones comienzan el año 1973 y Santo Domingo (antes Quintero) y Punta Arenas comienzan en 1977. Las series tienen su debido proceso de homogenización.

Isoterma 0°C durante el 2018

El año 2018, la altura de la isoterma cero se ubicó a 4.728 m en promedio en Antofagasta, sobrepasando en 47 m la media 1981-2010 (4.681 m), destacándose los meses de abril y septiembre, con las mayores anomalías positivas (Fig. 22). Santo Domingo presentó un valor de 3.679 m con una anomalía de 102 m respecto al promedio, más acentuado en los meses de agosto y septiembre. Mientras que, en Puerto Montt, la altura de la isoterma cero se mantuvo cerca de la media con 2.306 m y presentó una anomalía de -7 m. Los meses de enero y febrero se destacaron por presentar anomalías positivas y junio por negativas. Por último, en Punta Arenas, la altura de la isoterma cero se observó

ligeramente bajo el promedio (1.146 m) con un valor de 1.127 m y una anomalía de -19 m, donde también los meses de enero y febrero se observaron valores positivos, mientras que en marzo y abril se observaron valores negativos. La Fig. 22 muestra que son más frecuentes e intensas las anomalías positivas que las negativas, siendo coherente con las tendencias observadas.

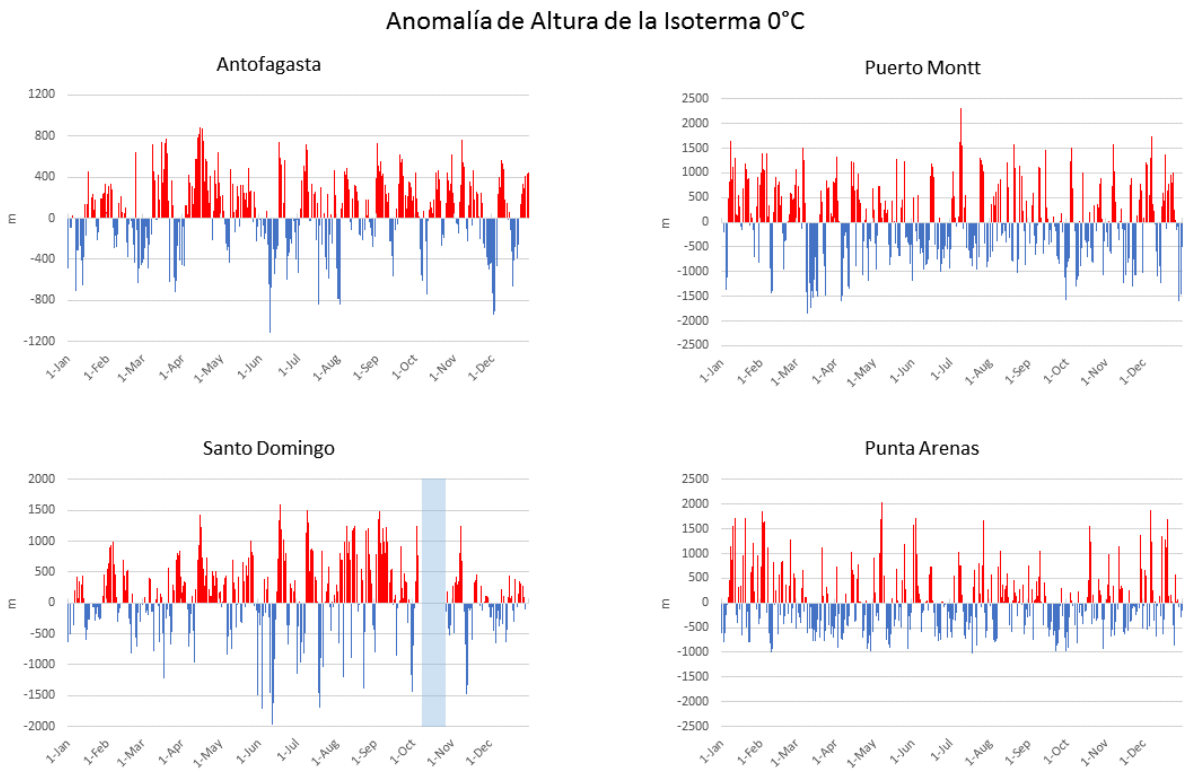


Figura 22. Anomalía diaria de la altura de la isoterma cero durante el año 2018, respecto al promedio 1981-2010. En rojo se muestran los valores positivos (más altura) y azul los negativos (menos altura). La zona sombreada en el gráfico indica un período sin observaciones.

Tendencias de la altura de la Isoterma de 0°C

La zona norte representada por Antofagasta es la que muestra la mayor tendencia con 38 m/década durante el período 1973-2018, en la zona central (Santo Domingo) y sur (Puerto Montt) el aumento es de 13 m/década y 10 m/década respectivamente (Tabla N°. 3). Al contrario, la zona austral ha observado un descenso que alcanza -17 m/década en Punta Arenas.

Tabla 3. Tendencia de la altura de la isoterma cero (m/década) para el período completo 1973-2018 - 1977-2018 (*), y para el período 2000-2018.

	Antofagasta	Santo Domingo	Puerto Montt	Punta Arenas
Período completo	38	13*	10	-17*
2000-2018	50	58	75	40

Sin embargo, al considerar el período posterior al año 2000, en general, se ha observado un aumento en la altura de la isoterma cero, donde la zona sur es la que más se ha incrementado su tendencia con 75 m/década, mientras que en Punta Arenas se revierte la tendencia negativa observada durante el período 1977-2018 a un aumento de 40 m/década, reflejado en el promedio móvil (línea roja).

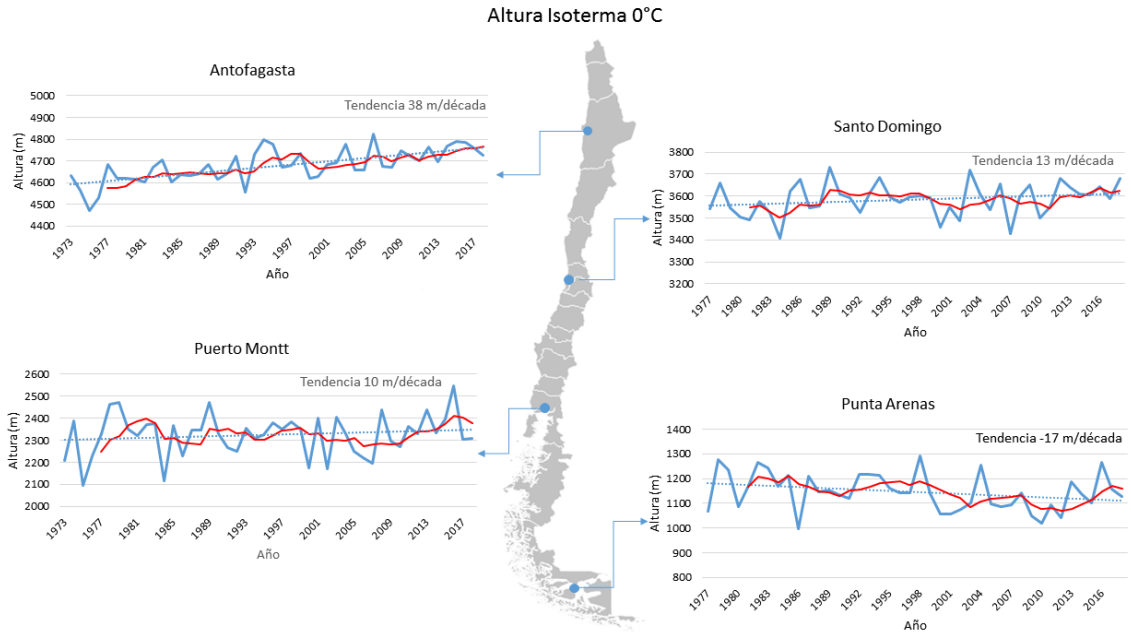


Figura 23. Altura de la isoterma cero (línea azul), ajuste lineal (línea punteada) y promedio móvil de 5 años (línea roja). Las observaciones utilizadas comienzan el año 1973 para Antofagasta y Puerto Montt, mientras que para Santo Domingo y Punta Arenas en 1977.

3. COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN

3.1 Precipitación anual y estacional - 2018

El comportamiento de la precipitación en Chile se traduce nuevamente en un año con déficit generalizado, en promedio **-23%,** considerando la zona insular y altiplánica. Las localidades con mayores déficits se encuentran entre las regiones de Atacama y Coquimbo con un promedio de 65% de déficit, destacándose Rivadavia donde la climatología promedio es de 94.8 mm, durante el año 2018 solo precipitó 14 mm (Fig. 24). En las regiones de Valparaíso y Metropolitana el déficit cayó la mitad de lo que corresponde a un año normal (50% de déficit), siendo las zonas más afectadas el interior de la Región de Valparaíso. Asimismo, la cordillera representada por la estación de Lagunitas ubicada a 2.765 m.s.n.m, también presentó déficit de precipitación (líquida más sólida) de un 33%.

Entre la Región de O'Higgins y del Maule, también se presentó con déficit que alcanzó 42%, variando entre los 27% en Linares y 63% en Pumanque (Fig. 24). El déficit comienza a disminuir al sur, caracterizado por valores significativos como en Nueva Aldea (-48%) e incluso un leve superávit de 4% en Freire, de todas formas, las regiones del Biobío y La Araucanía presentaron un déficit promedio de un 14%. Asimismo, la región de Los Ríos y Los Lagos mostraron déficit similar de 12%, en tanto, el déficit se agudizó en la Región de Aysén llegando a 27% en Chile Chico (Fig. 24).

Respecto a Rapa Nui, nuevamente se observó un déficit que alcanzó a un **16%,** existe una característica común con el resto de Chile, el déficit de precipitación probablemente está asociado al cambio climático. En cambio, la estación ubicada en el archipiélago de Juan Fernández presentó condiciones normales.

El 2018 es el décimo año más seco considerando los datos de 70 estaciones meteorológicas (Tabla 4), gran parte de este ranking se debe a las condiciones deficitarias de la zona central, donde más del 50% de las estaciones meteorológicas reportan el año 2018 dentro de los 10 años más secos. En algunas estaciones, el déficit fue más acentuado, como en Rivadavia (4to año más seco), Santiago (5to año más seco), mientras que, en las estaciones de La Vega-Petorca, Pumanque y Nancagua fue el tercer año más seco desde el año 1961.

A nivel país, aún se mantiene el año 1998 y 2016 como los años más secos desde 1961, ambos condicionados por la variabilidad natural (*El Niño-La Niña*), además de la tendencia del secamiento por causa del cambio climático.

Tabla 4: Ranking de los 10 años más secos de Chile

10 años más secos: todo Chile

Año	Promedio (76)	%Deficit
1998	402.2	-50
2016	512.5	-36
1968	538.4	-33
2007	546.3	-32
1996	553.1	-31
2013	565.0	-30
2010	574.0	-29
1962	577.7	-28
1988	594.4	-26
2018	619.2	-23

*El promedio consideró valores de precipitación total anual de 70 estaciones, incluyendo altiplano e islas. El déficit está calculado en base al período de referencia 1961-1990.

Consorcio Papa Chile, 2018

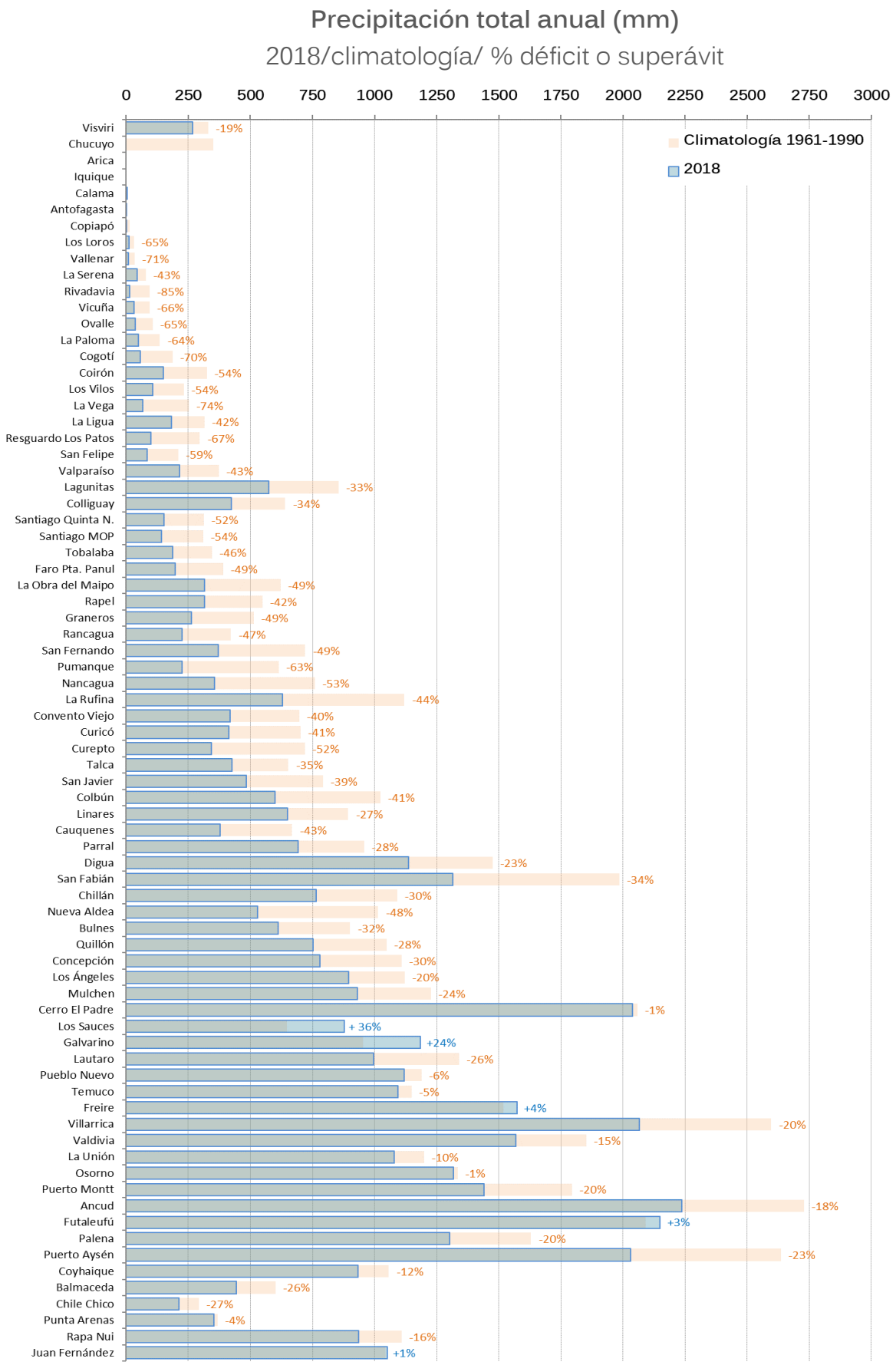


Figura 24: Precipitación total anual (barras azules) y período de referencia (barras naranjas), señalando el porcentaje de déficit y/o superávit.

Observar las anomalías estandarizadas permite comparar la gravedad del déficit entre una localidad y otra, de la cual se infiere que las estaciones ubicadas en los valles y cordillera entre la Región de Valparaíso y parte norte de la Región del Biobío presentan valores de -2 desviaciones estándar, mientras que, en la zona sur a pesar que tiene una mayor variabilidad espacial, la precipitación durante el año 2018 alcanzó un rango entre 3 y 2.5 desviaciones estándar (Fig. 25).

En términos absolutos, las regiones del Maule y Biobío presentaron valores entre 300 y 500 mm menos de agua caída (Fig. 25). Copiapó fue la ciudad con menor cantidad de precipitación total anual durante el 2018, con tan sólo 2 mm (sin considerar zonas de clima desértico costero como Arica, Antofagasta e Iquique), mientras que la localidad más lluviosa del año fue **Ancud con 2236.5 mm** (Fig. 25).

Precipitación total anual de 2018 y anomalías según climatología

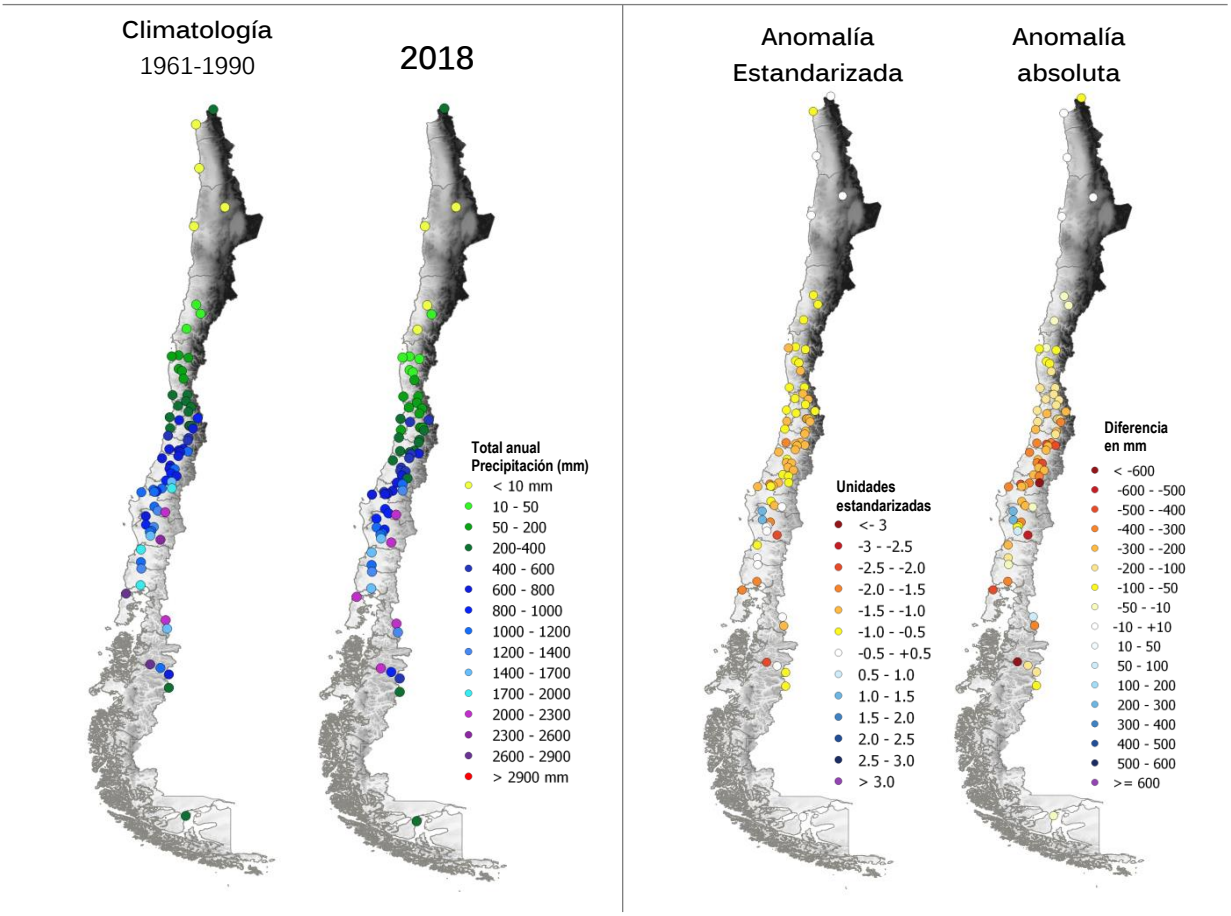


Fig. 25: *Izquierda*, se muestra la precipitación total anual del período de referencia (1961-1990) y la precipitación registrada durante el año 2018 en mm de agua. A la *derecha*, se presentan los mapas de anomalías estandarizadas de la precipitación anual y las anomalías en valor absoluto (2018-clim). Se utilizaron los datos de 70 estaciones meteorológicas de DGA, DMC, Agromet, Servimet, Codelco, Esval.

En el caso de Copiapó, hay que mencionar que no es raro esperar que un año sea casi nula la cantidad de precipitación anual, de hecho, el 2018 (2 mm) está en el ranking 18

de los años más secos, con una probabilidad por sobre el 30% de que vuelva a tener este mismo valor.

Respecto al comportamiento estacional, éste experimenta variaciones significativas respecto a la climatología propia de cada estación, principalmente entre las regiones de Bernardo O'Higgins y Aysén, donde se observan que las mayores anomalías negativas están concentradas en invierno, mientras que, en primavera experimentan valores que son comunes de invierno (Fig. 25 y 26). Por otro lado, en las regiones de Atacama y Coquimbo, las lluvias se presentaron en pocos eventos de precipitación, mostrando anomalías negativas, pero con una distribución a lo largo del año en los rangos esperables.

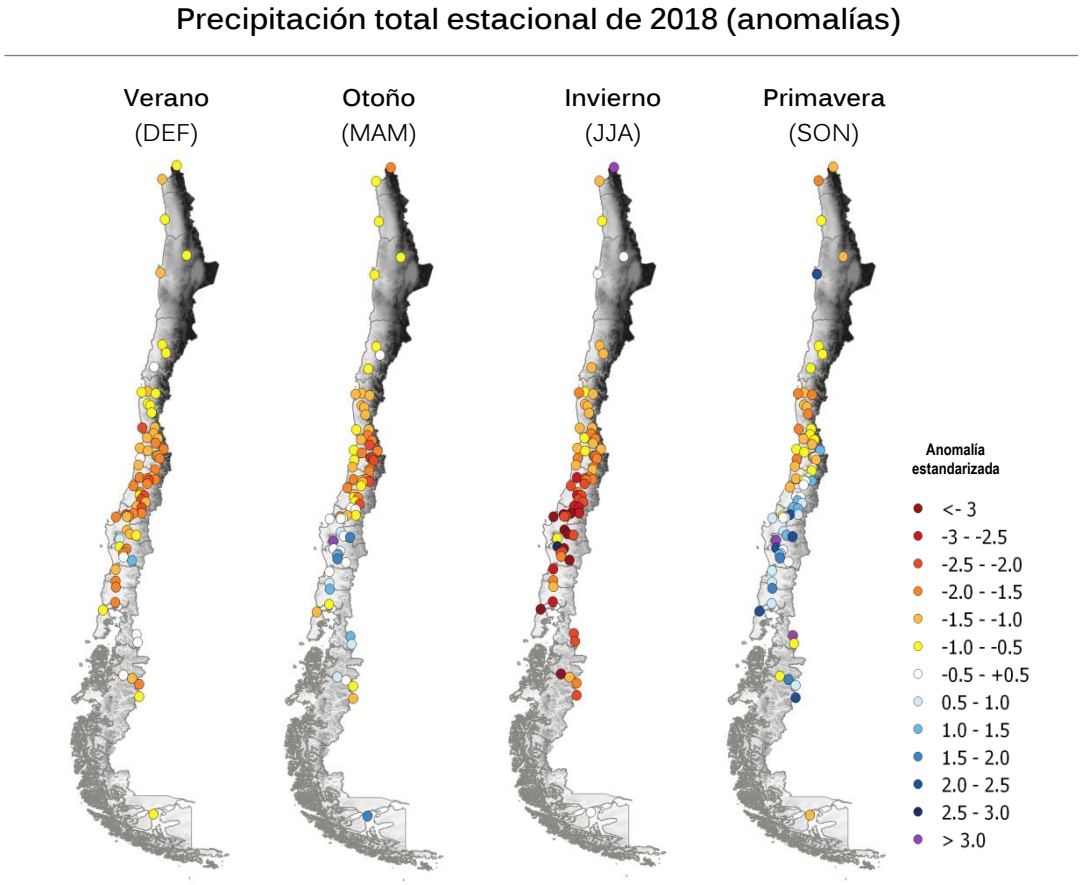


Fig. 26: Mapas de anomalías estandarizadas de la precipitación total estacional respecto al período de referencia (1961-1990).

El gran secamiento en invierno es sustancial, considerando que este período corresponde al 70% de la precipitación total anual registrada en la zona centro-sur, lo que agrava más aun el déficit de precipitación. En algunas localidades se registraron déficits mensuales de hasta 90% en mayo, como por ejemplo Colbún, donde en promedio precipitan 182 mm, el 2018 sólo registró 17.8 mm. Otras estaciones presentaron el trimestre de invierno (junio, julio y agosto) como el cuarto o tercero más seco desde hace 58 años (ver Tabla 4)

A partir de septiembre, los déficits acumulados comienzan a frenarse, sin embargo, en la mayor parte de las estaciones no se logra revertir la situación de escasez de lluvias. Las únicas ciudades que lograron romper los valores negativos fueron: Los Sauces, Galvarino, Freire, Futaleufú y Juan Fernández, que corresponden al 6% de las estaciones estudiadas.

3.2 Tendencia de la precipitación

Precipitación total anual (PRCTOT)

La tendencia lineal de la cantidad de precipitación para Chile, entre 1961- 2018 (58 años) es de **-23 mm por década**, considerando el promedio de la suma anual de 76 estaciones, incluyendo insulares. Se observa que esta tendencia no ha cambiado significativamente respecto a años precedentes, es más, el año 2018 con un déficit de 23% contribuye a la continuidad del período seco, cumpliendo **12 años consecutivos** bajo el promedio normal climatológico (Fig. 27).

Cada vez la tendencia de largo plazo juega un rol fundamental en el comportamiento del régimen de precipitación en Chile, siendo probablemente el factor determinante influido de manera significativa por la variabilidad interanual, que en su mayor parte se explica por los eventos de *El Niño – La Niña*, sin embargo, en los últimos eventos de *El Niño* (2009-2010 y 2015-2016) no fueron determinantes en la precipitación anual, dominando el déficit entre 200 a 400 mm (Fig. 27).

Tendencia de la precipitación total anual en Chile

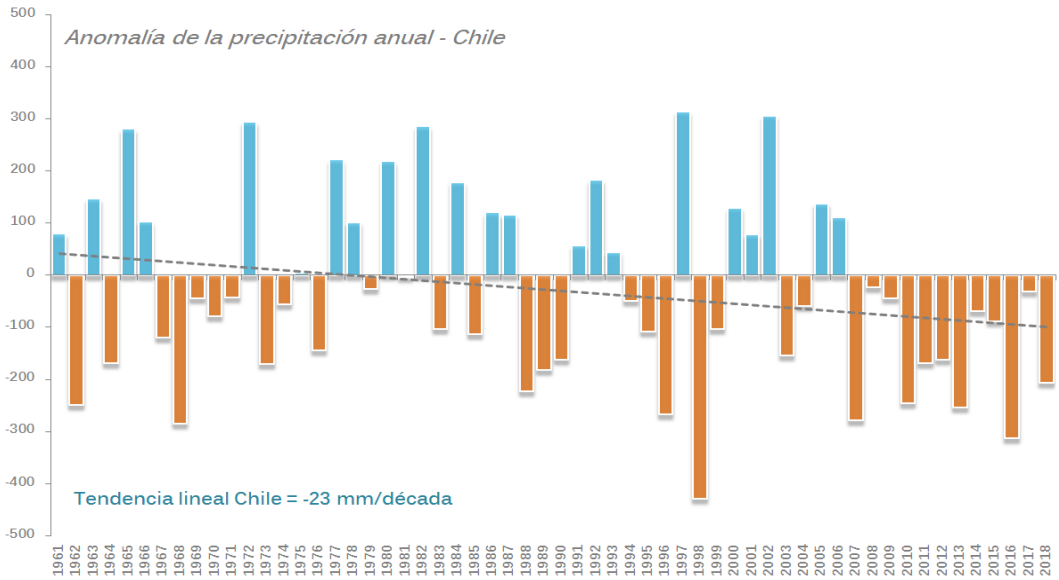


Fig. 27: Diferencia en milímetros entre la precipitación anual y el período de referencia 1961-1990. Barras azules indican años lluviosos mientras que las barras naranjas a años secos. La línea segmentada corresponde a la tendencia lineal.

Considerando que Chile es un país con gran complejidad climática, la escasez de lluvias es un problema que se refleja en gran parte del territorio continental e insular, exceptuando el sector costero entre Arica y Ovalle, que presentan tendencias positivas en la cantidad de precipitación anual. En este sector, si bien las tendencias no son significativas, es necesario señalar, la importancia que tiene el incremento de estos eventos en un sector vulnerable a lluvias intensas.

Si bien las estaciones no tienen una buena cobertura en la cordillera, se observa que las tendencias son mayores en estas áreas fluctuando entre **- 5% y -10%** cada 10 años, menos de precipitación. Por otro lado, la zona central entre los 32°S y 38°S, es la región más afectada. Cabe destacar, que tanto Juan Fernández como Rapa Nui, también presentan tendencias negativas de -3% y -2%. Para entender la importancia de estos valores, un 10% menos de agua por cada década, significa que llueve aproximadamente la mitad que hace 50 años atrás (Fig. 28).

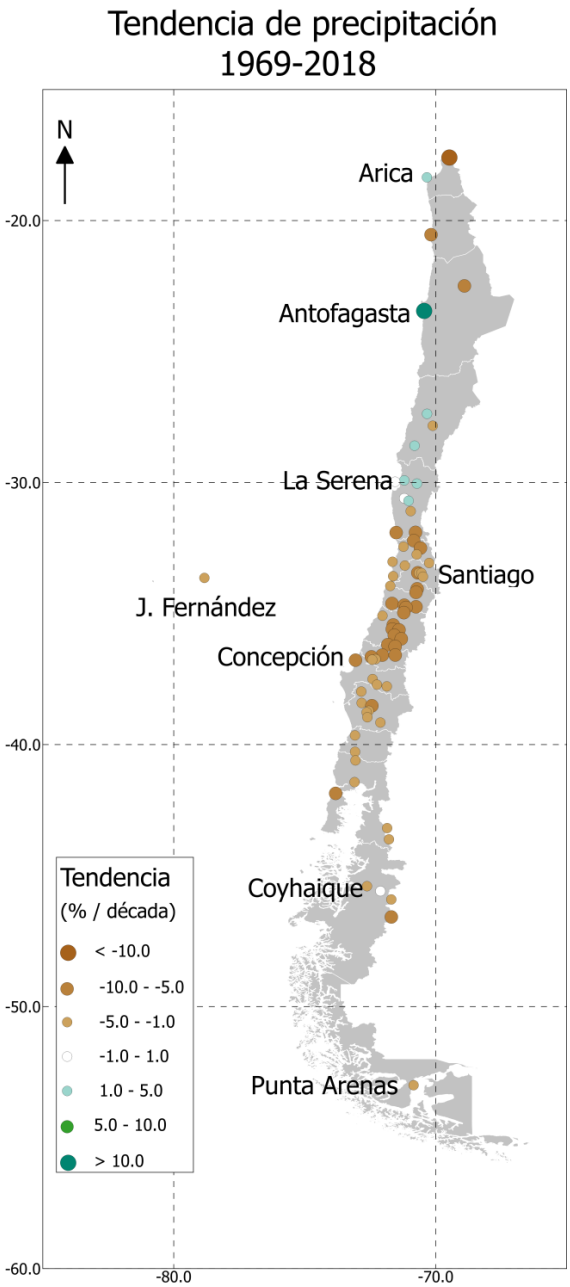


Fig. 28. Tendencia de la precipitación en Chile en porcentaje por década. Color café (verde) representa tendencia negativa (positiva).

3.3 Índices Climáticos Extremos de Precipitación

Días con precipitación fuerte (R10mm)

El número de días con precipitación sobre 10 mm durante el 2018 fue menor a la cantidad promedio en todo el país. En general, las diferencias exceden los 10 días menos de lluvia fuerte, principalmente en las localidades de Curicó, Chillán y Concepción. Se destaca Puerto Montt, donde el año 2018 presentó 17 días menos de lluvia, siendo coherente con la tendencia decadal que se observa desde la década de

los 60' (Fig. 29). Las tendencias de este indicador demuestran que la disminución de la cantidad de precipitación total anual en Chile, no sólo se debe a que llueva menos, sino que además los eventos son menos frecuentes.

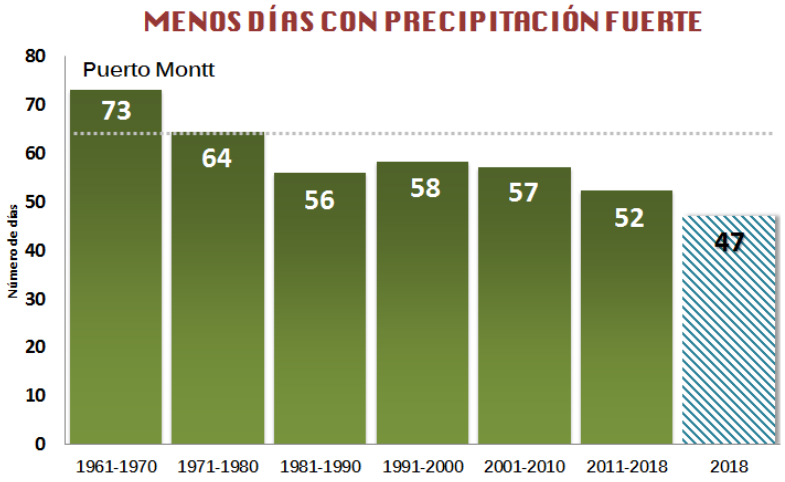


Fig. 29: Variación decadal de los días con precipitación sobre 10 mm (R10mm) en Puerto Montt.

Precipitación máxima en 5 días (Rx5day)

Respecto a la máxima precipitación acumulada en 5 días, se observó un déficit respecto a la cantidad acumulada durante el durante el 2018 a excepción de Juan Fernández y Punta Arenas. Al igual que la mayoría de los índices de precipitación, éste también muestra tendencias negativas en especial en Chillán, donde en promedio se acumulan 151 mm de agua mientras que en el 2018 solo se registraron 81 mm (Fig. 30). Se observa claramente la disminución a partir de las dos últimas décadas, con tendencias entre -1 a -9 mm de precipitación por década.

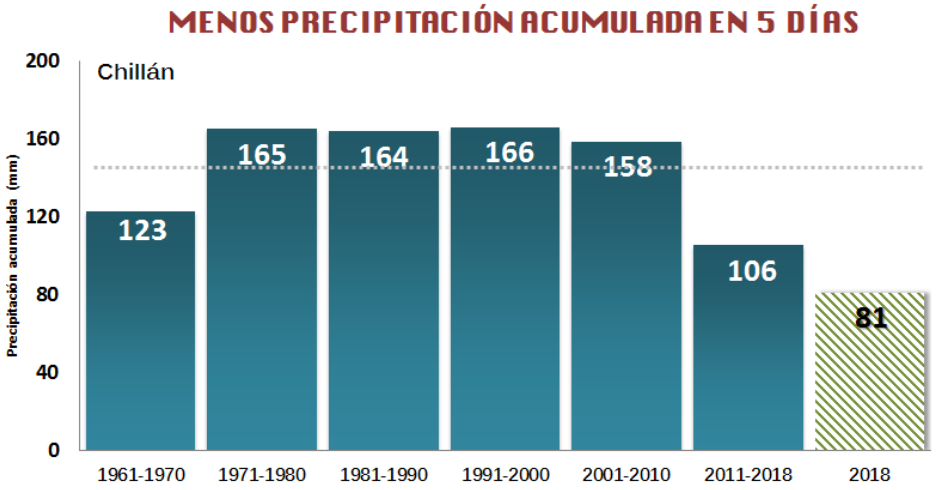


Fig. 30: Variación decadal de la cantidad de precipitación acumulada en 5 días en Chillán.

Intensidad de la precipitación (SDII), precipitación intensa (R95p) y precipitación extrema (r99p)

Durante el 2018 no se presentaron eventos extremos que pudieran ocasionar algún impacto apreciable, sino más bien, según el índice de la intensidad de la precipitación (SDII) se presentaron menos eventos y menos intensos. Se observa que la tendencia de la intensidad de la precipitación es negativa desde Curicó al sur, mostrando coherencia con lo sucedido el año 2018. En relación a los eventos de precipitación sobre el percentil 95% y 99%, precipitación intensa y extrema, respectivamente, el 2018 hubo menos cantidad de estos eventos y que, por lo tanto, la suma total anual fue menor - en promedio 20% menos en "*precipitación intensa*" y 30% menos en "*precipitación extrema*", incluso en algunas ciudades no se presentaron eventos extremos sobre el percentil 99% (Tabla 5).

Tabla 5: Índice de la intensidad de la precipitación (SDII) y la suma de los eventos de precipitación intensa (R95p) y extrema (R99p). La tabla además muestra el promedio climatológico y la tendencia en mm por década.

	Intensidad de prec. (SDII)				Prec. Intensa (R95p)				Prec. Extrema (R99p)			
	2018	Prom. (mm/día)	Diferencia (2018-clim)	Tendencia (mm días/dec.)	2018	Prom. (mm/año)	Diferencia (2018-clim)	Tendencia (mm/año/dec.)	2018	Prom. (mm/año)	Diferencia (2018-clim)	Tendencia (mm año/dec.)
Arica	-	1.3	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-
Iquique	-	3.1	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-
Calama	3.0	5.3	-2.3	-0.1	0	25.4	-25	-0.4	0	-	-	-
Antofagasta	1.2	2.5	-1.3	0.4	0	9.5	-10	0.8	0	-	-	-
Copiapó	-	6.7	-	-0.2	0	25.1	-25	0.7	0	-	-	-
La Serena	8.8	10.0	-1.3	0.4	0	86.4	-86	0.6	0	87.1	-87	1.3
Valparaíso	12.2	13.6	-1.5	0.5	59	130.4	-71	4.8	0	155.3	-155	5.4
Juan Fernández	7.3	7.7	-0.4	0.1	216.7	285.5	-69	1.1	144.7	147.4	-3	5.4
Santiago	9.3	11.0	-1.8	0.0	0	118.1	-118	-1.2	0	96.8	-97	-0.2
Curicó	14.0	14.4	-0.3	-0.2	0	170.2	-170	-10.9	0	111.0	-111	-1.5
Chillán	10.9	14.4	-3.4	-0.2	45	246.9	-202	-6.1	0	131.4	-131	0.6
Concepción	9.2	13.2	-3.9	-0.3	63.6	241.5	-178	-15.2	0	120.7	-121	0.0
Temuco	9.2	9.5	-0.4	0.0	138.8	240.1	-101	-4.1	107	106.2	1	4.5
Valdivia	11.2	13.0	-1.7	-0.2	247.7	411.5	-164	-23.0	153.3	177.7	-24	-2.8
Osorno	9.6	9.3	0.3	0.0	276.9	279.0	-2	-7.0	0	105.6	-106	3.9
Puerto Montt	8.5	9.8	-1.3	-0.3	241.2	347.6	-106	-37.8	0	126.6	-127	-14.3
Coyhaique	8.1	8.5	-0.4	-0.2	210.7	244.1	-33	-16.2	46.4	156.8	-110	-1.0
Balmaceda	6.1	6.7	-0.6	-0.1	109.4	134.4	-25	-8.4	34.6	69.4	-35	2.3
Punta Arenas	3.8	4.2	-0.4	0.0	75.8	71.1	5	4.1	33	38.8	-6	2.9
Rapa Nui	6.8	10.0	-3.3	-0.9	123.4	364.7	-241	-62.3	82	139.8	-58	-16.8

Longitud de días consecutivos secos (CDD) y lluviosos (CWD)

La longitud de los días secos (CDD) es un indicador útil para medir sequías estacionales, principalmente para el manejo de la agricultura en la zona. Da cuenta de la última lluvia y el período que transcurre hasta la primera lluvia. Durante el 2018, la longitud de días sin lluvias fue menor hasta Chillán, sin embargo, desde Concepción al sur fue significativamente mayor (período seco más extenso), destacándose Osorno donde registró más de un mes sin lluvias (35 días) (Fig. 31). En este índice, la tendencia no es

muy clara respecto a la variabilidad decadal, pero si se ha observado un mayor número de días secos consecutivos en la última década como promedio.

Por otra parte, la duración de los eventos de lluvia si han mostrado una tendencia negativa, es decir, ser menos duraderos en todo Chile. El 2018 fue menor entre 1 a 5 días respecto al promedio, siendo Osorno la localidad que presenta mayores diferencias, el promedio de días consecutivos lluviosos es de 12 días, mientras que, en el 2018 la máxima duración de un evento de precipitación fue de 7 días consecutivos. La tendencia decadal muestra una disminución significativa desde las últimas 2 décadas (Fig. 31).

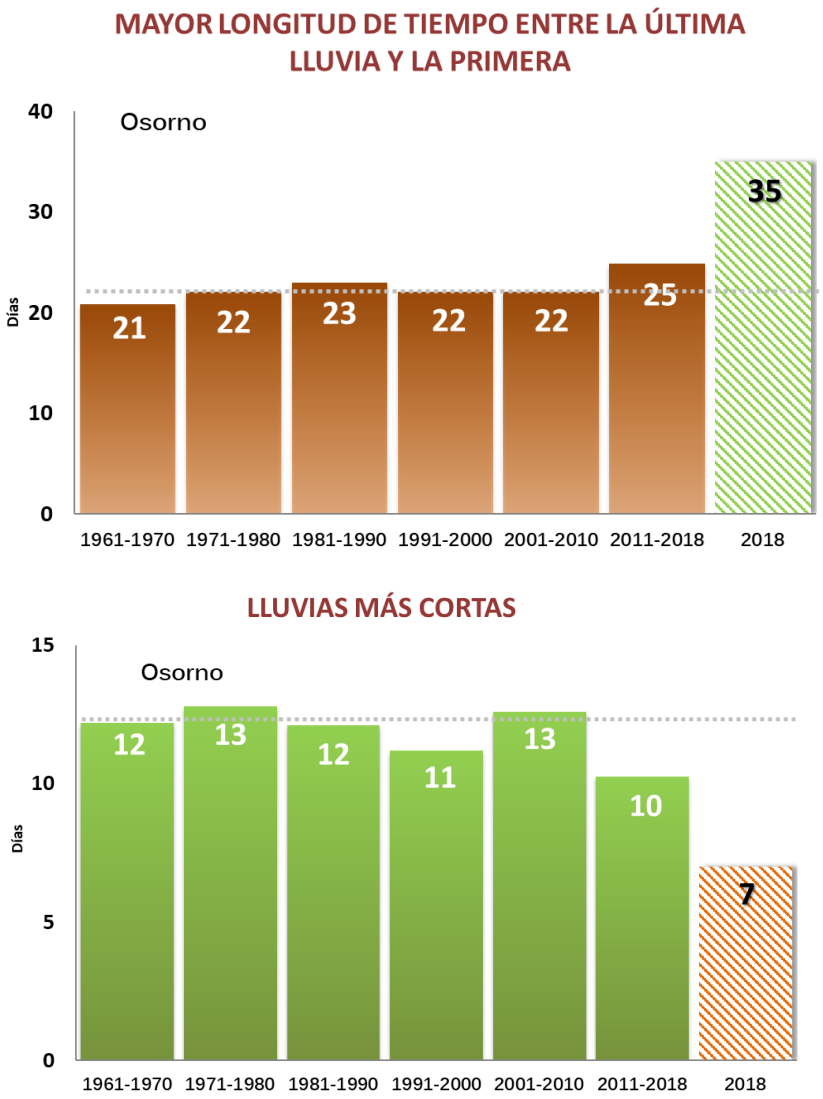


Fig. 31: Variación decadal de la longitud de días consecutivos secos (CDD: izquierda) y la máxima duración al año de los días consecutivos con lluvias (CWD: derecha).

3.4 Sequía meteorológica

En esta sección se analiza la sequía desde el punto de vista climático, enfocándose esencialmente en la cantidad de agua caída y las zonas con mayor déficit de precipitación, por lo que los impactos y la falta de agua pueden ser provocados por uno o más factores y no necesariamente reflejan el problema de la sequía agrícola y/o hídrica. En este análisis, utilizamos un índice de sequía basado en la precipitación mensual llamado Índice Estandarizado de Precipitación (IPE) (definición ver Anexo 1), de manera de poder comparar objetivamente las zonas más afectadas por la sequía meteorológica. Es cierto que este índice no es apropiado para zonas climáticas desérticas o muy secas, debido a los pocos eventos y la forma de su distribución, es por ello que no se trata en estas zonas.

Análisis de la sequía 2018

El 2018 se suma a los 12 años consecutivos con déficit de precipitación y es el décimo año más seco desde hace 58 años. Sin embargo, las categorías de la sequía fueron mejores en términos de la severidad que el año 2017, en la zona central y sur. Un **45%** de las estaciones mostraron una categoría de sequía "**leve**", mientras que un **31%** alcanzó la categoría de "**moderada**" (Fig. 32). Tanto Pumanque como Nueva Aldea fueron las únicas estaciones en que la categoría fue **"severa"**. Sólo algunas estaciones presentaron índices positivos, es decir, más lluvioso, estas fueron Los Sauces y Lumaco, aunque no superaron la categoría **moderada** (Fig. 32).

Las zonas más afectadas por la sequía durante el 2018 fueron desde Rivadavia (Región de Coquimbo) hasta Mulchén (Región del Biobío). Rapa Nui, si bien, se presentó con categoría **"levemente seco"**, mostró índices más moderados que el 2017. En cuanto a Juan Fernández, se presentó en torno a lo normal (Fig. 32).

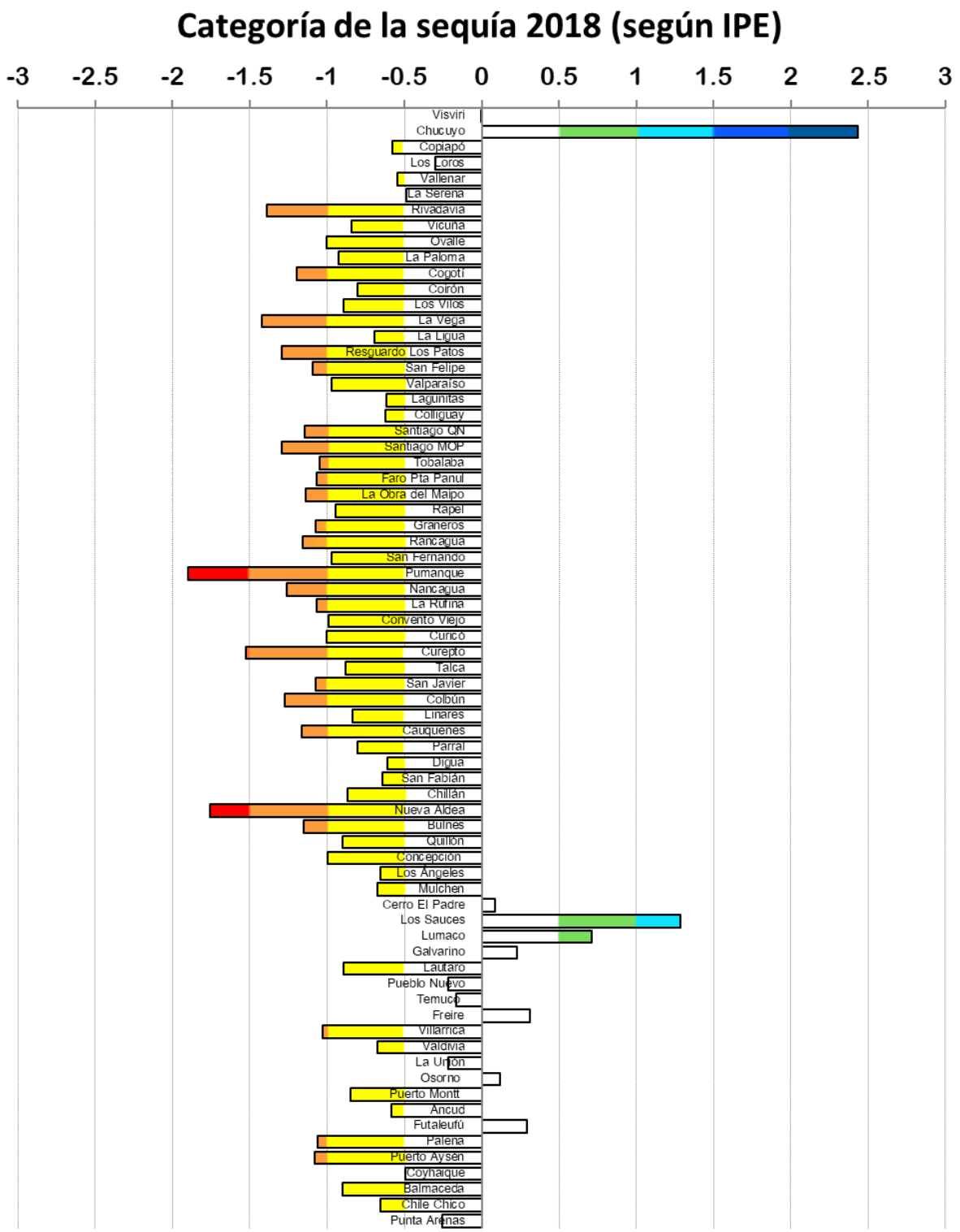


Fig. 32: Categorías de la sequía durante el año 2018 para diferentes localidades de Chile. Fuente de datos: DMC, DGA, SERVIMET, AGROMET, ESVAL.

El comportamiento estacional de la precipitación (o su ciclo anual) presentó anomalías, principalmente en invierno y primavera (negativas y positivas, respectivamente). A diferencia de lo ocurrido durante el verano del 2017 que fue severamente seco, las zonas con pluviosidad de verano (desde la Región del Biobío hasta la Región de Magallanes), se presentaron en torno a lo normal a levemente seco (Fig. 33 a), mientras que, durante el otoño, ya se veían indicios de que tendríamos nuevamente un año con déficit. En esta estación del año (verano) la categoría "severamente seco" se registró en San Felipe (Región de Valparaíso) y La Rufina (Región de Bernardo. O'Higgins) (Fig. 33 b).

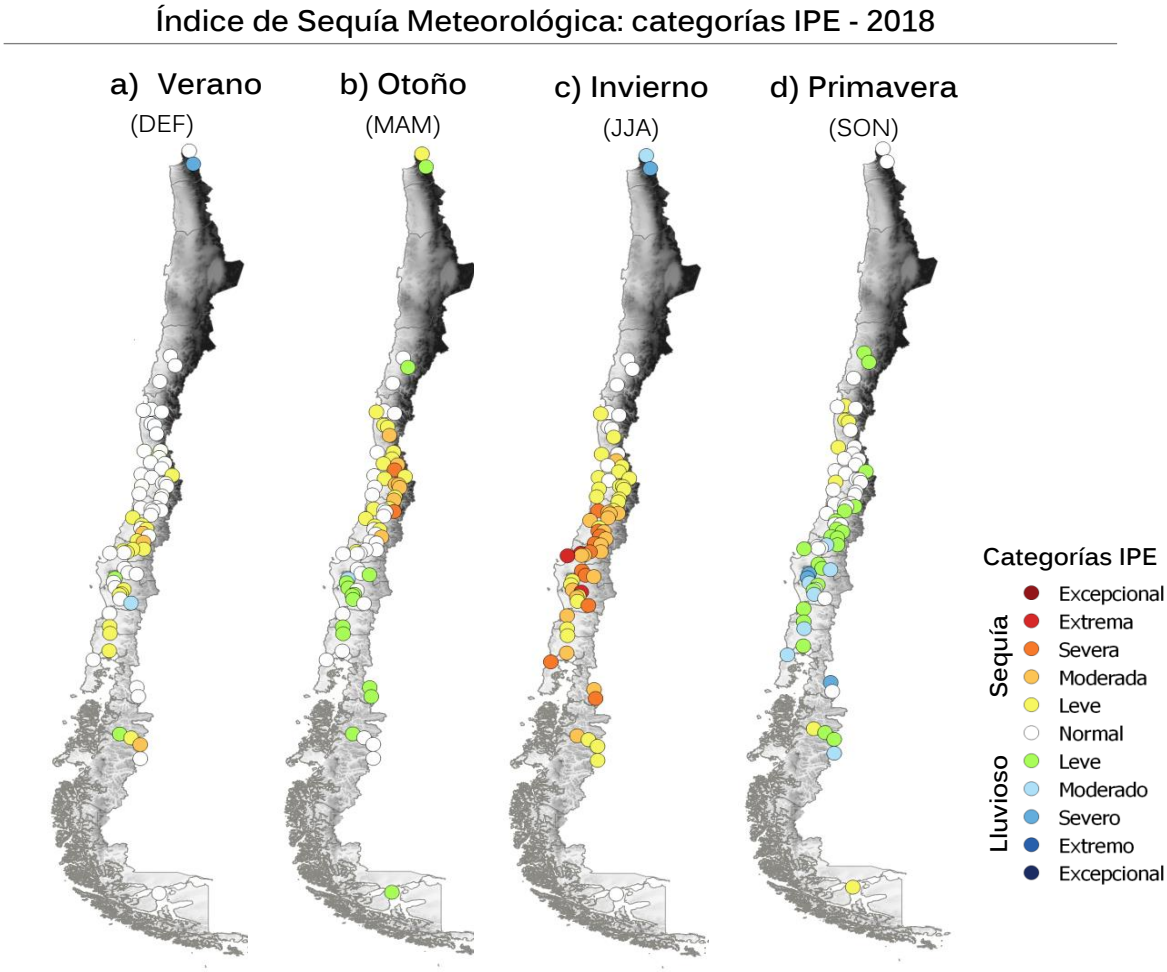


Fig. 33: Categorías de IPE para cada estación del año verano (DEF), otoño (MAM), invierno (JJA) y primavera (SON) del año 2018.

En invierno, prácticamente todo el país presentó condiciones entre levemente secas y sequía extrema, principalmente afectadas se vieron las regiones del Maule y Biobío. La excepción fue el extremo norte, tanto Visviri y Chucuyo registraron más lluvia de lo que cae normalmente en estos meses de invierno que suelen ser más secos. Primavera fue la estación del año clave para mejorar el déficit en la zona sur, ya que a fines de invierno había precipitado entre 60% y 75% menos de agua y gracias a las lluvias primaverales (categorías moderadas) el año terminó entre la categoría normal a levemente seco en

esta zona. Sin embargo, no ocurrió lo mismo entre las regiones de Coquimbo y de O'Higgins, donde la precipitación fue en torno a lo "normal" durante esta estación.

En lo que respecta al año 2018 y su contribución a la sequía de largo plazo, se observa una intensificación de las categorías a 4 años (2015-2018) llegando incluso a "extrema" entre la región de O'higgins y el Biobío. Mientras que, en la zona sur, durante estos períodos se han mantenido las condiciones de leve a moderada y entre las regiones de Coquimbo y Valparaíso se observa una condición más variable y dependiendo de eventos extremos ocurridos en los años 2015 y 2017.

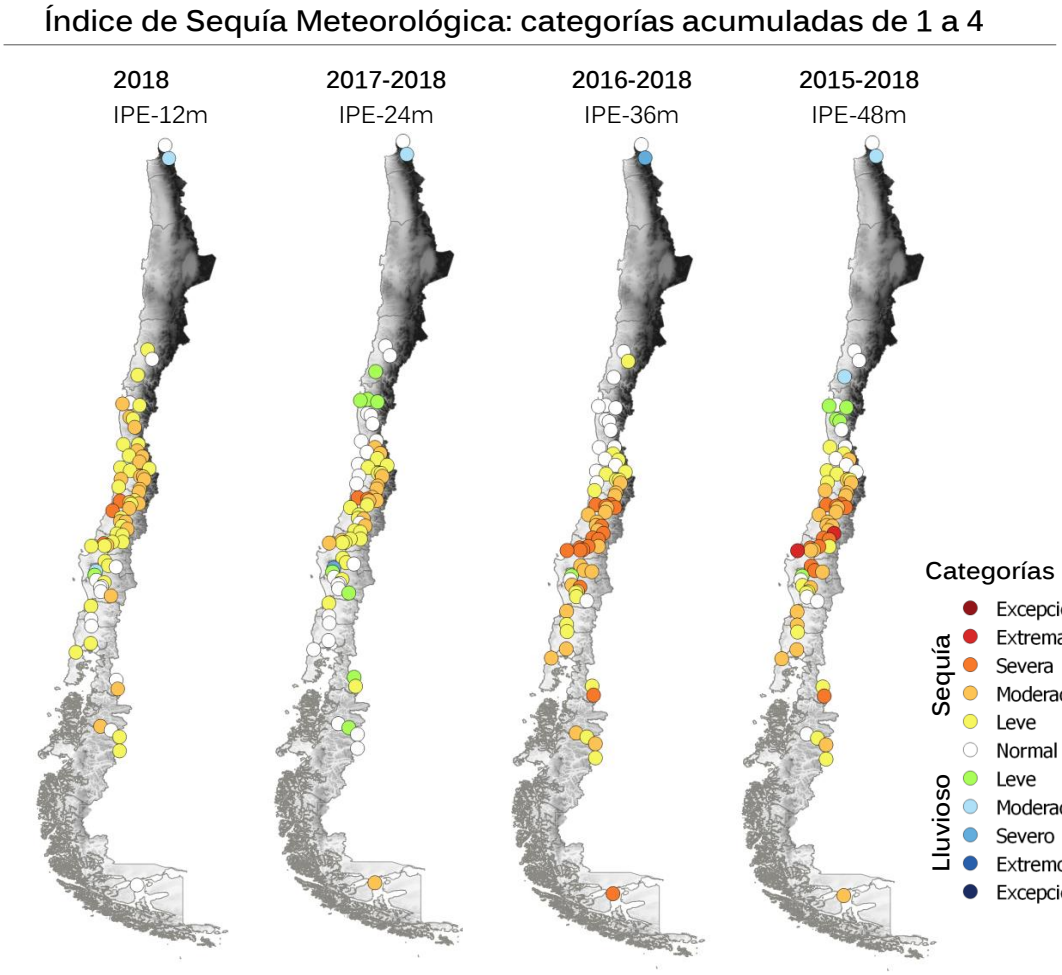


Fig. 34: Categorías del IPE acumulado a escalas de a) 12 meses, b) 24 meses, c) 36 meses y d) 48 meses.

La sequía actual y comparación con sequías pasadas según su severidad.

La sequía actual respecto a la precipitación no ha sido tan diferente a las pasadas, sin embargo, es cierto que, en algunas zonas del país, el fenómeno es importante. Si analizamos tan solo el déficit anual de precipitación en la Región de Coquimbo y en la parte norte de la región de Valparaíso, se presentan períodos secos de 2 a 3 años frenado por años más lluviosos como los años 2008, 2011, 2015 y 2017, por lo tanto, el

efecto acumulativo de la sequía no es preponderante, sino más bien domina la variabilidad interanual (Fig. 34).

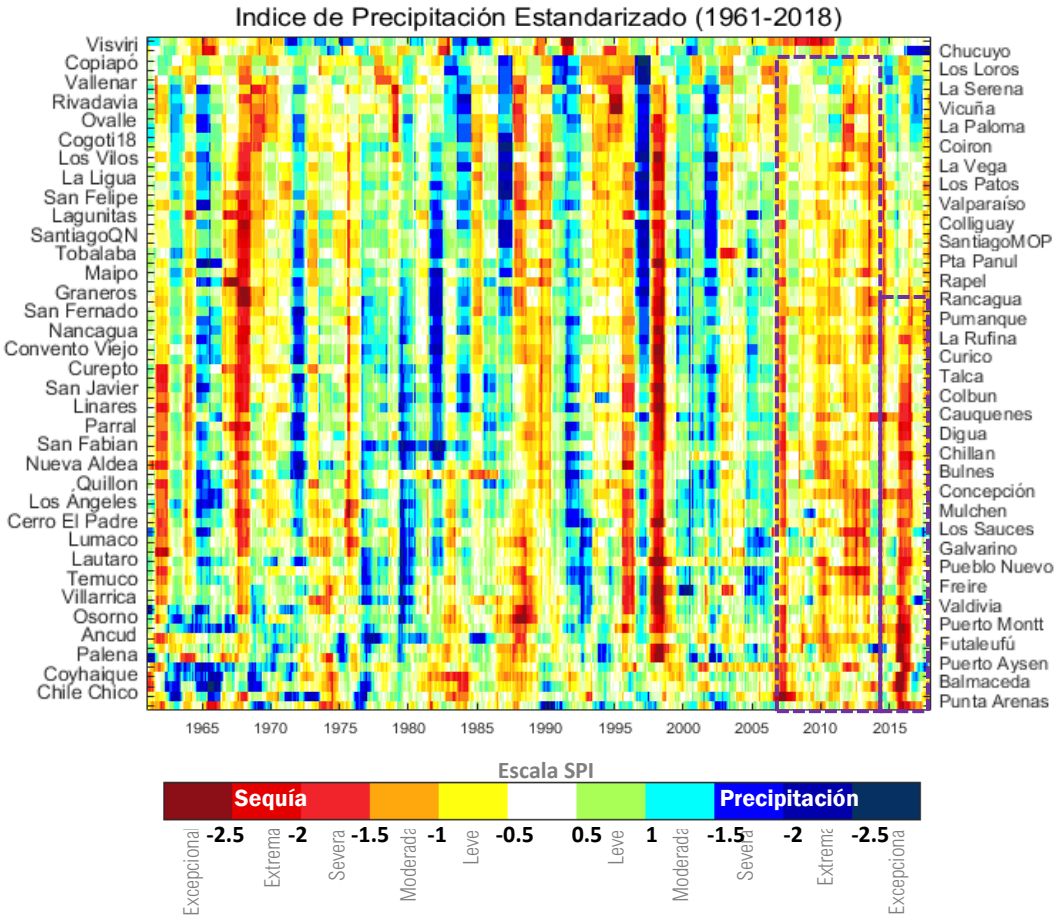


Fig. 34: Grafico de Hovmöller para representar las series de tiempo del IPE en todo el país, según las categorías. Áreas con colores amarillos-rojos indican períodos de sequía, mientras que, colores verdes-azul representan áreas con períodos lluviosos (ver Anexo 2 series de tiempo de IPE por ciudad).

En la zona central, la sequía de 1968 - 1971 sigue siendo el período seco más importante en cuanto a su magnitud considerando la duración y la intensidad de la sequía. También, es notable la importancia de la sequía del 1993 - 1995 y la del 1998 - 1999 en comparación con los eventos actuales (Fig. 35), lo que sugiere que el problema de la falta de agua actual se puede deber al aumento de la demanda y no tan solo a un factor climático, por lo menos en esta zona.

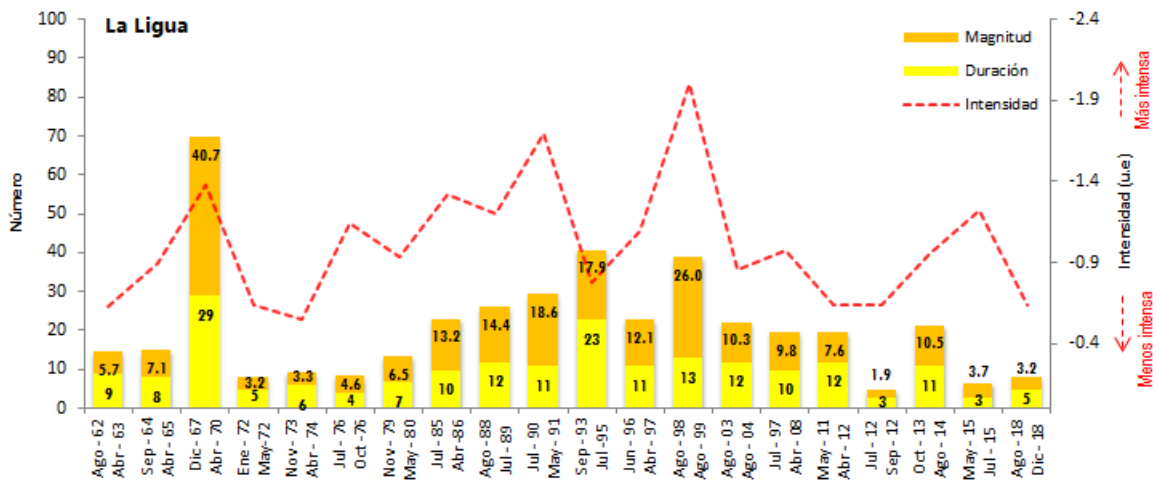


Fig. 35: La figura muestra la comparación con períodos secos pasados en la estación de La Ligua con datos desde 1961. La duración (barras amarillas) representa el conteo de los meses con IPE negativo desde la categoría de leve (-0.5). La intensidad en línea segmentada roja es el promedio de período seco y la magnitud (barras naranjas) es una medida de ambos indicadores (Villarroel C., preprint 2019).

Similar comportamiento se presenta entre la Región de Valparaíso y el Maule, pero, en el último período, las categorías de las sequías se intensifican y en algunas ciudades se completan hasta 10 años consecutivos secos como en San Felipe, Santiago, La Obra del Maipo, Graneros y Rancagua con un promedio de 34% de déficit, con categorías de moderadas a severas. En otras estaciones, los años 2016 y 2017 fueron un tibio alivio e interrumpieron el período seco, aunque los montos estuvieron dentro de lo normal y no compensaron en nada los 7-8 años consecutivos de sequía anteriores. El comportamiento es análogo desde Rancagua hasta Curicó, pero va tomando fuerza la sequía del 1998-1999 y 2010-2012, en promedio el déficit de estos 10 años consecutivos se traduce en un 33% (Tabla 6).

La diferencia en cuanto a la importancia de la sequía actual se marca desde Chillán al sur, tomando preponderancia las últimas sequías, principalmente desde el año 2010, divididos en dos períodos (2010 - 2014 y 2015 - 2017). Si bien el porcentaje de déficit disminuye (-16%), el último período es sin lugar a dudas, más seco que incluso la sequía de los años 1968 y del 1998 (Fig. 36), tanto en la duración como en su magnitud.

El actual período de sequía en la Región de Los Lagos suma 13 meses consecutivos llegando a la **categoría extrema,** además es la tercera sequía con mayor magnitud superada por las sequías de 1987 – 1990, siendo el tercer período seco de mayor magnitud desde 1961 (Tabla 6). La sequía más larga en esta zona, representada por Osorno, es de 39 meses en la sequía del 1987 – 1990, y la segunda con mayor magnitud es la del año 1998.

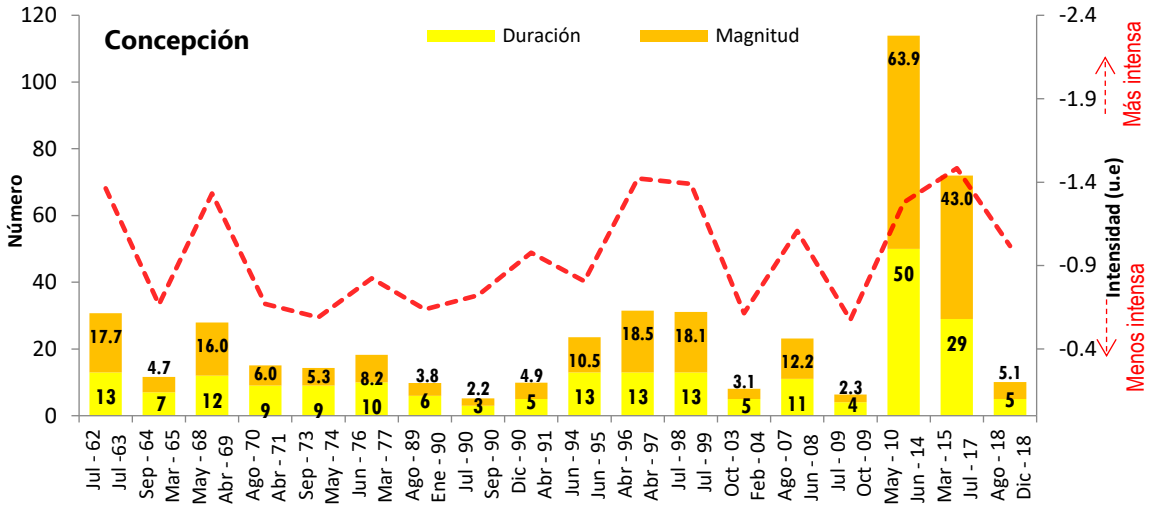


Fig. 36: La figura muestra la comparación con períodos secos pasados en la estación de Concepción con datos desde 1961. La duración (barras amarillas) representa el conteo de los meses con IPE negativo desde la categoría de leve (-0.5). La intensidad en línea segmentada roja es el promedio de período seco y la magnitud (barras naranjas) es una medida de ambos indicadores (Villarroel C., preprint 2019).

Tabla 6: Tabla de severidad de la sequía en el mayor evento desde 1961 y el evento actual hasta diciembre de 2018

	Mayor sequía				Actual Sequía			
Estaciones	Fecha	Intensidad (u.e)	Duración (meses)	Magnitud (u.e)	Fecha (hasta dic 2018)	Intensidad (u.e)	Duración (meses)	Magnitud (u.e)
Visviri	Dic 2006 - Dic 2011	-1.7	61	101.4				
La Serena	Sep 1968 - May 1971	-1.4	33	45.2				
Rivadavia	Jun 1968 - Jul 1971	-1.3	38	47.9	Ago 2018 -->	-1.3	5	6.3
Emb. La Paloma	Sep 1968 - Jul 1971	-1.3	35	45.7	May 2018 -->	-0.8	8	6.6
La Ligua	Dic -1967 - Abr 1970	-1.4	29	40.7	Ago 2018 -->	-0.6	5	3.2
Lagunitas (altura)	Jun 1967 - Ene 1971	-1.6	44	69.5	May 2018 -->	-0.8	8	6.1
Valparaíso	Jun 1967 - Mar 1971	-1.2	46	54.8	Ago 2018 -->	-0.9	5	4.3
Santiago	Jul 1967 - Jun 1970	-1.4	36	50.0	Jun 2018 -->	-1.0	7	6.7
Rancagua	Jun 1967 - Jun 1970	-1.6	37	57.9	Abr 2018 -->	-1.0	9	9.1
Curicó	Dic 1967 - Jun 1969	-1.2	27	32.9	Jun 2018 -->	-0.9	7	6.5
Chillán	Jul 2016 - Sep 2017	-1.8	15	27.0	Jun 2018 -->	-1.0	7	6.7
Concepción	May 2010 - Jun 2014	-1.3	50	63.9	Ago 2018 -->	-1.0	5	5.1
Temuco	Mar 2012 - Jun 2014	-1.1	28	35.8				
Villarrica	Jun 1998 - Sep 1999	-2.3	16	37.0				
Valdivia	Abr 1988 - Abr 1990	-1.7	25	41.9	Ago 2018 -->	-0.7	5	3.5
Osorno	Feb 1987 - Abr 1990	-1.8	39	71.5				
Puerto Montt	Dic 2014 - May 2017	-1.7	30	51.9	Jul 2018 -->	-0.8	6	4.9
Futaleufú	Abr 1988 - May 2000	-1.9	26	48.8				
Coyhaique	May 1982 - Ago 1985	-1.5	40	59.6				
Punta Arenas	May 2016 - Abr 2018	-1.7	24	41.4				
Rapa Nui	Abr 1965 - Ago 1968	-1.5	41	60.9	Ene 2016 -->	-1.4	36	50.5
Juan Fernández	Dic 2011 - Mar 2016	-1.2	52	62.9				

4. CONCLUSIÓN

En este segundo reporte se han tomado las sugerencias que surgieron desde el primer reporte, algunas de ellas como la incorporación de nuevas estaciones, extensión del largo de las series de tiempo, inclusión de la altura de la isoterma cero y un informe más completo sobre la sequía. Además, se mencionaron los cambios de los índices climáticos más relevantes, sin perjuicio de ello, cada uno de los índices de cambio climático a lo largo de Chile se encuentran actualizados en:

https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/index/productos/RE3015 - para su descarga y visualización.

Esperamos poder contribuir al análisis y el diagnóstico del clima actual, con el fin de hacer el seguimiento de las principales variables de manera de observar los cambios en el clima e identificar aquellas zonas más vulnerables. Respecto a este punto es necesario poder contar con más estaciones distribuidas a lo largo y ancho del país, principalmente de altura, por lo que hacemos un llamado a poder colaborar con este informe para disminuir la incertidumbre y abarcar más áreas desprovistas de información climática.

5.REFERENCIAS

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

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

Fotografías. Consorcio Papa-Chile. Portada Ricardo Vásquez

Jorge Carrasco (Chile), Gino Casassa (Chile), Roberto Pizarro (Chile) y Miguel Saravia (Perú). Isoterma 0°C

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

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

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

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

6. ANEXOS

6.1 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 cada ciudad estudiada. Además, se describe la metodología utilizada para su cálculo y el significado de cada uno de los indicadores.

Tabla 6.1: Índices de cambio climático de precipitación y temperatura calculados para Chile en el período 1961-2018. La tabla indica la sigla del índice en formato internacional, definición y unidades expresadas.

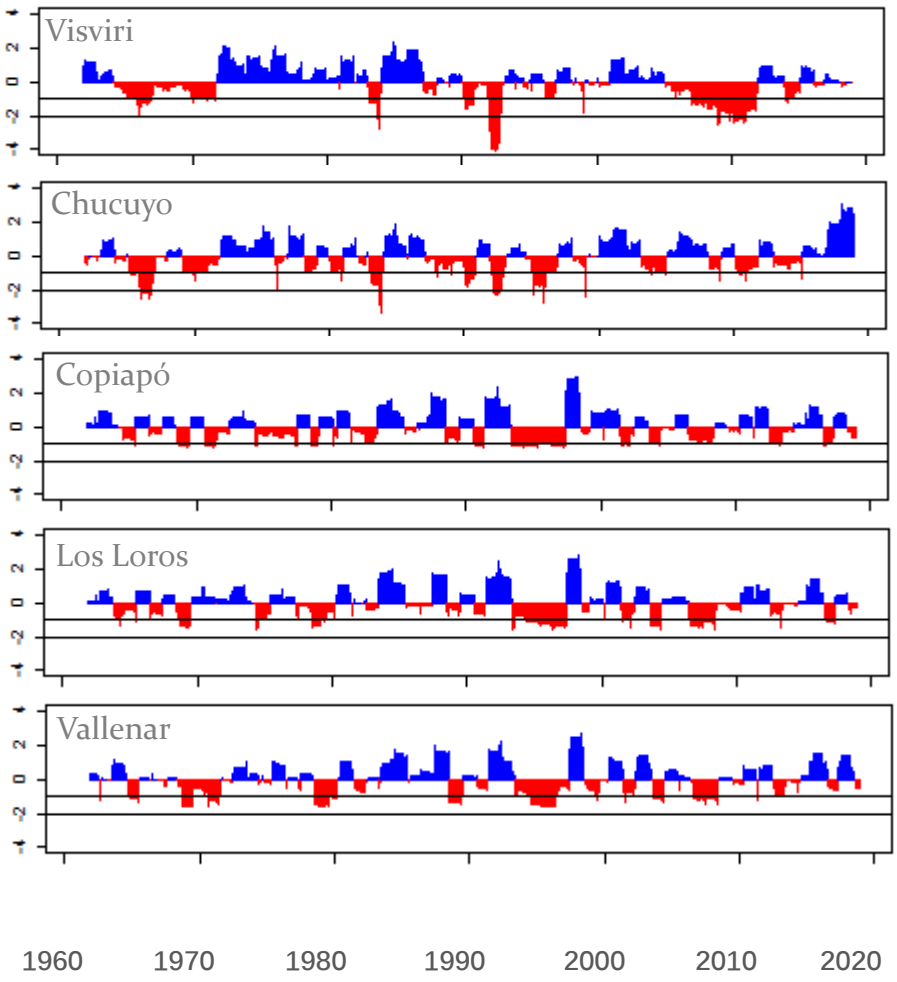
Índice	Definición		Unidad/década
FD	Días con heladas	*TN < 0°C*	días
SU25	Días de verano	*TX > 25°C*	días
SU30	Días de verano	*TX>30°C*	días
WSDI	Duración de secuencia caliente (6 o más días consecutivos)	*TX > P90*	días
CSDI	Duración de secuencia fría (6 o más días consecutivos)	*TN < P10*	días
TX_x	Valor máximo temperatura máxima	*max(TX)*	°C
TX_n	Valor mínimo temperatura máxima	*min(TX)*	°C
TN_n	Valor mínimo temperatura mínima	*min(TN)*	°C
TN_x	Valor máximo temperatura mínima	*max(TN)*	°C
DTR	Rango diario de temperatura	*TX-TN*	°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 mm	días
R10mm	Días con precipitación sobre 10 mm	*RR > 10 mm*	días
R20mm	Días con precipitación sobre 10 mm	*RR > 20 mm*	días
R30mm	Días con precipitación sobre 30mm	*RR > 30 mm*	días
CDD	Longitud máxima de días secos	*∑ n°días, si RR < 1mm*	días
CWD	Longitud máxima de días húmedos	*∑ n°días, si RR > 1 mm*	días
SDII	Intensidad de precipitación	*∑ RR/n°días, si RR > 1 mm*	mm/día
R95pTOT	Precipitación anual cuando RR > P95	∑RR, si RR > P95	mm
R99pTOT	Precipitación anual cuando RR > P95	∑RR, 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	∑RR	mm
NHW	Número de eventos de Olas de Calor	∑NHW, si Tx>P90(Tx) por 3 días o más	nro. Eventos
DHW	Duración de la Ola de calor máxima	∑días, si Tx>P90(Tx) por 3 días o más	días
SPI3	Indice Estandarizado de Precipitación 3 meses (agro)	*SPI>3 meses*	u.e
SPI6	Indice Estandarizado de Precipitación 6 meses (hidrología)	*SPI>6 meses*	u.e
SPI12	Indice Estandarizado de Precipitación 12 meses (Clima)	*SPI>12 meses*	u.e

6.2 Definiciones de los índices de sequía

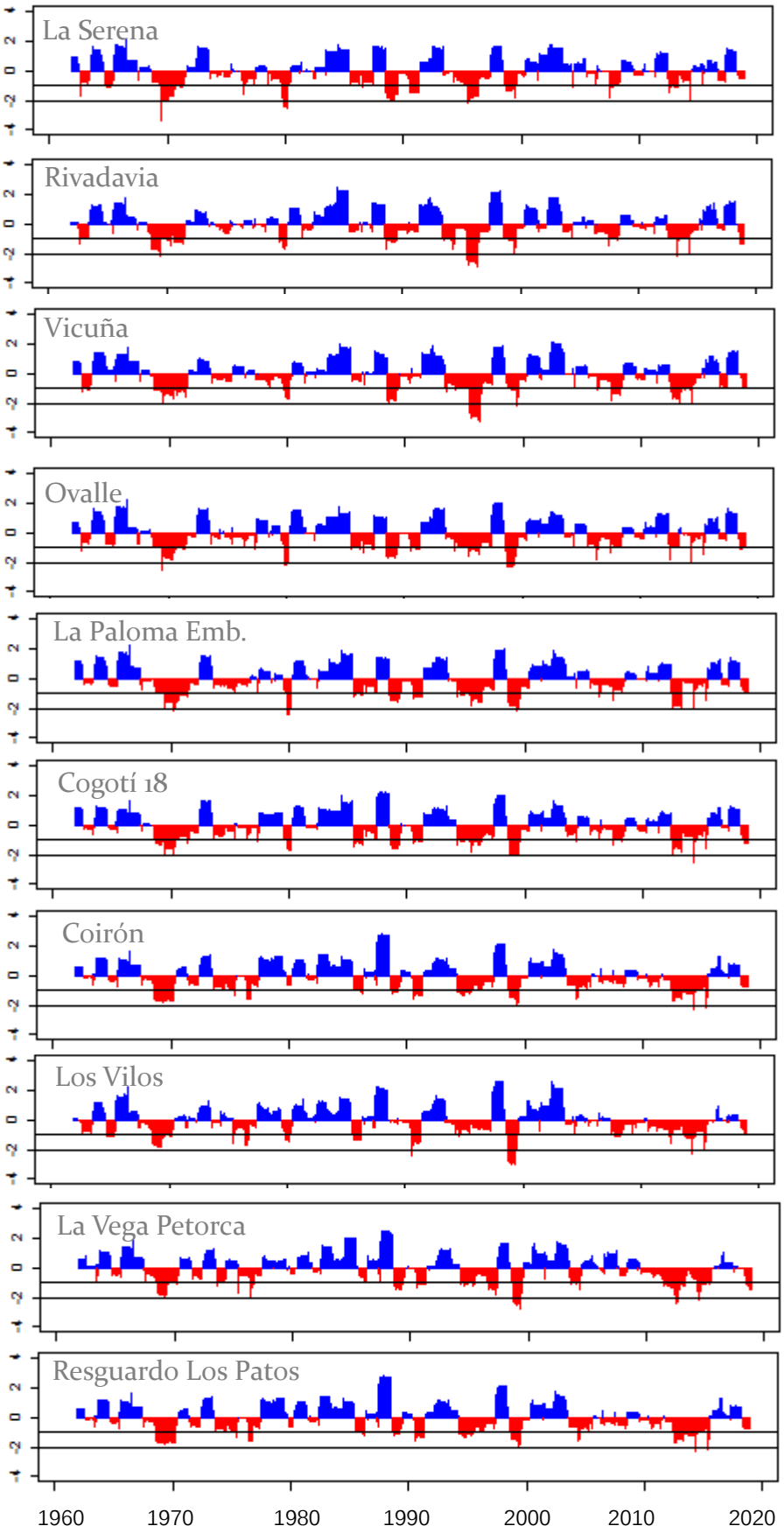
Índice Estandarizado de Precipitación (SPI, Standardized Precipitation Index): El SPI se basa en la probabilidad de precipitación para distintos tiempos de escala. La probabilidad de la precipitación observada se transforma en un índice. El cálculo se realiza mediante el ajuste de una distribución de probabilidad que luego se transforma en una distribución normal para que el SPI medio sea cero, así valores positivos indican períodos más lluviosos y valores negativos indican períodos secos (McKee et al 1993). La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda la utilización de este indicador en los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (OMM, 1090).

Series de SPI para 76 localidades (ene 1961- dic 2018)

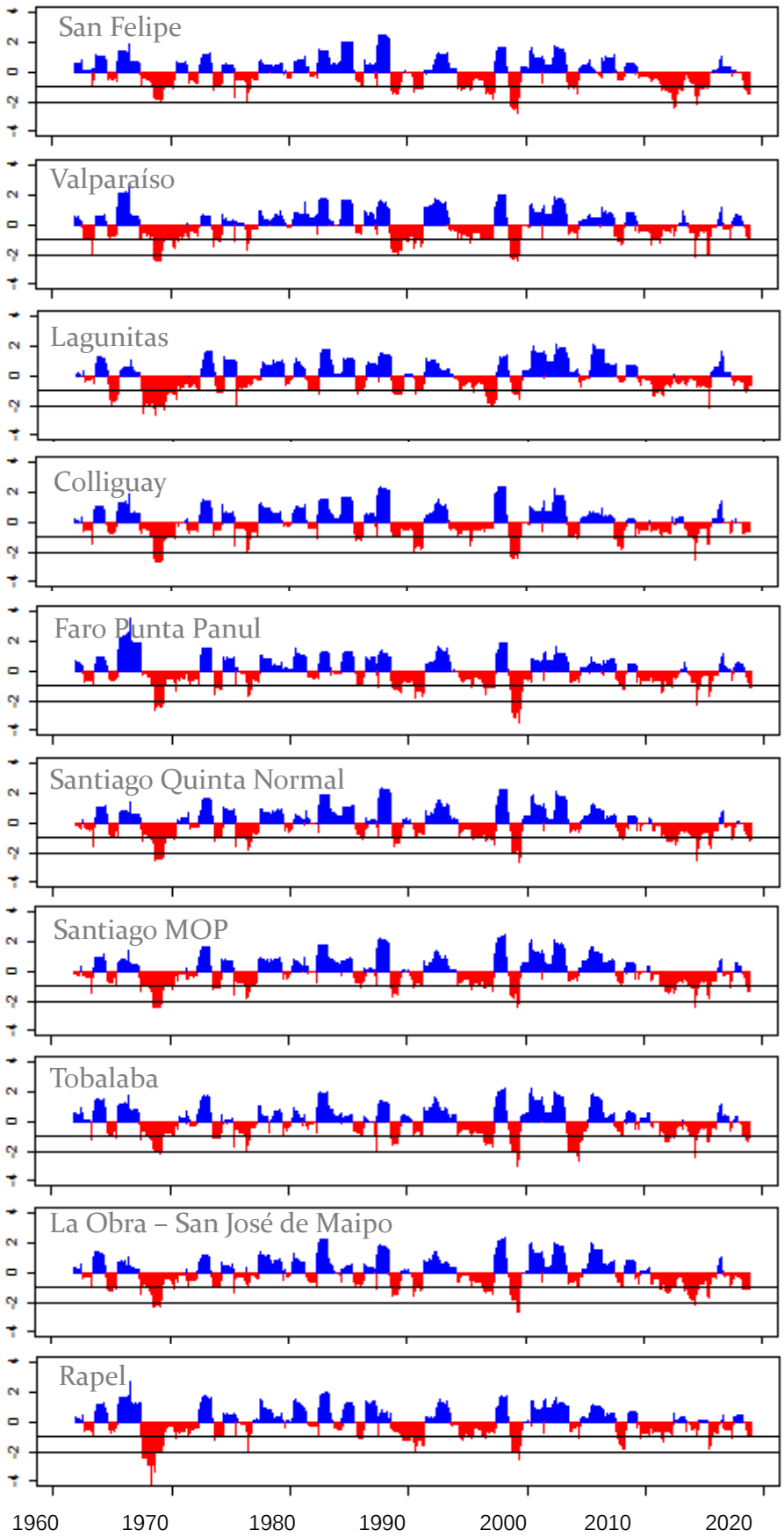
a) Región de Arica y Parinacota hasta Región de Atacama



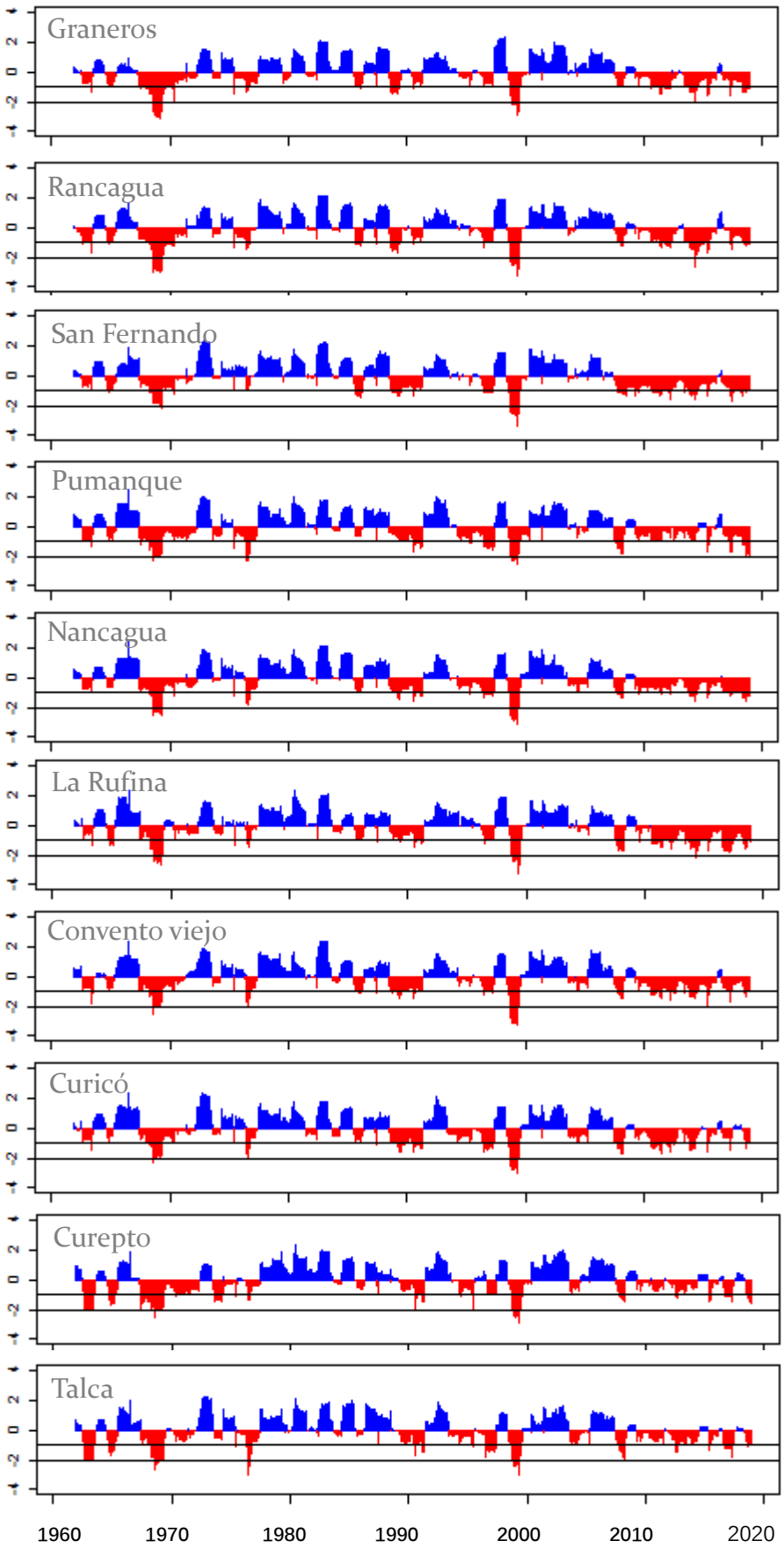
b) Desde La Serena (Región de Coquimbo) hasta Resguardo Los Patos (Región de Valparaíso)



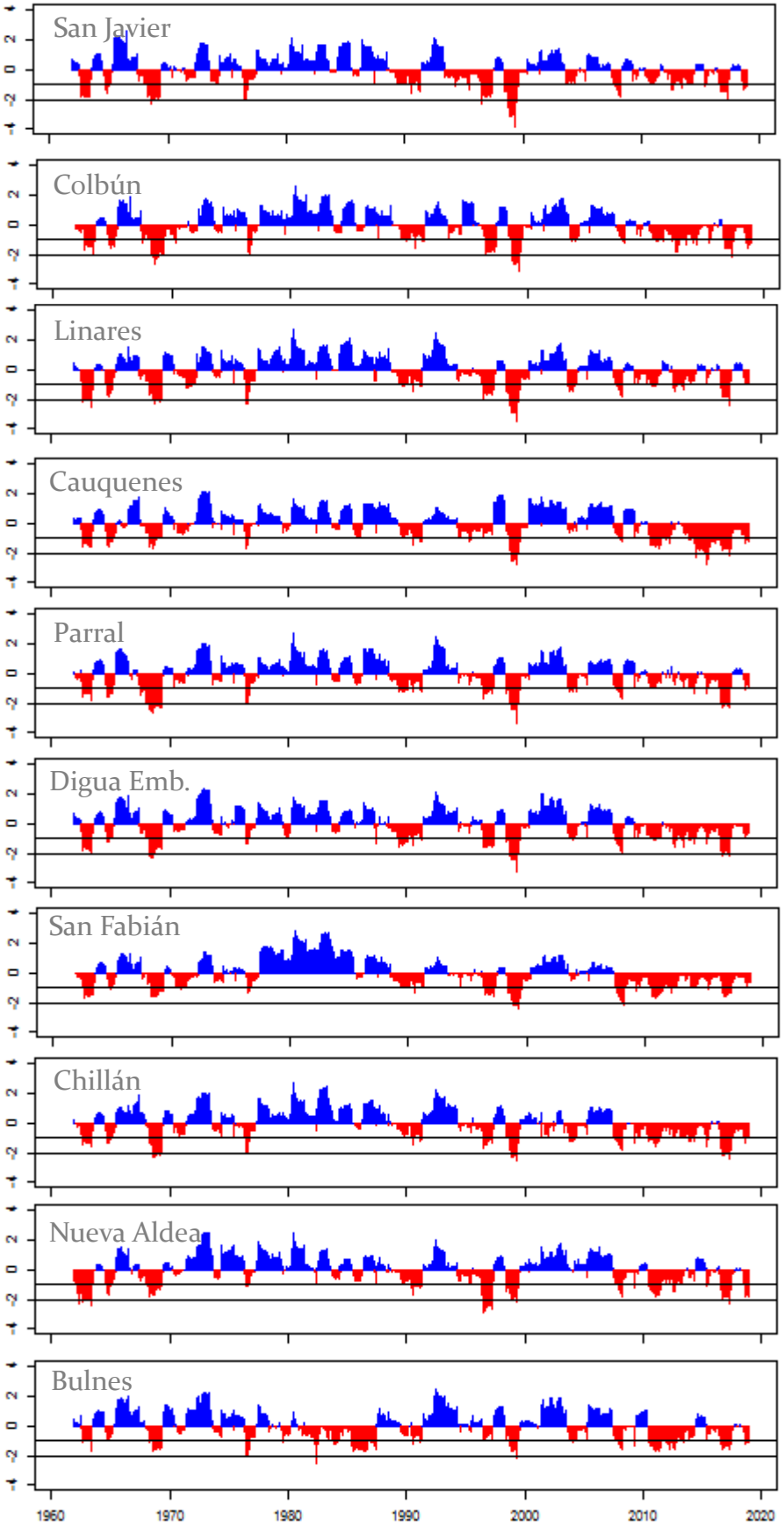
c) Desde San Felipe (Región de Valparaíso) hasta Rapel (Región Bernardo O´Higgins).



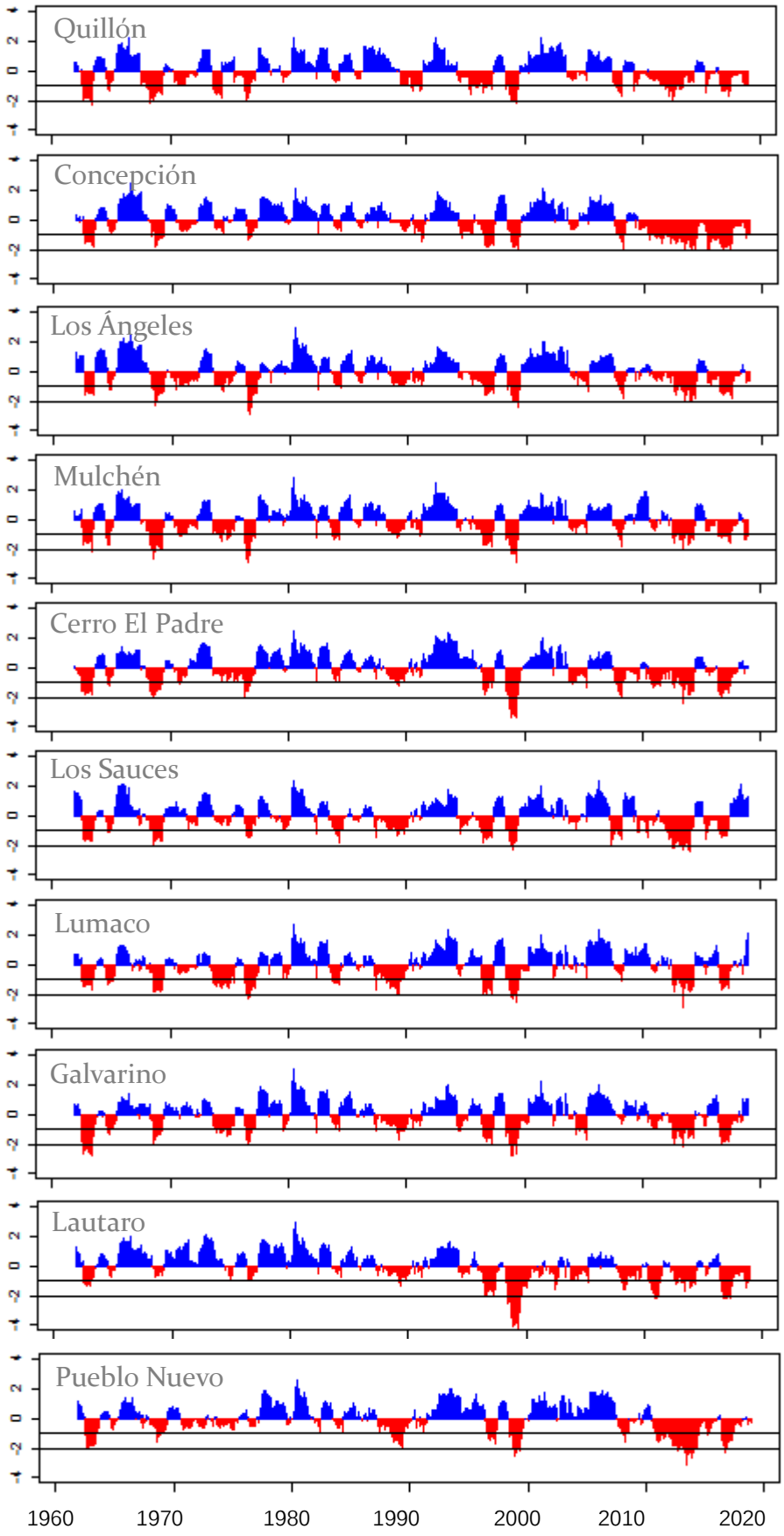
d) Desde Graneros (Región Bernardo O´Higgins) hasta Talca (Región del Maule)



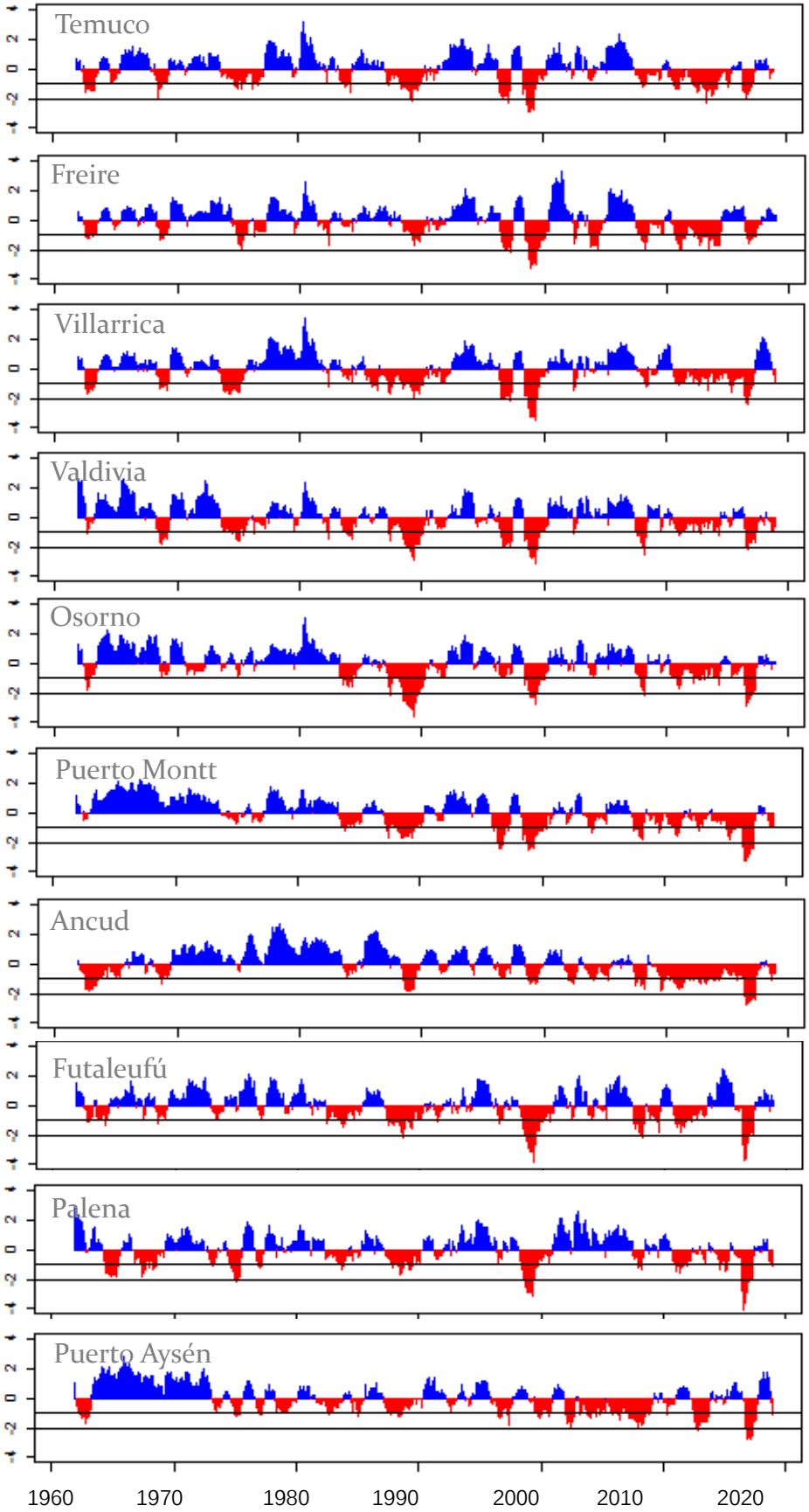
e) Desde San Javier (Región del Maule) hasta Bulnes (Región de Ñuble)



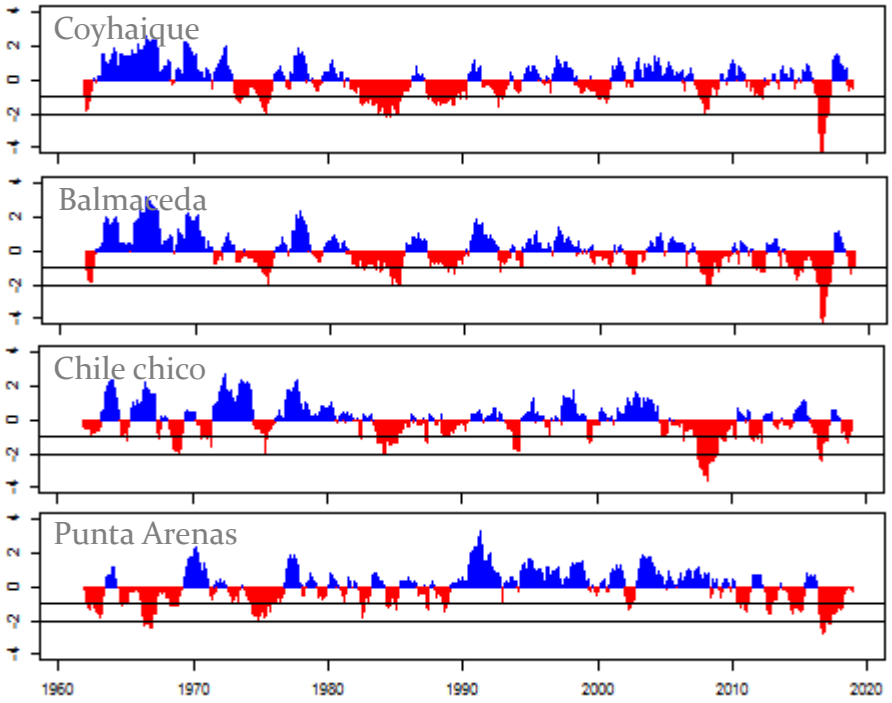
f) Desde Quillón (Región de Ñuble) hasta Pueblo Nuevo (Región de La Araucanía)



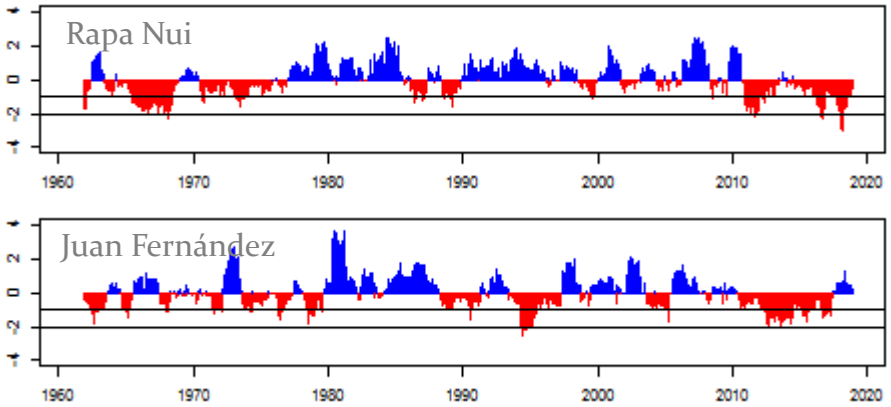
g) Desde Temuco (Región de La Araucanía) hasta Puerto Aysén (Región de Aysén)



h) Desde Coyhaique (Región de Aysén) hasta Punta Arenas (Región de Magallanes y de la Antártica Chilena).



i) Rapa Nui y Arch. Juan Fernández (Región de Valparaíso)



Para más información, por favor contactar:

DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL

DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE

Avenida Portales 3450, Estación Central

E-mail: comunicacional_dmc@meteochile.cl

Sitio web: www.meteochile.gob.cl