



**2022**

# REPORTE ANUAL DE LA EVOLUCIÓN DEL CLIMA EN CHILE

Foto: Claudia Villarroel J.  
Quintay, Región de Valparaíso  
Chile

# REPORTE ANUAL DE LA EVOLUCIÓN DEL CLIMA EN CHILE

Informe climático del año 2022, 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.

Responsable

Reinaldo Gutiérrez Cisterna

Director Dirección Meteorológica de Chile

Editora general

Claudia Villarroel Jiménez

Equipo técnico

Carolina Aravena Urzua

Camila Gotelli Caro

Ricardo Vásquez Yáñez

Carolina Vilches Delgado

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

**Dirección General de Aeronáutica Civil.**

Mayo, 2023

# CONTENIDO

<b>Resumen Chile 2022</b>	<b>4</b>
<b>1. Antecedentes Generales</b>	
1.1 Introducción	5
1.2 Contexto Climático	6
1.3 Lo más destacado del 2022	9
<b>2. Comportamiento de la temperatura</b>	
2.1 Temperatura Media	10
2.2 Temperaturas extremas	16
2.3 Isotherma 0°C	20
<b>3. Comportamiento de la Precipitación</b>	
3.1 Precipitación anual	23
3.2 Tendencias de la precipitación	27
<b>4. Sequía en Chile</b>	
4.1 Índice combinado del monitor de sequía	28
4.2 Índice estandarizado de precipitación	30
<b>5. Índices de eventos extremos de Cambio Climático</b>	
5.1 Índices de temperatura	31
5.2 Índices de precipitación	37
<b>6. Registros de los territorios insulares y antártico</b>	
6.1 Estaciones Antárticas	41
6.2 Estaciones Insulares	43
<b>7. Santiago Estación Centenaria</b>	<b>46</b>
<b>8. Referencias</b>	<b>50</b>
<b>9. Anexos</b>	<b>51</b>

# RESUMEN CHILE 2022

## 01

### **2022 fue más frío dentro de la década más cálida**

La temperatura media nacional fue de 13.0°C, 0.32°C más cálido que el promedio 1961-1990, lo que sitúa en el puesto 23 de los más cálidos y 0.1°C respecto al promedio 1981-2010. En tanto, la tendencia positiva (calentamiento) de la temperatura media es de 0.15°C/década. Esta condición está presente en un 90% del territorio de Chile.

## 02

### **12 años consecutivos cálidos**

Sumando el 2022 se completan 12 años consecutivos cálidos. De ellos, 8, se presentan entre el 2008 y 2022.

## 03

### **2022 terminó con un 22% de déficit nacional**

El promedio de la cantidad total de precipitación a nivel nacional fue de 567 mm, y se posicionó como el decimotercer año más seco, con un 22% de déficit. La tendencia es a la disminución de 26 mm/década equivalente a un 4% por década, pero se duplica en el periodo 1981-2021.

## 04

### **Primavera alcanzó sequía moderada y severa en el Sur**

Debido a la poca precipitación de primavera y las altas temperaturas, la sequía pasó de condiciones normales de invierno a incluso sequía severa en localidades desde las regiones del Maule hasta Magallanes.

## 05

### **Rapa Nui y la Península Antártica presentaron récord**

En Rapa Nui el año 2022 fue el más seco desde 1961 con 51% de déficit y registró el menor número de días con precipitación. Por su parte, las estaciones de Arturo Prat y O'Higgins en la Antártica, registraron el año más cálido, con 1.7°C y 1.4°C sobre el promedio, respectivamente.

## 06

### **Récord en índices climáticos de eventos extremos**

Los días fríos se incrementaron en un 35% en la zona norte y centro costa del país. A su vez, hubo récord de días de verano ( $T > 25^{\circ}\text{C}$ ) en Talca, y récord de Olas de Calor en Chillán, Osorno y Lord Cochrane.

# 1. ANTECEDENTES GENERALES

## 1.1 Introducción

Durante estos 5 años del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANCC 2017-2022), ha sido un gran desafío poder recopilar y analizar la información climática del país. Hemos avanzado y reforzado nuestro conocimiento, recogiendo las sugerencias de los usuarios, para perfeccionar, cada vez más este informe. Con orgullo podemos destacar, que este documento ha sido referenciado a nivel nacional e internacional, razón que nos motiva y mueve a continuar realizando este reporte anual.

En este informe, se amplió la cantidad de datos, las series diarias de precipitación y temperatura para calcular los índices de cambio climático extremos, llegan a 47 estaciones, incorporando estaciones cordilleranas como Embalse El Yeso de la DGA, Lagunitas de Codelco, Los Ángeles Aeródromo Ma. Dolores y San Fernando, El Carmen del INIA. Las series mensuales se incrementan de 115 a 126 estaciones en la temperatura y de 181 a 200 series mensuales de precipitación. Cabe destacar, que toda la información tiene un minucioso control de calidad y de homogeneización, porque las series no pueden estar intervenidas por factores ajenos al clima, ya que se puede incurrir a una mala interpretación de la tendencia. La información es recopilada desde el sistema SACLIM de la Dirección Meteorológica de Chile, del Servicio Meteorológico de la Armada y la Red Agroclima, y desde la página web de la Dirección General de Aguas e instituciones privadas colaboradoras.

Se incorporan cuatro nuevos índices de cambio climático, el Índice de Aridez de Martonne (MAI), Índice de Concentración de la Precipitación (PCI), Índice Cruza Cero (ZCI) y suma de precipitación sobre 10 mm (PRCP10TOT).

Como ha sido la tónica de los reportes precedentes, el análisis de tendencias y anomalías de las principales variables, como temperatura media, máxima, mínima y precipitación total anual, se comparan con un promedio climatológico 1961-1990, recomendado\* por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), sin embargo, con el propósito de mejorar la cobertura espacial, el cálculo de los índices climáticos extremos y mapas de anomalías estandarizadas se utiliza el promedio climatológico 1981-2010.

Este reporte se compone del contexto general climático global, resumen de hechos relevantes ocurridos en términos climáticos en el país. En las secciones 2 y 3, se realiza una inspección anual y estacional del comportamiento de la temperatura y precipitación. En el punto 4 se analiza la sequía y en el punto 5 los índices climáticos de eventos extremos.

(\*) 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

### TEMPERATURA GLOBAL

- El 2022 fue el **6to año más cálido desde 1880**, estimándose la temperatura media global (tierra más océano) sobre **0.91°C**, en todo el registro (1880-2022) y sobre **0.86°C** sobre el promedio del siglo XX (NOAA, 2023).
- Con este año se completarían **46 años consecutivos** (desde 1977) **más cálidos que el promedio**.
- De los 10 años más cálidos, 9 están dentro del período 2014 al 2022.
- La temperatura en el hemisferio norte también fue la 6ta más alta, mientras que en el hemisferio sur fue la séptima con 0.61°C por sobre el promedio del siglo XX.
- La temperatura global ha aumentado en una tasa promedio de **0.08°C** por década desde 1880, mientras que desde 1981 la tasa de aumento es más del doble con **0.18°C** por década.
- En gran parte del mundo la temperatura fue mucho más alta que el promedio, sin embargo, temperaturas relativamente más frías se presentaron en el Océano Pacífico tropical central-sur y oriental, en concordancia con la fase fría (La Niña) del episodio de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) que persistió durante todo el año (Tabla 1).

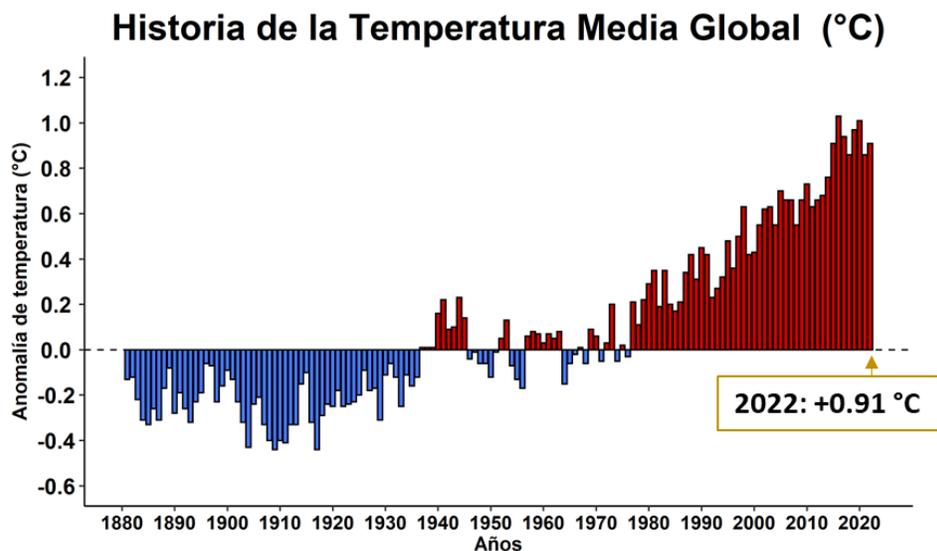


Fig. 1 Promedio anual de la anomalía de temperatura global desde 1880 comparada con el periodo de referencia 1901-2000. La línea cero representa la temperatura promedio de largo plazo del planeta. Las barras azules y rojas muestran la diferencia por debajo y por encima del promedio de cada año, respectivamente. Figura adaptada de climate.gov. NOAA.

## CICLO ENOS

Este evento de fase fría del ENOS durante el año 2022, fue determinante en las condiciones frías de la superficie oceánica y también en el comportamiento climático. Estas anomalías frías de la temperatura superficial del mar (TSM) se venían arrastrando desde el 2020, pero durante este año el evento de La Niña (en general, conduce a inviernos más fríos y secos en la zona centro sur y más lluviosos y cálidos en la zona altiplánica y austral del país) se mantuvo durante todo el año y con valores de anomalías de la TSM por sobre 1°C en los trimestres de otoño, invierno y primavera, valores que no se habían obtenido en los meses anteriores (Tabla 1). Este fortalecimiento de La Niña, pudo provocar una disminución de la temperatura del aire en varios sectores de nuestro país, sobre todo en la costa oeste de Sudamérica (Fig. 2). Junto con ello, pudo perturbar las configuraciones sinópticas propicias para los sistemas de baja presión que, son comunes en eventos de precipitaciones en la zona centro y parte de la zona sur del país, contribuyendo aún más a la sequía persistente (Fig. 2).

Tabla 1: Índice ONI (Promedio móvil de la anomalía de la Temperatura Superficial del Mar TSM)

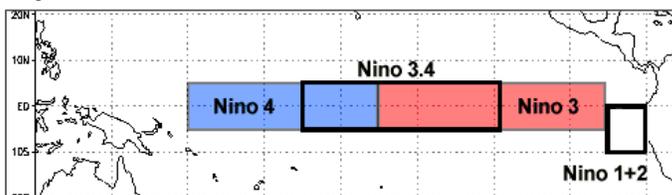
Trimestres del 2022

<b>Niño 3.4</b>	<b>Ene-Mar</b>	<b>Feb-Abr</b>	<b>Mar-May</b>	<b>Abr-Jun</b>	<b>May-Jul</b>	<b>Jun-Ago</b>	<b>Jul-Sep</b>	<b>Ago-Oct</b>	<b>Sep-Nov</b>	<b>Oct-Dic</b>
Anomalía	<b>-0.93°C</b>	<b>-0.99°C</b>	<b>-1.06°C</b>	<b>-0.99°C</b>	<b>-0.85°C</b>	<b>-0.81°C</b>	<b>-0.91°C</b>	<b>-1.01°C</b>	<b>-0.99°C</b>	<b>-0.92°C</b>
TSM	25.94°C	26.31°C	26.62°C	26.84°C	26.80°C	26.48°C	26.04°C	25.75°C	25.72°C	25.76°C

Otras regiones de El Niño

Niño 1+2	-1.15	-1.25	-1.27	-1.52	-1.45	-1.10	-0.94	-1.14	-1.31	-1.13
Niño 3	-1.06	-0.93	-0.90	-0.93	-0.80	-0.67	-0.72	-0.91	-0.95	-0.95
Niño 4	-0.48	-0.63	-0.77	-0.78	-0.83	-0.92	-1.08	-1.13	-1.09	-0.98

Regiones de monitoreo de El Niño-La Niña



Fuente: cpc-ncep-noaa.

## SITUACIÓN CLIMÁTICA

Una breve reseña de lo acontecido en el 2022 a nivel regional, fueron anomalías de temperatura negativas, durante todo el año, pero en otoño e invierno estas anomalías se extendieron a lo largo de todo Chile continental e islas. En primavera estas temperaturas más frías se concentraron solo en el norte del país dando paso a que todo el cono sur de América del Sur fuera más cálido que lo normal. Respecto a la precipitación, se observa como es característico de un evento de La Niña, más precipitaciones en la zona norte, principalmente en verano, sin embargo,

todo el resto del país y en el resto de las estaciones del año dominaron las anomalías negativas de precipitación, más seco (Fig. 2).

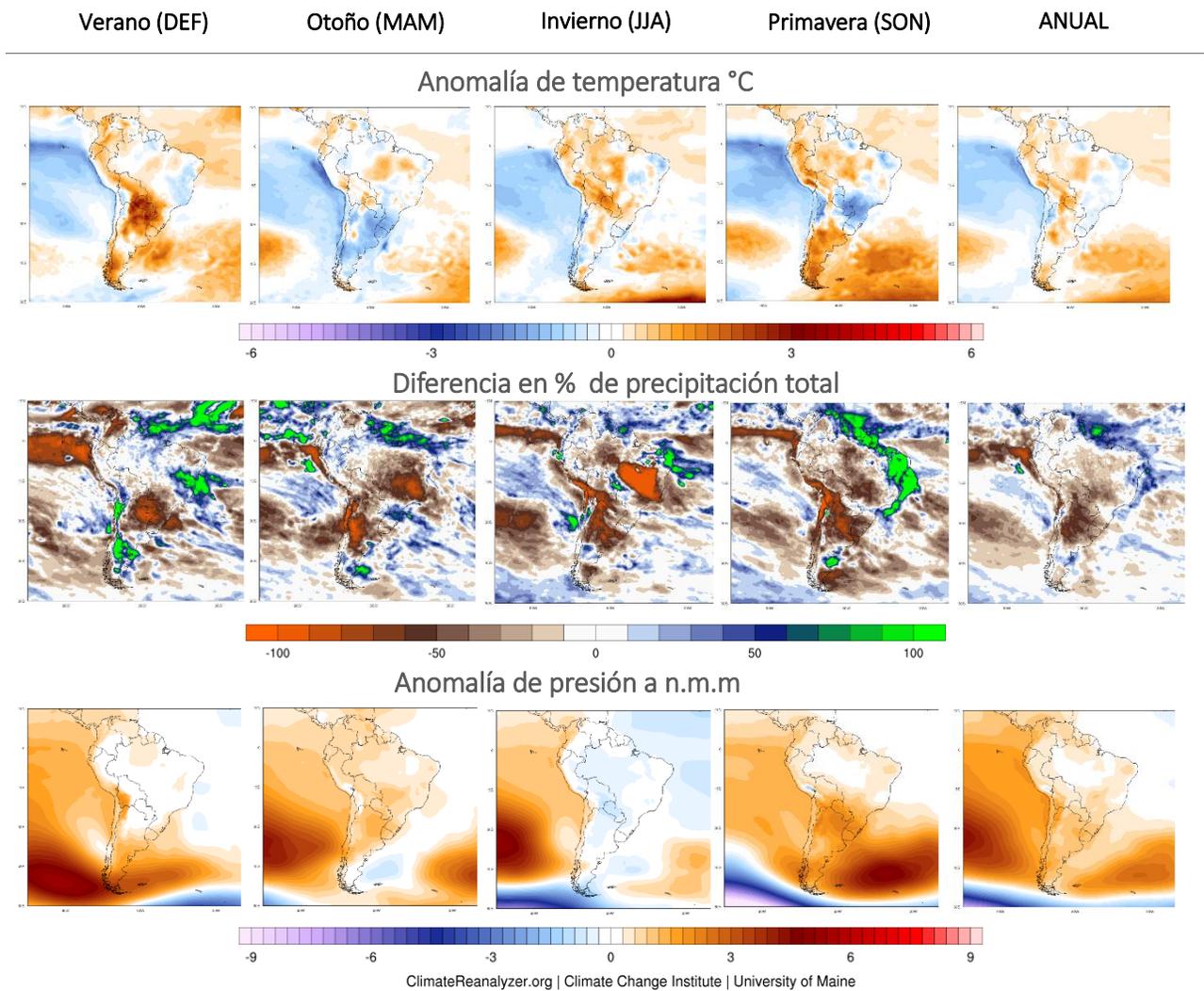


Fig. 2: Anomalías estacionales y anual de a) temperatura a 2m sobre el n.m.m, b) diferencia porcentual de la precipitación total anual, c) anomalías de la presión superficial en Sudamérica. Las anomalías son respecto al promedio 1981-2010. Mapas realizados con ClimateReanalyzer.org.

# CHILE

## LO MAS DESTACADO

# 2022

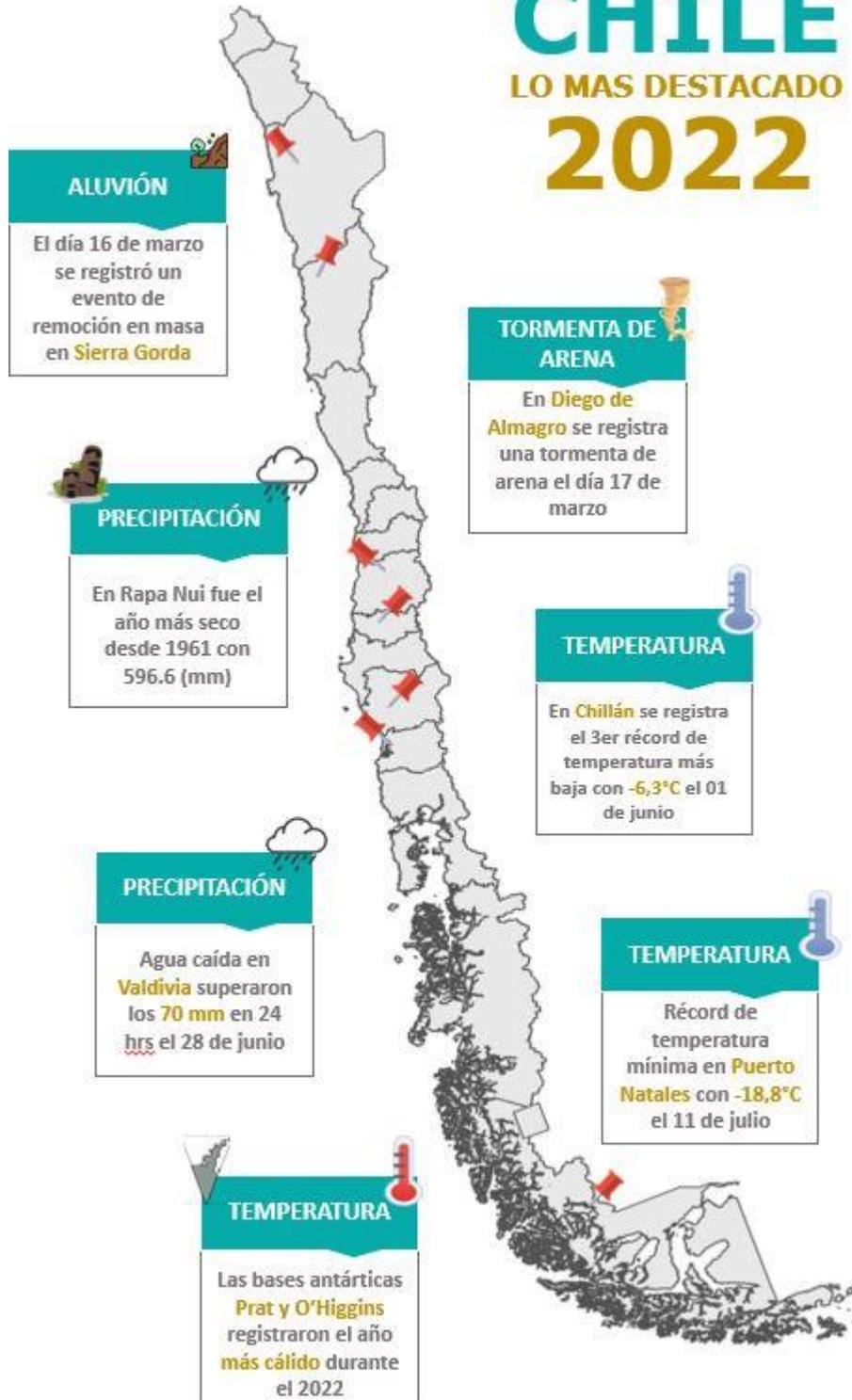


Fig. 3: Hechos relevantes, información de los récords detallados por localidad y variable en el anexo 3.

## 2. Comportamiento de la Temperatura

### 2.1 Temperatura Media

Este año 2022 hubo una importante disminución en la temperatura de Chile continental, debido, al episodio de La Niña mencionado anteriormente. La temperatura media durante el 2022 fue de **13.0°C**, aunque igualmente más cálido que el promedio climático en **+0.32°C**, sin embargo, fue más bajo en 0.44°C respecto al año anterior (Fig. 4).

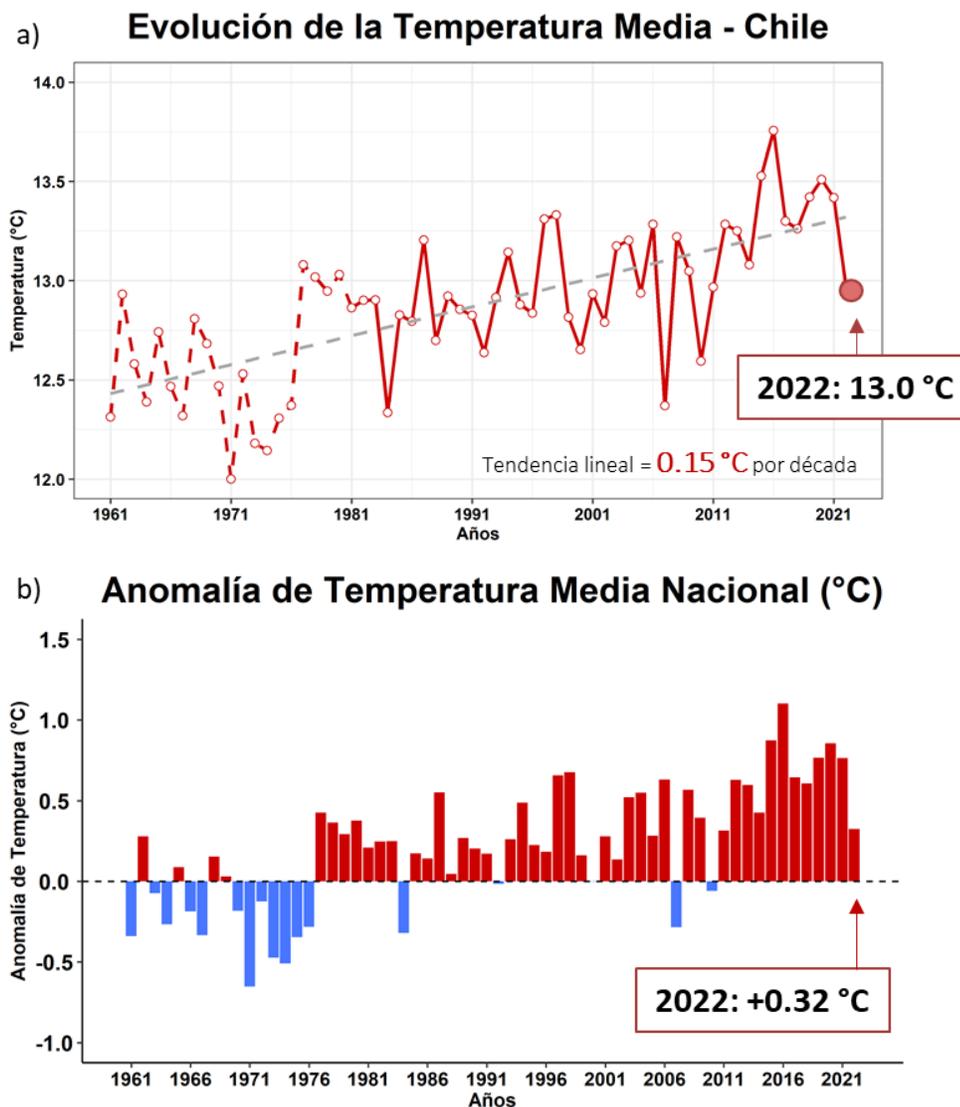


Fig.4: a) Promedio anual de la temperatura media en Chile continental utilizando 126 estaciones. La línea segmentada roja es el promedio de 19 estaciones históricas con sesgo corregido, línea segmentada gris indica la tendencia lineal. b) temperatura media en términos de anomalías absolutas en °C respecto al periodo 1961-1990. Las barras rojas indican calentamiento y las azules enfriamiento.

Cuando se analiza respecto a la climatología del 1981-2010, el 2022 estuvo apenas 0.1°C por sobre el promedio, mientras que comparando con la última climatología de 30 años 1991-2020, estuvo por debajo en -0.1°C.

En la figura 4b) se observa la continuidad de los años cálidos, contando desde el 2011 llevamos **12 años consecutivos más cálidos que lo normal**, y desde 1976-77, año del “salto climático”, prácticamente todos los años han presentado anomalías positivas a excepción de 1984, 2000, 2007 y 2010.

El año 2016 sigue siendo el más cálido desde 1961 con 13.8°C (+1.1°C), mientras que este año 2022 se posicionó en el lugar 23 (Tabla nro. 2 y Fig. 5). **Ocho de los diez años más cálidos se concentran en las últimas dos décadas** (1997-1998 fueron años cálidos por evento de El Niño), mientras que los diez años más fríos fueron en las décadas de los 60' y 70'. En este último conjunto de años fríos se destaca el 2007 donde prevaleció un evento de La Niña (Tabla 2 y Fig. 5).

Tabla 2: Ranking de los 10 años más cálidos y más fríos según la temperatura media nacional en un conjunto de 62 años. La anomalía es en °C respecto al promedio 1961-1990.

10 años más cálidos				10 años más fríos			
Rank	Año	Temp. Media (°C)	Anomalía (°C)	Rank	Año	Temp. Media (°C)	Anomalía (°C)
1	2016	13.8	1.10	1	1971	12.0	-0.65
2	2015	13.5	0.87	2	1974	12.1	-0.51
3	2020	13.5	0.86	3	1973	12.2	-0.47
4	2019	13.4	0.77	4	1975	12.3	-0.35
5	2021	13.4	0.76	5	1961	12.3	-0.34
6	1998	13.3	0.68	6	1967	12.3	-0.33
7	1997	13.3	0.66	7	1984	12.3	-0.32
8	2017	13.3	0.65	8	2007	12.4	-0.28
9	2006	13.3	0.63	9	1976	12.4	-0.28
10	2012	13.3	0.63	10	1964	12.4	-0.27
23	2022	13.0	0.32				

# EVOLUCIÓN DE LOS CAMBIOS ESPACIALES DE LA TEMPERATURA MEDIA POR AÑOS

## Cambio en °C de la temperatura media en Chile Continental

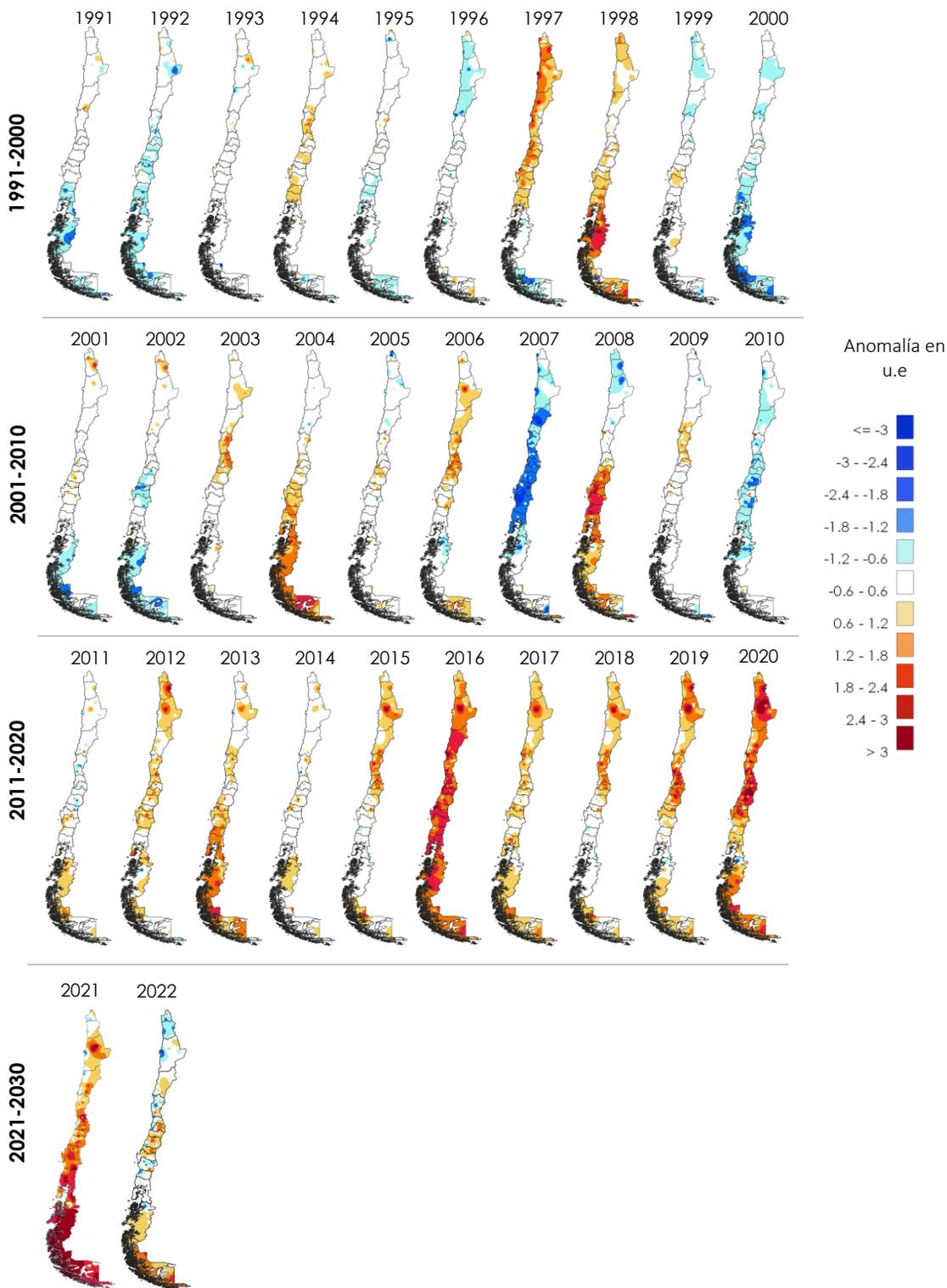


Fig. 5: Mapas anuales de anomalías estandarizadas de la temperatura media (respecto al promedio 1981-2010) de la temperatura media en Chile continental, utilizando 126 estaciones meteorológicas.

## COMPORTAMIENTO ESTACIONAL DEL 2022

El 2022 se caracterizó por ser un año un poco más moderado en cuanto a la temperatura media, donde las anomalías positivas se concentraron en la zona central entre los valles de la región Metropolitana hasta la región de Ñuble y en la zona austral desde la Región de Aysén hasta Magallanes. Se destaca, el calentamiento en Magallanes, donde las diferencias llegaron hasta 1.9 °C sobre el promedio en Pampa Huanaco, 1.6 u.e en Cerro Guido y 1.1 u.e en Punta Arenas.

Gran parte del calentamiento se observó en los meses de verano y primavera, incluso se registraron olas de calor y nuevos récords de temperatura en estas estaciones del año. Por otro lado, el enfriamiento se observa en otoño e invierno, coincidente con la mayor intensidad de La Niña, preferentemente en la costa norte de Chile y en general desde las regiones del Biobío hasta Los Lagos (Fig. 6).

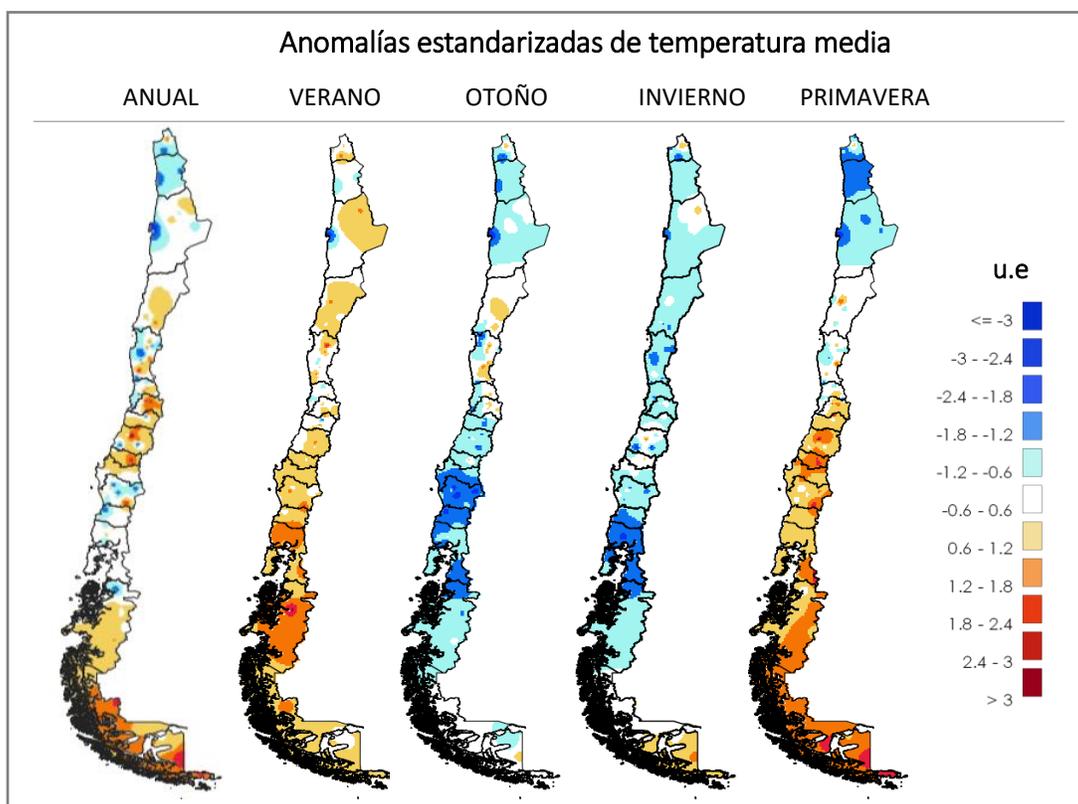


Fig. 6: Mapa anual y estacional de anomalías estandarizadas (respecto al promedio 1981-2010) de la temperatura media en Chile continental. La escala de colores se expresa en unidades estandarizadas para hacer comparable a todo el país.

## CAMBIOS DECADALES

Los cambios decadales son significativos principalmente en las últimas dos décadas, donde se produjo un cambio considerable desde la década del 2001-2010 de  $+0.3^{\circ}\text{C}$  a la década del 2011-2020, aumentando casi al doble ( $+0.68^{\circ}\text{C}$ ), quedando como **la década más cálida desde 1961** con respecto a la temperatura media (Fig. 7).

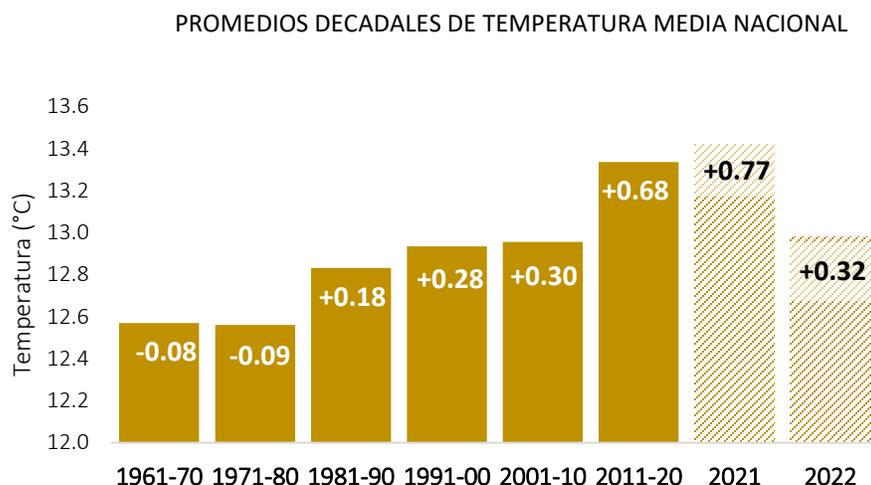


Fig.7: Promedios decadales de la temperatura media en Chile, respecto al promedio 1961-1990. Se detalla los grados bajo/sobre el promedio climatológico en cada barra. Las barras achuradas corresponden al promedio de los años 2021 y 2022.

Con respecto a estos cambios decadales, interesa saber si hay meses a lo largo del año donde se concentran estas diferencias, efectivamente se puede apreciar en la Fig. 8 donde, se observa un cambio considerable en casi todos los meses del año en la última década del 2011 al 2020, pero **donde más se refleja este calentamiento es durante enero**. En el último panel (año 2022), se aprecia las diferencias mensuales, donde pasamos de meses más fríos que lo normal, desde abril hasta septiembre, a condiciones extremadamente cálidas durante noviembre y diciembre, llegando hasta  $1.5^{\circ}\text{C}$  de anomalía (Fig. 8).

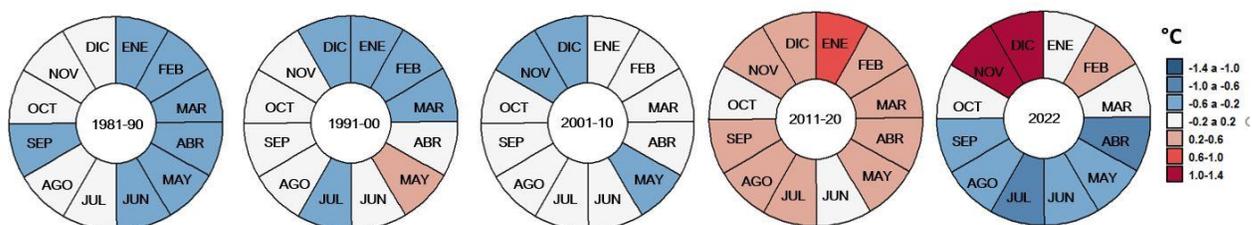


Fig.8: Diferencia mensual en  $^{\circ}\text{C}$  comparado con el promedio 1981-2010, para las últimas 4 décadas y el año 2022. Colores azules indican meses "más fríos que lo normal" y rojos "más cálidos que lo normal".

## TENDENCIAS DE LA TEMPERATURA MEDIA

La tasa de aumento de la temperatura media considerando el periodo desde 1961 al 2022, es de **+0.15°C por década**, mientras que la tendencia del periodo 1981-2021 es de +0.14°C/década (42 años). Los valores de la tendencia móvil varían entre -0.2°C a +0.6°C, siendo el mayor crecimiento entre el año 1992 hasta el 2021 .

Un **90% de las estaciones presentan calentamiento**, mientras que el 10% restante se observan de tendencias negativas o frías, especialmente en la costa Norte-Centro de Chile (Fig. 9). Las localidades que presentan la mayor tasa de aumento de la temperatura son las ubicadas en la cordillera y valles a lo largo de Chile. Aquellas que superan los de +0.3°C/década son: Combarbalá, Hurtado, Pudahuel, Cerro Guido, Toconao, Sierra Gorda, San José de Maipo, Cerro Calán, Curicó, Calama. Por otro lado, aquellas que tienen tendencias negativas, aunque poco significativas (no superan los -0.19 °C/década), están ubicadas en la costa desde Arica hasta la región de Los Lagos, estas son, por orden de magnitud: Iquique, Antofagasta, Arica, Azapa, Jardín Botánico (Viña del Mar), La Serena, Teodoro Schmidt y Cauquenes.

Otras localidades puntuales ubicadas en cordillera de la Región de la Araucanía con tendencias negativas son Lonquimay, Malalcahuelo y Vilcún.

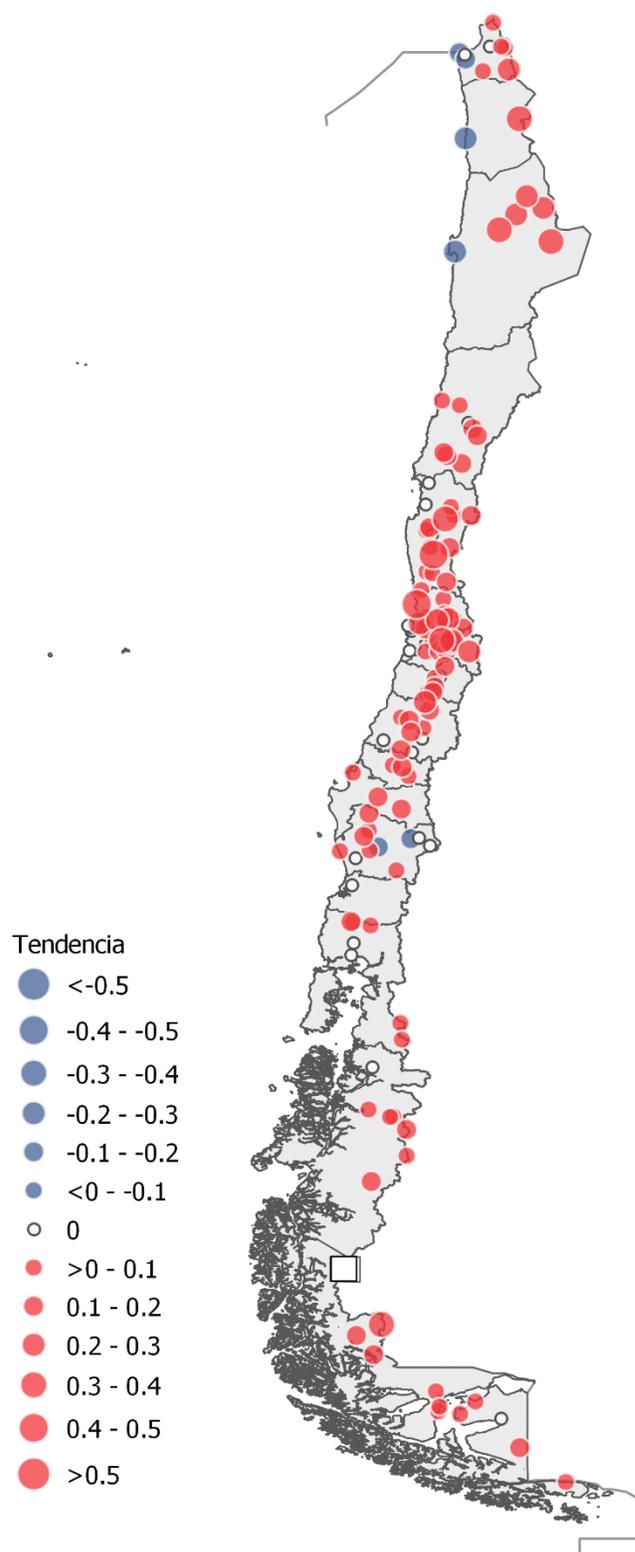


Fig. 9: Tendencias en °C por década de la temperatura media. Círculos azules indican tendencias negativas o “más frío” y rojos indican tendencias positivas o “más cálido”. El tamaño de círculo es proporcional al valor de la tendencia.

## 2.2 Temperaturas extremas

### TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA NACIONAL (TN)

- El promedio nacional de la TN fue de **6.4°C** superando en sólo 1 décima de grado el promedio climatológico (1961-1990) y bajo 0.28 °C respecto al promedio 1981-2010 (Fig. 9 a).
- El 2022 fue el año más frío dentro de este periodo cálido que abarca desde el 2011 hasta el 2021 (Fig. 9 b), ubicándose en el puesto 40 (Tabla 3).
- La tendencia lineal desde 1961 al 2022 (62 años) es de **0.13°C/década** (Fig. 9 a).

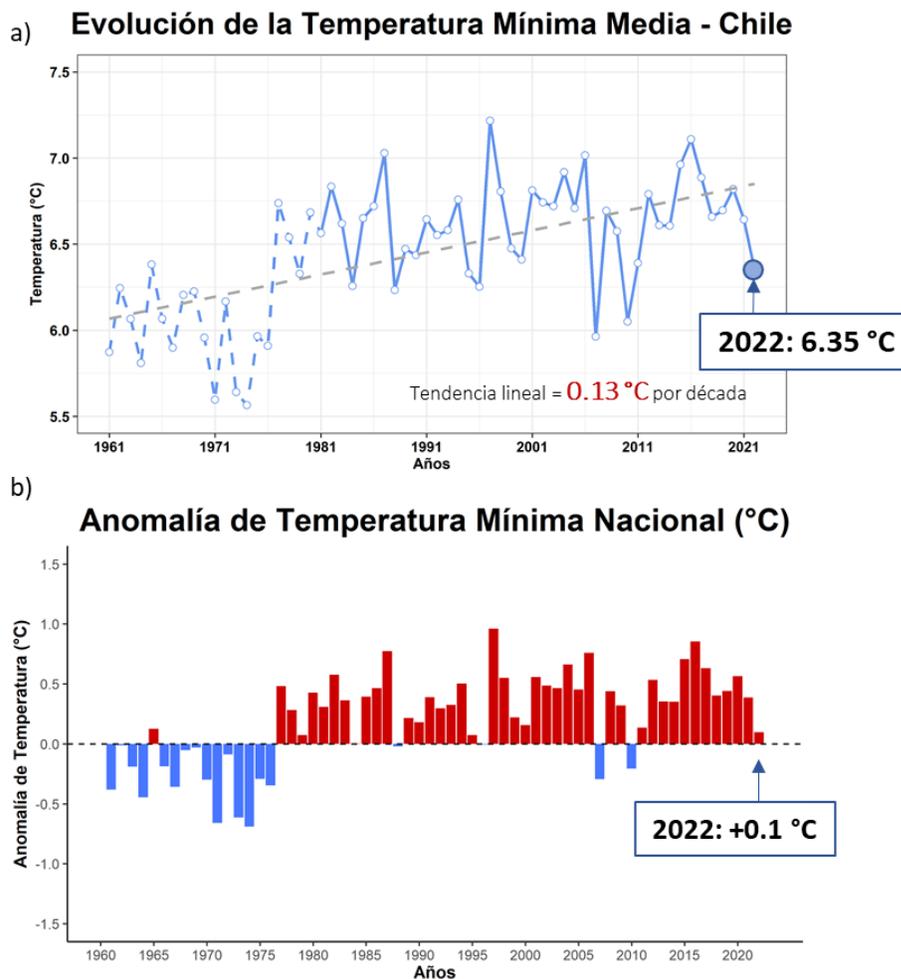


Fig.10: a) Panel superior se representa la evolución del promedio de la TN media en Chile continental, la línea segmentada azul es el promedio de 19 estaciones con sesgo corregido mientras que, la línea continua es el resultado del promedio de 126 estaciones. Línea segmentada gris indica la tendencia lineal. b) El panel inferior indica la TN términos de anomalía (°C) respecto al promedio 1961-1990.

## TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA NACIONAL (TX)

- El promedio nacional de la TX fue de **19.6°C** superando en **0.56°C** el promedio climatológico (1961-1990) y sobre 0.19°C respecto al promedio 1981-2010 (Fig. 11 a y b).
- Se cumplen **15 años consecutivos con anomalías positivas** (más cálido) (Fig. 11b), donde el 2022 quedó dentro de este periodo cálido en el puesto 14 de los años más cálidos desde 1961 (Tabla Nro 3).
- La tendencia lineal desde 1961 al 2022 (62 años) es **+0.16°C/década** (Fig. 11 a).

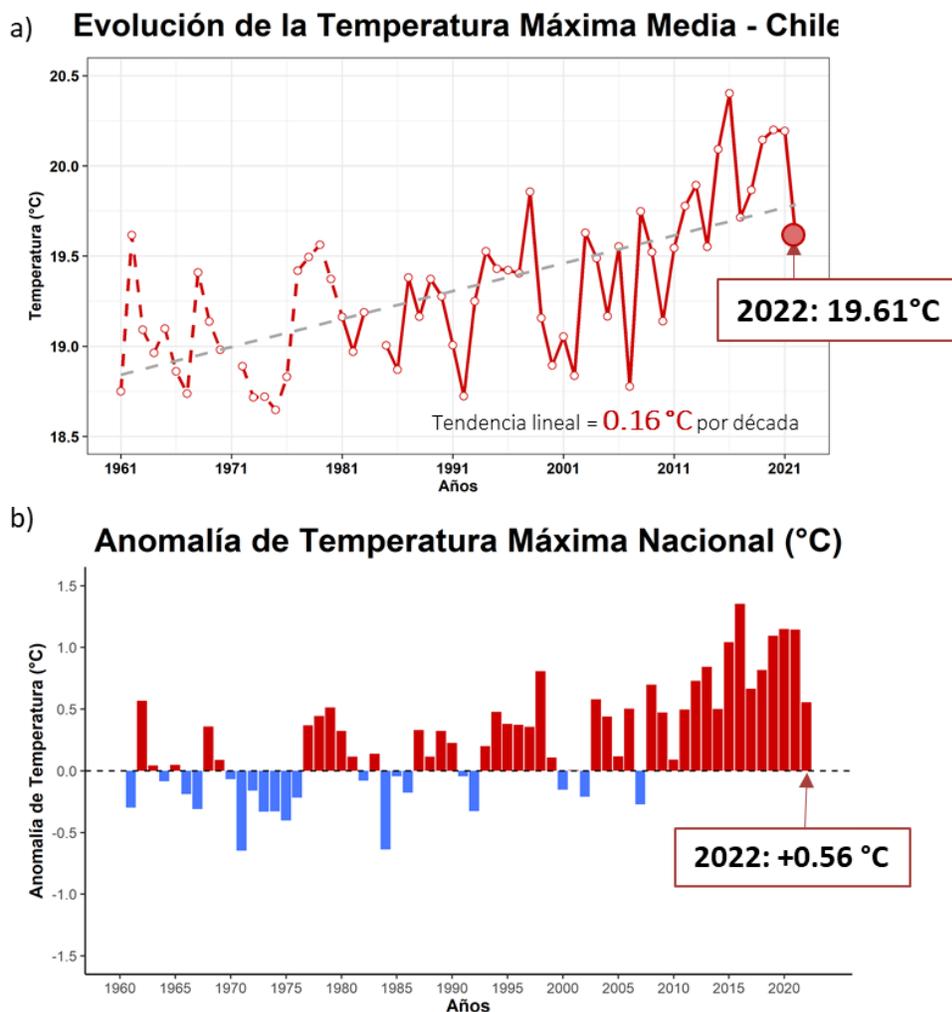


Fig.11: a) Panel superior se representa la evolución del promedio de la TX media en Chile continental, la línea segmentada roja es el promedio de 19 estaciones con sesgo corregido mientras que, la línea continua es el resultado del promedio de 126 estaciones. Línea segmentada gris indica la tendencia lineal. b) El panel inferior indica la TX términos de anomalía (°C) respecto al promedio 1961-1990.

Tabla nro. 3: Ranking de los 10 años más cálidos y más frío respecto a la temperatura mínima (panel: izquierdo) y temperatura máxima (panel derecho). En parentesis se menciona la diferencia respecto al promedio 1961-1990). El ranking es en base al periodo 1961-2022)

TEMPERATURA MÍNIMA					TEMPERATURA MÁXIMA			
Rank	Año	Más frío (°C)	Año	Más cálido (°C)	Año	Más frío (°C)	Año	Más cálido (°C)
1	1974	5.6 (-0.69)	1997	7.2 (+0.96)	1971	18.4 (-0.65)	2016	20.4 (+1.35)
2	1971	5.6 (-0.66)	2016	7.1 (+0.85)	1984	18.4 (-0.64)	2020	20.2 (+1.15)
3	1973	5.6 (-0.61)	1987	7.0 (+0.77)	1975	18.6 (-0.40)	2021	20.2 (+1.14)
4	1964	5.8 (-0.45)	2006	7.0 (+0.76)	1973	18.7 (-0.33)	2019	20.1 (+1.09)
5	1961	5.9 (-0.38)	2015	7.0 (+0.71)	1974	18.7 (-0.33)	2015	20.1 (+1.04)
6	1967	5.9 (-0.36)	2004	6.9 (+0.66)	1992	18.7 (-0.33)	2013	19.9 (+0.84)
7	1976	5.9 (-0.35)	2017	6.9 (+0.63)	1967	18.7 (-0.31)	2018	19.9 (+0.82)
8	1970	6.0 (-0.30)	1982	6.8 (+0.58)	1961	18.8 (-0.30)	1998	19.9 (+0.81)
9	2007	6.0 (-0.29)	2020	6.8 (+0.56)	2007	18.8 (-0.27)	2012	19.8 (+0.73)
10	1975	6.0 (-0.29)	2001	6.8 (+0.56)	1976	18.8 (-0.22)	2008	19.7 (+0.70)
40 2022 6.4 (+0.10)					14 2022 19.6 (+0.56)			

## COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LAS TEMPERATURAS EXTREMAS DEL 2022

En general otoño e invierno se presentó más frío que el promedio, tanto en las mañanas (temperatura mínima) como en las tardes (temperatura máxima), a excepción de algunas localidades al sur de la región de Atacama hasta la Metropolitana y en la región de Magallanes (Fig. 12). Se destaca la zona norte de Chile en donde, a excepción del verano, la mayor parte del año se presentó con anomalías negativas tanto en la TN como en la TX, siendo más frío en primavera, con anomalías que llegan incluso a 2 u.e.

En cuanto a la máxima un calentamiento importante se observa en la zona central y austral del país, principalmente debido a que el verano y la primavera estuvieron extremadamente cálidas sobre pasando las 3 desviaciones estándar. (Fig. 12). Este calentamiento provocó un incremento en los eventos de olas de calor, el cual se analizará en la sección 5.

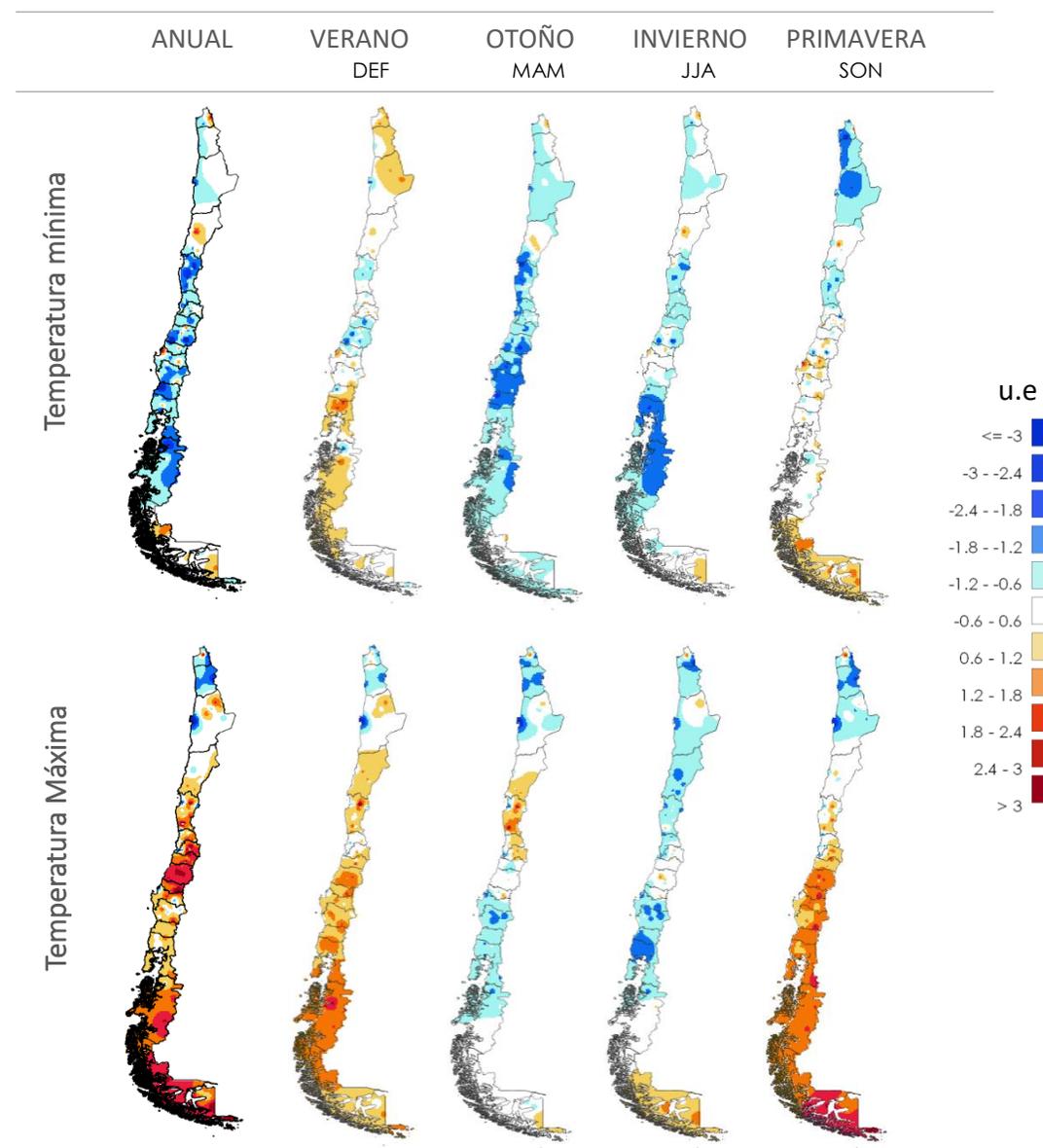


Fig. 12. Mapas anuales y estacionales de anomalías estandarizadas de la temperatura mínima y máxima, respecto al promedio 1981-2010. Colores azules indican "más frío" y rojos "más cálido".

## 2.3 Isoterma 0°C

La altura de la isoterma 0°C es una línea imaginaria donde la temperatura del aire está a 0°C, delimitando las zonas donde caerá precipitación líquida y sólida (Fig. 13). Este indicador es de gran importancia producto de que el cambio climático ha generado un aumento en la temperatura del aire en las últimas décadas, lo que ha provocado que el nivel de la isoterma cero, alcance mayor altura, generando una reducción de la superficie andina que recibe nieve, por lo que la disponibilidad de agua disminuye intensificando la sequía, sobre todo en el periodo estival. Por otro lado, ante eventos de precipitación importante con altura de isoterma 0°C elevada, podría influir en la ocurrencia de remociones en masa o aumento de caudales.

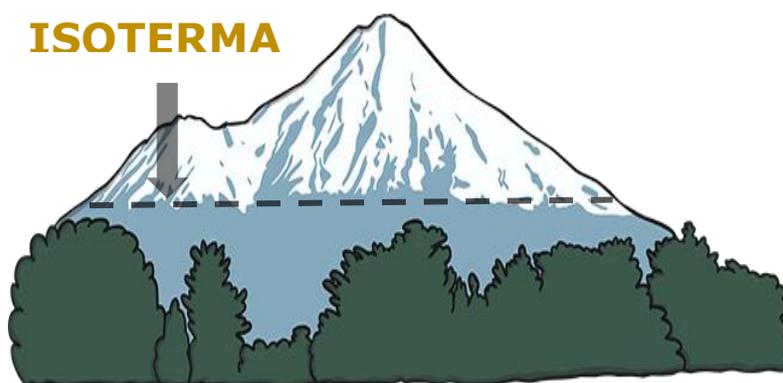


Fig. 13: Esquema explicativo de la altura de la isoterma 0°C.

### Estimación de la altura

En la DMC la estimación de la altura de la isoterma 0°C se utilizan observaciones de altura desde radiosondas, a partir de los valores de temperatura medidos en la vertical. Son cuatro 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.

### ALTURA DE ISOTERMA 0°C EXTREMA DURANTE EL 2022

El año 2022 se registraron días con altura de isoterma 0°C extrema, destacándose las estaciones de primavera y verano, con una mayor cantidad de días en la cual la isoterma se encontró a una altura más alta de lo normal en la zona centro, sur y austral (representada por Santo Domingo, Puerto Montt y Punta Arenas, respectivamente), mientras que en la zona norte (Antofagasta) se registraron más días con isoterma alta en las estaciones de otoño e invierno, por ejemplo, el 17 de marzo en Sierra Gorda, región de Antofagasta, se produjo un aluvión debido a precipitaciones intensas y con una altura de la isoterma 0°C a 3961 metros.

También se observaron días en donde la isoterma cero estuvo más baja que el promedio (Fig. 14), destacando la zona central con 16 días más con isoterma baja,



y en la cual se registró un evento de nieve en zonas precordilleranas de la región Metropolitana el día 14 de julio, debido al paso de un sistema frontal y a una altura de isoterma de 1494 m. que se encuentra bajo el percentil 10%.

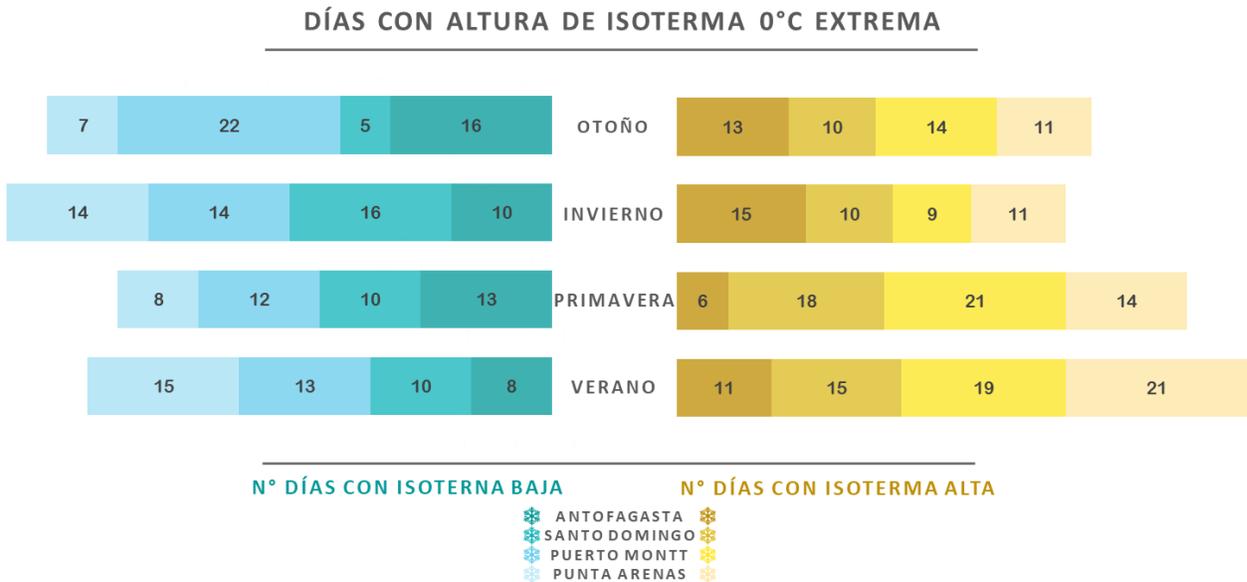


Fig.14: Número de días con altura de isoterma 0°C extrema por estación del año. En colores celeste el número de días con isoterma baja (percentil 10) y en colores amarillo número de días con isoterma alta (percentil 90) en Antofagasta, Santo Domingo, Puerto Montt y Punta Arenas.

## TENDENCIA DE LA ALTURA DE LA ISOTERMA 0 °C

La tendencia de la isoterma cero durante el periodo 1981-2022 (Fig. 15) para la zona norte, representada por Antofagasta, muestra un aumento de 32 m/década. En cuanto a la zona central (Santo Domingo) y sur (Puerto Montt) se observa un incremento de 19 y 15 m/década respectivamente, sin embargo, la zona austral (Punta Arenas) presenta una tendencia negativa de -7 m/década.

Se destaca el incremento que ha presentado la isoterma cero al comparar el periodo 1981-2022 con el más reciente (2000-2022), siendo este mayor en Puerto Montt con 63 m/década, seguido por Punta Arenas que revierte su tendencia negativa de -7 a 59 m/década.

## TENDENCIA DE LA ALTURA DE LA ISOTERMA 0

Estación	1981-2022	2000-2022
<b>Antofagasta</b>	<b>32</b>	<b>38</b>
<b>Santo Domingo</b>	<b>19</b>	<b>56</b>
<b>Puerto Montt</b>	<b>15</b>	<b>63</b>
<b>Punta Arenas</b>	<b>-7</b>	<b>59</b>

## ALTURA DE LA ISOTERMA 0

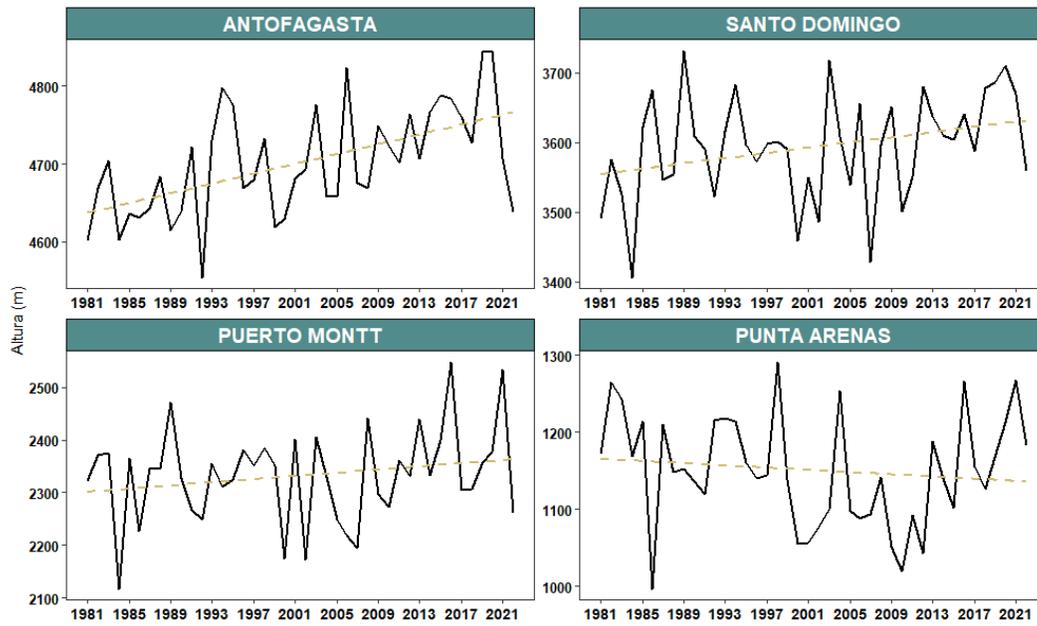


Fig. 15: Altura de la isoterma cero (línea continua), tendencia lineal (línea punteada).

# 3. Comportamiento de la precipitación

## 3.1 Precipitación anual

La precipitación en Chile continental durante el año 2022 alcanzó **567 mm** como promedio (Fig. 16 a), quedando con un **22% de déficit anual**, ubicándose como el **décimotercero año más seco** en el período 1961-2022. Los años 1998 y 2021 continúan siendo los más secos de los últimos 62 años a nivel nacional, mientras que, 1997 y 1965 han sido los más lluviosos (Tabla 4).

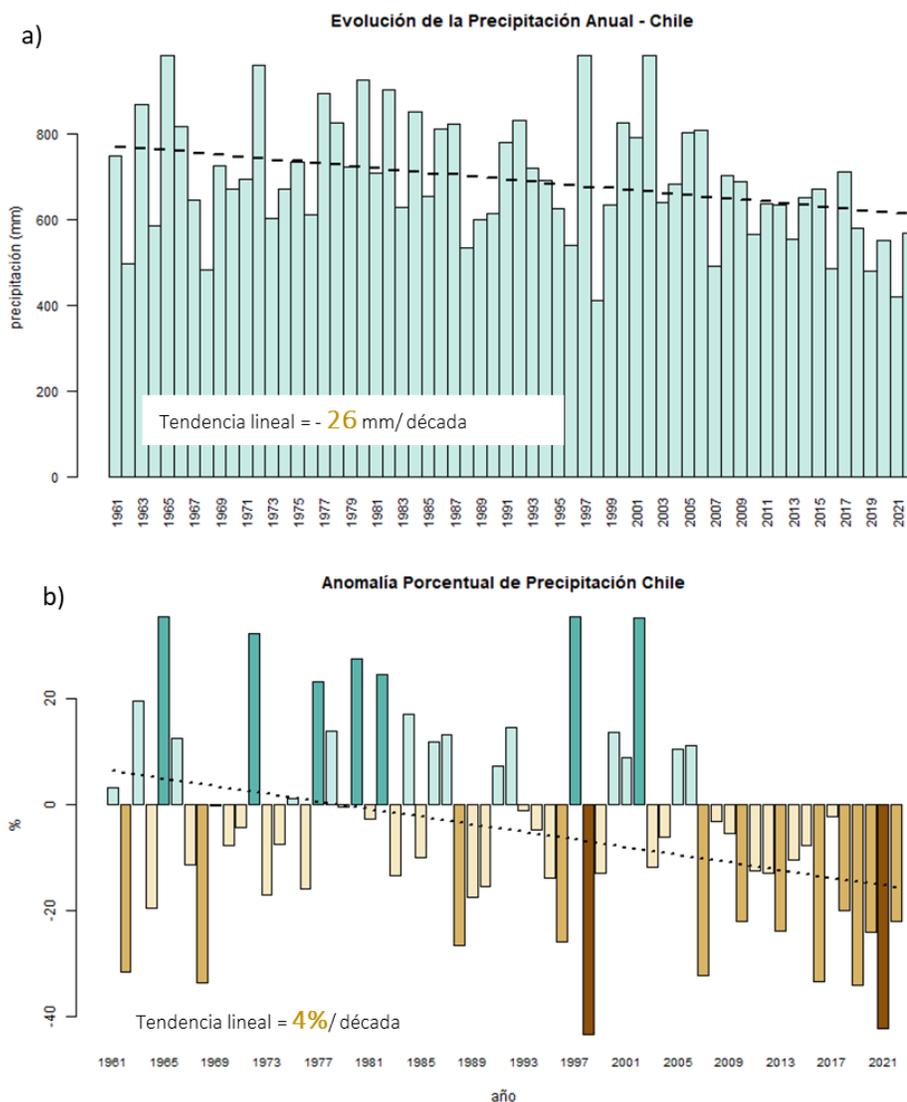


Fig.16: a) Precipitación total anual para Chile continental en milímetros (promedio anual de 200 estaciones) y línea segmentada de tendencia lineal. b) Anomalia porcentual de precipitación total anual respecto al promedio 1961-1990. Barras en tonos verdes representan valores positivos (superávit) y tonos cafés valores negativos (déficit).

La tendencia nacional alcanzó los **-26 mm/dec** que equivale a una disminución de **4% cada diez años** (Fig.16 b).

Con éste año se completan **16 años consecutivos con precipitaciones bajo el promedio** 1961-1990 desde el 2007, presentando los últimos cinco años déficit sobre el 20%. En la tabla nro. 4, se muestra los 10 años más secos y más lluviosos desde 1961,

Tabla 4: Ranking de los 10 años más secos y más lluviosos desde 1961 al 2022 en Chile Continental.

10 años más secos				10 años más lluviosos			
Rank	Año	Precipitación (mm)	Déficit (%)	Rank	Año	Precipitación (mm)	Superávit (%)
1	1998	411.2	-43.3	1	1997	983.4	35.5
2	2021	420.3	-42.1	2	1965	983.1	35.4
3	2019	478.5	-34.1	3	2002	981.7	35.2
4	1968	482.2	-33.6	4	1972	959.9	32.2
5	2016	484.0	-33.3	5	1980	924.6	27.4
6	2007	491.5	-32.3	6	1982	903.1	24.4
7	1962	497.0	-31.5	7	1977	893.7	23.1
8	1988	532.5	-26.6	8	1963	867.5	19.5
9	1996	537.9	-25.9	9	1984	849.5	17.0
10	2020	551.2	-24.1	10	1992	832.0	14.6
13	2022	567.0	-22.0				

Durante el 2022, 15 de las 16 regiones del país presentaron déficit de precipitación, siendo la región de Valparaíso, Metropolitana, de O'Higgins y la región de Arica y Parinacota las que presentaron los mayores déficits en torno al 50%. Sólo la Región de Atacama tuvo superávit con un valor de 11%.

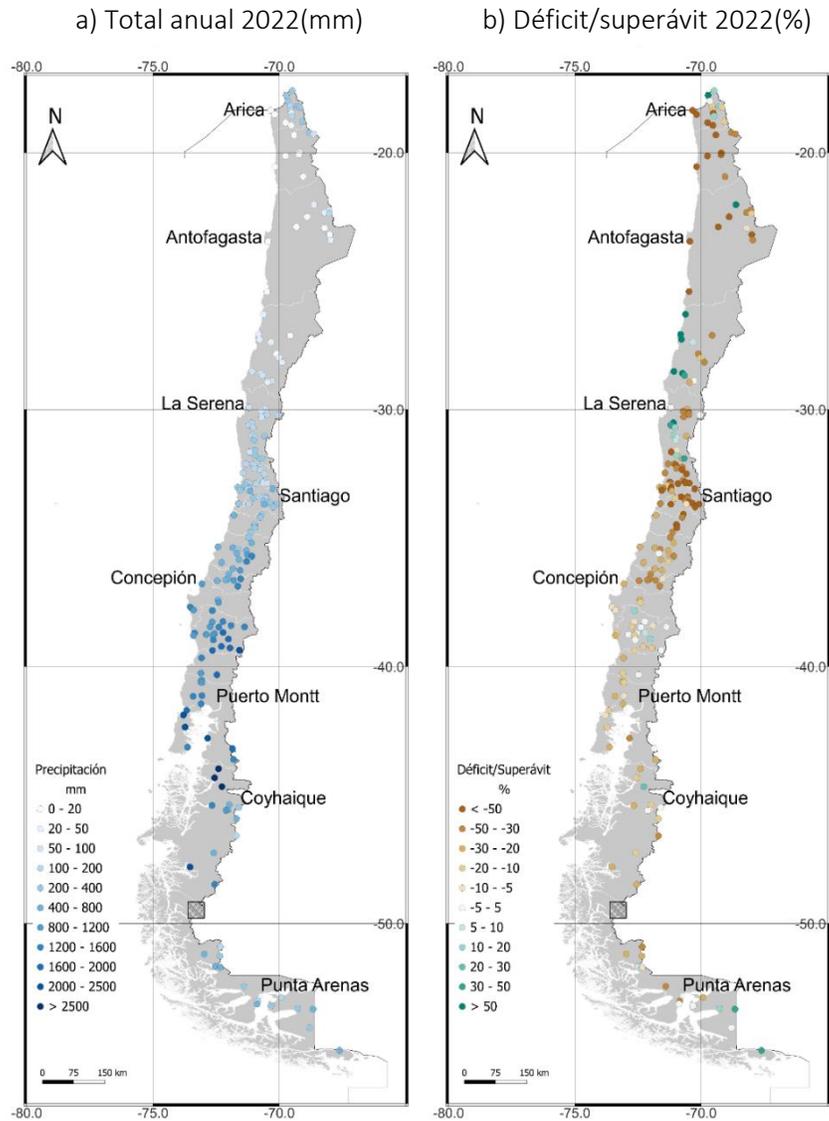


Figura 17. Precipitación año 2022 para 200 estaciones de Chile continental (izquierda). Anomalia porcentual de precipitación año 2022 respecto a promedio 1981-2010 (derecha).

## PRECIPITACIÓN MENSUAL Y DECADAL

La distribución mensual de la precipitación muestra que en el extremo norte los meses de enero y diciembre presentaron montos sobre el promedio. En la zona central y sur las lluvias por sobre el promedio se concentraron durante el mes de abril y julio donde ocurrieron los eventos más importantes. Los meses de mayo, junio y septiembre estuvieron mayormente secos en estas regiones, sólo en la zona austral presentaron lluvias sobre el promedio (Fig. 18).

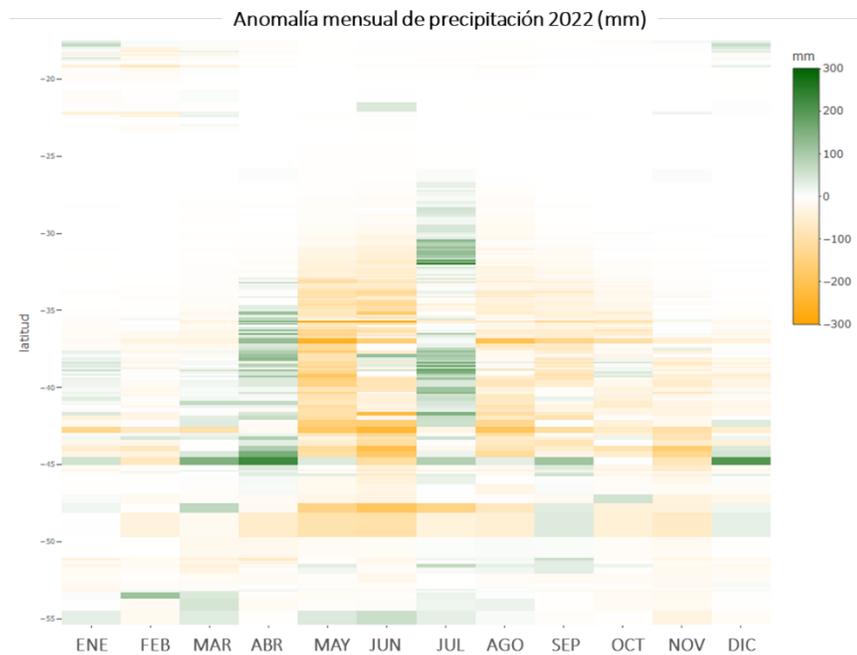


Figura 18. Anomalía mensual de precipitación (mm) año 2022 respecto al período climatológico 1981-2010. Color verde indica anomalías positivas y naranjos negativas.

Comparando los cambios decadales se aprecia que desde la década de 1981 al 90 hasta la última década del 2011 al 2022, ha disminuido considerablemente el aporte mensual de la precipitación, preferentemente, entre los meses de abril hasta noviembre (Fig. 19), y a diferencia de la temperatura la estación seca o el verano se mantiene dentro de los rangos normales a nivel nacional, sin embargo, no es representativo de los que sucede por regiones como se puede observar en la fig. 18.

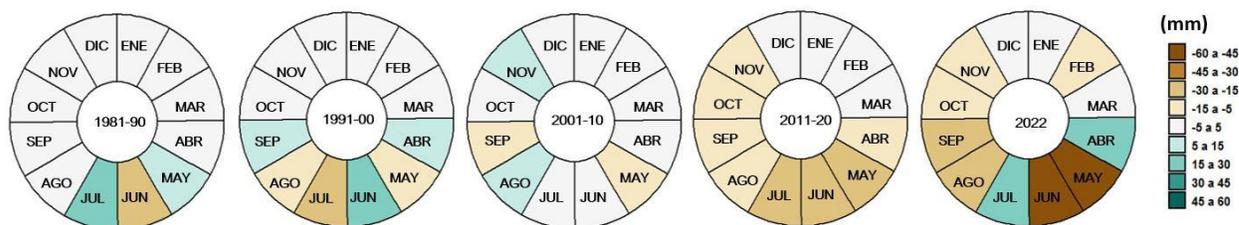


Fig.19: Diferencia mensual en mm comparado con el promedio 1981-2010, para las últimas 4 décadas y el año 2022. Colores verdes indican meses “más lluviosos que lo normal” y cafés “más secos que lo normal”.

## 3.2 TENDENCIAS DE LA PRECIPITACIÓN

Se mantienen las tendencias negativas observadas en los últimos años en la zona centro y sur en la escala anual, en promedio **-14 a -6 %/década**, respectivamente. Cabe destacar que, en la región de Antofagasta se observan tendencias positivas de 4 %/década (Fig. 20).

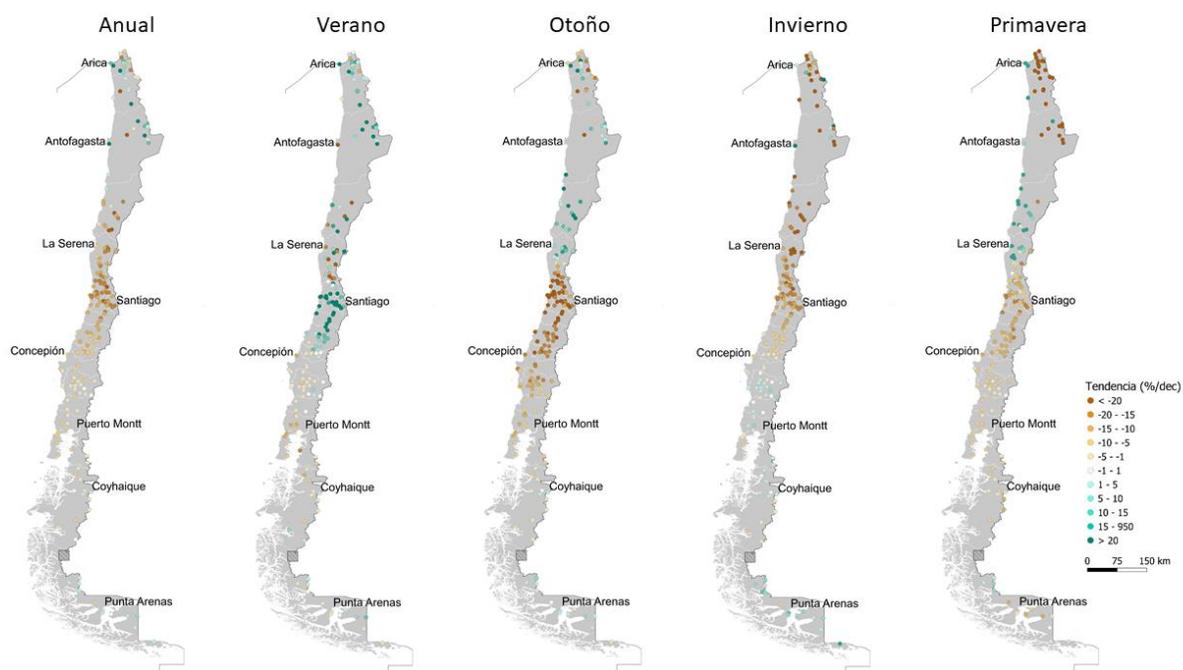


Fig. 20: Mapas con las tendencias en mm/década de la precipitación a) anual y b) estacionales. Círculos verdes azulados indican tendencias positivas es decir “tendencia ser más lluvioso” y cafés tendencias negativas “tendencia a ser más seco”.

A nivel estacional las disminuciones de precipitación ocurren entre otoño y primavera en la zona centro y sur, sin embargo, es de suma importancia destacar que en verano se observan tendencias positivas tanto en la zona altiplánica como en los valles de la zona centro-sur, esto debido a que pueden incidir en remociones en masa debido a la mayor temperatura con la que ocurre la precipitación.

## 4. Sequía

### 4.1 ÍNDICE COMBINADO DEL MONITOR DE SEQUÍA

A 16 años consecutivos con déficit de precipitación se convierte en el periodo más largo desde que se tiene registros, siendo la década 2011-2022 una de las más secas y cálidas (ver sección 1 y 2). Debido a la poca disponibilidad de datos, los índices de sequía se concentraban sólo en la precipitación, sin embargo, hoy es relevante incorporar otras variables, como la temperatura, vegetación, entre otras, para una mejor representación de la sequía.

Actualmente se utiliza el índice combinado del monitor de sequía, donde se observa que en el 2022 tanto otoño como invierno gran parte del país estuvo en categoría de *anormalmente seco*, a excepción de algunas localidades del sur de Coquimbo hasta la región del Maule que entraron a una condición de sequía *moderada* (Fig. 21). En primavera, sin embargo, se extendió el área de **sequía moderada a toda la zona sur y en la parte sur de la región de Magallanes**, pasando incluso en algunas localidades a *sequía severa*. Esta extensión se debió en gran parte a las altas temperaturas de noviembre y diciembre (sección 2.3). Al finalizar el año 2022, las zonas más afectadas por la sequía fueron entre la región de Coquimbo hasta la región de O'Higgins y la región de Magallanes, alcanzando una categoría de sequía *Moderada*, la razón principal fue, que, si bien el año terminó con un déficit nacional de un 22%, durante el año la temperatura estuvo más fría que el promedio en gran parte del territorio, lo que favoreció a que el índice bajara en categoría.

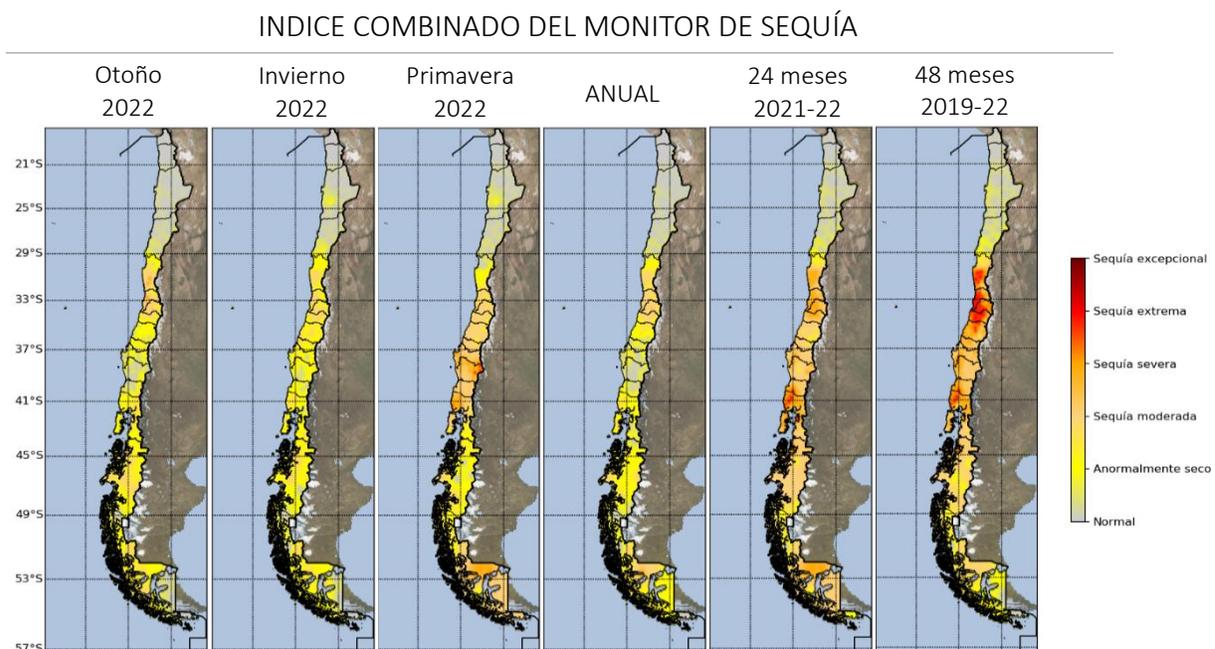


Fig. 21: Índice combinado de sequía para Chile. Los mapas muestran el índice de sequía compuesto a diferentes lapsos de tiempo. Colores más rojos indican mayor intensidad según la escala de categorías a la derecha.

La persistencia de la sequía a 24 meses muestra condiciones *severas* en la zona central y sur del país, donde se intensifican cuando se acumula el efecto negativo a cuatro años en la zona central llegando a *sequía extrema* (Fig. 21)

El comportamiento mensual del índice combinado de la sequía durante el 2022, fue en general mejor que el 2021 para la sequía. Después de un diciembre del 2021 con un gran porcentaje de área afectada por la sequía severa y moderada, los meses de verano y otoño del 2022 se mantuvieron en un promedio de un 20 % de área afectada por condiciones *anormalmente secas*, sin embargo, durante mayo y junio este porcentaje se incrementó hasta un 50% (Fig. 22), lo que va asociado con un déficit de precipitación producto del evento de La Niña.

Julio fue el único mes donde la mayor parte del país no tuvo afectación por la sequía, debido a eventos consecutivos de precipitaciones. Lamentablemente en los meses de primavera la sequía comienza a intensificarse, el mes más complejo fue noviembre con casi un 60% del territorio afectado por la sequía, donde un 21% corresponde a *anormalmente seco*, un 36% a *sequía moderada* y casi un 2% con *sequía severa*.

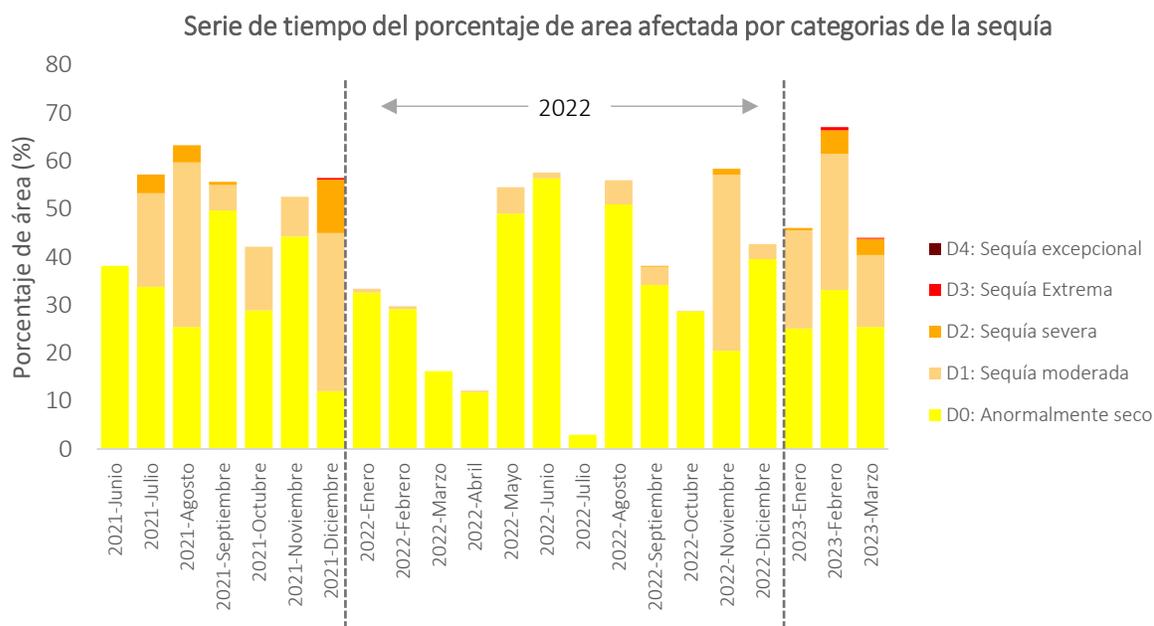


Fig. 22: Serie de tiempo mensual del porcentaje de área afectada por la sequía en categorías de intensidad según el índice combinado de sequía.

\*El índice combinado de sequía es una combinación estadística del índice estandarizado de precipitación (SPI), temperatura (STI), humedad de suelo (SSH), evapotranspiración (SPEI) y de vegetación (SNDVI) y se construye con datos observados y satelitales (mas información <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/index/menuTematicoMonitorSequia>)

## 4.2 ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI)

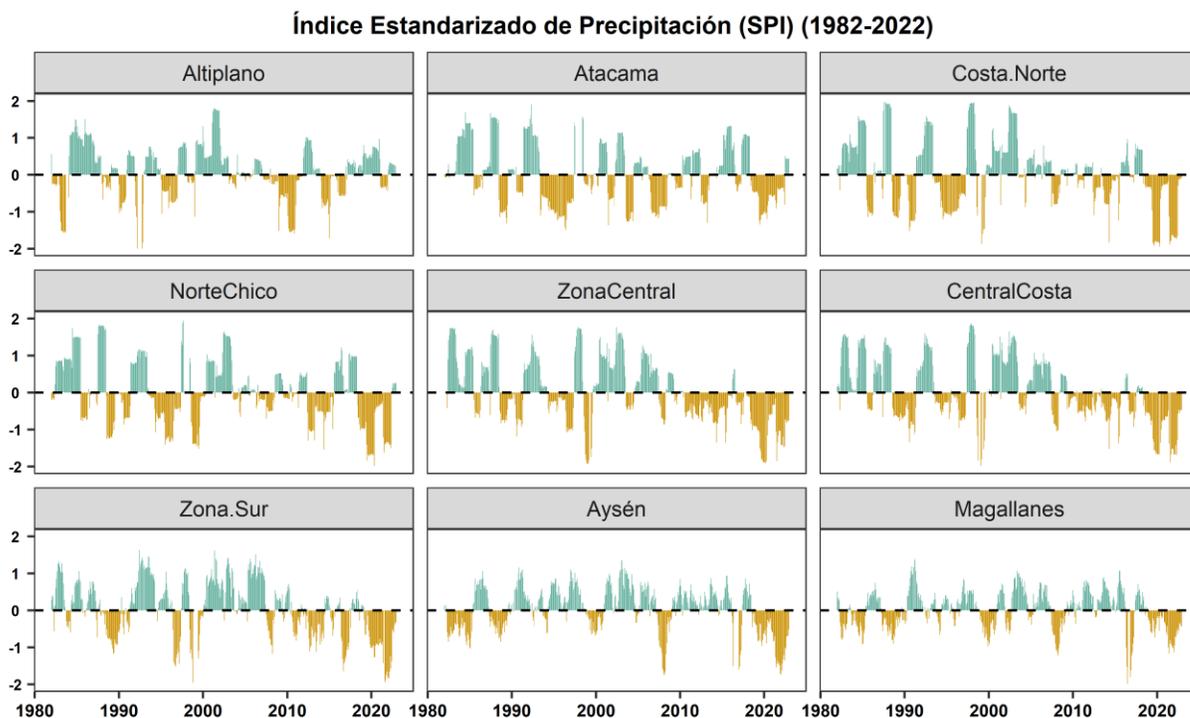
La evolución del índice estandarizado de la precipitación (SPI) como promedio según regiones climáticamente similares (Fig. 23), muestra consistencia en que la última década ha estado marcada por índices negativos del SPI (periodos sin o con poca precipitación según promedio 1981-1990) llegando hasta valores de 2 u.e en promedio.

Los sectores del Altiplano, Atacama y el Norte Chico, se observa un quiebre (2021-2022) del periodo seco. Por otro lado, la zona central tanto en valles como en la costa y la zona sur, continúa con la extensa sequía, donde a partir del 2007 no ha habido intermitencia en el índice y que durante el último quinquenio el SPI alcanza valores similares al año 1998 (Fig. 23). Lamentablemente, la sequía actual (en términos de la precipitación) no solo es extensa, sino que también es intensa.

La zona de la región de Aysén y Magallanes, también han sufrido con este periodo seco, si bien comenzó más tarde (2014) el periodo seco de 4 años no había ocurrido anteriormente desde que se tiene registro, y además el 2022 volvió a mostrar indicadores negativos del SPI, a excepción de la provincia de Tierra del Fuego.

Las regiones con un mayor porcentaje de comunas donde el SPI fue menor a -1 (sequía moderada a extrema) fueron: Ñuble, O'Higgins y Metropolitana sobre un 80%, Valparaíso, Aysén, Los Lagos y Biobío sobre un 67%.

Fig. 23: Evolución del índice SPI de 12 meses desde 1982-2022. Las zonas climáticas consideradas es el resultado del promedio de las estaciones climáticamente similares.



# 5. Índices de Cambio Climático

Los índices climáticos extremos (ICE) son una serie de indicadores que permiten evaluar cambios de largo plazo de eventos extremos climáticos definidos a partir de datos diarios de precipitación y temperatura. Proporciona excelente información para comparar a nivel nacional, global y con índices sectoriales. (ver descripción de los índices en anexo. 6.3).

## 5.1 Índices de temperatura

### Olas de Calor

Los eventos meteorológicos extremos como las olas de calor (OC) han aumentado durante el último siglo de manera significativa, producto del evidente aumento de la temperatura lo que representa un peligro para la salud de las personas, la agricultura y el medio ambiente.

Estos eventos se han hecho más frecuentes en gran parte del país. Particularmente, en la última década se han registrado temporadas de hasta 50 OC el año 2020-21 en la zona centro-sur con temperaturas máximas absolutas que oscilan entre los 30 y 37°C, mientras que en la zona austral se alcanzó un total de 49 olas de calor el año 2021-22, donde la temperatura más alta que se observó durante una OC fue de 33.6°C en la zona austral (Fig. 24).

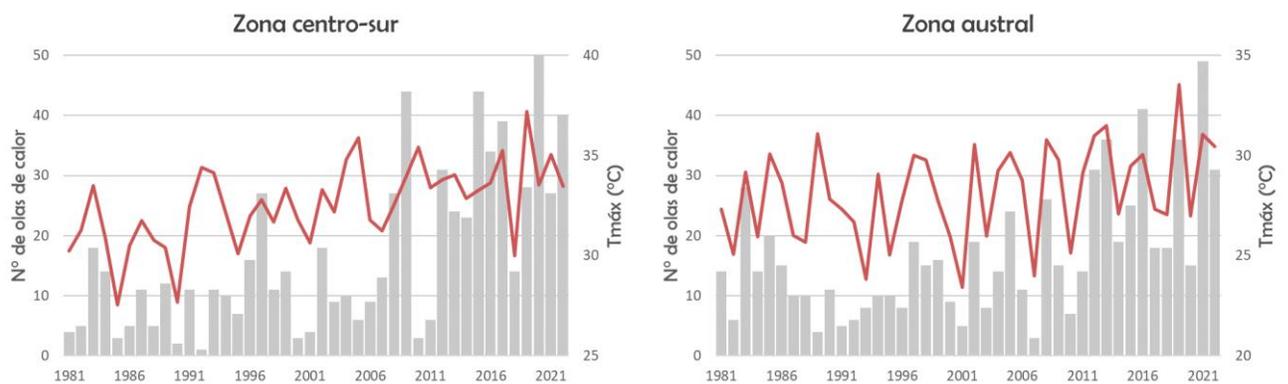


Fig. 24: Número de eventos de olas de calor por temporada (noviembre a marzo) desde 1981 hasta el 2022 en barras gris y temperatura máxima absoluta del total de eventos de olas de calor en línea roja para la zona centro-sur (Santiago, Curicó, Chillán, Concepción, Temuco, Valdivia, Osorno, Talca y Angol) y austral (Futaleufú, Alto Palena, Puerto Aysén, Coyhaique, Balmaceda, Chile Chico, Punta Arenas, Lord Cochrane y Puerto Williams).

La persistente sequía que se ha presentado en la última década, sumado al incremento de eventos de olas de calor, ha contribuido a la generación de incendios forestales de manera más frecuente, por ejemplo, durante el inicio de la temporada 2022 (los meses de noviembre y diciembre) se generaron diversos incendios en la zona central y sur del país (Conaf, 2022), en la que algunas estaciones como San Felipe, Santiago, Curicó y Puerto Williams presentaron incluso hasta 4 eventos de OC (Fig. 25).

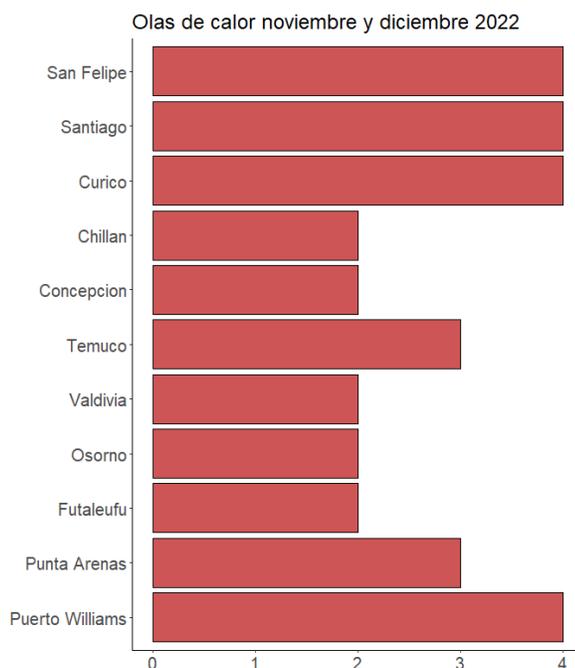


Fig. 25: Número de eventos de olas de calor para los meses de noviembre y diciembre 2022

El análisis general de los eventos de OC para el periodo 2022 muestra que las principales zonas afectadas fueron la zona sur y austral con 9 eventos en Chillán, 7 en Lord Cochrane, 6 en Temuco y Osorno y 5 en Valdivia, Futaleufú, Balmaceda y Alto Palena (Fig. 26).

En cuanto a las tendencias, estaciones como Curicó, Osorno, Temuco, Lord Cochrane, Calama, Chillán, Santiago y Valdivia muestran un incremento de al menos 1 evento de OC por década (Fig. 26). Por otra parte, estaciones costeras de la zona norte muestran una tendencia negativa de -0.8 y -0.4 en Iquique y Antofagasta, respectivamente. Misma condición se presenta en Ovalle con una disminución de 1 evento de OC por década. Cabe destacar que en estas 3 estaciones junto a Arica, La Serena, Valparaíso, Rodelillo y Punta Arenas no se registraron eventos de olas de calor durante la temporada 2021-2022, donde en general son estaciones costeras. En cuanto a las estaciones de Arica, Santo Domingo y Puerto Williams no muestran tendencia significativa (Fig.26).

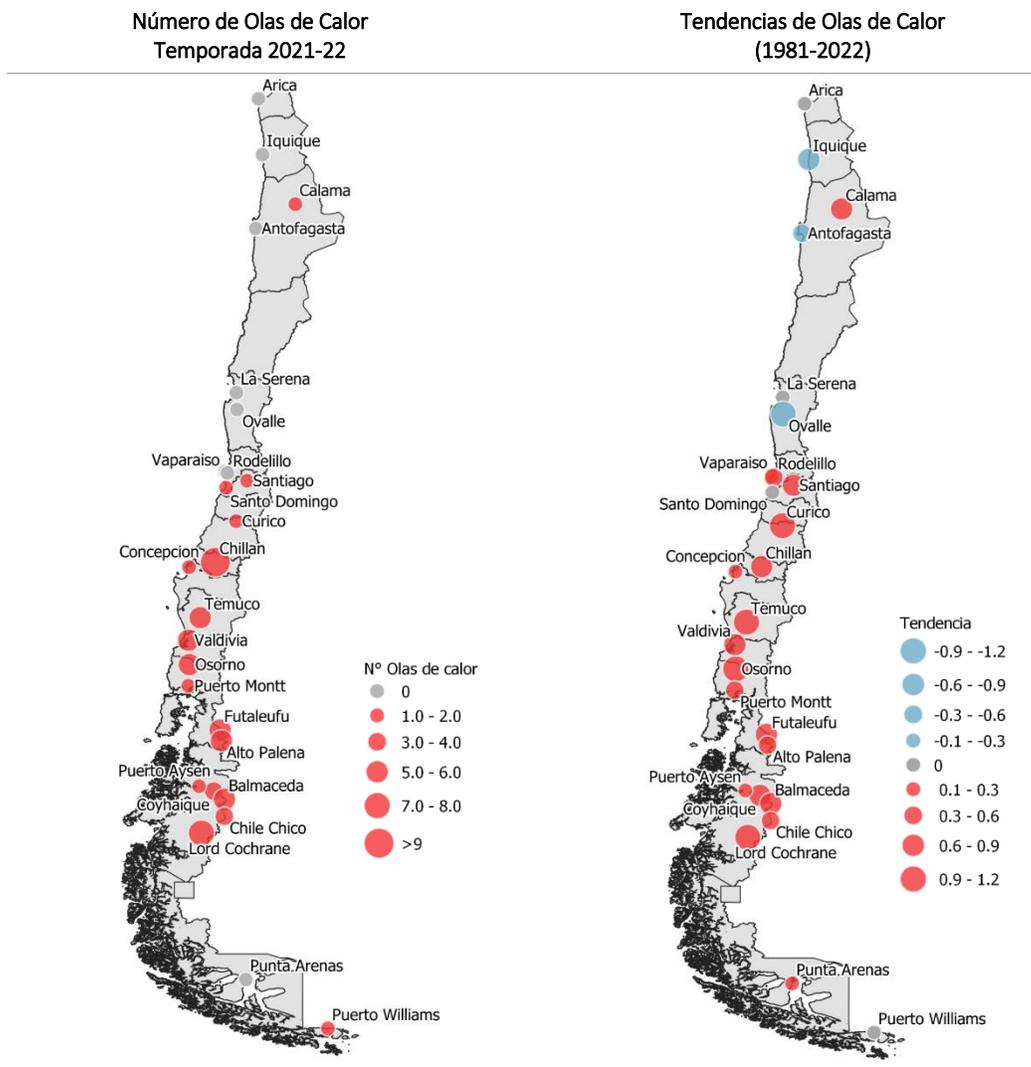


Fig. 26: Izquierda: mapa del número de olas de calor de la temporada 2021-2022 (noviembre 21 hasta marzo del 2022). Derecha: tendencia de olas de calor para el periodo 1981-2022. El tamaño de los círculos rojos (tendencia positiva) y celestes (tendencia negativa) es proporcional al valor de la tendencia.

### Días/noches cálidos (tx90p/tn90p) y días/noches frías (tx10p/tn10p)

En la zona norte costa, segundo año consecutivo que se observa un porcentaje de **días fríos** (TX10P), ampliamente mayor respecto a su valor medio (1981-2010), llegando a un 35% durante el 2022, siendo las ciudades de Arica y Antofagasta, las que presentaron mayor porcentaje de días fríos, del orden de 47% y 64%, respectivamente. Desde la zona centro a la zona austral, esta condición se revierte, presentándose en mayor cantidad los **días cálidos** (% de días en que la temperatura máxima supera el percentil 90%), destacando las ciudades de San Fernando con 27% y Talca con 29% (Fig. 27).

En cuanto a los índices relacionados con la temperatura mínima; el porcentaje de **noches frías** (TN10p), en la zona norte costa fue de un 12%, sobrepasando un 8% al registrado durante el 2021, mientras que las **noches cálidas** (TN90p), sólo alcanzaron un 3% durante el año recién pasado. Lo mismo ocurre en la zona sur y austral, superando en alrededor de un 3% la frecuencia de noches frías por sobre las noches cálidas durante el 2022. La zona centro, es la excepción al resto del país ya que las noches cálidas fueron ligeramente superiores a las noches frías, destacando las ciudades de San Felipe, Valparaíso y Talca como las con mayor frecuencia de noches cálidas (Fig. 27).

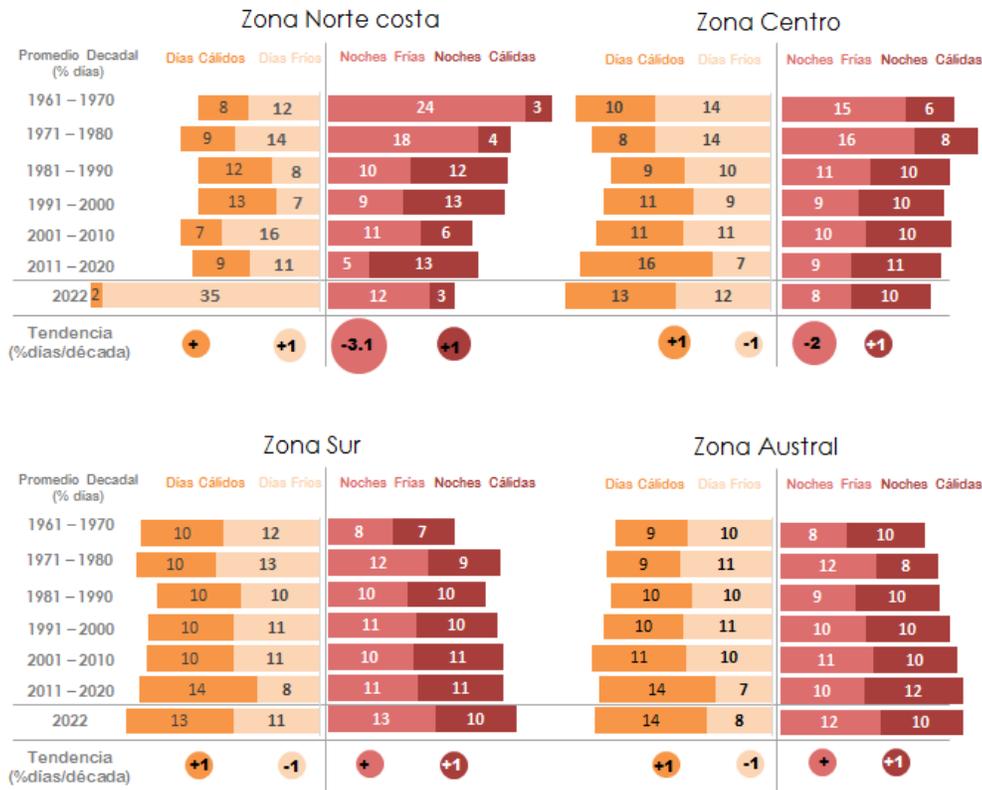


Fig. 27: Los gráficos muestran el promedio decadal de los indicadores de percentiles asociados a la temperatura, días cálidos (TX90p), días fríos (TX10p), noches frías (TN10p) y noches cálidas (TN90p) en unidades de % de días al año. Se muestra el valor promedio por zona del año 2022. En círculos se indica la tendencia en unidades de % días/década, donde el tamaño refleja el valor de la tendencia ya sea positiva o negativa.

## Índice Cruza cero (ZCI)

El índice cruza cero, cuenta el número de días en que la temperatura mínima es menor que cero y en que la temperatura máxima es mayor que cero. Esta condición podría ser perjudicial, por ejemplo, para los cultivos dependiendo de la estación del año en que ocurra, debido a que incide en el estado fenológico de las plantas. Algunas de las zonas que presentan tendencias significativas al incremento del ZCI son, San Felipe y Los Ángeles, de 4 a 5 días por década, respectivamente (Fig. 28), por lo tanto, es relevante monitorear este índice considerando que en la zona central hay grandes productoras frutales (duraznos, nueces, paltos, etc), y en el área de Los Ángeles podría incidir en la producción especialmente de trigo blanco y avena. (Odepa- INIA, 2007),

En las estaciones en altura (sobre los 2400 metros), representadas por Lagunitas y Embalse El Yeso, se observa una disminución de este indicador entre 1981 y el 2022, de 3 días por década. En este caso, la ocurrencia de estos eventos, podría incidir en el desplazamiento vial ya que el aumento de temperatura produce el derretimiento de la nieve dejando una capa resbalosa en la superficie dificultando (Fig. 28).

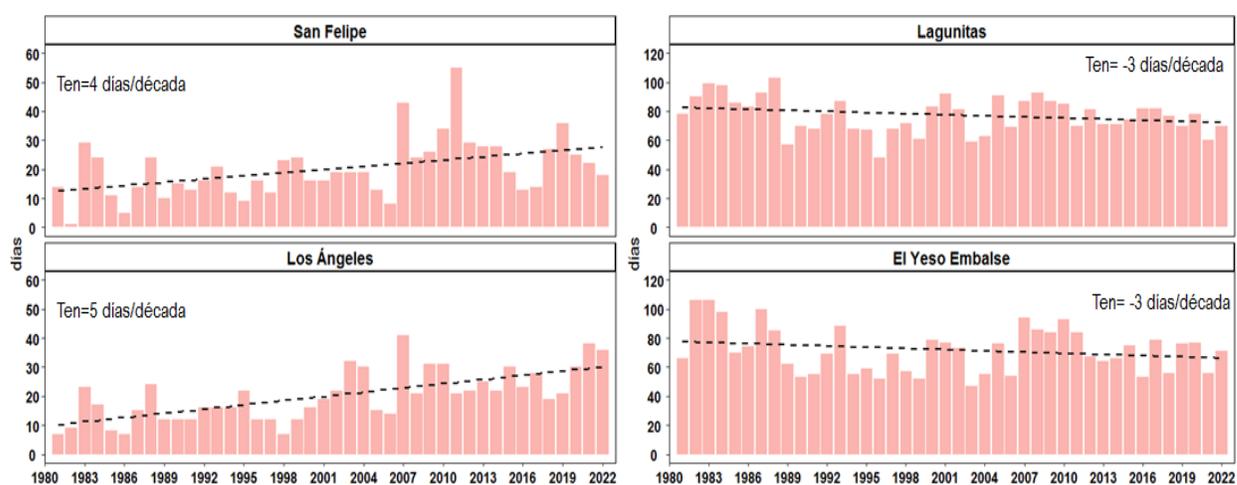


Fig. 28: Serie anual entre 1981-2022 del índice cruza cero (ZCI) en barras rojas y línea punteada negra indica la tendencia en las ciudades de San Felipe y Los Ángeles y en las estaciones en altura Lagunitas y Embalse El Yeso.

## Resumen de los Índices de Eventos Extremos de Temperatura

Los índices más relevantes del año 2022 fueron los días de verano (SU25: días con temperatura máxima sobre 25°C), donde en Talca hubo récord con 162 días (Tabla nro. 2). Asociados también a la temperatura máxima las olas de calor fueron récord en las ciudades de Chillán, Osorno y Lord Cochrane (Tabla 5).

Tabla 5: Índices climáticos de eventos extremos de temperatura.

ÍNDICES DE TEMPERATURA				
Índice	Localidad	2022	Normal	Afectación
% Días fríos (TX10p)	Castro	7.7	10.1	Menos días fríos desde la Región de Los Lagos hasta Magallanes.
	Coyhaique	8.8	10.3	
	Lord Cochrane	5.8	10.3	
	Punta Arenas	6.6	10.2	
% Días cálidos (TX90p)	Temuco	15.9	10.2	Más días cálidos desde la Región de la Araucanía hasta Magallanes.
	Valdivia	12.1	10.2	
	Lord Cochrane	15.1	10.4	
	Punta Arenas	17.8	10.4	
% Noches frías (TN10p)	Arica	16.2	10.2	Más noches frías
	Iquique	17	10.2	
	Antofagasta	13.7	10.1	
% Noches cálidas (TN90p)	Concepción	15.6	10.2	Más noches cálidas
	Los Ángeles	18.6	10.3	
Rango Diario de Temperatura (DTR) (°C)	Santiago	15.7	14.1	Aumento de la amplitud térmica entre la Región Metropolitana y la Región de Ñuble.
	Curicó	13	12.3	
	Chillán	14	13.1	
Días de Verano (SU25)	Talca	162	126	Récord de días con temperatura sobre 25°C
Días de verano (SU30)	Santiago	79	55	Más días con temperaturas sobre 30°C entre la Región Metropolitana y la Región de Aysén.
	Curicó	70	40	
	Futaleufú	12	4	
	Chile Chico	6	3	
Días con Heladas (FDO)	Valdivia	59	29	Más eventos fríos
	Futaleufú	70	49	
	Balmaceda	118	103	
	Curicó	7	12	Más cálido
Período cálido (WSDI) (días)	Chile Chico	8	1	Períodos cálidos más extensos
	Lord Cochrane	7	2	
	Punta Arenas	6	1	
N° de eventos de Olas de calor	Chillán	9	1	Récord de eventos de olas de calor
	Osorno	6	1	
	Lord Cochrane	7	1	

## 5.2 Índices de precipitación

### Índice de Aridez de Martonne (MAI)

Este indicador numérico determina el tipo de clima de una localidad en base a la relación entre precipitación y temperatura media en una región específica. Se utiliza para delimitar y ubicar regiones que sufren un déficit de agua importante, condición que podría afectar el uso de la tierra para actividades como la agricultura o la ganadería.

Para una primera evaluación del Índice de Aridez de Martonne se calculó para todo Chile, pero, para este informe se consideró analizar desde la Región de Coquimbo hasta Magallanes, debido a que en el norte el régimen climático es árido y no ha cambiado significativamente. Los resultados indican clima con características áridas en la ciudad de La Serena donde no se han presentado cambios significativos, sin embargo, en Valparaíso y Santiago, por ejemplo, el índice disminuye y llega a un clima semi-árido y árido, respectivamente.

Las regiones de El Maule, Ñuble y Biobío, el cambio de clima según este índice es significativo, pasando de un clima semi-húmedo a semi árido en el caso de Curicó, y de húmedo a semi-húmedo en Chillán y Concepción. Las tendencias negativas (1981-2022) reflejan que el clima se ha vuelto menos húmedo en el transcurso del tiempo (Tabla 5).

Tabla 5: Clasificación del Índice de Aridez de Martonne (MAI). Los colores corresponden al valor del indicador; árido <10, semi-árido 10-20, mediterráneo 20-24, semi-húmedo 24-35 y húmedo >35.

Ciudades	Promedio climatológico 1981-2010	Última década 2013-2022	Valor más bajo	Año del valor más bajo	Tendencia
La Serena	3.6	2.6	0.2	1979	-0.3
Valparaíso	16.2	10.7	3.3	2019	-2.1
Santiago	13.4	7.0	2.7	1968	-2.3
Curicó	26.7	17.4	6.4	2019	-3.4
Chillán	44.6	29.8	19.8	1998	-6.3
Concepción	47.3	32.3	23.9	2021	-4.8
Temuco	52.5	42.6	27.5	1998	-2.8
Puerto Montt	77.9	64.7	43.9	2021	-4.4
Coyhaique	53.4	49.9	27.3	2016	0.7
Punta Arenas	24.9	17.9	11.4	2022	-1.9
Rapa Nui	39.8	28.4	19.4	2022	-3.6
Jn Fernández	24.9	34.4	25.4	2019	-2.2



árido
  semi-árido
  mediterráneo
  semi-húmedo
  húmedo

Al evaluar el índice en varias ciudades (Fig. 29), queda en evidencia este cambio hacia un clima más cálido y seco, con valores cada vez menores en el MAI, especialmente en la zona central, condición que se ha intensificado a partir del 2017. En la zona sur, a comienzos de la década de los 80', el indicador MAI se encuentra en la categoría "húmedo" en ciudades como Chillán, Concepción y Los Ángeles, sin embargo, a partir del 2010, se ha observado menos húmedo e incluso durante el 2021 alcanzó valores de clima "mediterráneo" y "semi-árido" en esas ciudades. Mas al sur, en ciudades como Valdivia, Osorno y Puerto Montt el clima se clasifica "húmedo", a excepción de Osorno en 2021 en que el clima adquiere la característica de semi-húmedo, producto del déficit de precipitación que durante ese año llegó a un 40%.

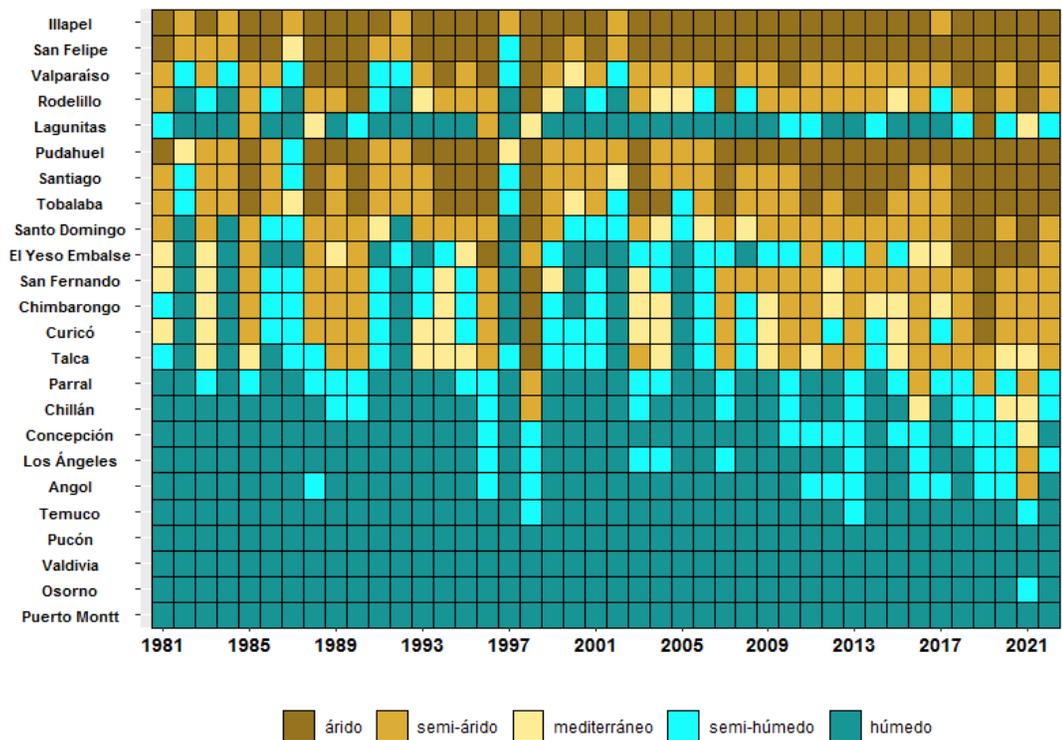


Fig. 29: Serie anual del Índice de Martonne (MAI) entre 1981-2022, desde la ciudad de Illapel hasta Puerto Montt. Los colores corresponden al valor del indicador asociado a las categorías de árido, semi-árido, mediterráneo, semi-húmedo y húmedo.

### Índice de Concentración de Precipitación (PCI)

Se utiliza para evaluar la homogeneidad en la distribución de la precipitación a escala mensual. Esto es, si una estación meteorológica tiene la misma precipitación promedio todos los meses, la precipitación sería uniforme u homogénea (valores bajos de PCI). Por el contrario, si la precipitación anual se concentra sólo en unos pocos meses, la distribución de la precipitación sería irregular (valores altos de PCI).

En general, la distribución de la precipitación es diferente a lo largo de Chile, con escasa precipitación en la zona norte y aumento hacia la zona sur, a su vez se observan valores altos de PCI, desde la región de Arica y Parinacota hasta la región Metropolitana, esto es coherente con que aparte de su estacionalidad, los eventos son muy poco frecuentes en la zona norte. En la zona central, en cambio, el alto PCI se debe principalmente a la estacionalidad (Fig. 30 a). Hacia el sur, el valor del PCI disminuye, ya que se registran precipitaciones durante todo el año, por lo tanto, se obtiene una concentración de la precipitación más homogénea. Tanto en Isla de Pascua como en el archipiélago Juan Fernández, el índice de concentración de la precipitación es moderadamente homogéneo, indicando que existe una distribución estacional en la precipitación.

La utilidad del PCI, se puede observar en la descripción del 2022 (Fig. 30 b). El PCI fue alto en la zona norte producto de eventos puntuales de precipitación que ocurrieron en Arica, Putre y Antofagasta, demostrando la irregularidad en la concentración anual de la precipitación. La excepción en la zona norte fue Iquique, en que el PCI fue bajo (circulo amarillo), debido a que en esta ciudad no hubo registro de precipitación durante el 2022. En la zona centro sur, el PCI muestra una distribución moderada e irregular de la precipitación, producto de que las lluvias se concentraron durante los meses de abril a octubre indicando la fuerte componente estacional de las lluvias en esa zona. Sobre los 40 °S, el PCI fue bajo (menor a 10) en ciudades como Osorno, Valdivia y Temuco, indicando que la concentración anual de la precipitación fue homogénea, precipitando de manera pareja durante el año.

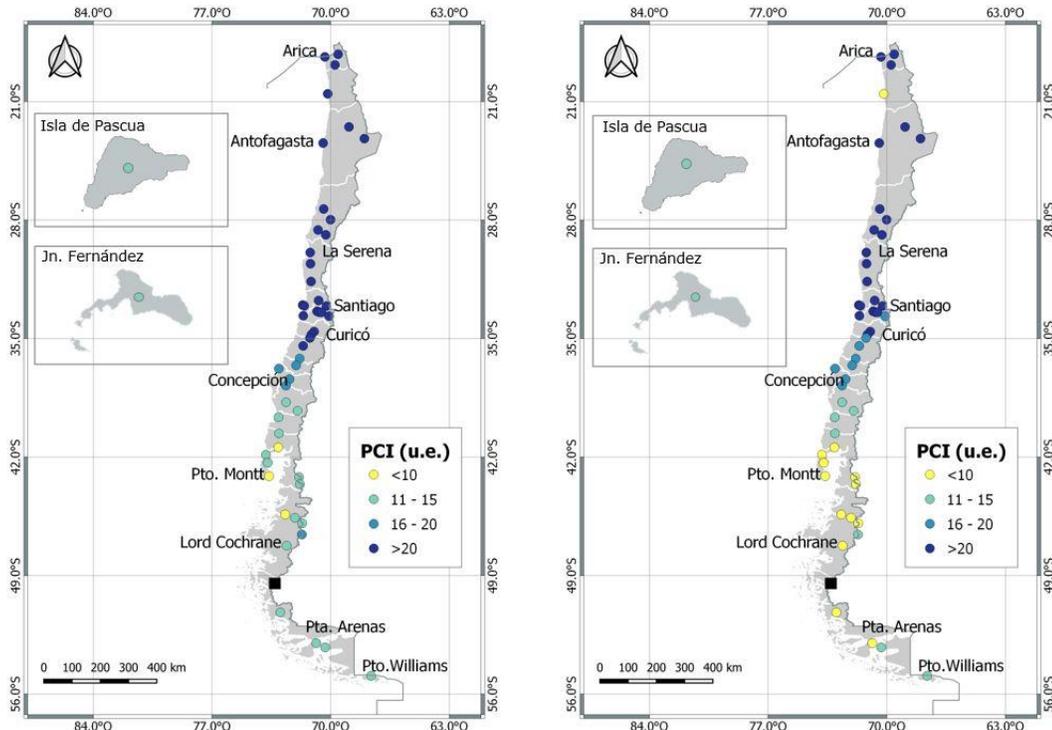


Fig. 30: Panel izquierdo: Índice de Concentración de Precipitación (PCI) en el período climatológico 1981-2010, Panel derecho: PCI durante el 2022. Los círculos de colores indican el valor del PCI; < 10 Distribución uniforme

u homogénea de la concentración de precipitación mensual, 11-15 distribución moderada de la precipitación, 16-20 distribución irregular, >20 Altamente irregular la distribución mensual de la precipitación.

## Resumen de los Índices de Eventos Extremos de Precipitación

Durante el 2022, hubo menos días con precipitación en todo Chile. Sin embargo, en la región de Coquimbo se desarrollaron 2 eventos de precipitación extrema durante julio que dejaron a la ciudad de La Serena con precipitación sobre lo normal durante este año. Por el contrario, Rapa Nui se registró como el año más seco desde 1961, además los eventos de precipitación que hubo durante este año fueron menos intensos que en años anteriores.

Tabla 6: Índices climáticos de eventos extremos de precipitación

ÍNDICES DE PRECIPITACIÓN				
Índice	Localidad	2022	Normal	Afectación
Precipitación anual (sobre 1 mm)	La Serena	85	84	Sólo en estas localidades se registró precipitación sobre lo normal durante el 2022.
	Ovalle	140.8	102	
	Porvenir	366.7	252	
	Pto. Williams	546.7	448	
	Valparaíso	283.1	397	Más seco desde la Región de Valparaíso hasta la Región de Magallanes.
	Concepción	671	1052	
	Valdivia	1351	1733	
	Punta Arenas	162.8	381	Isla de Pascua se registró como el año más seco desde 1961.
Rapa Nui	558.5	1199		
Días con precipitación sobre 1 mm (R1mm)	La Serena	7	8	Menos días con lluvia en todo Chile
	Santiago	18	27	
	Curicó	33	44	
	Puerto Montt	165	173	
	Punta Arenas	58	86	
Días con precipitación sobre 20 mm (R20mm)	La Serena	2	1	Mas días con lluvia extrema sólo en estas localidades
	Ovalle	2	1	
	Angol	25	17	
	Coyhaique	14	10	Segundo récord en días con menos lluvia extrema.
	Rapa Nui	5	16	
Precipitación máxima en 1 día (RX1day)	La Serena	43.6	32.2	Mayor intensidad de precipitación sólo en estas localidades.
	Ovalle	70.5	32.4	
	Coyhaique	54.2	51.2	
	Balmaceda	45.5	39.8	
Intensidad de la precipitación (SDII) (mm/día)	Isla de Pascua	5	9.5	Récord de precipitaciones menos intensas durante el 2022.
	La Serena	12.1	11	Más intensas
	Ovalle	17.6	10.3	

## 6. Registros en territorio insular y estaciones antárticas

### 6.1 Estaciones Antárticas

#### TEMPERATURA

Las tres estaciones ubicadas en las bases antárticas presentaron anomalías positivas de temperatura media desde 0.4°C en la estación Eduardo Frei Montalva, hasta 1.6°C en la estación Arturo Prat. La estación **Arturo Prat registró el año más cálido**, superando al récord obtenido en el 2021, con una temperatura media de -0.5°C, presentando una anomalía de 1.6°C en relación al promedio climatológico 1981-2010. Su temperatura mínima (de -2.2°C) y temperatura máxima (de 1.3°C) superaron los valores obtenidos en el 2021, con anomalías de 1.8°C y 1.5°C respectivamente (Fig.31). Esta estación es la que presenta las mayores tendencias, a pesar de su falta de datos, se puede observar el continuo aumento de la temperatura, tanto la máxima, como la mínima presentan una tendencia de 0.3°C/década.

En la base Bernardo O'Higgins, también se registró el **año más cálido desde 1989** donde la temperatura media fue de -2.2°C (+ 1.3°C). **La temperatura mínima fue récord cálido**, con un promedio de -4°C (+1.5°C con respecto a lo normal) y con una tendencia de 0.3°C/década. En relación a la temperatura máxima, esta fue de -0.3°C, ubicándose en el tercer año con mayor temperatura máxima, presentando una anomalía de 1.1°C con respecto al promedio normal (Fig. 31). En la estación Eduardo Frei se observa un valor de temperatura media de -1.8°C con anomalía de 0.4°C y de temperatura mínima de -3.2°C con anomalía de 0.8°C en relación al promedio climatológico utilizado (Fig. 31), estos valores no son tan pronunciados como en las estaciones O'Higgins y Prat. La temperatura máxima fue de -0.3°C, al igual que el promedio normal, y no presenta tendencia significativa, pero si la temperatura mínima crece a una razón de 0.2°C por década.

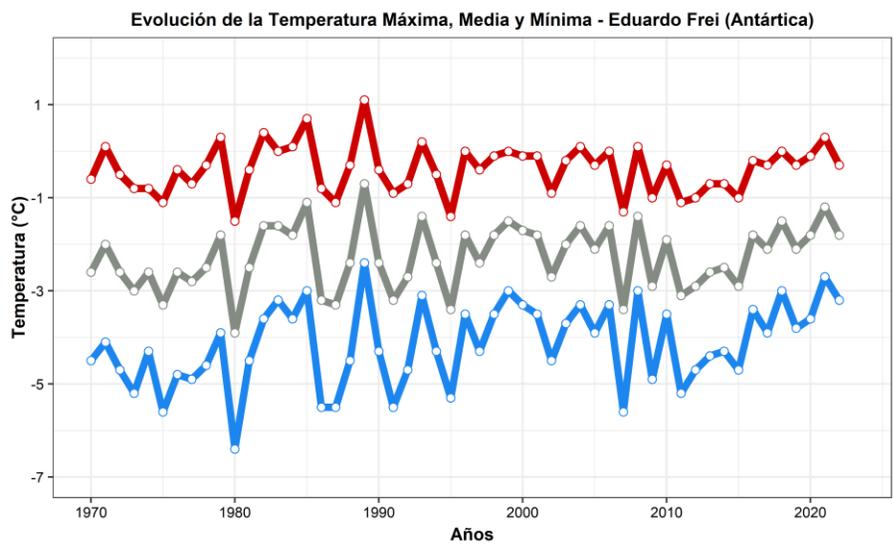
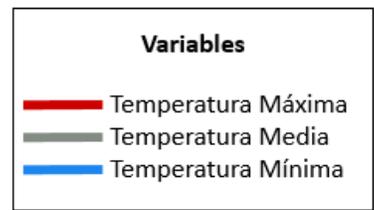
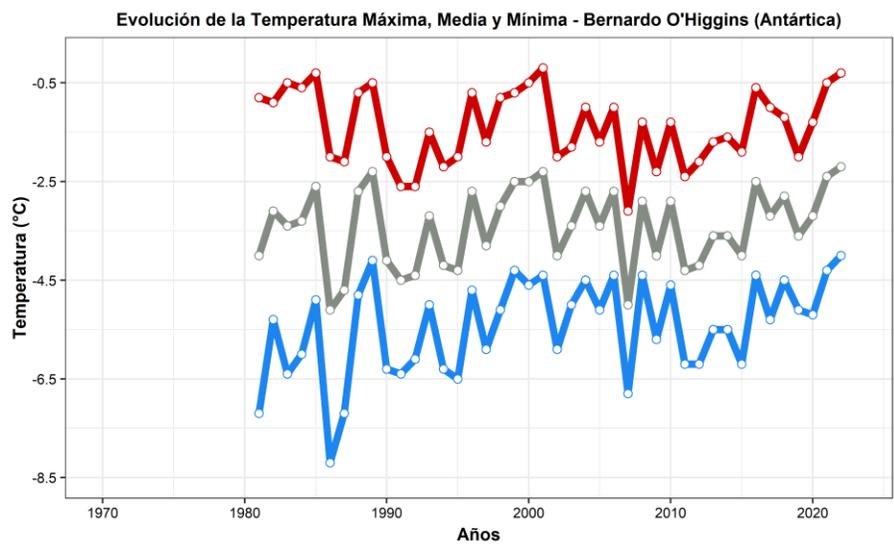
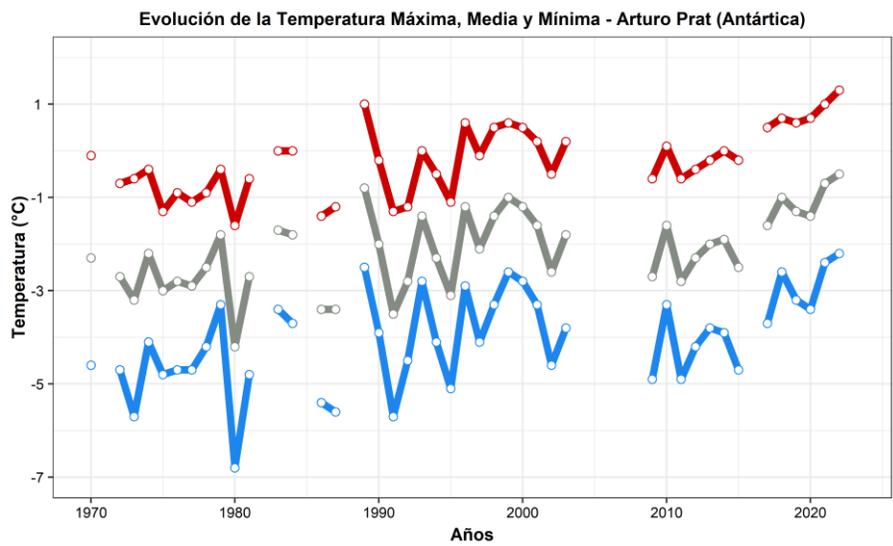


Fig. 31: Evolución de la temperatura máxima (roja), media(gris) y mínima (azul) de las estaciones ubicadas en la Península Antártica.

## PRECIPITACIÓN

Respecto a la precipitación, cabe destacar que es difícil hacer un análisis estadístico, debido a que las mediciones de las distintas bases en las primeras décadas de observación contienen discrepancias, por ejemplo, en la suma de la cantidad de agua que proviene de nieve y líquida, en muchos años la cantidad de precipitación anual es duplicada. Por esta razón, se informa del último quinquenio en la tabla 4 el total anual en las bases O'Higgins y Frei, que durante el 2022 fue levemente inferior que el año anterior, sin embargo, en la Base Arturo Prat, la disminución fue de casi 140 mm.

Tabla Nro. 4: Precipitación total anual de las estaciones ubicadas en las bases antárticas. (\*: valor dudoso).

PRECIPITACIÓN ESTACIONES ANTÁRTICAS TOTAL ANUAL (mm)			
Año	B.A. Arturo Prat	B.A. Bdo O'Higgins	B.A. Edo. Frei
2018	609.4	546.8	634.9
2019	608.3	628.0	641.7
2020	1067.9*	730.5	851.1
2021	716.5	769.6	440.2
2022	578.3	754.0	420.8

## 6.2 Estaciones Insulares

### RAPA NUI

La temperatura media fue de 20.8°C, con una anomalía de -0.1°C en relación al promedio climatológico 1981-2010, siendo el tercer año consecutivo con mayores anomalías negativas. Este promedio más bajo es producto de la temperatura mínima, donde durante este año 2022 fue de 17.3 °C con -0.6°C de diferencia respecto a su promedio. En cambio, en la temperatura máxima, el promedio estuvo sobre lo normal en 0.4°C llegando a 24.2°C, igual al año 2021 (Fig. 32).

En relación a la precipitación del 2022, **el déficit de precipitación alcanzó un 51.4%, alcanzando el récord del año más seco** desde el año 1967, con un monto acumulado de 596.6 mm, presentando una anomalía de -631.6 mm en relación al promedio climatológico 1981-2010, que corresponde a 1228.2 mm (Fig. 32). En 2022 se cumplen 13 años consecutivos secos desde el 2010, donde la tendencia alcanza **-68.1 mm/dec** para el periodo 1971-2022, lo que equivale a un 6% menos de precipitación cada 10 años.

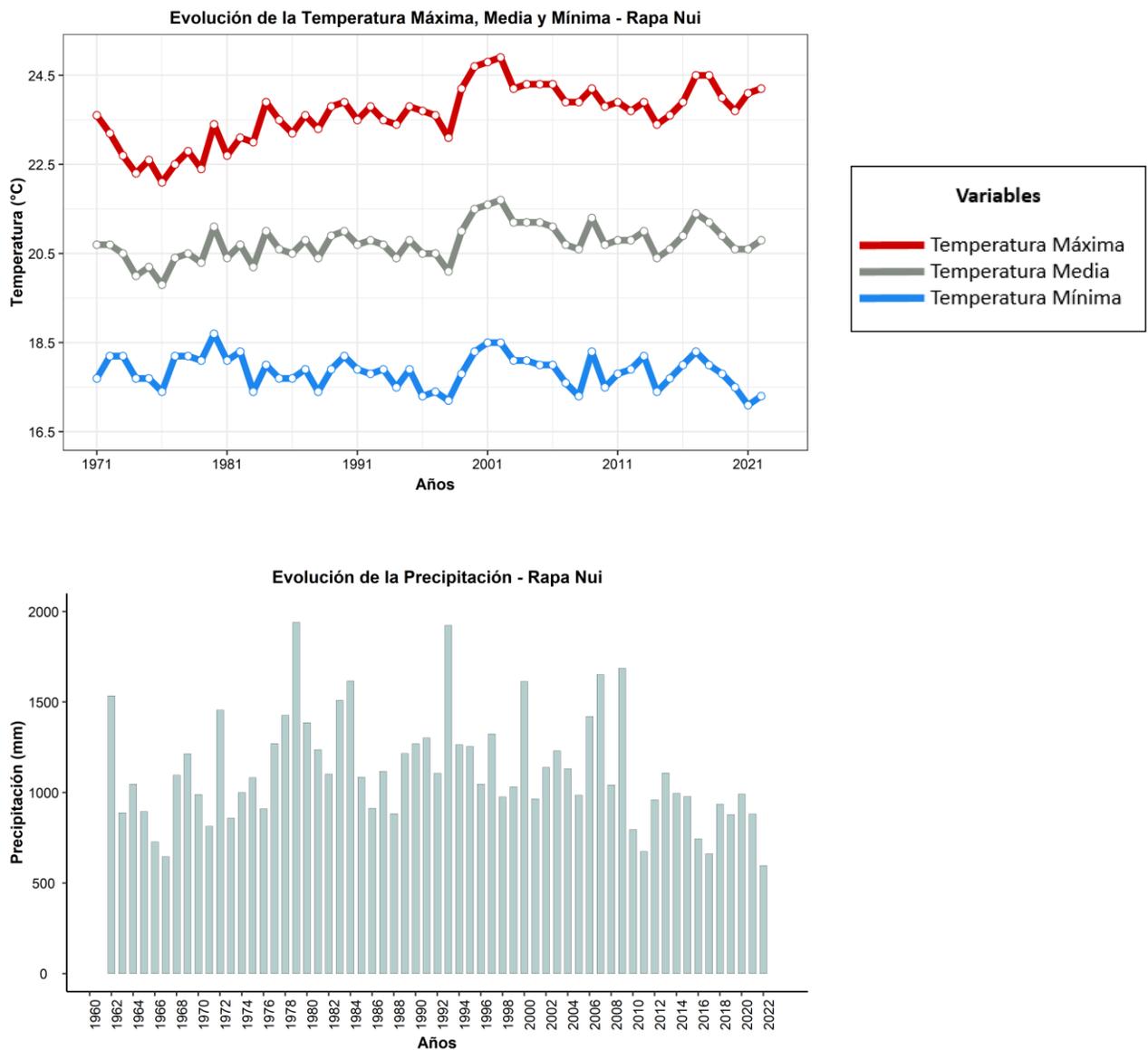


Fig. 32: Panel superior: Evolución de la temperatura máxima (roja), media (gris) y mínima (azul) y panel inferior precipitación total anual de la estación ubicada en Rapa Nui (aeropuerto).

## JUAN FERNÁNDEZ

La temperatura media del 2022 fue de 15.1°C, con anomalía de -0.5°C con respecto al promedio climatológico 1981-2010, siendo el **7to año más frío desde 1961**. Los últimos 5 años han sido consecutivamente más fríos que el promedio, sobre todo en la temperatura mínima. Tanto la temperatura mínima como la temperatura máxima presentan anomalías negativas de -0.6°C y -0.3°C, respectivamente.

Para el año 2022, en la estación Juan Fernández, el total de precipitación fue de 869.4 mm, con un déficit de 17%, encontrándose bajo el promedio 1981-2010, que corresponde a 1045.6 mm y

ubicándose en el 19vo año más seco. La tendencia de los valores anuales es de  $-44.7 \text{ mm/dec}$  durante el periodo 1961-2022 (Fig. 33).

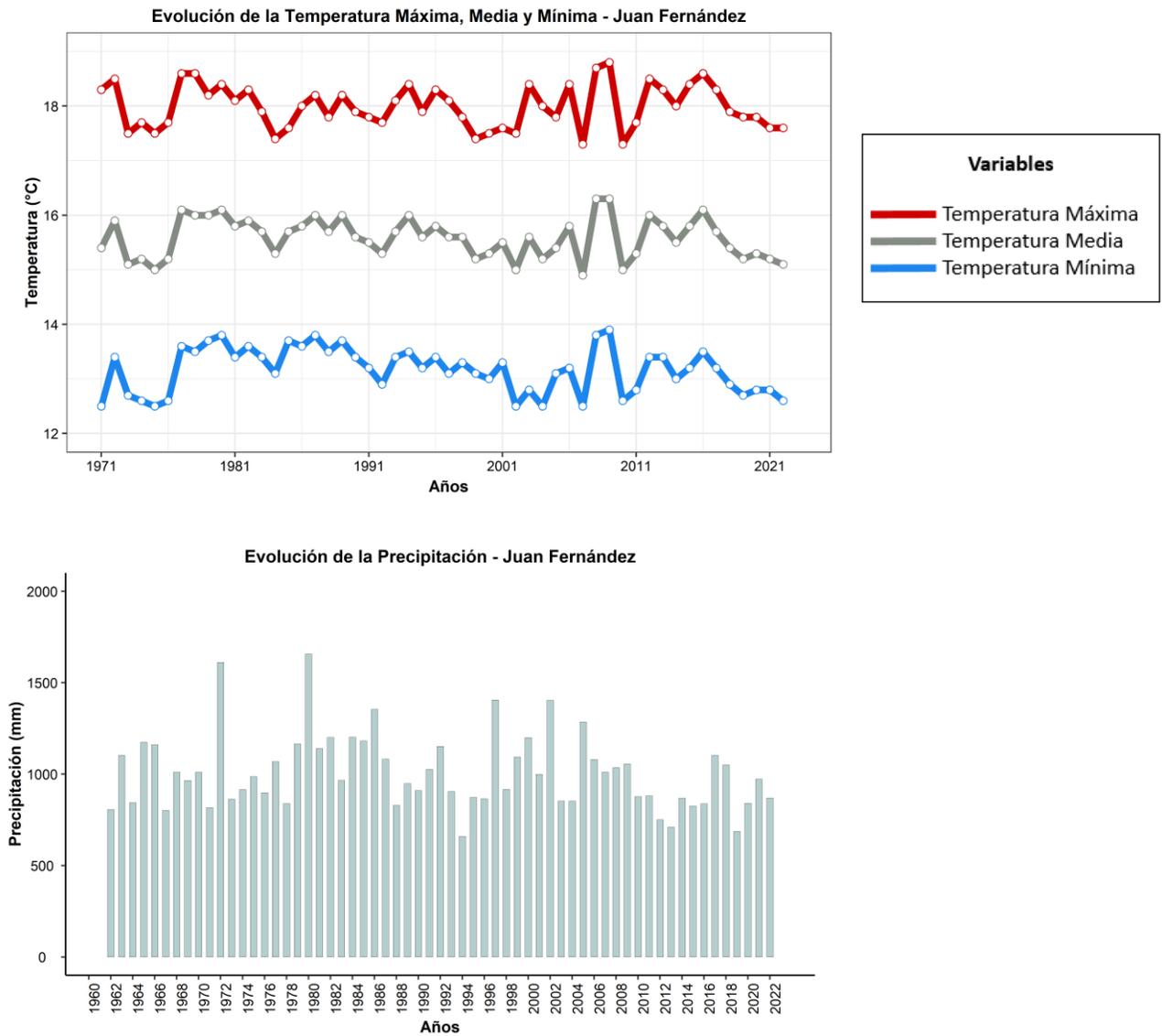


Fig. 33: Panel superior: Evolución de la temperatura máxima (roja), media (gris) y mínima (azul) y panel inferior precipitación total anual de la estación ubicada en Archipiélago Juan Fernández (aeródromo).

## 7. Santiago Estación Centenaria

En esta sección nueva mostramos los registros rescatados de la estación meteorológica Quinta Normal – Santiago la más antigua de Chile y de América latina y una de las 60 más antiguas del mundo. Es una estación creada en 1857 y ubicada siempre en el mismo lugar, por este motivo es importante rescatar su historia como una señal válida de cómo ha ido cambiando el clima en este sector, sobre todo por la urbanización y cambio climático. Sin embargo, los registros continuos comienzan en 1914 para la temperatura y en 1866 para la precipitación.



Observatorio que se traslada a Agricultura Quinta Normal, 1857



Dirección Meteorológica de Chile, 2023

### TEMPERATURA

- La temperatura media de Santiago fue de 15.97°C el año 2022 siendo más cálido que el promedio de 109 años en +0.6 °C y se posiciona en el lugar 19 del ranking y corresponde al 17% de los años más cálidos (Fig. 34).
- El año 2015 y 2016 siguen siendo los más cálidos con una anomalía de 1.3°C, donde 9 de los 10 años más cálidos se presentan en las últimas dos décadas.
- La tendencia de la estación Quinta Normal es de +0.14°C/década desde 1914 al 2022 (109 años). La temperatura mínima aumenta a una razón de +0.12°C/década, mientras que la máxima aumenta en +0.16°C/década. La estación del año que más aumenta de temperatura es la primavera con una tendencia de +0.21°C/década.

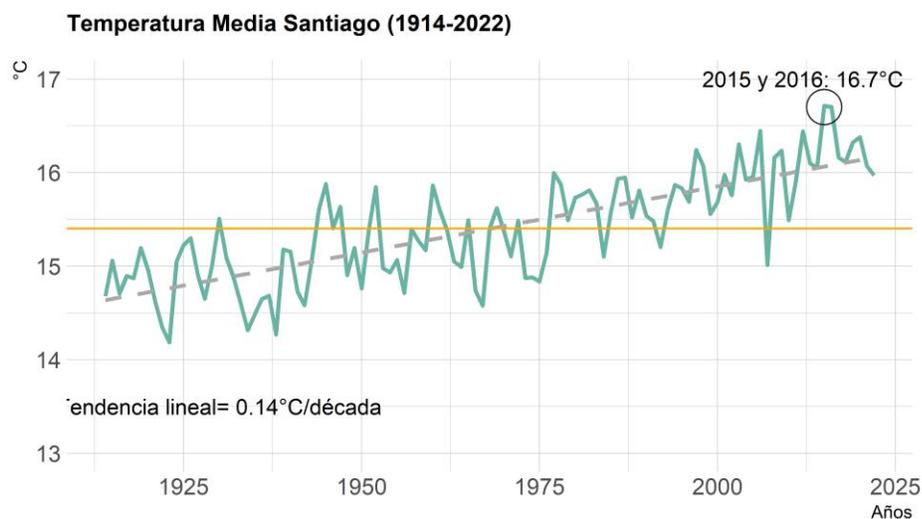


Fig. 34: Evolución de la temperatura media en la estación de Quinta Normal- Santiago desde 1914-2022. La línea amarilla corresponde al promedio de este periodo de tiempo y la línea segmentada es la tendencia lineal.

## PRECIPITACIÓN

La serie de tiempo de la precipitación mensual comienza en este reporte en 1866 hasta el 2022 (157 años). Esta larga serie de datos proporciona una fuente de información invaluable, para conocer el comportamiento de los regímenes de precipitación y sus extremos, donde hoy en día es relevante considerar, por ejemplo, en la planificación urbana, obras públicas, agricultura entre otros, donde si bien, la señal de cambio climático es importante, las fluctuaciones de los regímenes también juegan un rol fundamental para la toma de decisiones. Así, como se aprecia en la tabla con una serie de 157 años (1866-2022) el promedio climatológico de 30 años cambia y, por lo tanto, también cambia la interpretación estadística dependiendo del periodo considerado. En esta sección se considerará el promedio de toda la serie.

Rango climatológico	Promedio (mm)	2022	
		Déficit (mm)	Déficit (%)
1961-1990	314.9	-153.9	-48.9
1981-2010	341.8	-180.8	-52.9
1991-2020	286.2	-125.2	-43.8
1866-2022	329.8	-168.8	-51.2

- El promedio de Quinta Normal en 157 años de la precipitación total anual es de 329.8 mm, y el año 2022 finaliza con un déficit de 169 mm que corresponde a un 51%, quedando en el puesto 15 y está dentro del 10% de los años más secos (tabla 6).

- De los 10 años más secos, 3 corresponden a la última década, donde el 2019 ocupa el lugar 3 y el 2021 el quinto lugar. Otros años secos están dominados por eventos de La Niña, como en 1998, 1988, 2011. Respecto a los más lluviosos, primero destacar que no hay a partir de los 2000 en adelante, estos están en concordancia con de evento El Niño, como 1987, 1997 (el índice ONI comienza en 1950). [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php).

Tabla 6: Ranking de los 10 años más lluviosos y más secos de la estación Quinta Normal, con su respectivo déficit/superávit.

10 AÑOS MÁS SECOS					10 AÑOS MÁS LLUVIOSOS			
Ranking	Año	Total Anual (mm)	Diferencia (mm)	Déficit (%)	Año	Total Anual (mm)	Diferencia (mm)	Superávit (%)
1°	1968	64.6	-265.2	-80	1900	820.0	490.2	149
2°	1924	66.3	-263.5	-80	1899	773.0	443.2	134
3°	2019	82.0	-247.8	-75	1926	760.8	431.0	131
4°	1998	89.3	-240.5	-73	1987	712.1	382.3	116
5°	2021	113.9	-215.9	-65	1997	709.3	379.5	115
6°	1892	123.0	-206.8	-63	1888	693.0	363.2	110
7°	1886	126.0	-203.8	-62	1904	687.0	357.2	108
8°	1946	127.3	-202.5	-61	1914	680.5	350.7	106
9°	1988	139.6	-190.2	-58	1941	671.9	342.1	104
10°	2011	147.5	-182.3	-55	1880	653.0	323.2	98
15°	2022	161	-168.8	-51				

- La tendencia de la precipitación en 157 años es de -7 mm por década (-2%/dec) y esta se incrementa si se consideran los últimos 62 años (1961-2022) a -16 mm por década (-5%/dec) y en los últimos 30 años (1993-2022) asciende drásticamente a casi -70 mm/década siendo una tendencia porcentual de 21% por década (Fig. 35).
- Se han completado 14 años consecutivos secos, donde el déficit promedio de este periodo es de 135 mm y corresponde a un 41% menos de precipitación.

## Precipitación Total Anual Santiago (mm)

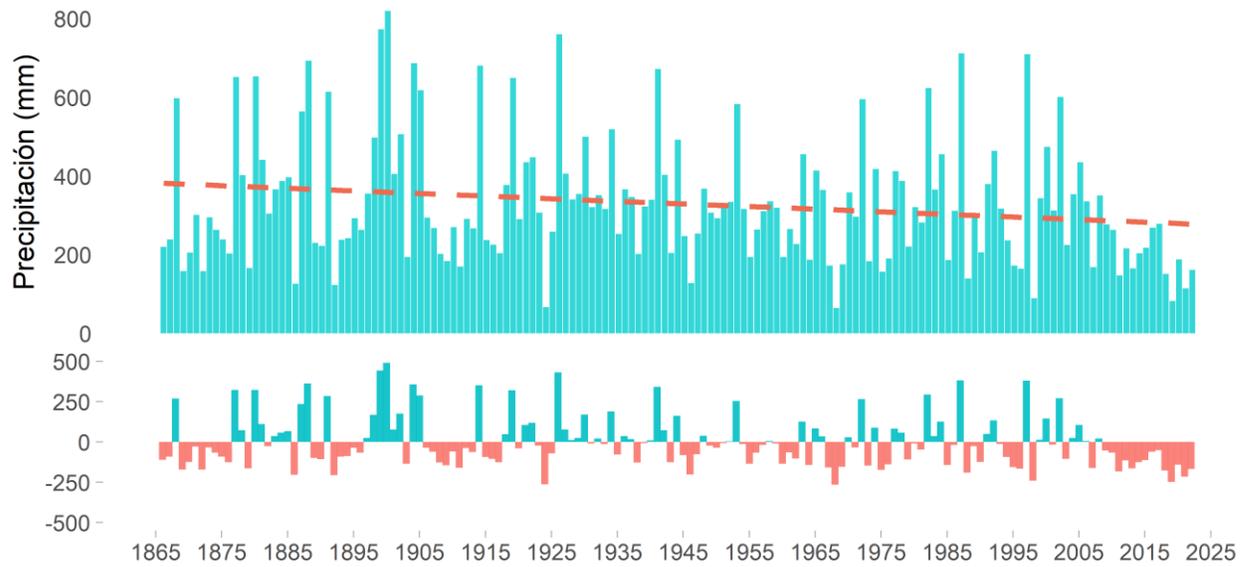


Fig. 35: Evolución del total anual de precipitación en la estación de Quinta Normal- Santiago desde 1866-2022. La línea segmentada corresponde a la tendencia lineal.

## 8. Referencias

Datos:

<https://climatologia.meteochile.gob.cl/>

<https://climatereanalyzer.org/>

[https://snia.mop.gob.cl/dgasat/pages/dgasat\\_main/dgasat\\_main.htm](https://snia.mop.gob.cl/dgasat/pages/dgasat_main/dgasat_main.htm)

<https://agrometeorologia.cl/>

<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/climate-at-a-glance/global/time-series>

Monitor de Sequía

<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/index/menuTematicoMonitorSequia>

Índices Climáticos Extremos

<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/historico/mapaIndicesClimaticos/0>

<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/historico/mapaIndicesClimaticos/1>

## 9. Anexos

### 9.1 Récord climáticos

Récords cálidos					
	Localidad	T°	Anomalía	Anterior	Afectación
T° Media	Talca	15.7	1.2	2013	Regiones del Maule , Ñuble y Península Antártica
	Diguillín Emb.	12.8	0.7	2008	
	Bdo. O'Higgins (B.A)	-2.2	1.3	-	
	Arturo Prat (B.A)	-0.5	1.6	2021	
T° Máxima	Putre	16.8	1.5	1983	Región de Coquimbo hasta la Metropolitana y desde la Región de La Araucanía
	Cerro Calán	24.7	1.8	2020	
	Talca	22.9	1.8	2020	
	Diguillín Emb.	20.4	2.2	2020	
	Punta Arenas	11.3	0.9	2016	
T° Mínima	Talca	15.7	1.2	2013	Regiones del Maule , Ñuble y Península Antártica
	Diguillín Emb.	12.8	0.7	2008	
	Bdo. O'Higgins (B.A)	-4	1.5	-	
Récords fríos					
	Localidad	T°	Anomalía	Anterior	Afectación
T° Med	Olmué	14.1	-1.1	1984	Olmué
T° Máx	Antofagasta	18.4	-1.7	2007	Costa Región de Antofagasta
	Olmué	21	-1.8	1983	Olmué
T° Min	Rengo	6.4	-1.4	2010	Región de O'Higgins y Maule
	Ancoa Emb.	5.7	-2.6	-	
	Cauquenes	5.6	-2.1	-	

Para más información, por favor contactar:  
DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL  
DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE  
Avenida Portales 3450, Estación Central  
Santiago - Chile  
e-mail: [comunicacional\\_dmc@meteo Chile.cl](mailto:comunicacional_dmc@meteo Chile.cl)  
Sitio web: [www.meteo Chile.gob.cl](http://www.meteo Chile.gob.cl)

