



2021

REPORTE ANUAL DE LA EVOLUCIÓN DEL CLIMA EN CHILE

Foto: Lukas Langhamer Gentileza de
Fundación Raky y Volunclima

Puerto Natales, Chile

REPORTE ANUAL DE LA EVOLUCIÓN DEL CLIMA EN CHILE

Informe climático del año 2021, 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

Carolina Vilches Delgado

Ricardo Vásquez Yáñez

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

Dirección General de Aeronáutica Civil.

Junio, 2022

CONTENIDO

Resumen 2021	4
1. Antecedentes Generales	
1.1 Introducción	5
1.2 Contexto Climático	6
1.3 Lo más destacado del 2021	9
2. Comportamiento de la temperatura	
2.1 Temperatura Media	10
2.2 Temperaturas extremas	14
2.3 Registros Insulares y estaciones Antárticas	18
2.4 Isotherma 0°C	20
3. Comportamiento de la Precipitación	
3.1 Precipitación anual	23
3.2 Tendencias de la precipitación	26
3.3 Evento de precipitación inusual	28
3.4 Precipitación en estaciones insulares	29
4. Sequía en Chile	
4.1 Monitor de sequía	31
4.2 Índice estandarizado de precipitación	32
5. Índices de Cambio Climático	
5.1 Índices de temperatura	32
Días y noches cálidos (tx90p-tn90p) /frías (tx10p-tn10p)	32
Olas de Calor (OC)	34
Rango diurno de temperatura (DTR)	
5.2 Índices de precipitación	
Días con precipitación sobre 10/20 mm	39
6. Anexos	
6.1 Mapas de estaciones utilizadas	40
6.2 Tabla de récord de temperaturas	41
6.3 Tabla récord de precipitación	42
6.4 Definiciones de los índices de cambio climático	43
6.5 Tabla de récord de índices de eventos extremos de temperatura	44
6.6 Tabla de récord de índices de eventos extremos de precipitación	45

RESUMEN CHILE 2021

01 4to año más cálido y década más cálida

La temperatura media nacional fue de 13.5 °C, 0.76°C más cálido que el promedio 1961-1990 y 0.5°C respecto al promedio 1981-2010. La tendencia de la temperatura media es de 0.15°C/década. Se suman 11 años consecutivos cálidos y ha sido la más cálida desde hace 61 años, duplicando la década inmediatamente anterior (2000-2010).

02 Récord de temperatura en la zona sur-austral

Hubo récord de temperatura desde Futaleufú hasta la región de Magallanes, principalmente, asociada a la temperatura máxima, llegando a 3°C de diferencia respecto a su promedio.

03 2do año más seco desde 1961 y década más seca

El 2021 se posicionó como el 2do año más seco con un 43% de déficit dejando atrás al 2019 con un 39% de déficit. La tendencia es a la disminución de 4% por década, pero se duplica en el periodo 1981-2021. La década más seca presenta un déficit de 23%.

04 Verano más lluvioso

Se registraron récords del verano más lluvioso, desde la región de Coquimbo hasta el Maule, especialmente en estaciones cordilleranas. En la mayoría de las estaciones fue también el enero más lluvioso desde 1961.

05 Otoño e invierno más secos

Entre las regiones desde Coquimbo hasta Ñuble fue el otoño más seco, El invierno más seco abarcó desde la región de Valparaíso a Los Ríos, mientras que la primavera más seca se concentró entre el Maule y Los Lagos.

06 Récord en índices climáticos de eventos extremos

Se registraron récords principalmente en los índices asociados con temperatura como olas de calor en la zona austral, récord de días de verano sobre 25°C y sobre 30°C en Pucón, Valdivia, Coyhaique, Balmaceda, Chile Chico y Lord Cochrane. Por el norte, hubo récord de temperatura extrema máxima más fría en Antofagasta.

El 2021, fue el año con menos días de precipitación fuerte y extrema desde Valparaíso hasta Aysén.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Introducción

El presente informe tiene como alcance la recopilación y análisis de la información climática ocurrida durante el año 2021 para compararla con la historia climática, con el objetivo de inferir acerca de su evolución y de los cambios del clima en nuestro país. Este informe sirve de apoyo tanto al Plan de Acción Nacional de Cambio Climático, como a diferentes entidades gubernamentales, escuelas, universidades, información periodística o usuarios generales.

Cada año se trata de sumar información de diferentes localidades del país, con el fin de poder identificar los cambios más significativos, sin embargo, se han tenido dificultades en el acceso a la información meteorológica, debido principalmente a la suspensión de las estaciones meteorológicas y/o vacíos de años anteriores, lo que causó una disminución de estaciones de medición de 115 a 109 en el caso de la temperatura y de 307 a 260 en la precipitación. Cabe mencionar, que el conjunto de datos se compone en su mayoría de estaciones “bases” pertenecientes a la DMC las cuales poseen más de 30 años de información y son de excelente calidad, no obstante, no son suficientes para describir los cambios locales. Para suplir esta deficiencia, utilizamos como fuentes de otras instituciones públicas y particulares a la cual agradecemos. Gran parte de las estaciones pudieron ser rescatadas, rellenas y homogeneizadas gracias a la red agroclimática del Ministerio de Agricultura, pero de igual forma ponemos hincapié en la falta de información climática o falta de accesibilidad a ella, en zonas complejas como la zona austral y norte del país.

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 se utiliza el promedio climatológico 1981-2010.

El 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 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 2021 fue el **6to año más cálido** desde 1880, estimándose la temperatura media global (tierra más océano) de **14.7 °C**, siendo **0.84 °C** sobre el promedio del siglo XX.
- Con este año se completarían **45 años consecutivos** (desde 1977) más cálidos que el promedio.
- De los 10 más cálidos, **9** están dentro del 2013 al 2021.
- La temperatura global terrestre y oceánica anual ha aumentado en **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.
- Considerando sólo la temperatura global sobre tierra, los récords se midieron en el norte de África, en el sur de Asia y en el sur de América del Sur.

Datos según la oficina nacional de Administración oceánica y Atmosférica de EEUU (NOAA).

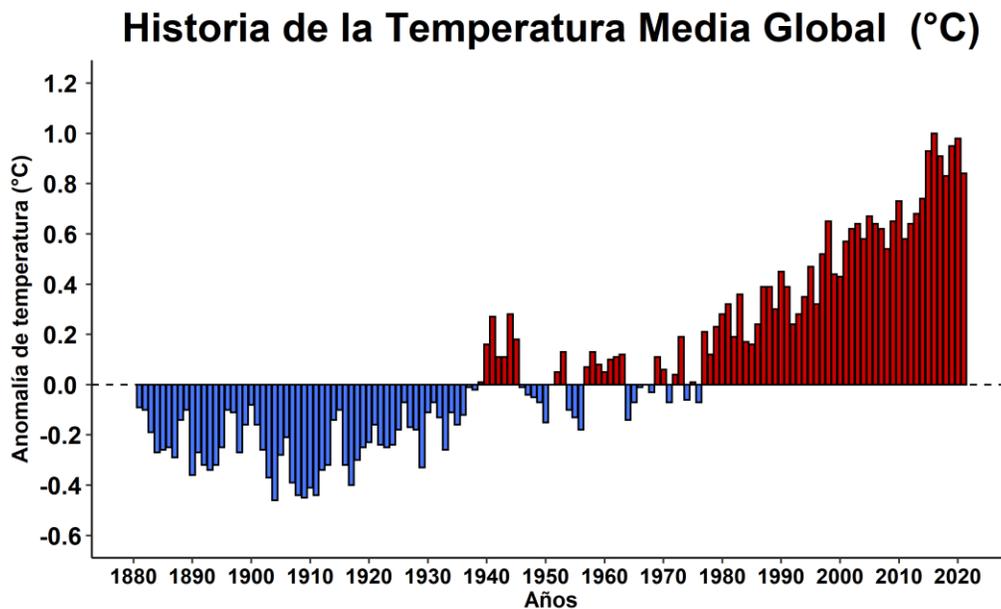


Fig. 1 Promedio anual de la anomalía de temperatura global desde 1880 comparada con el periodo de referencia 1901-2000. La línea cero representa la temperatura promedio de largo plazo del planeta. Las barras azules y rojas muestran la diferencia por debajo y por encima del promedio de cada año, respectivamente.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

El comportamiento climático durante el año 2021 se enmarcó dentro de un dominio de la fase fría del ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) lo que, en términos de indicadores oceánicos, se presentó un episodio de La Niña con dos pulsos principales, a comienzos de año finalizando el proceso del 2020 y el segundo pulso comenzando la primavera del 2021

y que se mantiene hasta el 2022, ambos fueron moderados (Tabla 1). La señal de una fase de La Niña en Chile, en forma general, son inviernos más fríos y secos en la zona centro sur y más lluviosos y cálidos en la zona altiplánica y austral del país. Esta condición es probablemente la razón de una leve disminución de la temperatura durante el verano y primavera, aunque no es impedimento para contrarrestar el calentamiento en prácticamente todo el cono sur de Sudamérica (Fig. 2).

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

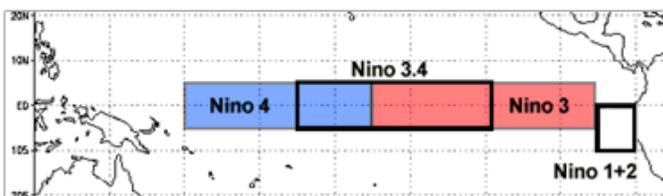
Trimestres del 2021

Niño 3.4	Ene-Mar	Feb-Abr	Mar-May	Abr-Jun	May-Jul	Jun-Ago	Jul-Sep	Ago-Oct	Sep-Nov	Oct-Dic
Anomalía	-0.93°C	-0.84°C	-0.66°C	-0.48°C	-0.38°C	-0.40°C	-0.49°C	-0.67°C	-0.81°C	-0.98°C
TSM	25.94°C	26.46°C	27.03°C	27.35°C	27.28°C	26.89°C	26.46°C	26.09°C	25.90°C	25.69°C

Otras regiones de El Niño

Niño 1+2	-0.83	-0.85	-0.83	-0.70	-0.46	-0.29	-0.40	-0.62	-0.90	-1.23
Niño 3	-0.68	-0.74	-0.68	-0.56	-0.40	-0.36	-0.40	-0.55	-0.75	-1.03
Niño 4	-0.89	-0.68	-0.43	-0.26	-0.19	-0.22	-0.35	-0.52	-0.65	-0.72

Regiones de monitoreo de El Niño-La Niña



Asimismo, la presión nos muestra fuertes anomalías positivas principalmente en invierno, lo que determina en gran parte el no paso de sistemas de baja presión que podría dejar precipitaciones en Chile centro y sur (Fig. 2). Se destaca el verano, con un importante núcleo de precipitaciones en la zona norte chico y centro, temperatura del aire más frío y presión debilitada producto de este evento extraordinario que ocurrió en una época inusual apoyado por un río atmosférico (Fig. 2). Gracias a este evento, no terminó como el año más seco de la historia en las ciudades de esta área, sin embargo, estos eventos de verano pueden traer riesgos asociados a deslizamientos de tierra.

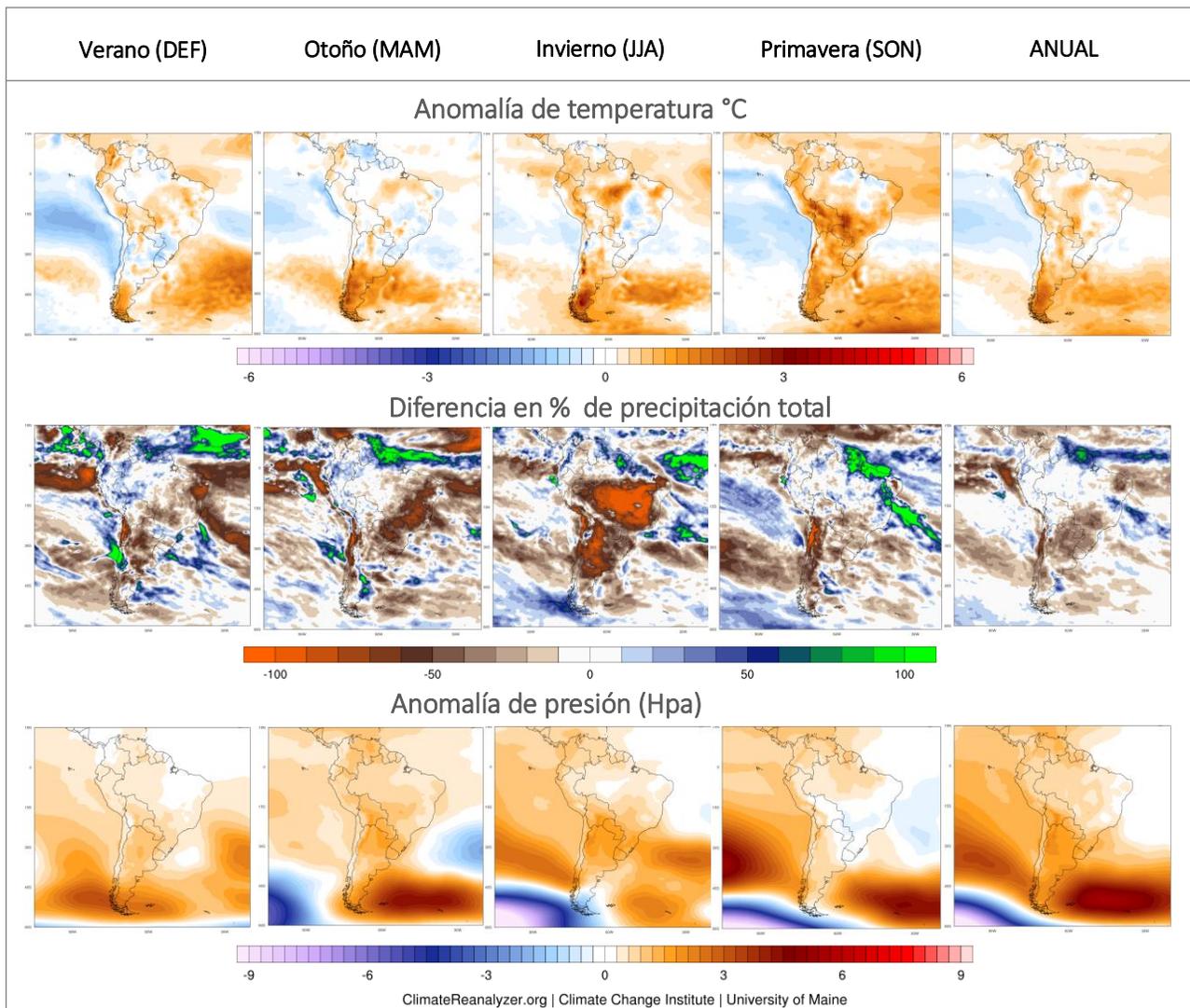


Fig 2: Anomalías estacionales y anual de a) temperatura a 2m sobre el n.m.m, b) diferencia porcentual de la precipitación total anual, c) anomalías de la presión superficial en Sudamérica. Las anomalías son respecto al promedio 1981-2010. Mapas realizados con ClimateReanalyzer.org.

Lo más destacado del 2021

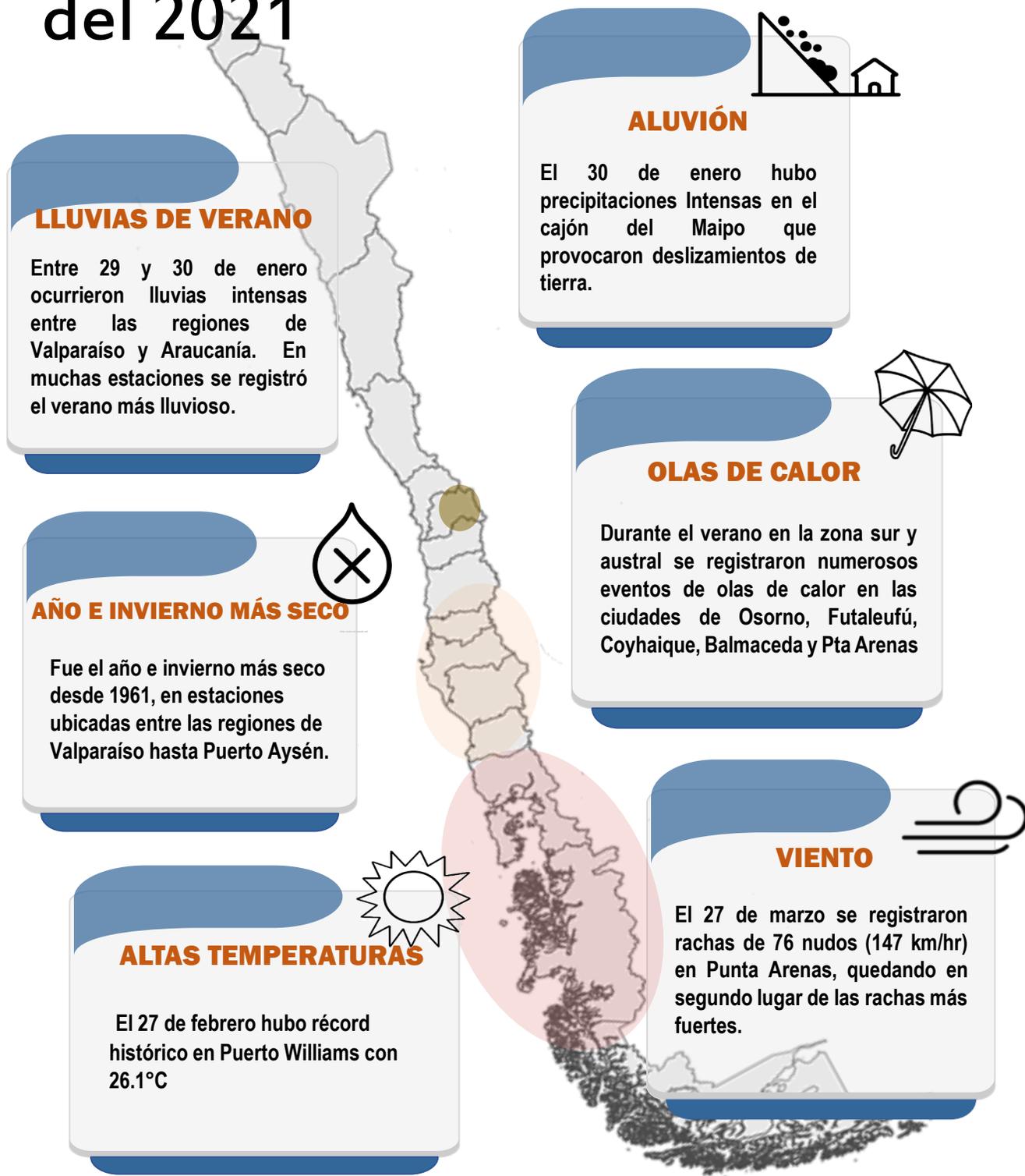


Fig. 3: Hechos relevantes, información de los récords detallados por localidad y variable en el anexo 3.

2. Comportamiento de la Temperatura

2.1 Temperatura Media

En Chile continental la temperatura media durante el 2021 fue de **13.47°C** (Fig. 4a), levemente más frío que el año anterior (-0.12°C) pero de igual forma se convirtió en el **4to año más cálido** en 61 años (Tabla nro. 2), siendo **+0.76°C más cálida** que el promedio climatológico 1961-1990 (Fig. 5b) y +0.5°C más cálido respecto al promedio 1981-2010.

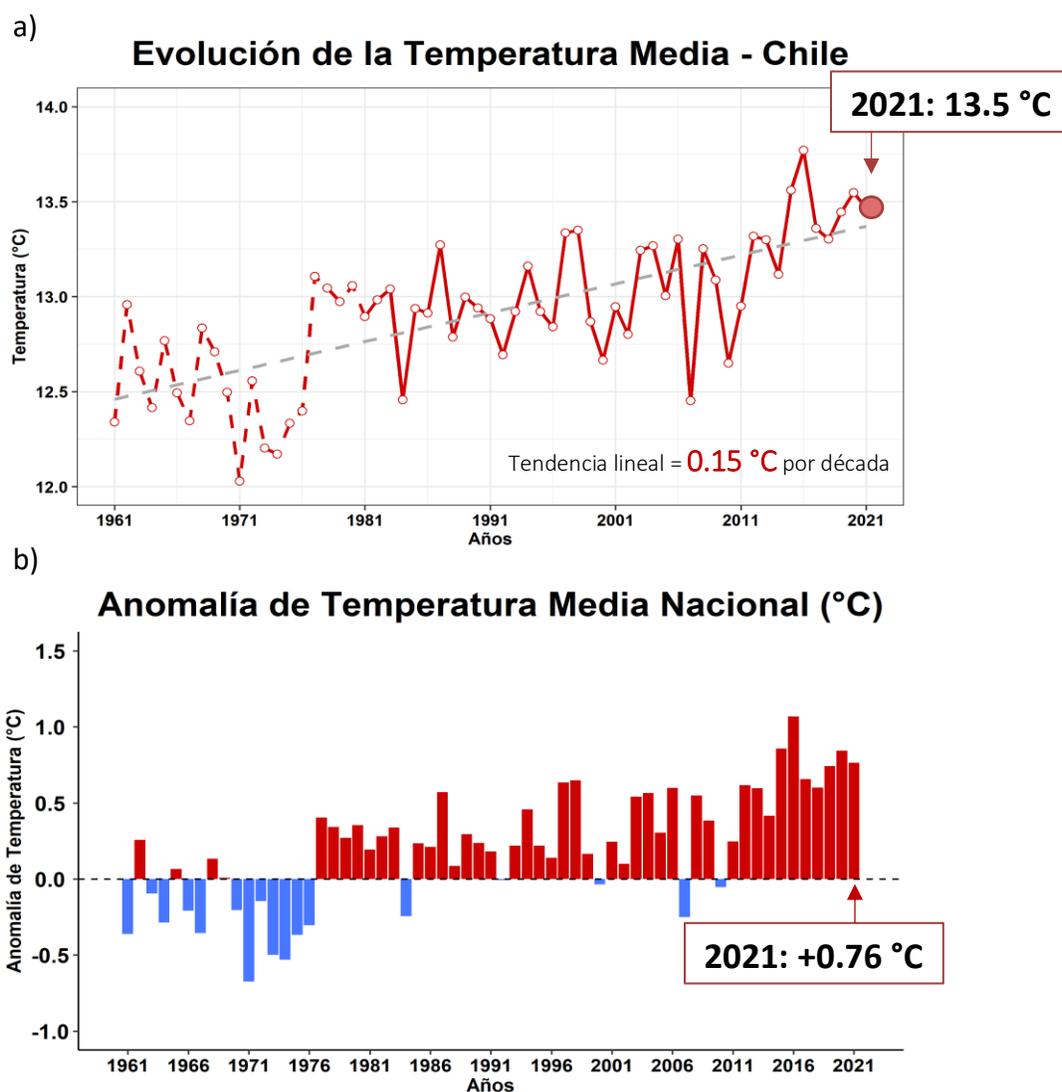


Fig.4: a) Promedio anual de la temperatura media en Chile continental utilizando 109 estaciones. La línea segmentada roja es el promedio de 19 estaciones históricas con sesgo corregido, línea segmentada gris indica la tendencia lineal. b) temperatura media en términos de anomalías absolutas en °C respecto al periodo 1961-1990. Las barras rojas indican calentamiento y las azules enfriamiento.

Se destaca en la figura 4 a y b, contando desde el 2011 llevamos **11 años consecutivos más cálidos que lo normal** (fig.4b), 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 2016 sigue siendo el más cálido desde 1961 con 13.8°C (+1.07°C), mientras que este año 2021 se posicionó en el 4to lugar con 8 centésimas de grado menor que el año 2020 (Tabla nro. 2).

De los 10 años más cálidos, **8 se han presentado en las últimas 2 décadas**, donde la posición del 2021 en el ranking nos sugiere el dominio de la señal de cambio climático frente a la variabilidad natural del clima, debido que, a pesar de haber estado frente a un evento moderado de La Niña, de igual forma se mantuvo dentro del ranking de los más cálidos de la historia (ver anexo 6.2.1 para todos los récords de ciudades)

Tabla nro. 2: Ranking de los 10 años más calidos en Chile continental desde el año 1961, respecto al periodo 1961-1990

10 años más cálidos			
Rank	Año	Temp. Media (°C)	Anomalía (°C)
1	2016	13.8	1.07
2	2015	13.6	0.86
3	2020	13.5	0.84
4	2021	13.5	0.76
5	2019	13.4	0.74
6	2017	13.4	0.66
7	1998	13.4	0.65
8	1997	13.3	0.63
9	2012	13.3	0.62
10	2018	13.3	0.60

TENDENCIAS DE LA TEMPERATURA MEDIA

La tasa de aumento de la temperatura media considerando el periodo desde 1961 al 2021, 61 años es de **+0.15 °C por década**, mientras que la tendencia del periodo 1981-2021 es de +0.14°C/década (41 años). Los valores varían entre -0.2 y +0.6 °C por década. El **89% de las estaciones analizadas presentan calentamiento**, mientras que el resto (11%) se observan de tendencias frías. Las localidades que presentan las mayores tendencias son las ubicadas en la cordillera y valles de la zona centro sur del país, aquellas que presentan leves tendencias negativas son las ubicadas en la costa desde Arica hasta la región de Valparaíso.

DÉCADA MÁS CÁLIDA

Desde una mirada decadal, se observa que sin lugar a dudas la **década del 2011 a 2020 es la más cálida desde 1961**, $+0.66^{\circ}\text{C}$ por sobre el promedio climatológico, superando en 3 veces el promedio de la década del 2001 al 2010 (Fig. 5).

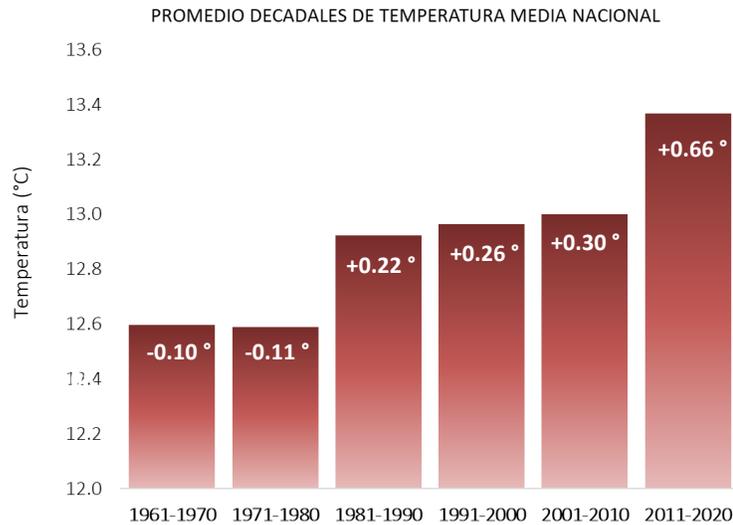


Fig.5: Promedios decadales de la temperatura media en Chile, respecto al promedio 1961-1990. Se detalla los grados por debajo/sobre el promedio climatológico en cada barra.

EVOLUCIÓN DE LOS CAMBIOS EN LA TEMPERATURA MEDIA POR AÑOS

Los mapas interpolados están contruidos en base a las anomalías estandarizadas de la temperatura media respecto al promedio 1981-2010, de manera de poder reconocer en cuales zonas del país los cambios en base a su propia estadística están siendo más significativos (Fig. 6). Durante el 2021, se observa en general calentamiento, donde las principales anomalías se observan en las regiones de **Los Lagos, Aysén y Magallanes y la Antártica Chilena**, llegando a 3 u.e .en los valles centrales, también en la precordillera y cordillera de las regiones de Antofagasta y Atacama. **El 75% de las estaciones presentaron calentamiento durante el 2021**. Sin embargo y a diferencia del año anterior, hubo más presencia de anomalías frías en la costa llegando incluso hasta la región de La Araucanía, probablemente producto de la condición fría de La Niña (ver pag. 6).

Cambio de la temperatura media

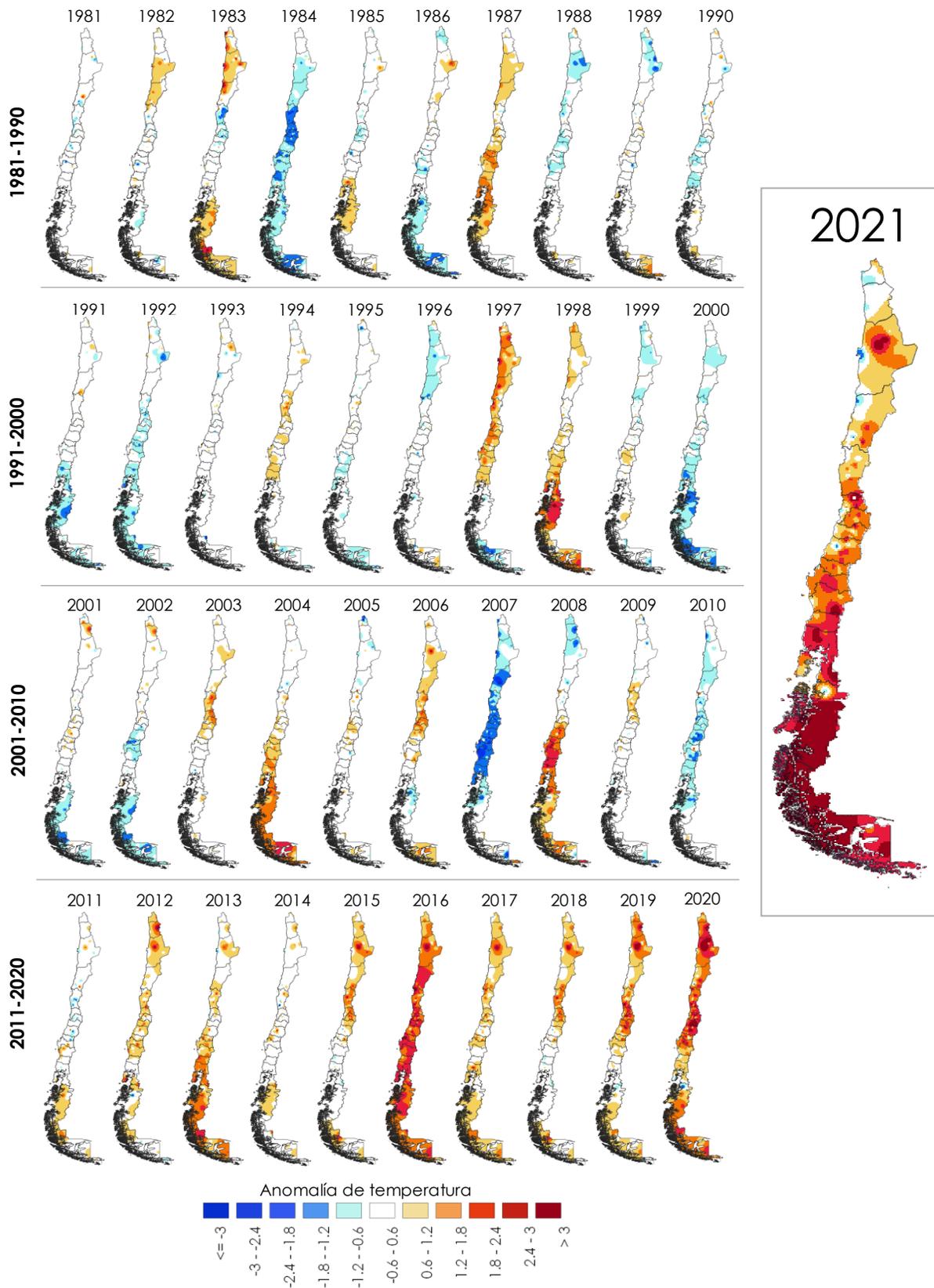


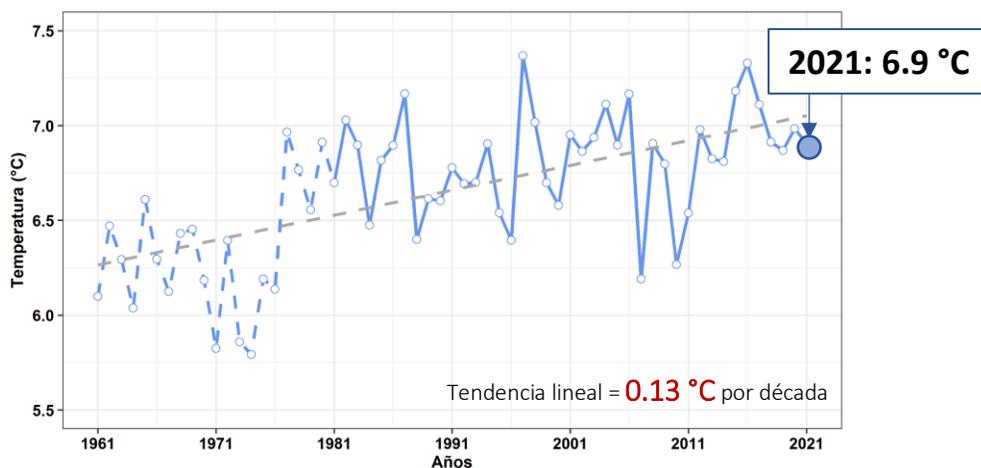
Fig.6: Evolución de las anomalías estandarizadas de la temperatura media respecto al promedio 1981-2010.

2.2 Temperaturas extremas

TEMPERATURA MÍNIMA

Respecto al promedio anual de la temperatura mínima a nivel nacional, fue de **6.9°C** siendo **+0.44 °C más cálido** que el promedio 1961-1990, sin embargo, fue un año relativamente frío para la década, quedando en la posición 17 (tabla 3). A pesar de su condición más fría, la tendencia sigue al calentamiento en **+0.13°C por década** para el periodo 1961-2021 y **+0.05°C/década** para el periodo 1981-2021, con este año se completan 11 años consecutivos cálidos (Fig. 7).

a) Evolución de la Temperatura Mínima Media - Chile



b) Anomalía de Temperatura Mínima Nacional (°C)

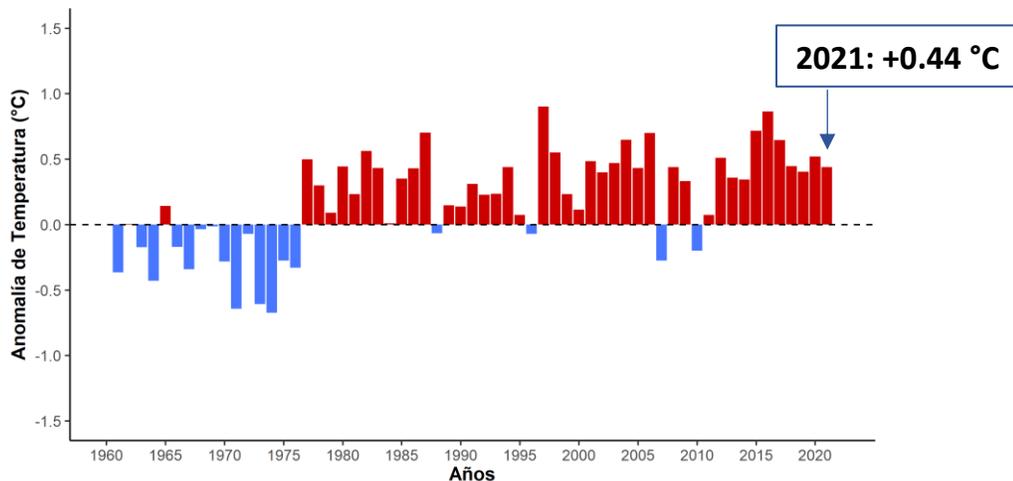


Fig.7: En el panel superior se representa la evolución del promedio de la temperatura mínima (TN) media en Chile continental, la línea segmentada azul es el promedio de 19 estaciones con sesgo corregido mientras que, la línea continua es el resultado del promedio de 115 estaciones. Línea segmentada gris indica la tendencia lineal. El panel inferior indica la temperatura mínima en términos de anomalía respecto al promedio 1961-1990.

Durante el 2021 se presentó un verano, primavera e invierno más fríos que el promedio 1981-2010, principalmente en localidades de la costa, pero también, abarcando los valles desde la región de Coquimbo hasta el norte de la región de Los Lagos (Fig. 8). La región de Coquimbo, sin embargo, estuvo prácticamente todo el año con anomalías negativas entre 1° a 2°C por debajo de su climatología. Las estaciones ubicadas en altura (sobre 3000 metros) de la zona norte y la región de Magallanes se presentaron mañanas más cálidas que lo normal.

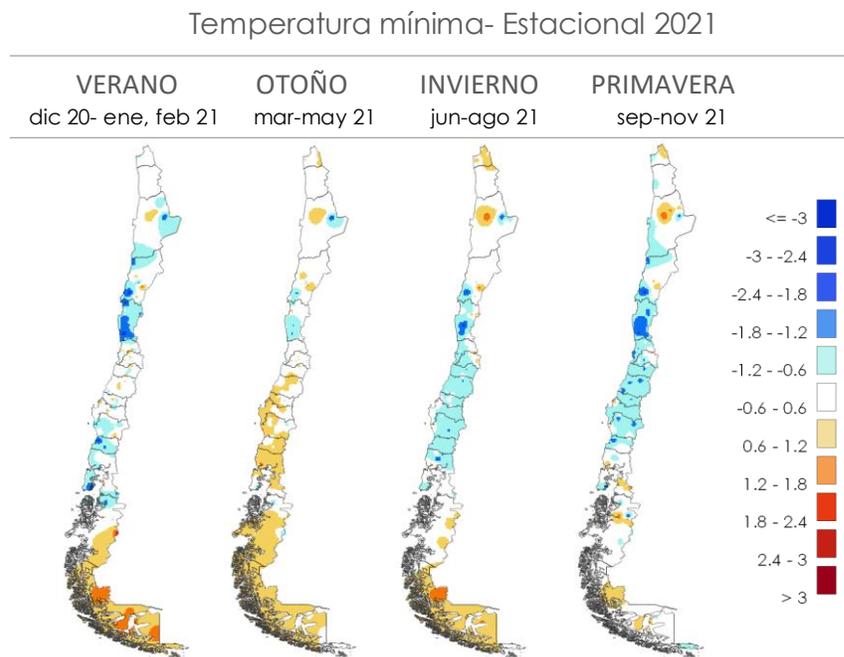
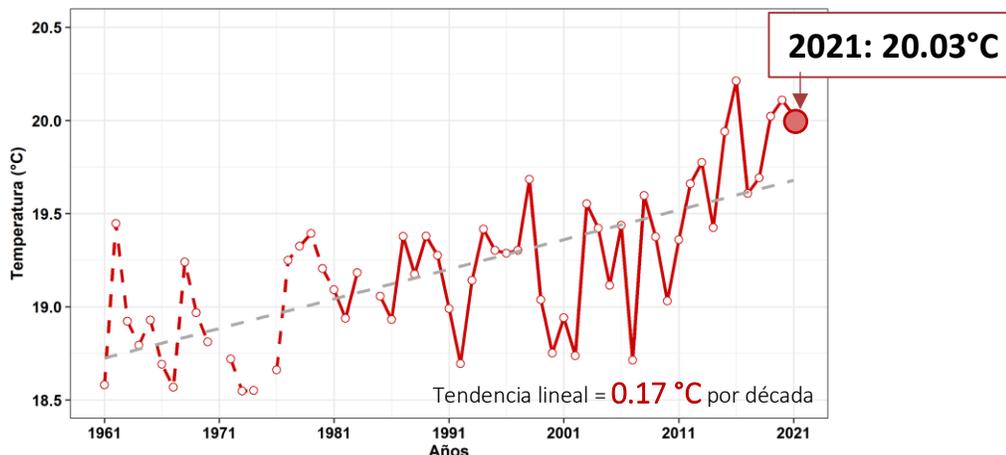


Fig. 8. Mapas de anomalías estandarizadas de la temperatura mínima en Chile continental, respecto al promedio 1981-2010. Colores azules indican "más frío" y rojos "más cálido".

TEMPERATURA MÁXIMA

La temperatura máxima promedio (TX) fue de **20.3°C** superando en **+1.1°C el promedio**, convirtiéndose en el **3er año con mayor promedio** de temperatura máxima (tabla 3), sólo superado por el 2020 con 20.1°C y el 2016 con 20.2 °C. Esta variable es uno de los principales cambios que presenta el país en las últimas décadas, mostrando un rápido aumento, la tendencia es de **0.17 °C/década** en el periodo de 1961-2021, pero ésta se incrementa a **0.23°C/década** si consideramos los últimos 41 años (1981-2021). Contando este año se han presentado 14 años consecutivos más cálidos que lo normal.

a) Evolución de la Temperatura Máxima Media - Chile



b) Anomalía de Temperatura Máxima Nacional (°C)

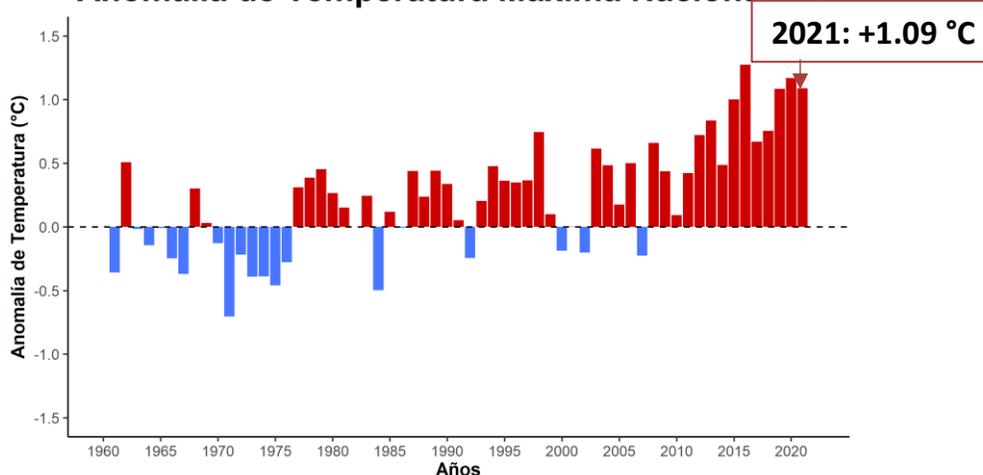


Fig.9: En el panel superior se representa la evolución del promedio de la temperatura máxima (TX) media en Chile continental, la línea segmentada azul es el promedio de 19 estaciones con sesgo corregido mientras que, la línea continua es el resultado del promedio de 115 estaciones. Línea segmentada gris indica la tendencia lineal. El panel inferior indica la temperatura máxima en términos de anomalía respecto al promedio 1961-1990.

A diferencia de la temperatura mínima, la máxima fue más cálida en casi todas las estaciones del año. En los mapas de anomalías estandarizadas estacionales, se observa que durante **invierno y primavera se presentaron anomalías positivas de hasta 3 desviaciones estándar en las regiones de Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins**, lo que acompañado del invierno más seco (ver pag. 24) son condiciones nada favorables para la sequía que vive el país. El 80% del territorio continental presenta máximas superiores al promedio en invierno y primavera (Fig. 10).

Se destaca desde la región de **Los Lagos hasta la región de Magallanes**, durante todo el año estuvo más cálida que lo normal, donde **se presentaron récord de temperatura**

máxima en varias localidades como Pucón, Valdivia, Futaleufú, Puerto Aysén, Coyhaique, Balmaceda, Chile Chico, Lord Cochrane, Torres del Paine, Puerto Natales y Porvenir. Ha habido años similares a éste como 1998, el 2004, 2013, sin embargo, desde el año 2011 que todos los años han sido consecutivamente más cálidos en esta zona.

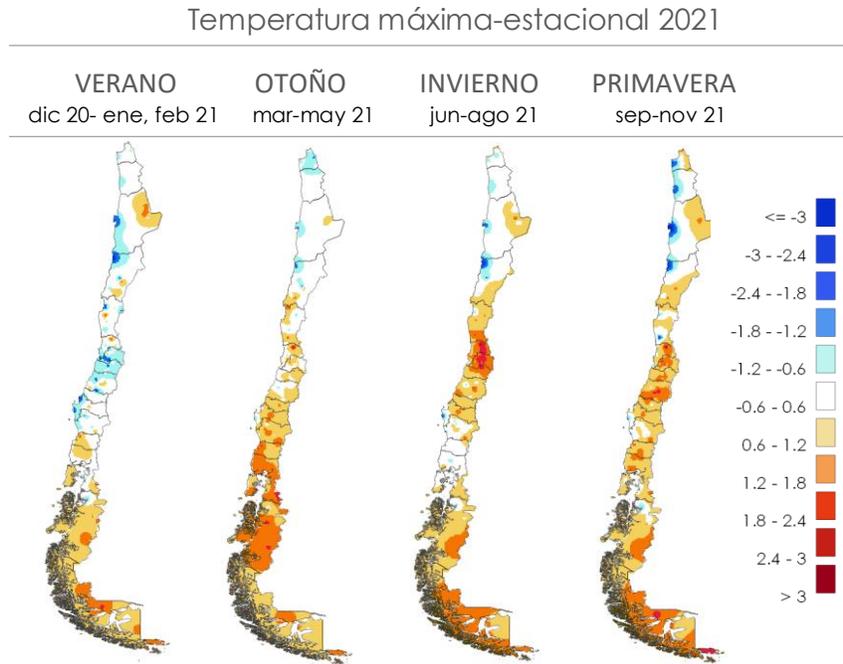


Fig. 10. Mapas de anomalías estandarizadas de la temperatura máxima en Chile continental, respecto al promedio 1981-2010. Colores azules indican "más frío" y rojos "más cálido".

Tabla nro. 3: Ranking de los 10 años con mayor temperatura mínima y máxima en Chile continental desde el año 1961.

10 mayores promedios de temp. mínima y máxima						
Rank	Año	Temp. Mínima (°C)	Anomalía (°C)	Año	Temp. Máxima (°C)	Anomalía (°C)
1	1997	7.4	0.90	2016	20.2	1.27
2	2016	7.3	0.86	2020	20.1	1.17
3	2015	7.2	0.72	2021	20.0	1.09
4	1987	7.2	0.70	2019	20.0	1.08
5	2006	7.2	0.70	2015	19.9	1.00
6	2004	7.1	0.65	2013	19.8	0.84
7	2017	7.1	0.64	2018	19.7	0.75
8	1982	7.0	0.56	1998	19.7	0.74
9	1998	7.0	0.55	2012	19.7	0.72
10	2020	7.0	0.52	2017	19.6	0.67

17	2021	6.9	0.44
----	------	-----	------

2.3. Registros en territorio insular y estaciones antárticas

ESTACIONES ANTÁRTICAS

Así como la zona austral fue anormalmente cálida, también se reflejó en las estaciones antárticas. Las tres estaciones ubicadas en las bases antárticas presentaron anomalías positivas de hasta 1.6°C. La estación **Arturo Prat registró el año más cálido desde 1981** (aunque faltan algunos años de información), la temperatura media fue de -0.7°C sobre 1,4°C el promedio normal. También en la **temperatura mínima superó el récord de 1989** que era de -2.5°C, durante el 2021 fue de -2.4°C, mientras que, la temperatura máxima igualó el récord de 1989 con 1°C sobre cero (Fig. 11). La tendencia es de **0.26°C por década**, superior a varias estaciones del cono sur.

Tanto la estación Eduardo Frei como la Base O'Higgins, también presentaron altas temperaturas, en ambas fue el **tercer año más cálido desde 1981**, y el segundo en cuanto a la temperatura mínima. Las tendencias son positivas, pero no tan pronunciadas como la Base Prat, mostrando un incremento de la temperatura media de 0.07°C/década y 0.1°C/década, en O'Higgins y Frei, respectivamente (Fig. 11).

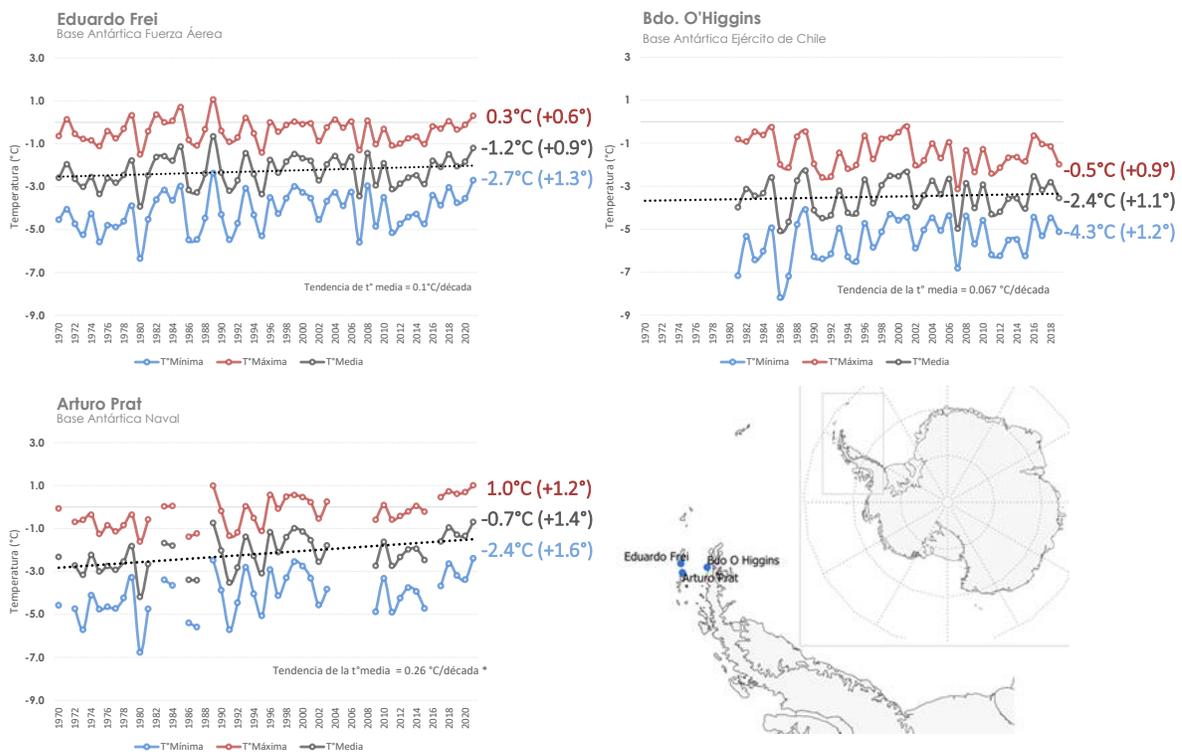


Fig. 11. Registros desde 1981 de la temperatura máxima (roja), media (gris) y mínima (azul), en las estaciones ubicadas en las bases antárticas. * Los valores de tendencia y récords de la Base Arturo Prat falta información en algunos años.

ESTACIONES INSULARES

El comportamiento de la temperatura en las estaciones insulares fue acorde con la observación de un océano más frío. En Rapa Nui, la temperatura media fue de 20.7°C siendo 2 décimas de grado más baja que el promedio 1981-2010, donde contribuyó esencialmente las anomalías negativas de la temperatura mínima que fue de -0.8°C. La temperatura máxima si fue levemente más cálida que el promedio de 24.2°C (Fig. 12).

Respecto a Juan Fernández, tanto la máxima, como la mínima estuvieron por debajo del promedio climatológico, lo que provocó que la temperatura media fuera de 15.2°C con una anomalía de -0.4°C.

Ambas islas no presentan tendencias significativas.

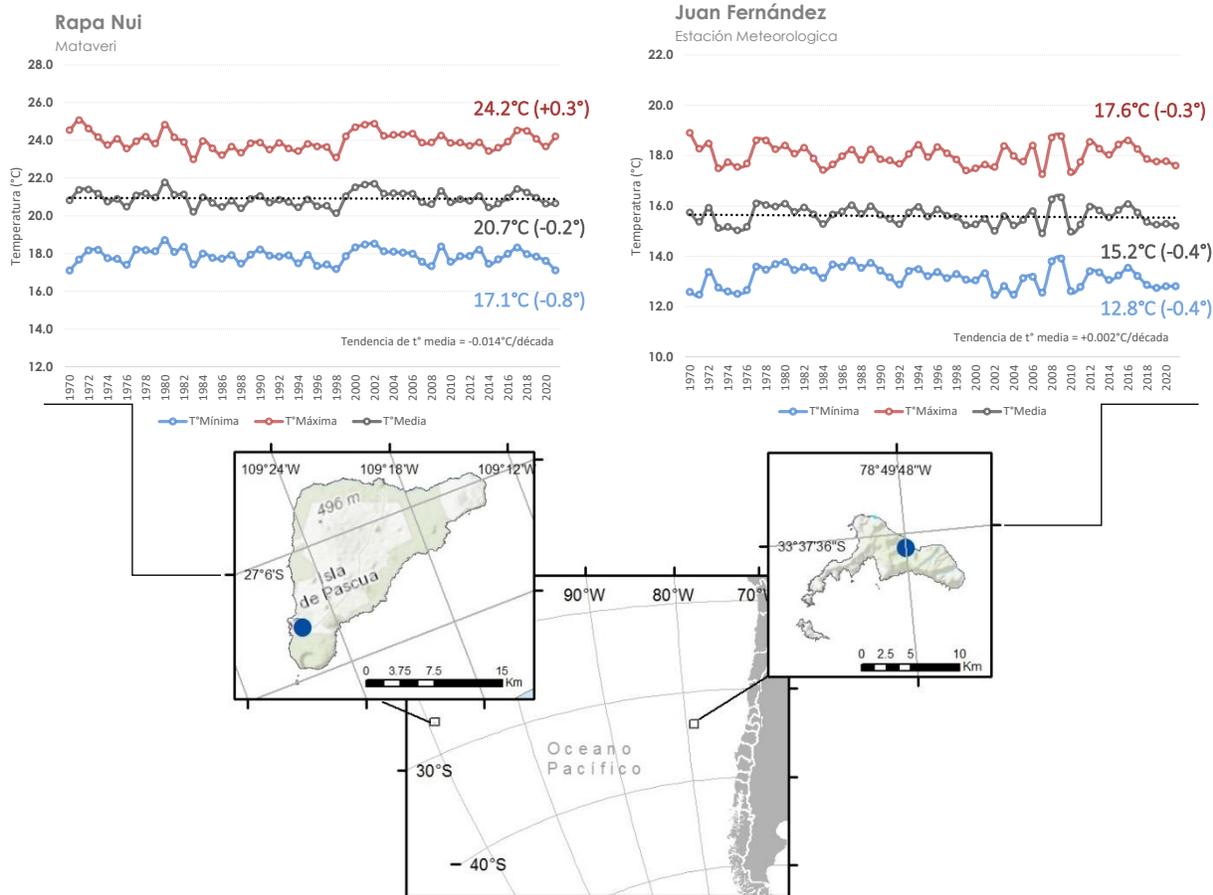


Fig. 12. Registros desde 1971 de la temperatura máxima (roja), media (gris) y mínima (azul), en las estaciones ubicadas en Rapa Nui y el archipiélago Juan Fernández.

2.4 Isoterma de 0°C

El cambio climático ha generado un aumento en la temperatura del aire en las últimas décadas, lo que ha provocado que la isoterma cero se desplace a niveles más altos, generando una reducción de la superficie andina que recibe nieve, por lo que la disponibilidad de agua disminuye y contribuye a las sequías, sobre todo, en el periodo estival. Por otro lado, ante eventos de precipitación importantes, aumenta el agua que escurre por la cuenca, lo que podría influir en la ocurrencia de remociones en masa o aumento de caudales, por estas razones es prioritario monitorear su comportamiento.

Como definición general, la altura de la isoterma 0°C representa el nivel en donde la temperatura está a 0°C, en donde, el área por debajo se encuentra a una mayor temperatura y por sobre ésta a menor temperatura, delimitando las zonas que recibirán precipitación líquida (agua) y sólida (nieve) (Fig. 13).



Estimación de la altura

En la DMC para la estimación de 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. 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.

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

ALTURA DE ISOTERMA 0 °C EXTREMA DURANTE EL 2021

El año 2021 se registraron días con altura de isoterma 0 °C extrema, destacando los meses de invierno y verano con una mayor cantidad de días donde la

isoterma se encontró a una altura más alta de lo normal. Por ejemplo, el día 31 de mayo el paso de un sistema frontal en la zona sur y una altura de isoterma cero ubicada a 3012 m

favoreció a la ocurrencia de un aluvi3n en la localidad de Panguipulli generando diversos da1os. Tambi3n se observaron d3as en donde la isoterma cero estuvo m3s baja de lo usual, siendo enero el mes el mes que present3 m3s d3as bajo esta condici3n en la zona centro y norte del pa3s (Fig. 14).

Se destaca tambi3n, el evento ocurrido el 25 de agosto en la zona norte del pa3s, en que, un n3cleo fr3o en altura provoc3 que la isoterma cero descendiera hasta los 2322 m, generando un evento de nieve en el desierto de Atacama.

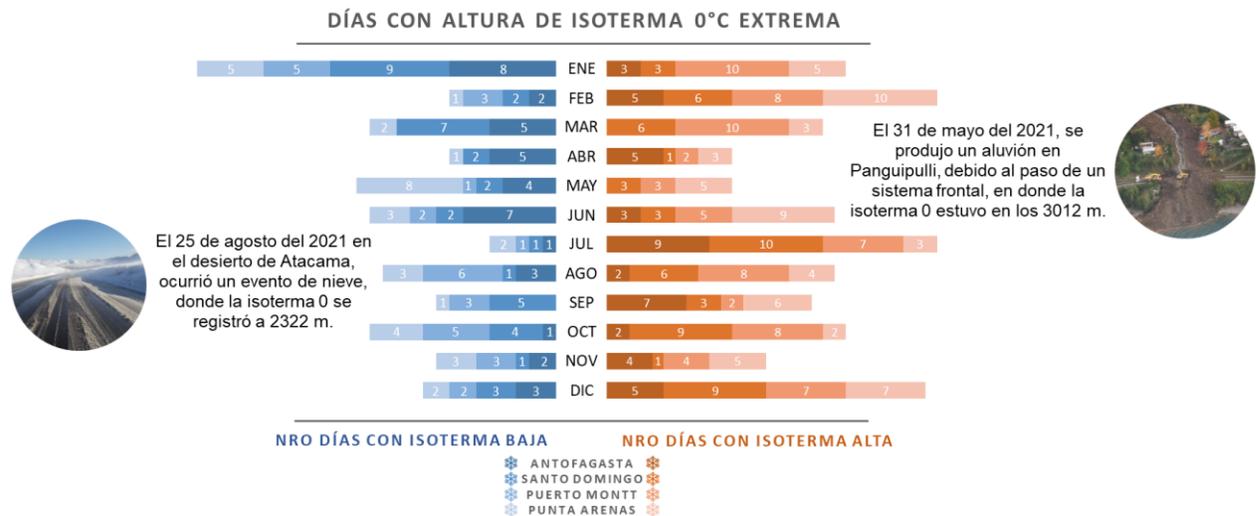


Fig. 14: N3mero de d3as con altura de isoterma 0°C extrema. En azul n3mero de d3as con isoterma baja (percentil 10) y en naranja n3mero de d3as con isoterma alta (percentil 90) en Antofagasta, Santo Domingo, Puerto Montt y Punta Arenas.

TENDENCIA DE LA ALTURA DE LA ISOTERMA 0 °C

La tendencia de la isoterma cero durante el periodo 1981-2021 (Fig. 15) para la zona norte, representada por Antofagasta, muestra un **incremento de 36 m/d3cada**. En cuanto a la zona central (Santo Domingo) y sur (Puerto Montt) se observa un incremento de **21 y 19 m/d3cada respectivamente**, al contrario, en la zona austral (Punta Arenas) presenta una tendencia negativa de **-9 m/d3cada**.

Se destaca que la tendencia de la altura de la isoterma 0°C, se incrementa significativamente al comparar el periodo 1981-2021 y 2000-2021, siendo mayor en Puerto Montt, de 82 metros cada 10 años, seguido por Santo Domingo con 69 m/década y Antofagasta con 56 m/década. En Punta Arenas con 60 m/década se revierte la tendencia negativa del periodo 1981-2021.

TENDENCIA DE LA ALTURA DE LA ISOTERMA 0

Estación	1981-2021	2000-2021
Antofagasta	36	56
Santo Domingo	21	69
Puerto Montt	19	82
Punta Arenas	-9	60

Tendencia lineal en metros/década

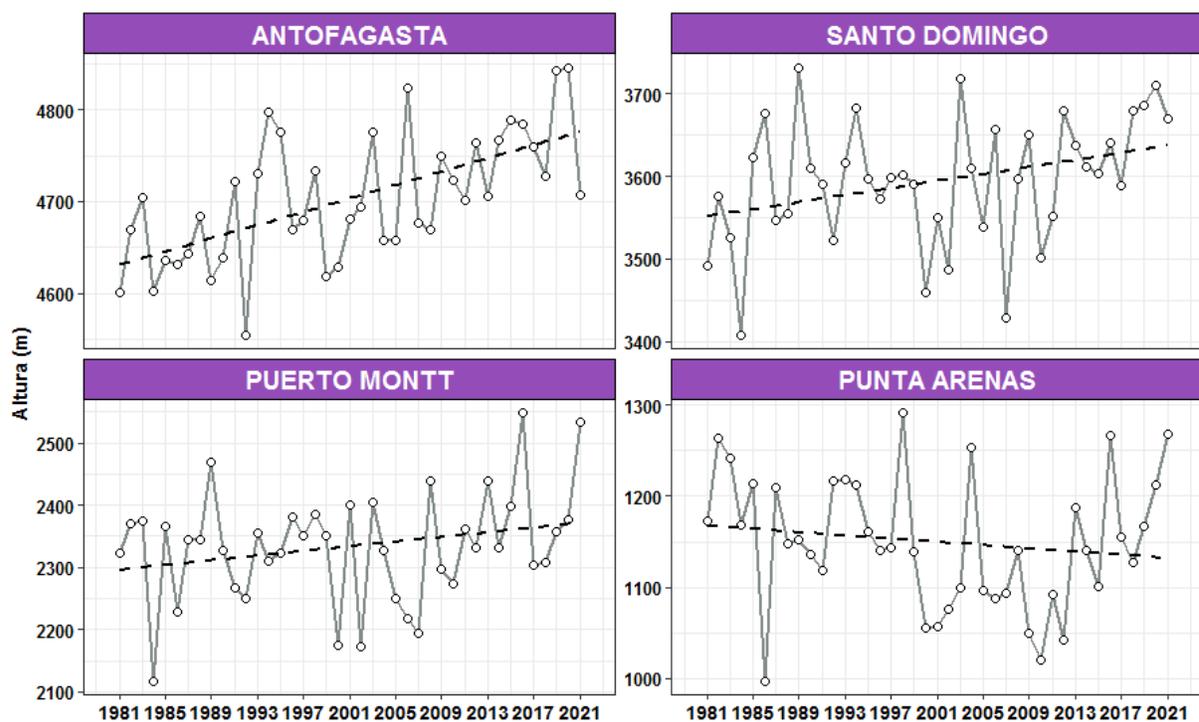


Fig. 15: Altura de la isoterma cero (línea continua), tendencia lineal (línea punteada).

3. Comportamiento de la precipitación

3.1 Precipitación anual

La precipitación en Chile durante el 2021 alcanzó un **déficit de 43%** en promedio, lo convierte en el **2do año más seco desde 1961** (Fig. 16b). El año 1998 continúa siendo el que presentó el mayor déficit a nivel nacional desde 1961 con un 52 %, seguido por el 2019 que alcanzó un 39 % de déficit. La precipitación en el país está disminuyendo a razón de un **4% por década** durante los últimos 61 años (Fig. 16a), tendencia que se incrementa a -8 % por década al considerar los últimos 41 años.

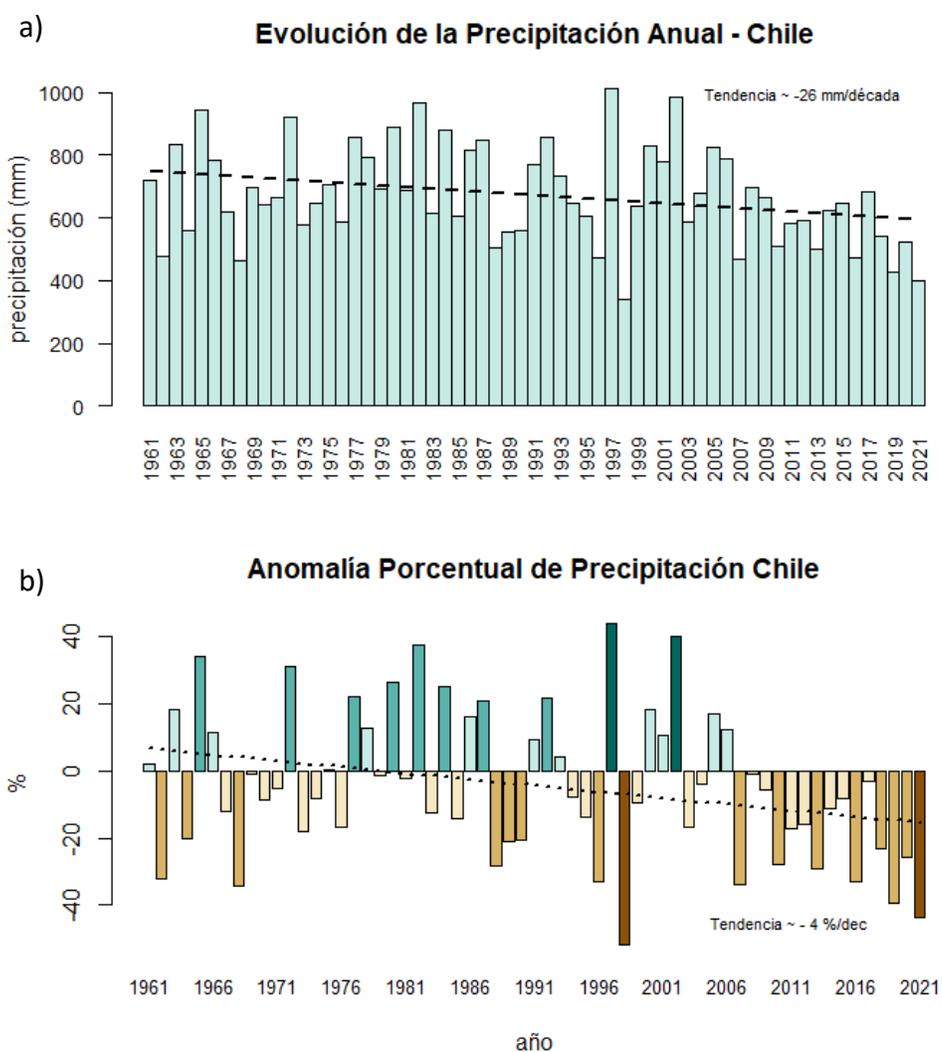


Fig.16: a) Precipitación total anual para Chile continental en milímetros (promedio anual de 260 estaciones) y línea segmentada de tendencia lineal. b) Anomalía porcentual de precipitación total anual respecto al promedio 1961-1990. Barras en tonos verdes representan valores positivos (superávit) y tonos cafés valores negativos (déficit).

El período de 10 años **2012-2021 es el más seco** desde 1961 alcanzando un promedio de 23 % de déficit a nivel nacional, superando en 2% el período 2010-2019 (21 % de déficit).

Durante el 2021 las estaciones cordilleranas de la zona norte presentaron precipitación bajo el promedio, salvo algunas excepciones en la Región de Antofagasta. Desde Atacama al sur se observaron déficit de agua caída, siendo los más importantes entre las regiones de Atacama y Metropolitana con valores cercanos al 70% en promedio. Entre las Regiones de O'Higgins y Los Lagos el déficit se ubicó en torno al 40% (Fig. 17).

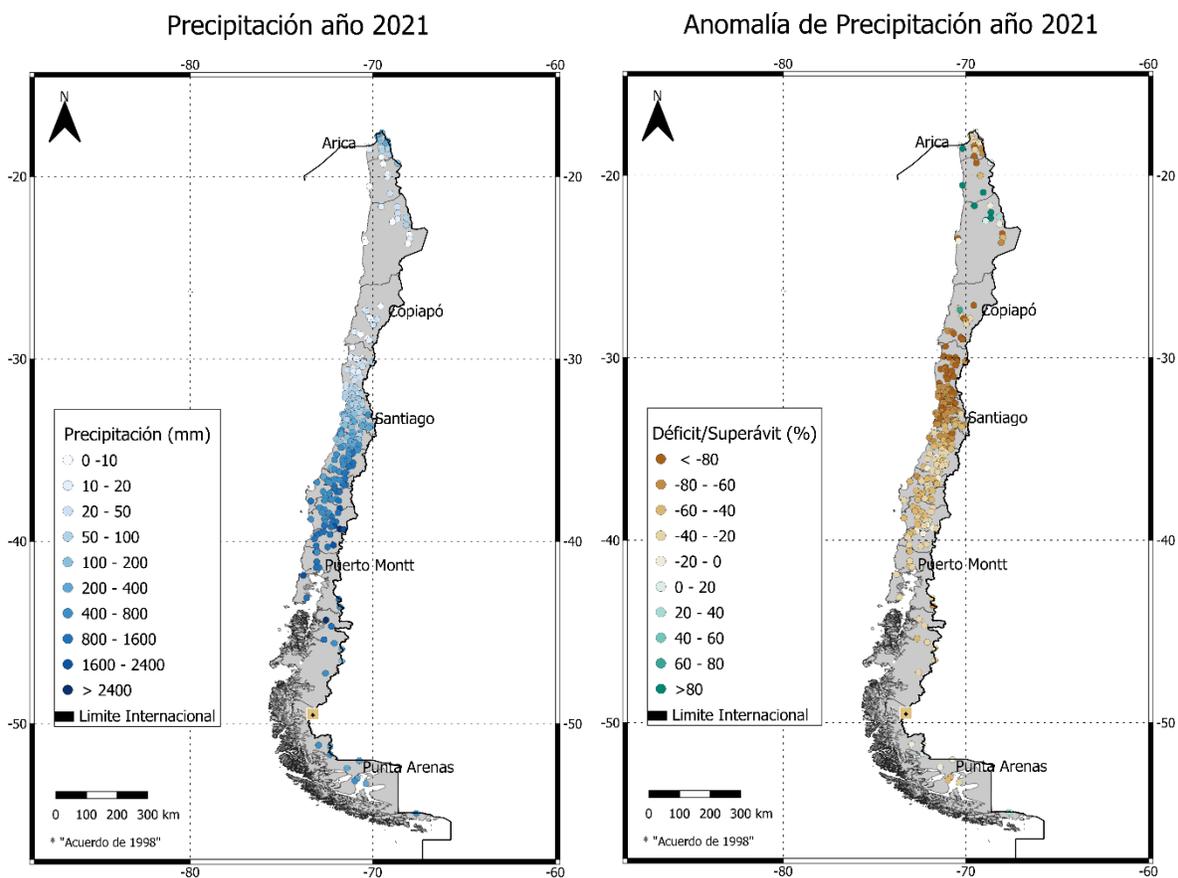


Figura 17. Precipitación año 2021 para 260 estaciones de Chile continental (izquierda). Anomalía porcentual de precipitación año 2021 respecto a promedio 1981-2010 (derecha).

PRECIPITACIÓN ESTACIONAL Y MENSUAL

En la zona central el año comenzó con precipitaciones sobre el promedio, producto de un intenso evento de precipitación a fines de enero, debido a éste varias estaciones entre la Región Metropolitana y el Maule alcanzaron récord de precipitación acumulada, por nombrar algunas, Valparaíso 18.2 mm, Quinta Normal 40 mm, San Fernando 80.6 mm y Talca con 138 mm (ver anexo 6.2.3 para detalles por ciudades). Sin embargo, el escenario cambió en otoño e invierno, la zona centro y sur se presentó mayormente déficit de precipitación destacando los meses de junio y julio entre la región del Maule y Los Lagos, lo que llevó a que fuera el **invierno más seco registrado** en diversas estaciones de la zona sur, por ejemplo, Concepción (243.2 mm), Angol (267.2 mm), Valdivia (439.6 mm) y Palena (263.2 mm). En este período solo la zona austral desde los 50° al sur se observaron anomalías positivas de precipitación (Fig.18).

Durante la primavera continuó el déficit pluviométrico en la zona sur, sin embargo, durante el mes de diciembre en la zona norte se observaron precipitaciones sobre el promedio.

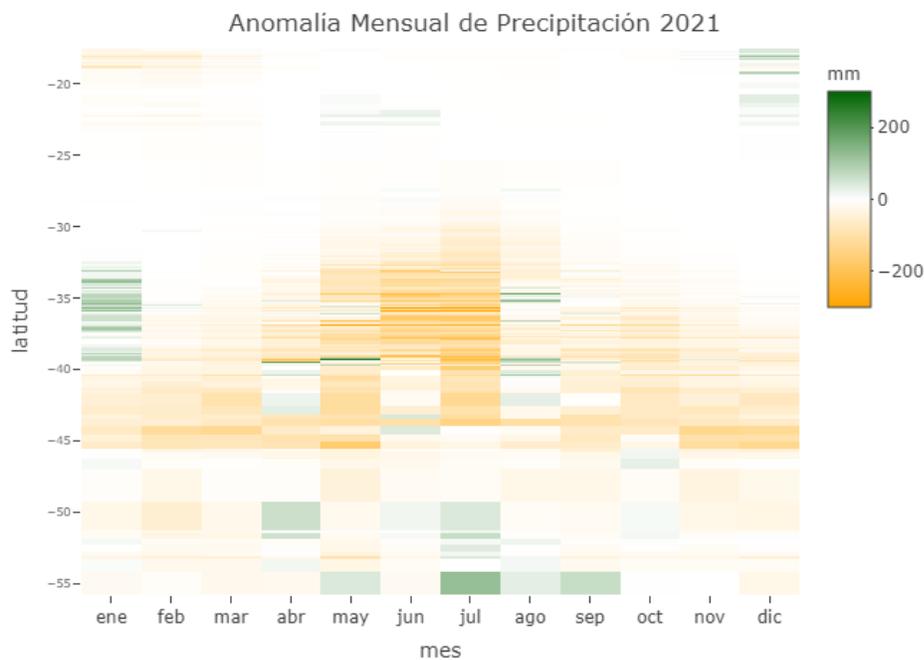


Figura 18. Anomalía mensual de precipitación (mm) año 2021 respecto al período climatológico 1981-2010. Color verde indica anomalías positivas y naranjos negativas.

3.2 Tendencias de la precipitación

El análisis de tendencias a nivel nacional, tal como se mostró en la figura 16, es de 4 mm/década, sin embargo, debido a la gran diferencia climática se observa que las tendencias negativas anuales son más pronunciadas entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos (Fig. 19), donde la estación Las Trancas ubicada en la Región de Ñuble presenta el mayor descenso con -386 mm/dec, lo que equivale a una disminución del 17 % cada 10 años respecto al promedio 1981-2010. Por el contrario, tendencias positivas se observan en la zona norte del país, donde la estación Chucuyo Retén presenta el mayor aumento con 37 mm/dec que equivale a un incremento de 11 % cada 10 años. En la zona austral (Aysén y Magallanes) se observan tanto tendencias positivas como negativas, la mayoría débiles con cambios menores al 5 %/dec.

En la escala estacional, destacan las tendencias positivas durante otoño en la zona norte desde región de Arica hasta la parte norte de la Región de Coquimbo, mientras que desde el Sur de ésta última hasta la Región de Aysén las tendencias son mayormente negativas (Fig. 19).

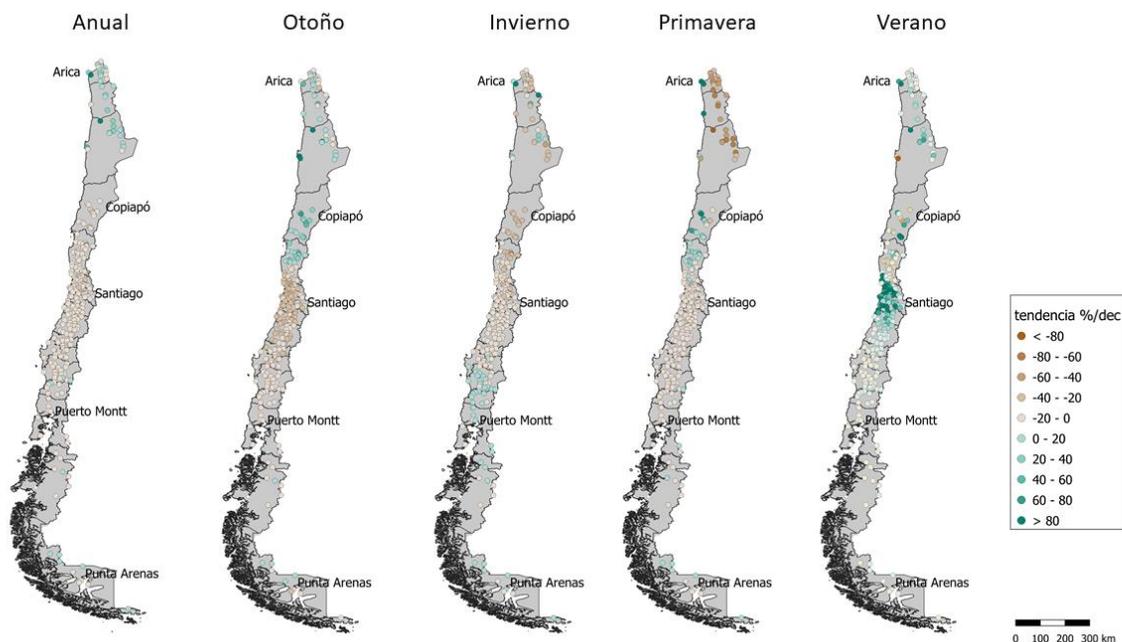


Figura 19. Tendencia de precipitación en porcentaje por década para acumulado anual, otoño, invierno, primavera y verano durante el período 1981-2020.

En invierno, se observan tendencias negativas desde el interior de la zona norte hasta la Región del Biobío, mientras que, desde La Araucanía al sur se observan mayormente tendencias positivas. En términos porcentuales los cambios son menores que en otoño, por ejemplo, en la parte sur de la Región de Coquimbo. En primavera ocurre una situación similar al otoño, en la Región de Atacama y la parte norte de la Región de Coquimbo se observa un incremento en la precipitación, mientras que en las estaciones cordilleranas del norte las tendencias son negativas. Al mismo tiempo, tendencias negativas se observan entre la Región de Valparaíso y Los Lagos.

Por último, en verano se produce una notoria diferencia respecto a las otras estaciones del año en la zona central, donde se observan tendencias positivas que, si bien en términos porcentuales son importantes para la estación, no logran compensar el decrecimiento a escala anual. Situación contraria a lo que ocurre en el norte del país, donde las tendencias positivas de verano impulsan la tendencia anual hacia el aumento de la precipitación, debido a que ésta es la estación lluviosa en esa zona.

TENDENCIAS DE LOS DÍAS CON PRECIPITACIÓN

Durante el año 2021 las estaciones de Concepción, Valdivia, Osorno y Puerto Montt, presentaron la **menor cantidad de días con precipitación desde 1961**, con 47, 97, 95 y 125 días respectivamente, lo que se traduce en 33, 39, 39 y 49 días menos de lluvia durante el año respecto al promedio. Por otro lado, Temuco alcanzó el segundo lugar con 76 días menos de precipitación, detrás de 1998 que tuvo 72, implicando un déficit de 40 días de lluvia durante 2021 (Fig. 20).

Algo similar ocurre al considerar los días con precipitación sobre 10 mm. Concepción, Temuco y Puerto Montt alcanzaron el menor número de días, mientras que Valdivia y Osorno quedaron en tercer y segundo lugar, respectivamente (ver pág. 39).

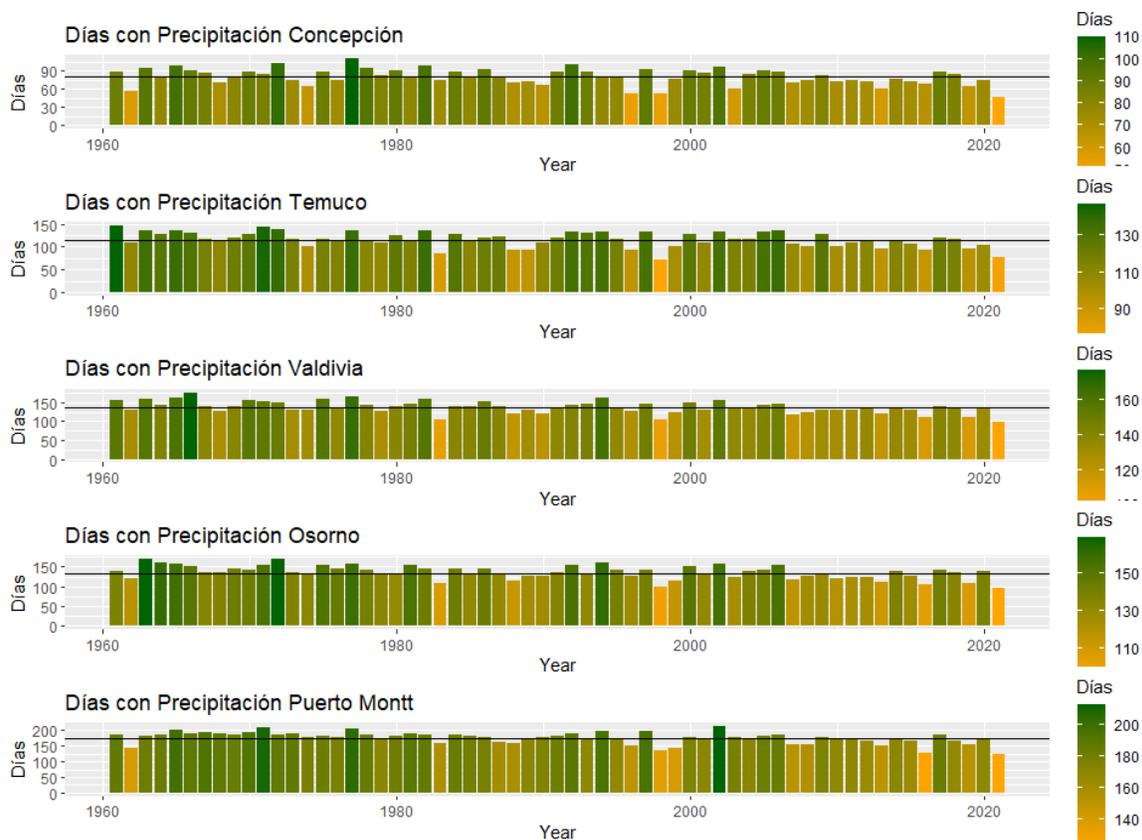


Figura 20. Número de días con precipitación (precipitación diaria > 1 mm). La línea negra representa el promedio 1981-2010.

3.3 EVENTO DE PRECIPITACIÓN INUSUAL

Un ejemplo de la importancia de la lluvia de enero en la zona central, se muestra en la figura 21, donde se observa la precipitación mensual para Santiago y Talca. En Santiago, **la lluvia de enero de 2021 representó aproximadamente un 35% del total anual**, destacando además que fue el mes más lluvioso del año. La temporada de lluvia (mayo-septiembre) estuvo en general más baja que el promedio, donde en el mes de julio no se observó lluvia. En Talca, la lluvia de enero alcanzó un 25% del total anual, en esta localidad durante los meses de mayo y septiembre los valores se acercan al promedio, mientras que los meses de invierno permanecen más bajos.

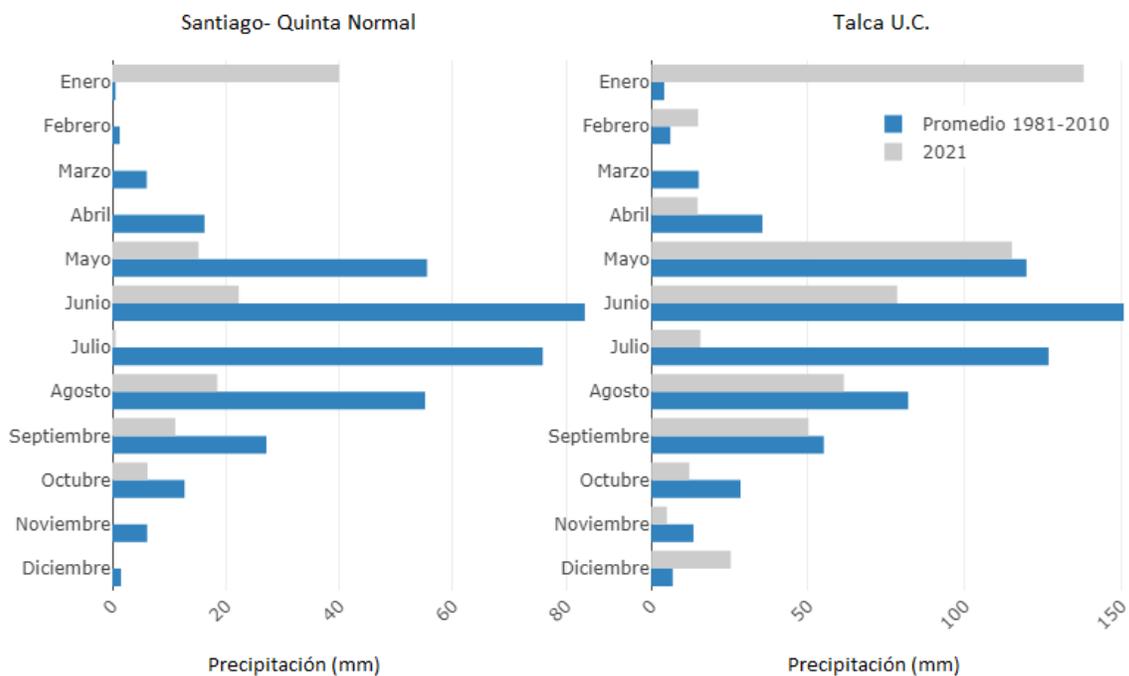


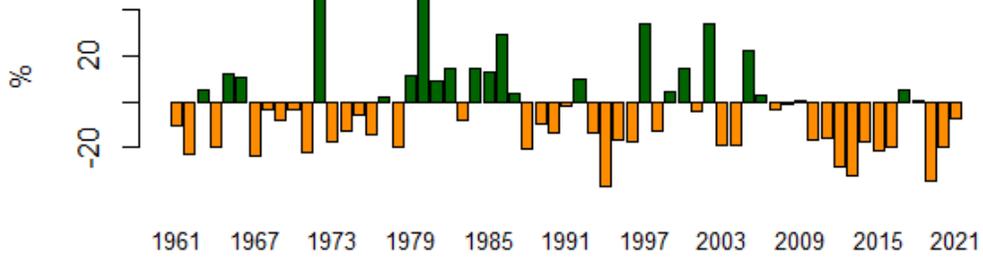
Figura 21. Precipitación mensual para Santiago y Talca. Barra gris corresponde al año 2021 y azul representa el promedio 1981-2010.

3.4 Precipitación en estaciones insulares

La precipitación en la estación de Juan Fernández se observó bajo el promedio durante 2021 con un 7% de déficit. Esta se mantuvo mayormente bajo el promedio durante el año, salvo el mes de abril, donde alcanzó más de 199.8 mm quedando como el tercero más lluvioso desde 1961. La tendencia de los valores anuales alcanza -21 mm/dec durante el período 1961-2021 (Fig. 22).

En Rapa Nui, el déficit de precipitación en el año 2021 alcanzó un 22% siendo el 12avo año consecutivo con valores bajo el promedio. Entre febrero y mayo se observó precipitación sobre el promedio, mientras que el resto de los meses se mantuvo bajo este. La tendencia de los valores anuales alcanza -10 mm/dec para el período 1961-2021.

Anomalía Porcentual de Precipitación Juan Fernández



Anomalía Porcentual de Precipitación Rapa Nui

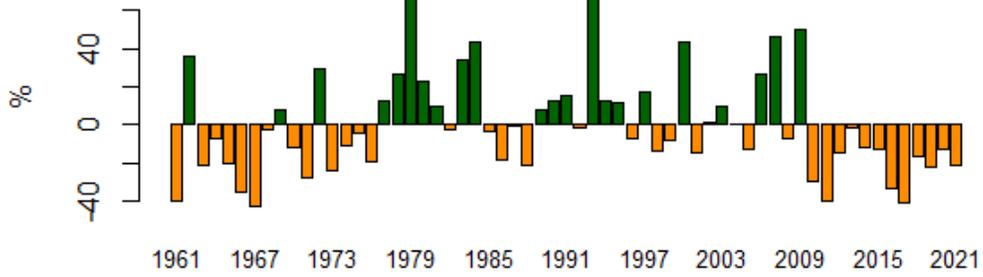


Figura 22. Anomalías de precipitación anual en Juan Fernández (panel superior) y Rapa Nui (panel inferior). Barras verdes indican años más lluviosos y barras naranjas años más secos.

4. Sequía

MONITOR DE SEQUÍA

Una de las prioridades en materia climática y el impacto en la población y economía del país es la sequía, lo cual nos ha planteado desafíos respecto a la forma más adecuada de clasificar las zonas de impacto de la sequía en términos climáticos, no solo basados en la precipitación, ya que como hemos estado evidenciando desde hace tiempo, la temperatura y la relación entre ambas es sumamente relevante para la eficiencia evaporativa. Además, la cobertura vegetal es un factor de respuesta a las condiciones climáticas detectadas. Todos estos índices fueron consolidados para obtener la intensidad de la sequía en 6 categorías, Anormalmente Seco, Sequía Moderada, Sequía Severa, Sequía Extrema y Sequía Excepcional. En la figura siguiente se observa este monitor en forma de mapas estandarizados del año 2021 (índice acumulado de los 12 meses del año) y mapas de la persistencia de la sequía en periodos de 3 meses a contar de agosto (invierno), 24 meses para describir los últimos 2 años y 48 meses para los últimos 4 años (Fig. 23).

Durante el 2021, se conjugó dos condiciones adversas para la sequía, por un lado, déficit de precipitaciones entre un 70% y 40% en la zona centro y sur, respectivamente (capítulo 3) y otoño, invierno y primavera extremadamente cálidos (capítulo 2) en la zona sur-austral de Chile, estas condiciones favorecieron la sequía llegando a extrema entre las regiones de Los Ríos y Los Lagos, además de algunas zonas de la región de Valparaíso. Desde la región de Coquimbo hasta la Araucanía y entre Aysén a Magallanes el monitor de sequía indica condiciones de sequía moderada a severa (Fig. 23 a). Se enfatiza que el invierno en la zona central fue el principal promotor de estas condiciones según se observa en la persistencia (Fig. 22 b). A 2 y 4 años, las regiones más afectadas por la extensión de la sequía es entre el sur de la región de Coquimbo y la región del Maule (Fig. 23 c y d).

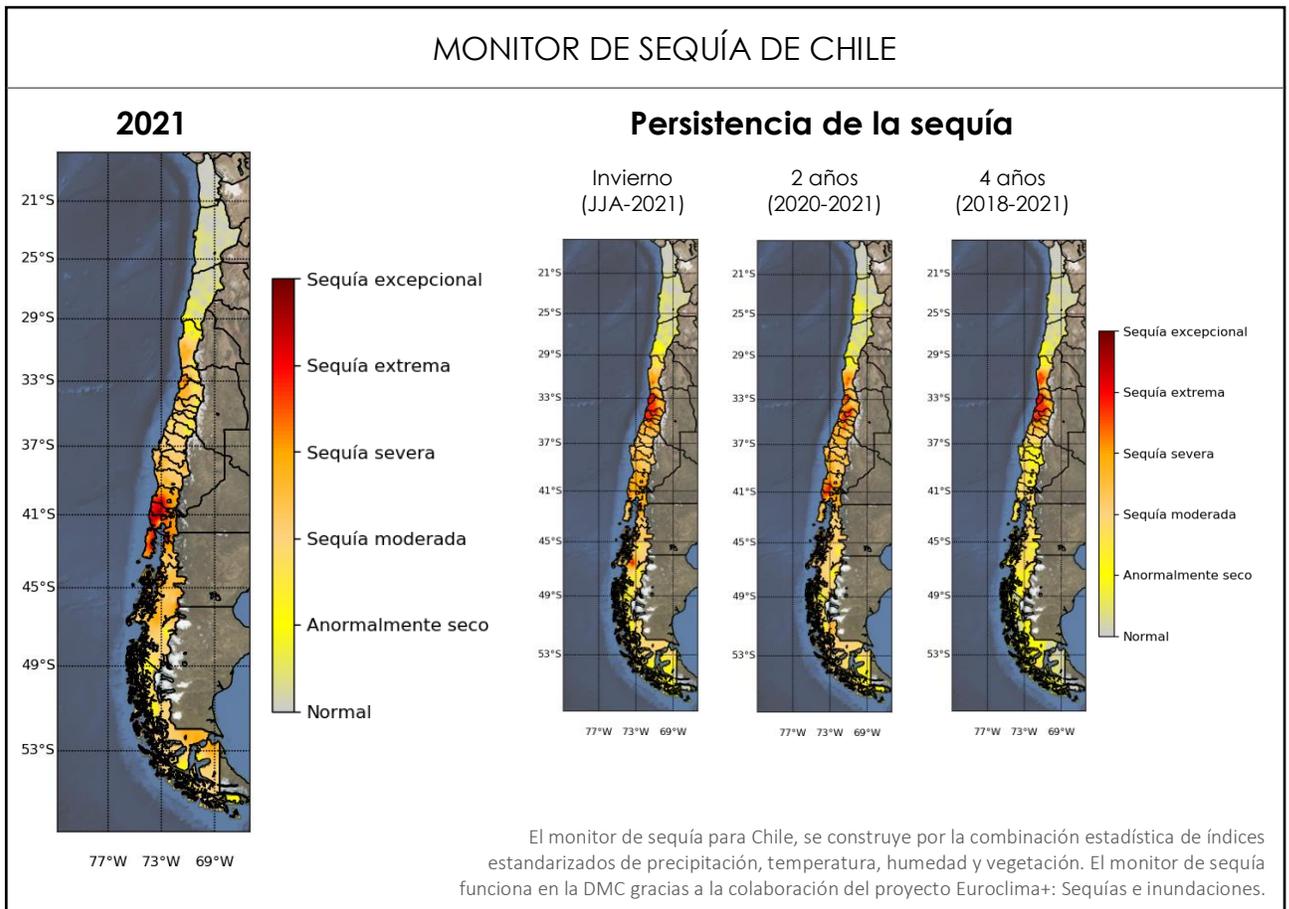


Fig. 23: Monitor de sequía para Chile, panel principal año 2021 (índice de 12 meses), y b) persistencia de la sequía para evaluar el impacto acumulativo en invierno del año 2021, a 2 y 4 años. Colores más rojos indican mayor intensidad.

ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI)

La evolución del índice estandarizado de la precipitación (SPI) (Fig. 24), revela de la intensificación de la sequía en términos de la precipitación en los últimos 3 años. Varias ciudades tuvieron récord del índice SPI, llegando a valores incluso mayores a la sequía del año 1968, y 1998. Algunas localidades son: San Antonio, Rancagua, Bulnes, Concepción, Los Ángeles, Pueblo Nuevo, Valdivia, Osorno, Puerto Montt, Palena, Puerto Aysén, y en muchas de la zona central y sur fueron las segundas más secas según el índice SPI.

Como se observa en las figuras de la evolución del SPI (Fig. 23), en la zona central se observa índice negativo durante 12 a 14 años consecutivos donde los valores de los últimos 3 años son mínimos de hasta -2 u.e, en la zona sur la longitud de la sequia es más corta, pero mas intensa, superando a la sequia del 68 y en algunos casos a la del 98.

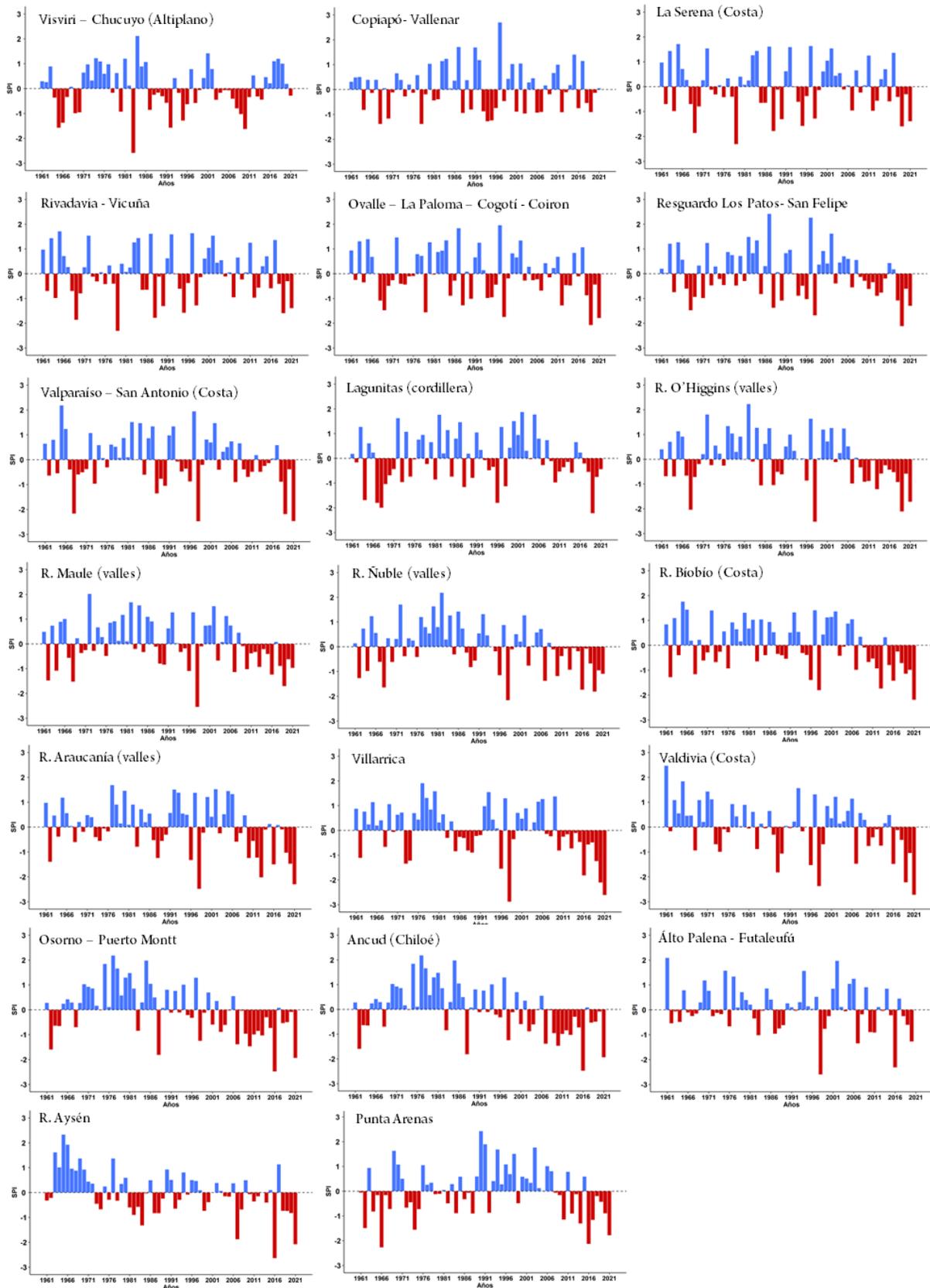


Fig. 24: Evolución del índice promedio del SPI de 12 meses en la zona central del país, desde 1961 al 2020. El zoom indica el actual periodo de sequía considerado hasta diciembre del 2020.

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 las variables de precipitación y temperatura. Proporciona excelente información para comparar a nivel global los cambios más importantes ya que son índices estandarizados (ver descripción de los índices en anexo. 6.3).

5.1 Índices de temperatura

DÍAS Y NOCHES CÁLIDOS (TX90P-TN90P) /DÍAS Y NOCHES FRÍAS (TX10P-TN10P):

El porcentaje de **días fríos fue significativamente mayor durante el 2021** que el año anterior y también respecto a su valor medio llegó a 26% en la zona norte costa, producto de una condición más fría tanto de la temperatura mínima en tierra como en la temperatura del océano. Las ciudades más afectadas fueron Antofagasta con un 40% y Arica 19% más de días. Por otro lado, en la zona sur austral disminuyeron a la mitad (Fig. 25)

En cambio, los **días cálidos**, es decir los días en que la temperatura máxima supera el umbral del 90 %, fue menor en la zona norte costa, incluso en Iquique y Antofagasta casi no tuvieron días cálidos, sin embargo, desde la zona centro al sur, se presentó con un mayor número de días cálidos sobre un 10% más. **Futaleufú, Chile Chico, Lord Cochrane, Punta Arenas y Puerto Williams, fueron récord desde 1961 y Porvenir, Pucón y Torres del Paine desde 1981** (ver récords por ciudad en el anexo 6.5).

La tendencia regional de los días fríos y cálidos es poco significativa, pero existe una diferencia regional clara con respecto a lo que pasa en el norte de Chile y el resto del país. Mientras los días cálidos disminuyen en el norte en el resto del país aumenta en un orden de un 1%, al contrario, ocurre con los días fríos.

Las **noches frías** asociadas a la temperatura mínima fueron inferior al promedio, entre un 3% y un 6%, mientras que las **noches cálidas presentaron aumentos en la zona sur y austral** alcanzando un 12% y 16%, respectivamente, esto significa un incremento de un 2% y 6% de las noches cálidas en esta zona (Fig. 25).

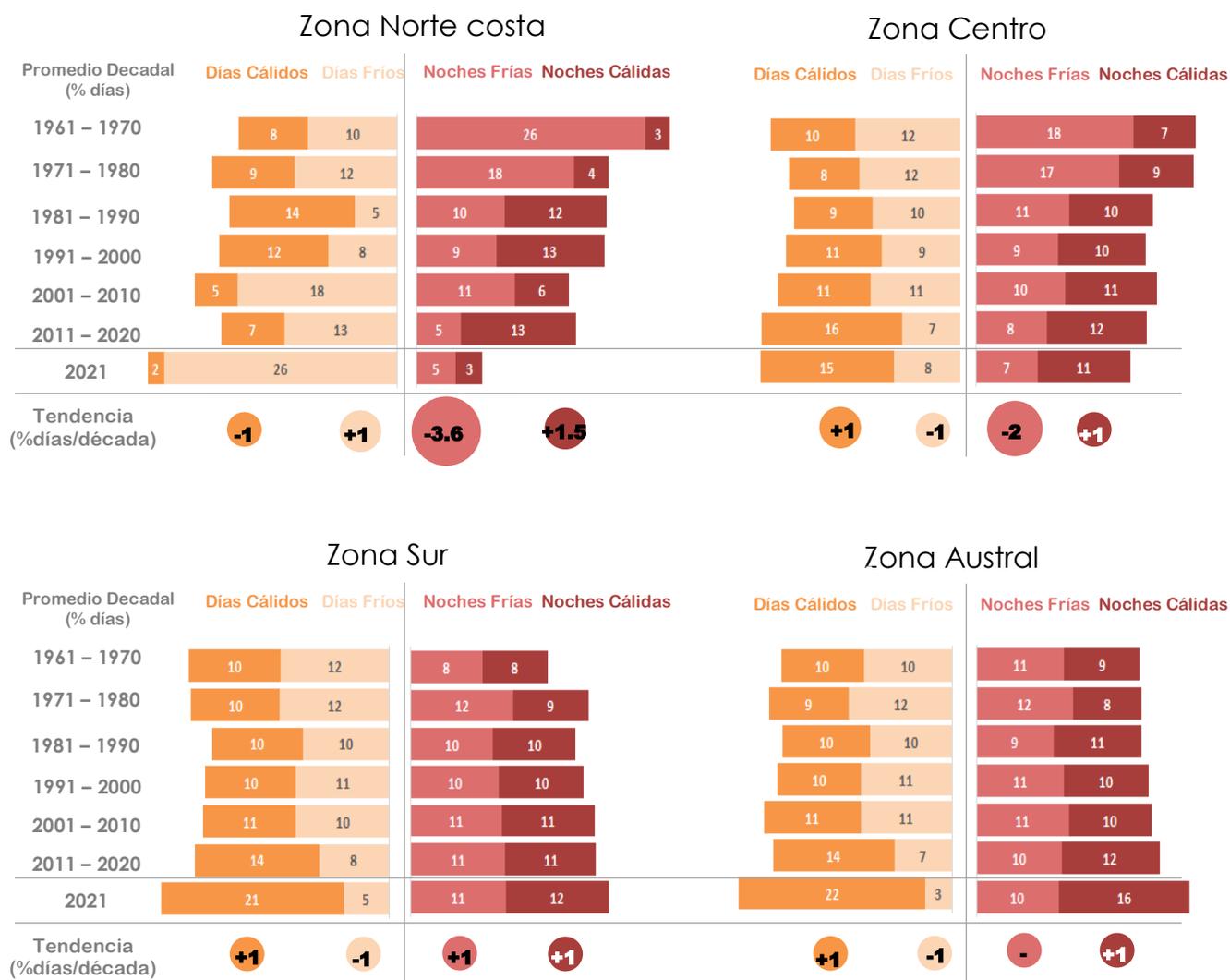


Fig. 25: Los gráficos muestran el promedio decadal de los indicadores de percentiles asociados a la temperatura, días cálidos (TX90p), días fríos (TX10p), noches frías (TN10p) y noches cálidas (TN90p) en unidades de % de días al año. Se muestra el valor promedio por zona del año 2020. En círculos se indica la tendencia en unidades de % días/década, donde el tamaño refleja el valor de la tendencia ya sea positiva o negativa.

Respecto a la evolución de como se han ido modificando los indicadores a través del tiempo, se destaca una significativa disminución de las noches frías en la costa norte de Chile, de 3.6% de días por década, pero al mismo tiempo se ha observado un incremento de los días fríos (sobre todo este año 2021), esto quiere decir que **las noches son más cálidas y las tardes más frías en la costa**. En la zona centro se observa incremento en los días cálidos e incremento en las noches cálidas, por lo que el clima se ha vuelto, más cálido tanto en las mañanas como en las tardes. En las zonas sur y austral no hay tendencias significativas desde 1961, pero en la última década ha sido extraordinariamente cálida, lo que se ha visto reflejado en las tendencias de los días cálidos, principalmente.

OLAS DE CALOR (OC)

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

Estos eventos en Chile se han hecho más frecuentes en gran parte del país, especialmente durante esta última temporada (noviembre 2020 a marzo 2021) en la zona sur y austral, en que hubo récords de eventos de olas de calor en ciudades como Valdivia, Osorno, Balmaceda y Punta Aysén entre otras, llevando a superar ampliamente el promedio de 9 eventos de olas de calor en la zona sur y 8 eventos de olas de calor en la zona austral según el período 1981-2010 (Fig. 26) (ver anexo 6.5).

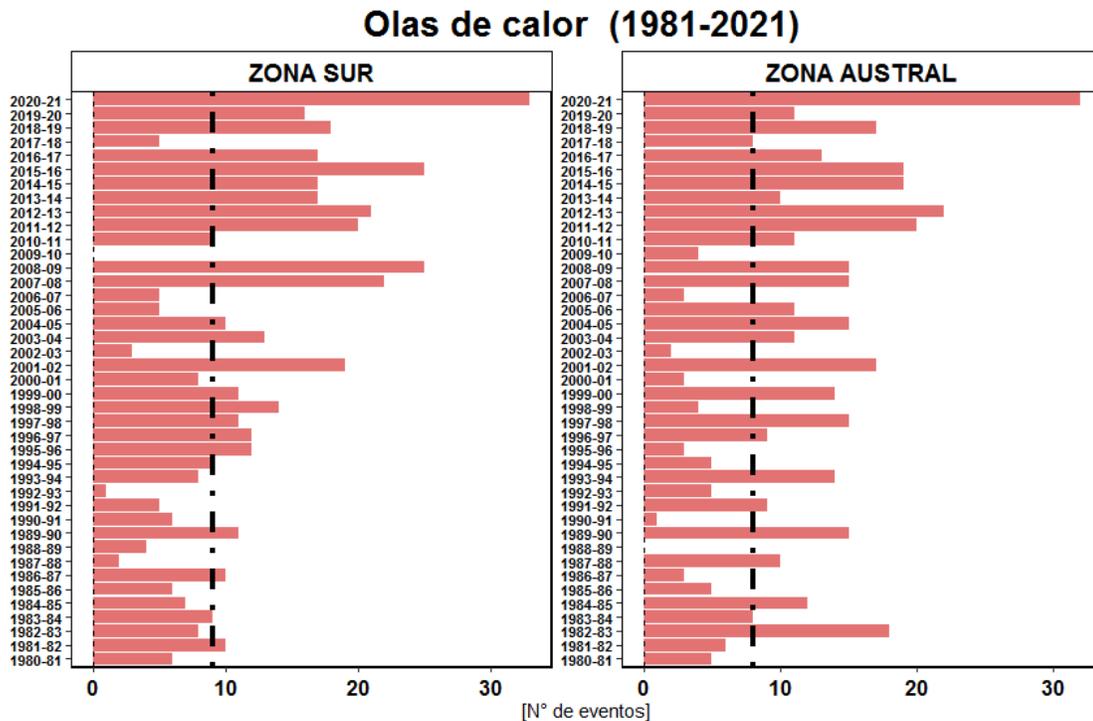
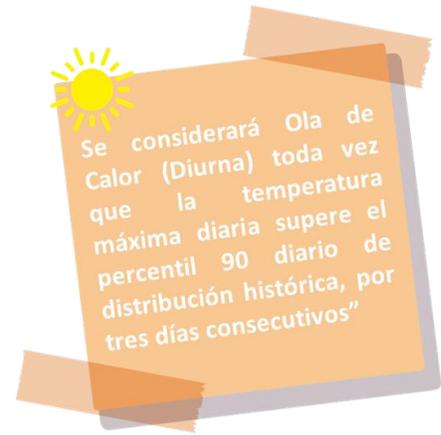


Fig. 26: Número de eventos de olas de calor por temporada (noviembre a marzo) desde 1981 hasta el 2021 en la zona sur (Temuco, Valdivia, Osorno, Futaleufú, Alto Palena) y en la zona austral (Coyhaique, Balmaceda, Puerto Aysén y Punta Arenas) en barras rojas y promedio de eventos de olas de calor entre 1981-2010 en cada zona en línea segmentada negra.

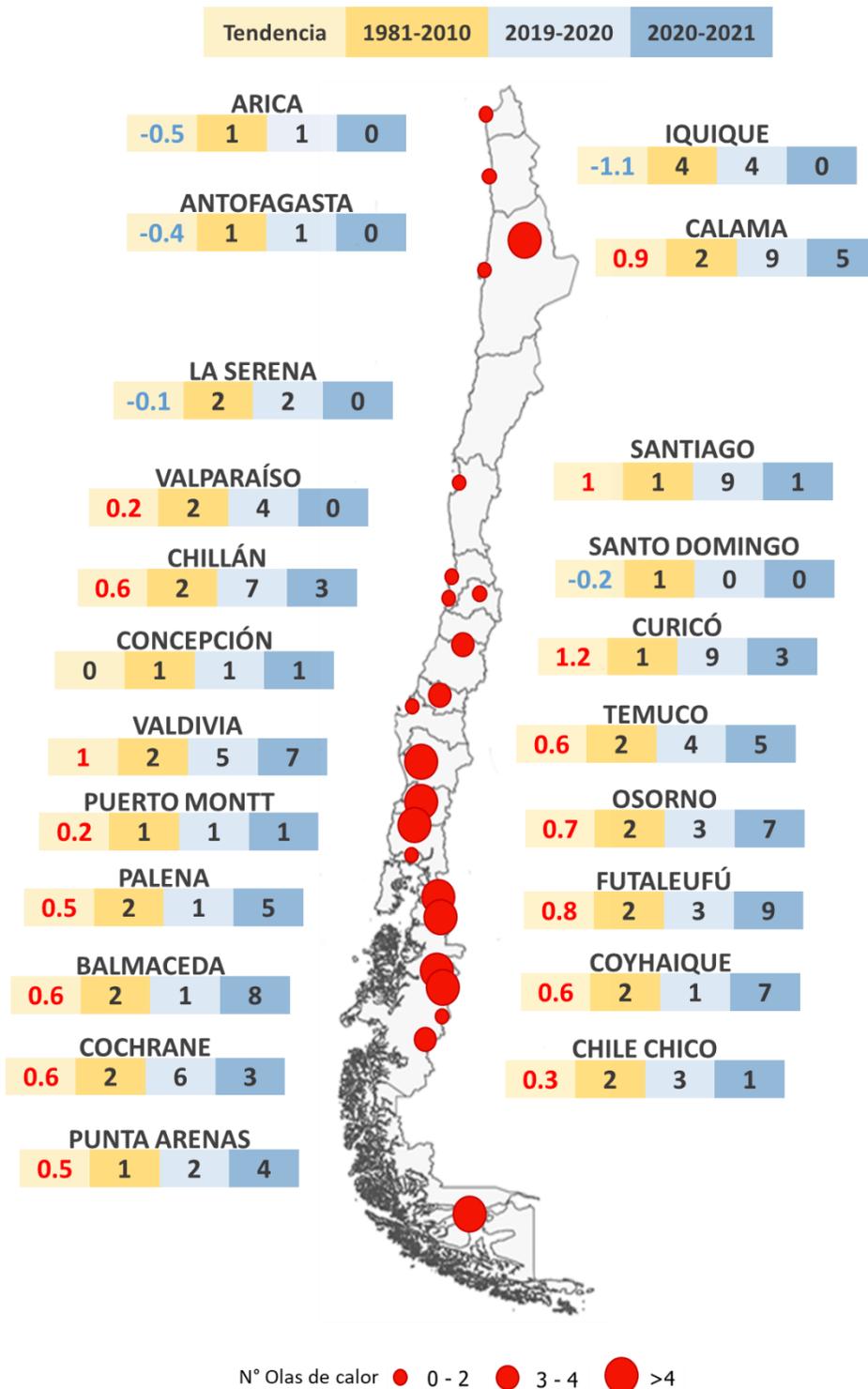


Fig. 27: Mapa de olas de calor. El tamaño de los círculos rojos es proporcional al número de OC registrados en la temporada 2020-2021. Los recuadros amarillo claro muestran la tendencia. En amarillo oscuro el promedio climatológico (1981-2010), en celeste la temporada 2019-2020 y en azul la temporada 2020.2021.

En cuanto al resto del país, en la zona central, los eventos de olas de calor muestran una tendencia positiva de 1 evento por década en ciudades como Santiago y Curicó (Fig.

27), sin embargo, al comparar la cantidad de eventos con la temporada pasada (2019-2020), estos mismos disminuyeron significativamente esta temporada (2020-2021), en ambas ciudades indicando que la zona central no estuvo tan cálida como el verano pasado.

Por otra parte, las estaciones costeras de la zona norte del país continúan mostrando una tendencia negativa de los eventos de olas de calor de -0.5 y -0.4 eventos por década en Arica y , Antofagasta respectivamente, tal como se ha evidenciado en el último tiempo, incluso en ambas ciudades durante la temporada recién pasada (2020-2021), no se registraron eventos de olas de calor, al igual que en La Serena, Valparaíso y Santo Domingo lo que evidencia un enfriamiento del océano.

RANGO DIURNO DE TEMPERATURA (DTR)

El análisis de las variaciones del DTR es interesante de examinar ya que puede impactar tanto a la agricultura como a la salud humana, específicamente en la temperatura corporal. Sus variaciones pueden indicar que el sector puede estar afectado por un cambio en la cobertura nubosa, en la irrigación, desertificación, urbanización, entre otras. Aquí mostramos dos zonas del país donde se ha observado una significativa **disminución del DTR en la zona norte costa de $-0.32^{\circ}\text{C}/\text{década}$** , donde en la década 1961-1970 era de 7°C en promedio, en esta última década llega a 5.4°C , casi 2 grados de diferencia (Fig.28). Esta disminución en la costa norte se debe a un aumento de la temperatura mínima y disminución de la máxima, durante el 2021 y el 2020 han sido los valores más bajos de DTR, de 5.2° en promedio y en Antofagasta fue récord con solo 4.5°C en 61 años (ver anexo 6.5).

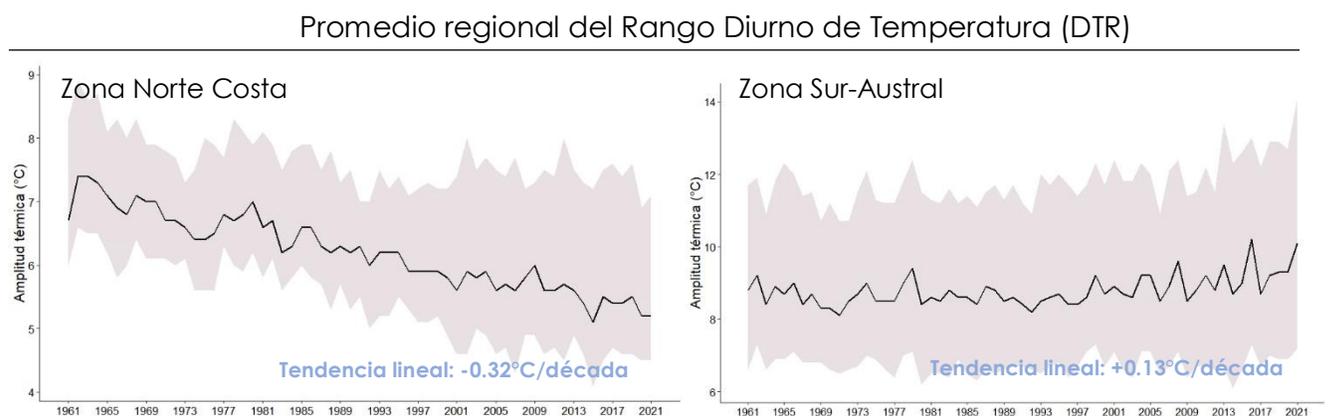


Fig. 28: Promedio regional del DTR en la zona norte costa (panel izquierdo) y zona sur austral (panel derecho). Lo sombreado indica las variaciones mínimas y máximas de las estaciones.

Al contrario, en la **zona sur austral el DTR se ha incrementado significativamente**, en promedio 0.11°C/década siendo desde Futaleufú hasta Chile Chico la zona donde se presentan las tendencias más abultadas hasta 0.4°C/década. Durante el 2021 se registraron varios **récords de amplitud térmica alta**, como en Valdivia, Futaleufú, Alto Palena, Coyhaique, Balmaceda, Lord Cochrane y Chile Chico.

5.2 Índices de precipitación.

DÍAS CON PRECIPITACIÓN SOBRE 10/20 MM (RR10MM, RR20MM)

Escasos fueron los días con precipitación fuerte y extrema en la zona sur-austral de Chile (Fig. 29). Por ejemplo, en Concepción fueron solo 14 días con precipitación sobre 10 mm, mientras que normalmente llueven 25 días con esta cantidad. En esta misma condición se observó con récord, Temuco, Puerto Montt, Palena, Balmaceda. En la figura se observa el promedio regional, siendo 17 días el 2021, mientras que en promedio son 40 días al año. La tendencia refleja esta disminución de 3 días por década, donde a excepción del 2017, desde hace 11 años que los días de precipitación están disminuyendo. Misma situación se observó durante el 2021 en la precipitación intensa sobre 20 mm, otro ejemplo en Puerto Montt fueron solo 6 días mientras que normalmente son 18 días, es decir, un tercio del valor. Los detalles los puede ver en el anexo 6.3.

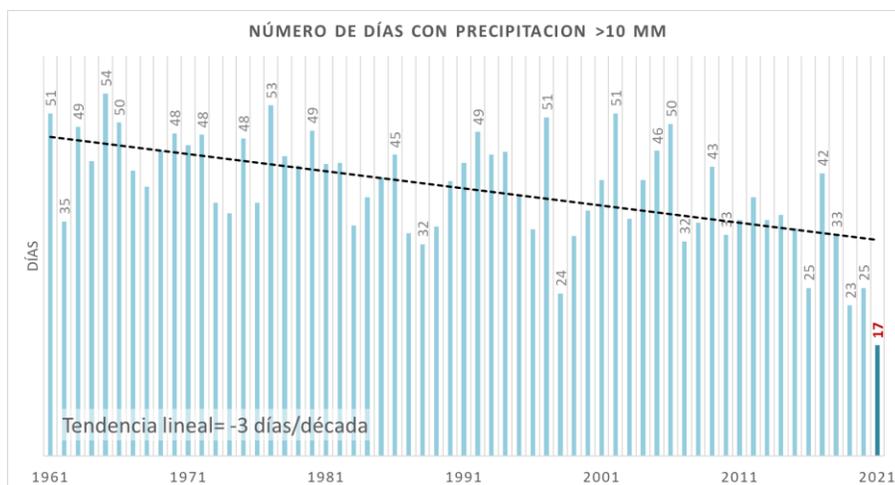


Fig.29. Promedio de las estaciones de la zona sur-austral del número de días con precipitación sobre 10 mm. En línea segmentada se muestra la tendencia lineal.

6. ANEXOS

6.1 Estaciones

Datos meteorológicos recopilados desde Dirección Meteorológica, Servicio Meteorológico de la Armada de Chile (SERVIMET), Red Agroclimática, Dirección General de Aguas, instituciones particulares, CODELCO-ANDINA, ESVAL. En total son 114 estaciones de temperatura y 265 de precipitación. Para todo mapa en este informe se considera estos como referencia (Fig. 30).

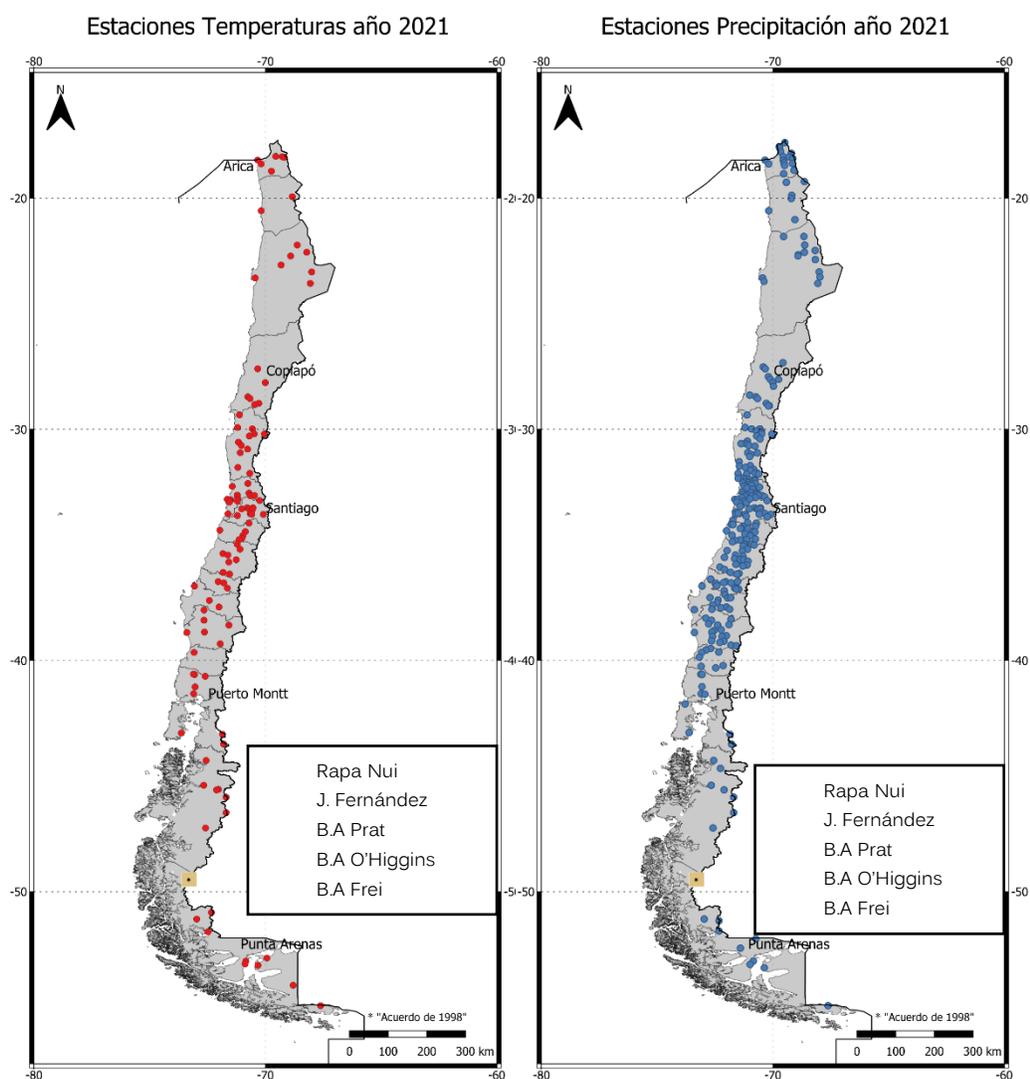


Fig. 30 mapas de ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas en el informe 2021

6.2 Récord

6.2.1 TEMPERATURA

Récords cálidos					
	Localidad	T°	Anomalía	Anterior	Afectación
Temperatura media	Pucón	13.4	1.2	2016	Región de La Araucanía a la Región de Magallanes
	Futaleufú	11	1.4	1998	
	Puerto Aysén	10.7	1.4	1998	
	Balmaceda	8.5	1.6	1998	
	Lord Cochrane	9.6	1.2	1998/2016	
	Cerro Guido	8.9	2	1983	
	Torres del Paine	9.1	1.5	1983	
	Puerto Natales	7.6	1.4	1982/2016	
Temperatura Máxima	La Ortiga	26.9	3	2006	Región de Coquimbo hasta la Metropolitana y desde la Región de La Araucanía hasta Magallanes
	Salamanca	25.4	1.6	2020	
	Calle Larga	27.4	2	1987	
	Tobalaba	23.9	1.5	2020	
	Pucón	19	1.9	1998	
	Valdivia	18.5	1.4	2016	
	Futaleufú	16.7	2.3	2016	
	Puerto Aysén	14.7	2.2	2016	
	Coyhaique	15	2	2016	
	Balmaceda	13.9	2.3	2016	
	Chile Chico	17	1.7	2013	
	Lord Cochrane	15.4	2.4	2016	
	Cerro Guido	13.2	2.1	2016	
	Torres del Paine	13.2	1.5	2004	
	Puerto Natales	12.8	2.7	2016	
Porvenir	11.2	1.2	2016		
Récords fríos					
	Localidad	T°	Anomalía	Anterior	Afectación
T° Máx	Antofagasta	18.7	-1.3	2007	Costa Región de Antofagasta
T° Min	Ovalle	7.3	-1	2019	Región de Coquimbo

6.2.2 PRECIPITACIÓN

Records : Años más Secos			
	Localidad	mm 2021	Afectación
ANUAL	Rapel (r. Coquimbo)	16.8	Desde el sur de la región de Coquimbo hasta la región de Aysén
	Tascadero	34.1	
	Lo Rojas	70.6	
	Llú-Llú_Embalse	84.8	
	San Antonio	44.9	
	Rancagua	57.4	
	Pichidegua	121.1	
	Pichilemu	149.1	
	Coelemu	319.1	
	Diguillín	768.2	
	Concepción	559.2	
	Laja	485.9	
	Los Angeles	483	
	San Carlos de Purén	567.5	
	Angol	511.4	
	Lumaco	423.5	
	Pueblo Nuevo	598.6	
	Puerto Saavedra	617.8	
	Quitratue	1091.2	
	Valdivia	949	
Osorno	744.8		
Puerto Montt	921.7		
Palena	569.9		
Puerto Aysén	1389.5		
VERANO	Puerto Aysén	247.6	Región de Aysén
OTOÑO	San Antonio	2.2	Desde la región de Valparaíso hasta la región de Ñuble
	Rancagua	3.9	
	Rengo	11.9	
	San Fernando	20.2	
	Convento Viejo	12.8	
	El Manzano	3.9	
Diguillín	94.4		
INVIERNO	Lo Rojas	36.7	Desde el sur de la región de Coquimbo hasta la región de Los Lagos
	Llú-Llú_Embalse	45	
	Coelemu	187.1	
	Concepción	243.2	
	Angol	267.2	
	Lumaco	220.9	
	Vilcun	386.5	
	Freire	339.8	
	San José Mariquina	411.4	
	Valdivia	439.6	
Palena	263.2		
PRIMAVERA	Cauquenes	8.6	desde la región del Maule hasta la región de Los Lagos
	Vilcun	112.1	
	Lago Ranco	192.5	
	Canal Bajo Osorno Ad.	114	
	Puerto Montt DGA	205.7	
Palena	67.6		

Records: Más lluviosos			
	Localidad	mm 2021	Afectación
ANUAL	Quillagua	15.5	Cordillera Región de Antofagasta
	Azapa*	10.9	Segundo más lluvioso, Región de Arica y Parinacota
VERANO	Monte Grande	3.2	Verano más lluvioso desde hace 41 años, activo quebradas. Hubo deslizamientos de tierra. Desde la región de Coquimbo hasta la región del Maule
	Pisco Elqui	4.4	
	Lagunitas	110.6	
	Rincon de Los Valles	22.1	
	Pudahuel	29	
	Santiago	40	
	La Obra Recinto	85.1	
	San José De Maipo	101.6	
	Pirque	100.5	
	El Yeso Embalse	95.3	
	San Gabriel	127.6	
	Rapel	178.6	
	Hidango	59	
	Litueche	86.9	
	Rio Cachapoal	84	
	Millahue	85.5	
San Fernando	80.6		
La Candelaria	85.1		
Ranguili	84.4		
El Guindo	99.7		
Talca	153		
OTOÑO	Azapa*	3.3	Segundo más lluvioso, Región de Arica y Parinacota
INVIERNO	Conchi embalse	25.5	Zona norte en cordillera. Región de Antofagasta
	Toconce	30.9	
PRIMAVERA	Azapa	1	Región de Arica y Parinacota

6.3 Definiciones Índices de Cambio Climático

Los índices de cambio climático son utilizados para llevar a cabo un seguimiento en términos de frecuencias, umbrales y rangos de las variables de temperatura y precipitación. La ventaja de su uso es que son índices estandarizados de manera que pueden ser comparables con los índices del globo y poner en contexto los impactos regionales del cambio climático en el país. Debido a la diversidad climática y geográfica de nuestro país, es que se seleccionan los índices más representativos y significativos para cada macrozona, en trabajos anteriores (Villarroel, 2006; Vásquez y Villarroel, 2017) se establecen algunos índices que han evolucionado a niveles preocupantes, sin embargo, en el anexo B2, se adjuntan los valores de la tendencia de cada índice y para ciudad estudiada. Además, se describe la metodología utilizada para su cálculo y el significado de cada uno de los indicadores.

Tabla 8.1: Índices de cambio climático de precipitación y temperatura calculados para Chile en el periodo 1961-2020 y 1981-2020. La tabla indica la sigla del índice en formato internacional, definición y unidades expresadas.

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

Estos índices actualmente se encuentran disponibles en el portal de climatología de la Dirección Meteorológica de Chile

(<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/historicos/mapaIndicesClimaticos/>).

6.4 Récords 2021 de Índices de eventos extremos climáticos de precipitación

INDICES DE PRECIPITACIÓN					
	Localidad	mm	Normal (mm)	Anterior	Afectación
Precipitación total anual (sobre 1 mm)	Concepción	552.4	1081	2013	Más seco desde región del Biobío a Los Lagos
	Valdivia	928.2	1730.2	1998	
	Osorno	727.6	1241.5	1988	
	Puerto Montt	902.6	1592.1	2016	
	Alto Palena	555.9	1693.8	2020	
	Angol*	378.6	1159.2	2012	
	Localidad	días	Normal (días)	Anterior	Afectación
Días con precipitación sobre 1 mm (R1mm)	Concepción	47	80	1996	Menos días con lluvia desde región del Biobío a Los Lagos
	Valdivia	97	136	1998	
	Osorno	95	134	1998	
	Puerto Montt	125	174	2016	
	Ovalle*	1	10	2019	
	Angol*	37	90	1998	
Días con precipitación sobre 10 mm (R10mm)	Concepción	14	35	2019	Menos días con lluvia fuerte desde región del Biobío a Los Lagos
	Temuco	20	40	1998	
	Puerto Montt	28	57	2019	
	Alto Palena	17	53	2020	
	Balmaceda	4	15	1984	
	Angol*	11	35	2019	
Días con precipitación sobre 20 mm (R20mm)	Valparaíso	0	7	2019	Menos días con lluvia extrema. Región de Valparaíso y desde La Araucanía a Los Lagos
	Temuco	5	15	2020	
	Valdivia	13	27	1988	
	Puerto Montt	6	18	2019	
	Alto Palena	3	28	2020	
	Balmaceda	1	4	2007	
	San Felipe*	0	4	2019	
	Localidad	mm	Normal	Anterior	Afectación
Precipitación máxima en 1 día (RX1day)	Talca*	95.0	55.7	1984	Mayor intensidad
	Valparaíso	17.3	71.4	2019	Menor intensidad
	Valdivia	46.2	90.1	1968	
	Balmaceda	20.0	39.9	1992	
	Parral*	35.5	70	2018	
	Angol*	38.2	88.9	2011	
Precipitación máxima en 5 días (RX5day)	Puerto Williams	125.8	49.4	2015	Mayor intensidad
	Valdivia	82.8	180.4	2007	Menor intensidad
	Balmaceda	29.3	68.1	2011	
	Parral*	68.3	155.4	2018	
Intensidad de la precipitación (SDII)	Balmaceda	3.8	6.0	1984	Menor Intensidad
	Lord Cochrane	5.6	7.0	2020	
	Punta Arenas	3.2	4	2016	
	Localidad	u.e	valor anterior	año anterior	Afectación
Índice de Sequía (SPI)	San Antonio	-2.95	-2.83	1998	Sequía extrema
	Rancagua	-3.06	-2.58	1968	
	Bulnes	-1.88	-1.58	1998	
	Concepción	-1.95	-1.74	2013	
	Los Ángeles	-2.44	-1.87	1998	
	Pueblo Nuevo	-2.53	-2.34	2013	
	Valdivia	-2.72	-2.37	1998	
	Osorno	-2.72	-2.58	1988	
	Puerto Montt	-2.82	-2.62	2016	
Puerto Aysén	-2.74	-2.47	2016		

6.5 Récords 2021 de Índices de eventos extremos climáticos de temperatura

INDICES DE TEMPERATURA						
Índices	Localidad	%días	valor anterior	año anterior	Afectación	
Días Fríos (TX10p)	Coyhaique	2.5	3.6	1983	Menos días fríos desde Región de La Araucanía a Magallanes	
	Balmaceda	1.9	2.5	2016		
	Chile Chico	3	3.8	2004		
	Lord Cochrane	2.2	2.5	2016		
Días cálidos (TX90p)	Pucón	27.1	21.2	2008	Más días cálidos desde la región de La Araucanía a Magallanes	
	Futaleufú	24.9	19.7	1962		
	Chile Chico	23.3	18.6	1962		
	Lord Cochrane	24.1	20.5	2016		
	Punta Arenas	21.6	20.1	2004		
	Torres del Paine	20.5	19.7	2016		
	Puerto Williams	28.5	19.1	2016		
Porvenir	21.9	21.3	2016			
Noches Frías (TN10p)	Curicó	1.6	1.6	2020	Menos días con noches frías	
	Concepción	2.5	3.3	2016		
Noches Calidas (TN90p)	Curicó	21.4	21	1997	Más noches cálidas	
	Arica	0	-	-	No hubo noches cálidas	
Índices	Localidad	°C	Normal	año anterior	Afectación	
Rango Diario de Temperatura (DTR)	Antofagasta	4.5	5.9	2020	Disminución	
	Valdivia	13.1	11	2016	Aumento de la amplitud térmica desde la región de Los Ríos a Aysén	
	Futaleufú	11.3	11.2	2016		
	Coyhaique	10.5	10.5	2016		
	Chile Chico	14.1	13.4	2013		
	Lord Cochrane	11.8	11.3	2020		
Índices	Localidad	Días	Normal	año anterior	Afectación	
	Días de Verano (SU25°)	Valdivia	69	32	2008	Más días con temperatura máxima sobre 25°C, desde los Ríos a Magallanes
		Castro	12	2	2008	
		Futaleufú	62	27	2008	
		Alto Palena	57	24	2008	
		Chile Chico	51	25	2008	
		Puerto Williams	1	0	2019	
Porvenir	2	0	2019			
Días de Verano (SU30°)	Pucón	23	6	2008	Más días con temperatura máxima sobre 30°C, desde los Ríos a Magallanes	
	Valdivia	21	4	2008		
	Coyhaique	10	1	2008		
	Balmaceda	6	1	2004		
	Chile Chico	14	4	2011		
	Lord Cochrane	7	1	2008		
Índices	Localidad	°C	Anterior	año anterior	Afectación	
Temperatura Máxima (TXx)	Antofagasta	24.5	27.4	1988	Más frío	
	Puerto Williams	26.1	26	1984	Más cálido	
	Chimbarongo*	37.3	37.3	2019		
Temperatura Máxima Mínima (TXn)	Puerto Montt	8	7.6	2006	Más cálido	
	Calama	17.1	17	2006		
	La Reina	9.1	8.8	1998	Más frío	
	Rapa Nui	14.6	15.2	1979		
Temperatura Mínima mínima (TNn)	Torres del Paine	-6.3	-6.4	1983	Más cálido	
Índices	Localidad	°C	Normal	año anterior	Afectación	
Días con heladas (FD0)	Pucón	0	7	1985	Más cálido	
	Illapel	8	2	2019	Más eventos fríos	
Índices	Localidad	Días	valor anterior	año anterior	Afectación	
Periodo cálido (WSDI)	Balmaceda	21	21	2013	Periodos cálidos más extensos	
	Puerto Williams	14	12	2016		
	Porvenir	6	6	2016		
Índices	Localidad	Eventos	Normal	año anterior	Afectación	
Ola de calor (OC)	Futaleufú	9	3	2015-2016	Más eventos de olas de calor por temporada (nov-mar)	
	Coyhaique	7	3	2011-2012		
	Balmaceda	8	3	2011-2012		
	Punta Arenas	4	1	2004-2005		
	Puerto Aysén	6	5	2015-2016		
	Lord Cochrane	7	3	2018-2019		

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
Sitio web: www.meteo Chile.gob.cl

