Análisis climatológico e indicador de tendencias mediante ajuste lineal de las temperaturas máximas extremas de verano en Santiago, Talca, Chillán y Los Ángeles.

Patricio Gonzalez-Colville[1*] y William Campillay-Llanos[1,2]

[1]Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología (CITRA), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca, Casilla 747, Talca, Chile.
[2]Instituto de Investigación Interdisciplinaria (I[3]), Universidad de Talca, Casilla 747, Talca, Chile.

Expositor: Patricio González-Colville (pgonzale@utalca.cl)
William Campillay-Llanos (wcampillay@utalca.cl)

Investigación expuesta en el 27 Congreso de la Sociedad Chilena de Ciencias Agronómicas.
Universidad Arturo Prat Iquique del 22 al 24 de noviembre 2023.

Revisada y aceptada por el comité científico el 8 de noviembre 2023.

Resumen.

En el contexto del cambio climático global los riesgos a la agricultura se están intensificando, especialmente debido al aumento del calor en verano, lo cual puede tener consecuencias devastadoras para el cultivo de frutas. El objetivo principal de este estudio es analizar climatológicamente el comportamiento de las temperaturas máximas extremas y proyectar sus tendencias para los meses de enero y febrero en los años 2024, 2025 y 2026 en cuatro ciudades de Chile: Santiago, Talca, Chillán y Los Ángeles.

A través de análisis gráficos y de tendencias climáticas pasadas, actuales y futuras, no solo se establecen las variaciones y los cambios temporales de esta variable, asociadas al cambio climático y a los eventos El Niño/La Niña, sino que se avanza en indicadores que la cuantifican respecto a los aumentos proyectados; a su vez proporciona una comprensión profunda de estos incrementos. La velocidad de crecimiento de estas tendencias lineales refleja el aumento anual promedio de las temperaturas máximas extremas en grados Celsius.

Este estudio proporciona además información para comprender los impactos negativos de las temperaturas máximas extremas, respecto a los procesos fisiológicos proyectados al corto plazo en los frutales, en estas ciudades. También destacamos la importancia crítica de tomar medidas decisivas en la elaboración de estrategias de adaptación para reducir daños y pérdidas, en una realidad climática cuya característica fundamental es la mayor recurrencia de los extremos meteorológicos.

1. Introducción.

En el contexto del cambio climático global, es esencial considerar que los análisis se presentan como estimaciones probabilísticas más que como certezas. Este panorama plantea un desafío para la agricultura, que históricamente ha operado bajo la necesidad de certidumbres en sus actividades estacionales. Sin embargo, en el actual panorama climático nacional y mundial, caracterizado por eventos extremos más que por condiciones "normales", la agricultura se encuentra más vulnerable a estas variaciones, particularmente debido al aumento progresivo de temperaturas máximas extremas durante el verano. En este nuevo escenario se empiezan a acrecentar las pérdidas económicas significativas para los agricultores, tales como golpes de sol, estrés hídrico y térmico. En este sentido, es crucial abordar el clima desde una perspectiva de indicadores de tendencias, identificando porcentajes de ocurrencias de temperaturas en contextos meteorológicos específicos que intensifican estos extremos en verano, como el aumento creciente y sostenido de la temperatura del planeta o la presencia de fenómenos como El Niño/La Niña, lo que aumenta el riesgo de potenciales daños durante etapas críticas del ciclo de vida de los cultivos.

El objetivo primordial de este estudio es analizar, a través de series de tiempo, el comportamiento térmico de los valores extremos máximos durante el verano en Santiago, Talca, Chillán y Los Ángeles. Además se busca aplicar ajustes lineales para cuantificar y proyectar las tendencias positivas que se observan en estas temporadas.

Esta investigación pretende no solo comprender los aumentos proyectados en las temperaturas máximas, sino también profundizar en la comprensión de estos incrementos y sus posibles impactos en la agricultura. La velocidad con la que estas tendencias lineales se están produciendo podría reflejarse en los incrementos estacionales esperados en las temperaturas máximas, expresados en grados Celsius, para los próximos años. Este estudio resalta la importancia crítica de tomar medidas anticipativas respecto a estrategias de adaptación, considerando el aumento significativo que están registrando las temperaturas máximas extremas del verano, que podrían generar ambientes climático vulnerables al desarrollo agrícola y aumentar la incertidumbre en cada temporada futura.

En los últimos 50 años, hemos transitado de la era Holoceno al Antropoceno, un período geológico donde la actividad humana tiene un impacto considerable en las condiciones biogeoquímicas del planeta. Nos hemos convertido por primera vez en el principal impulsor del cambio climático a gran escala en el planeta (Figueres y Rivett, 2021). Esta transición subraya la urgencia de abordar y comprender estos cambios para mitigar sus consecuencias en la agricultura y en el medio ambiente.

2.- Metodología.

Análisis climatológico.

Los datos de las temperaturas máximas extremas mensuales del verano y la pluviometría anual, para cada año, se obtuvieron de los Anuarios de la Dirección Meteorológica de Chile, Dirección General de Aguas, Red Agrometeorología-Instituto de Investigaciones Agrícolas (INIA) y del Banco de Datos Agrometeorológicos de la Universidad de Talca (Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología – CITRA).

Se contabilizaron y analizaron la cantidad total de eventos cálidos El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) que se han desarrollado en el océano Pacífico Sur. El período abarcado fue 1951-2023, en el cual se promediaron las temperaturas superficiales del mar (TSM) por cada categoría tipificada de los eventos, con el objetivo de

relacionarlas con las temperaturas máximas extremas para los meses de enero y febrero, para observar sus probables influencias. En este análisis también se incluyeron los eventos fríos La Niña.

				ELEVACION
CIUDAD	***REGION***	***LATITUD SUR***	***LONGITUD OESTE***	***m.s.n.m.***
SANTIAGO	METROPOLITANA	33° 27´ 00"	70° 40´ 00"	534
TALCA	MAULE	35° 25´ 37"	71° 39´ 56"	111
CHILLAN	ÑUBLE	36° 36´ 24"	72° 06´ 12"	155
LOS ANGELES	BIOBÍO	37° 28´ 15"	72° 21´ 06"	120

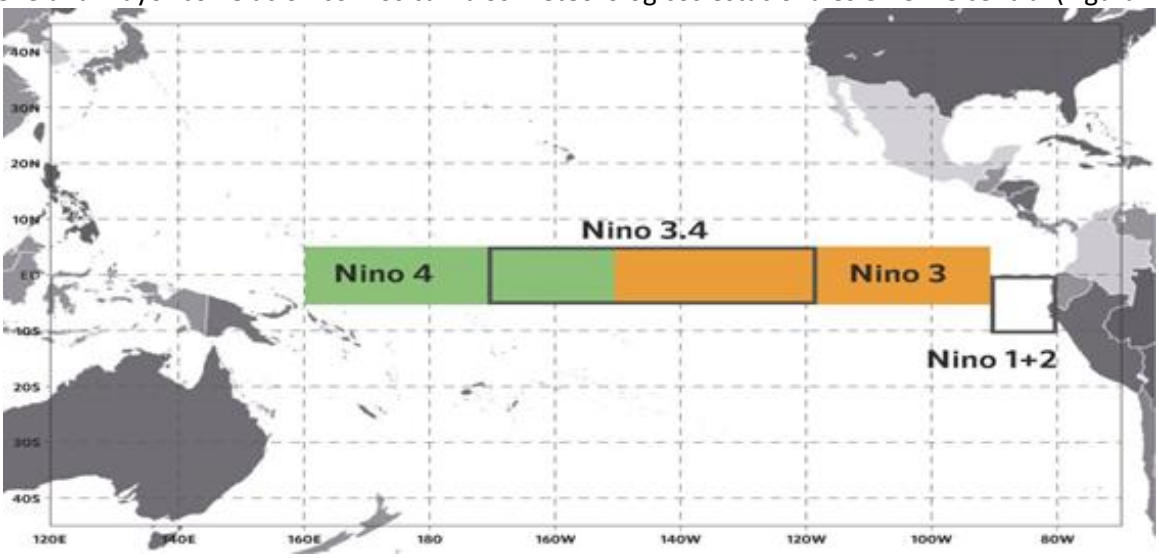
Tabla 1. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas.

CIUDAD	***REGION***	***TEMPERATURAS MAXIMAS EXTREMAS Y PLUVIOMETRIA ANUAL***
		AÑOS DE REGISTRO
SANTIAGO	METROPOLITANA	1919-2023
TALCA	MAULE	1914-2023
CHILLAN	ÑUBLE	1950-2023
LOS ANGELES	BIOBIO	1931-2023

Tabla 2. Períodos temporales para las variables meteorológicas consideradas.

Los eventos El Niño-Oscilación del Sur se definen cuando la temperatura superficial del mar (TSM) en el área 3.4 del océano Pacífico ecuatorial central indican 3 meses consecutivos en o por encima de la anomalía de +0.5° C para eventos cálidos (El Niño) y en o por debajo de la anomalía de -0.5° C para eventos fríos (La Niña). El umbral se divide en eventos Débiles (con una anomalía de TSM de 0,5 a 0,9), Moderados (1,0 a 1,4), Fuertes (1,5 a 1,9) y Muy Fuertes (≥ 2,0). (National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA, 2023).

Para el presente estudio se considerarán las temperaturas superficiales del mar en el área 3.4 área que según la NOAA tiene una mayor correlación con los cambios meteorológicos estacionales en Chile central (Figura 1).



Áreas del Océano Pacífico ecuatorial central divididas según los tipos de El Niño considerados (Según National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA, 2023).

Para analizar las tendencias de largo plazo se graficaron, como promedios móviles de 5 años, las temperaturas máximas extremas promedios del verano, incluyendo en esta estación los meses de diciembre, enero, febrero y marzo. Con este procedimiento estadístico se busca establecer las señales de tendencias en las temperaturas, en el largo plazo, sin el sesgo de alteraciones estacionales. Como complemento se incluyeron los porcentajes de superávit y/o déficits anuales de pluviometría para cada ciudad. Con esta gráfica se pretende establecer comportamientos cualitativos entre calor extremo del verano y porcentajes de déficit/superávit en las lluvias anuales.

Se calcularon y graficaron los promedios quinquenales de las temperaturas máximas extremas, solo para enero y febrero, esta selección obedece a que han sido los meses que han registrado récord de temperaturas máximas extremas. Los períodos corresponden las series de tiempo disponible en años para cada estación (tabla 2). Con este procedimiento se busca establecer las eventuales alzas térmicas en períodos de corto plazo. El promedio quinquenal tiene su fundamento en que se aproxima más a los tiempos reales para las actividades y proyecciones agrícolas.

Para completar el análisis climatológico, se contabilizaron, graficaron y calcularon las líneas de tendencias, para cada serie de tiempo, respecto de las ocurrencias de las temperaturas máximas extremas iguales o superiores a 34°C, según los años que registraron estos valores diarios, en base a los datos disponibles para cada ciudad (figura 2). Este valor térmico es considerado como uno de límites promedios desde donde se pueden empezar a generar afectación en frutales. Para lo anterior se consideraron también los meses de enero y febrero, tomando en consideración que son los períodos más cálidos de la temporada y, por ende la fruticultura en general, estaría más expuesta a sufrir daños cuando las máximas diarias son iguales o superiores a este umbral, tales como cierre estomático, estrés hídrico o golpes de sol.

Para representar la probable influencia de los eventos cálidos El Niño-Oscilación del Sur, en la ocurrencia de los valores extremos, se contabilizaron entre el 2000 al 2023 los años con la presencia de este fenómeno en conjunto con las temperaturas máximas extremas registradas durante enero y febrero. Lo anterior porque la temperatura superficial del mar (TSM) tiende a llegar a su máximo valor en el área 3.4 durante ambos meses. Este análisis se concentró solamente en el siglo XXI porque es en este lapso temporal en donde, las ciudades consideradas, empiezan a registrar récord histórico de temperaturas extremas.

Aplicación de un ajuste lineal de tendencias para las temperaturas máximas extremas.

La evaluación de la tendencia temporal de estas temperaturas se llevó a cabo mediante un ajuste lineal, donde se calcularon los parámetros de la recta ajustada:

$$T = m \cdot A + b \qquad (1)$$

En esta ecuación, T representa la temperatura extrema estimada del mes de enero y A el año. El parámetro m refleja el grado de tendencia o la velocidad de incremento de las temperaturas máximas extremas en relación con el año, mientras que b representa la temperatura en el tiempo inicial, enero de 2000 ($T(2000) = b$). Para obtener el mejor ajuste se empleó el método de mínimos cuadrados. Además, se calculó la desviación estándar para comprender la variabilidad de estas temperaturas extremas. Esta variabilidad se visualizó mediante la construcción de polígonos que representan las fluctuaciones de las temperaturas máximas en enero y febrero. Asimismo, se aplicó esta tendencia lineal para observar las posibles alzas estacionales en 2024, 2025 y 2026. Para

evaluar estas posibles alzas estacionales, se utilizó el método de probabilidad de Laplace. Este cálculo se basa en comparar las temperaturas dentro del polígono (que representa la variabilidad esperada) con las observaciones fuera del mismo. La probabilidad se determinó como el cociente de las observaciones dentro del polígono respecto al total de observaciones, y se expresó como un porcentaje.

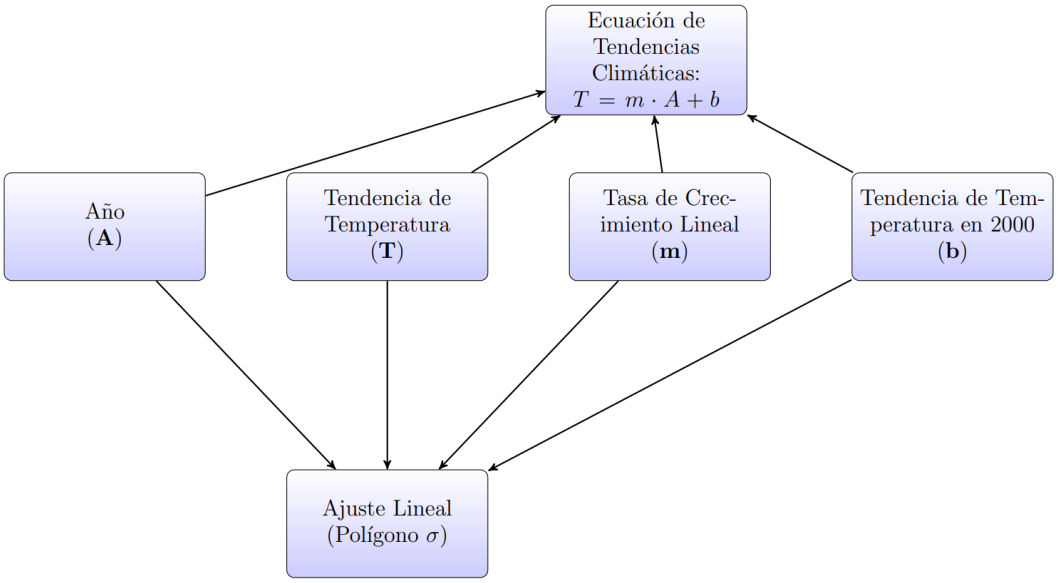


Figura 1. Diagrama explicativo de la ecuación de tendencias climáticas y su ajuste lineal. El diagrama muestra la relación entre la temperatura Y el año X, la tasa de crecimiento lineal a el coeficiente de posición b y el proceso de ajuste lineal utilizando un polígono con σ.

3.- Resultados y discusión.

3.1.- Análisis climatológico.

Entre los años 1951 y 2023 Chile ha fue afectado por 27 eventos cálidos El Niño-Oscilación del Sur. El 40.7% han sido débiles; 25.9% moderados; un 18.6% fuertes y solo un 14.8% muy fuertes. En la figura 2 se observan las anomalías de temperatura superficial del mar (TSM), promedios, tanto positivas como negativas, para los tipos de eventos que se han desarrollado durante el período de tiempo considerado.

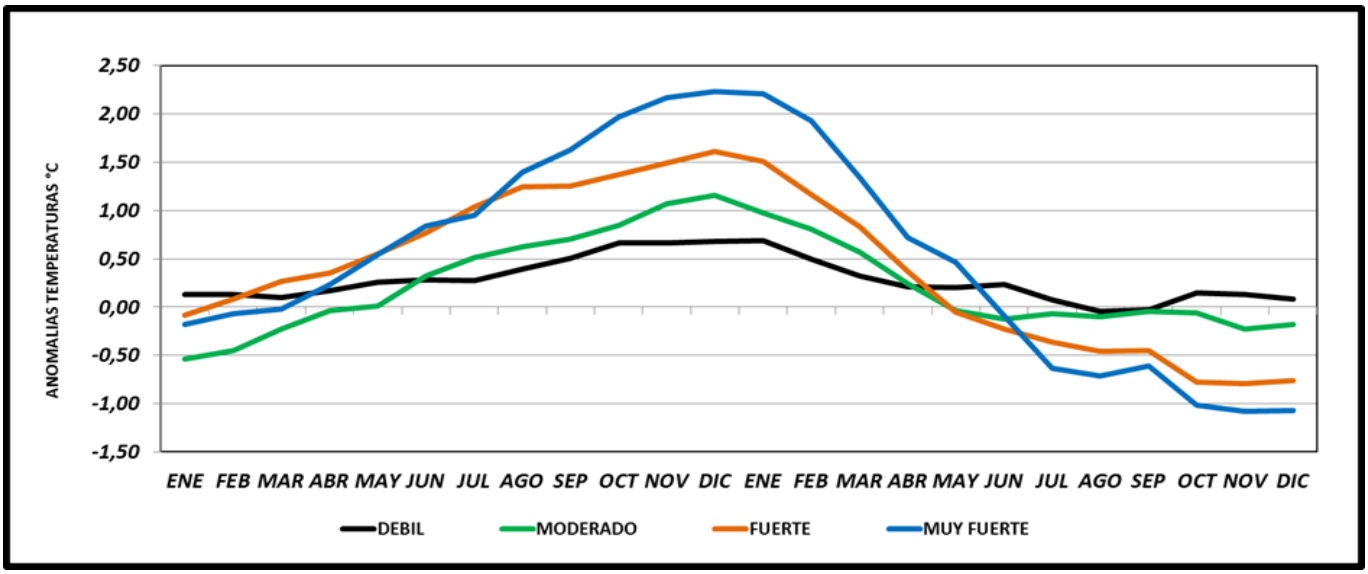


Figura 2. Anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) promedios por categorías de eventos.

Los resultados indican una categorización térmica de las anomalías, según intensidad. Eventos fuertes son los valores superiores y los débiles las inferiores. Otro resultado importante, para nuestros objetivos, es lo que ocurre en los meses de diciembre, enero y febrero en donde se alcanzan las mayores desviaciones positivas de las temperaturas del mar. Es relevante observar que todos los eventos, durante el otoño-invierno siguientes a su máximo desarrollo estival, descienden sus temperaturas, siendo los categorizados como "muy fuerte" y "fuertes" los que registraron declives más rápidos, danto origen a eventos fríos La Niña (anomalías negativas).

Respecto a los valores en temperaturas superficiales del mar observados, en promedio, en la figura 3 se visualizan sus comportamientos mensuales.

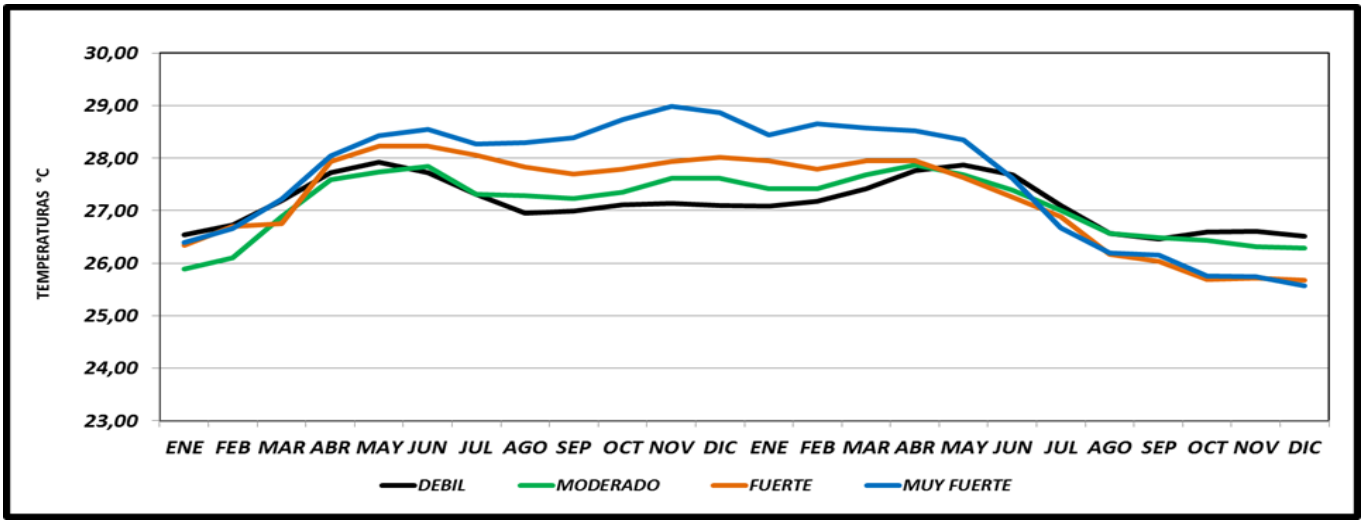


Figura 3. Temperatura superficial del mar (TSM) promedios por categorías de eventos.

Las más altas temperaturas se registran, como promedio, entre diciembre a marzo. En el caso de los eventos "fuertes" o "muy fuertes", el promedio del verano es de 27.92 y 28.64° C respectivamente. A partir de la primavera las temperaturas superficiales del mar van elevándose constantemente, variando sus grados según de qué tipo de evento se trate.

Tendencias de las temperaturas máximas extremas medias del verano.

Los resultados de los análisis de las series de tiempo, en promedios móviles de 5 años, en las estaciones meteorológicas seleccionadas muestran las siguientes tendencias, en relación con los déficit/superávit de lluvias anuales, incluido 2023.

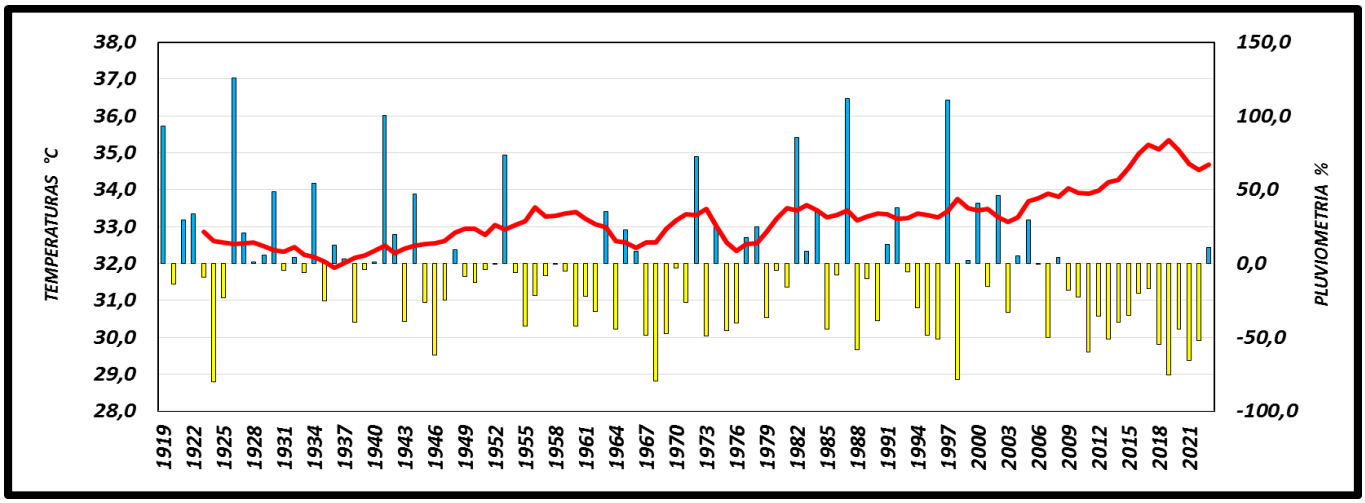


Figura 4. Santiago. Promedios móviles de temperaturas máximas extremas medias del verano y porcentajes de pluviometría anual.

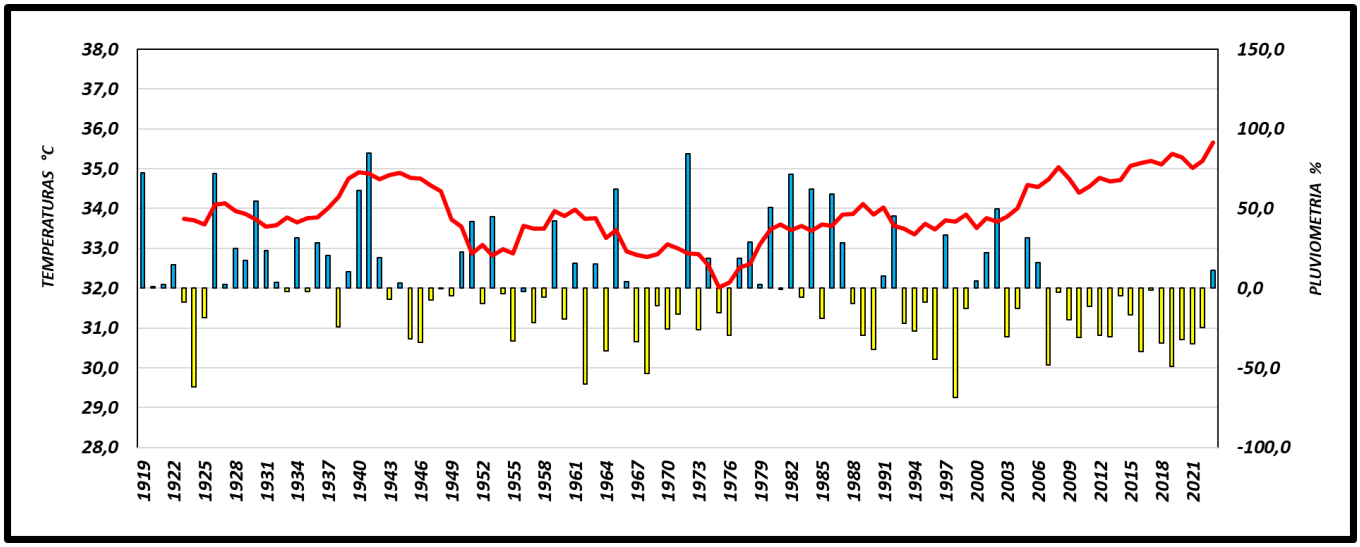


Figura 5. Talca Promedios móviles de temperaturas máximas extremas medias de verano y porcentajes de pluviometría anual.

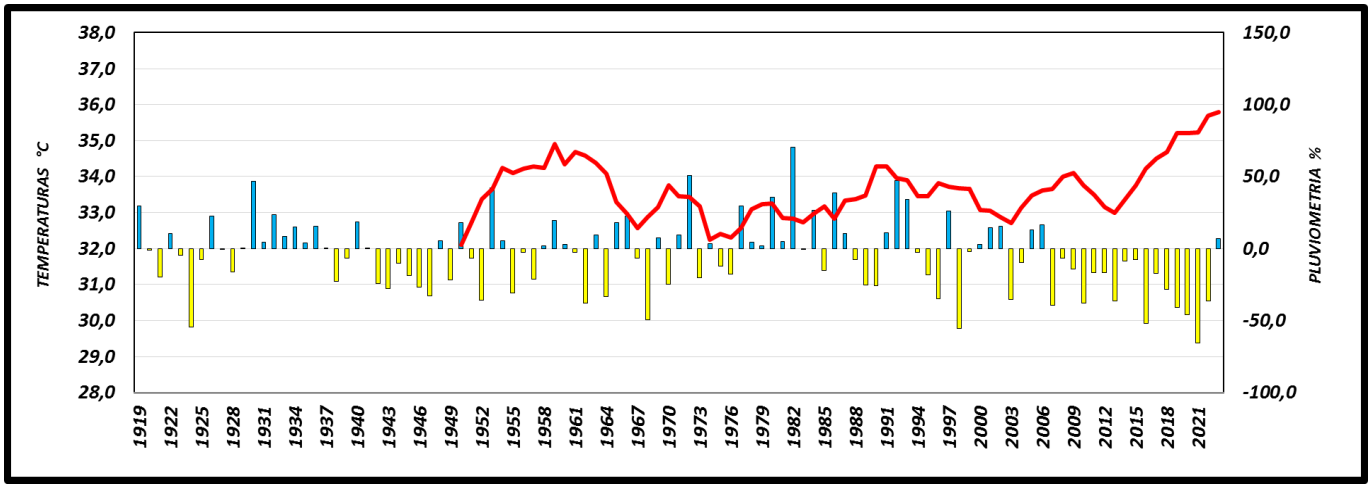


Figura 6. Chillan. Promedios móviles de las temperaturas máximas extremas medias de verano y porcentajes de pluviometría anual.

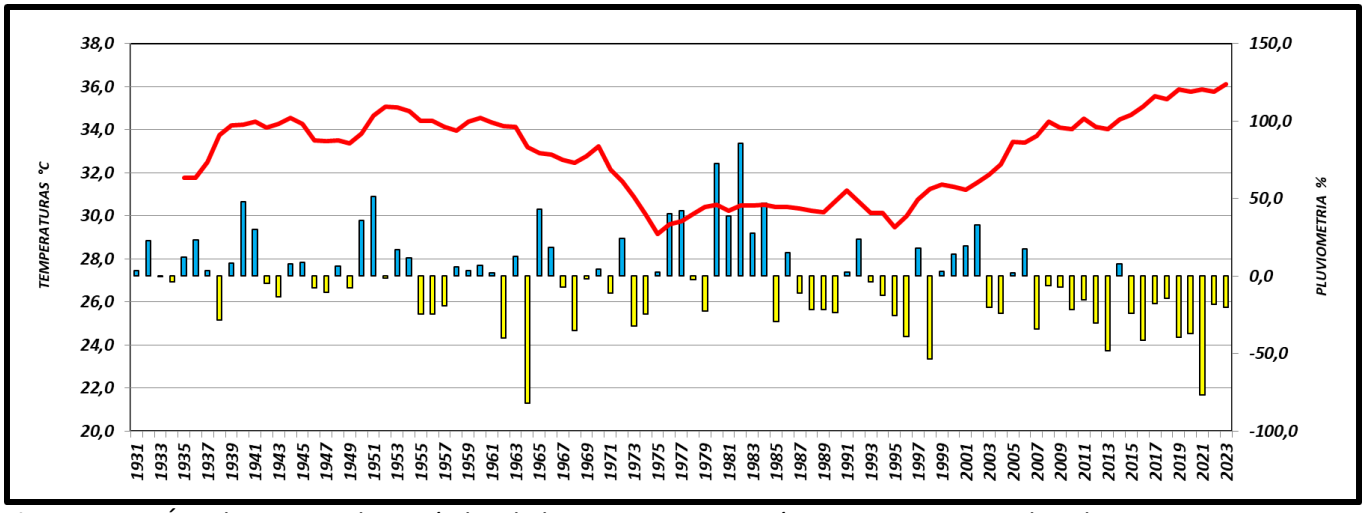


Figura 7. Los Ángeles. Promedios móviles de las temperaturas máximas extremas medias de verano y porcentajes de pluviometría anual.

En las cuatro ciudades (figuras 4 a la 7) se observan patrones comunes respecto a las variaciones de las temperaturas máximas extremas promedios del verano: un alza consistente a partir de la segunda quincena de los años 1990. Estas tendencias positivas térmicas no tienen precedentes en el siglo XX para las estaciones consideradas.

Los datos térmicos se han complementado, en este caso, con los porcentajes en déficits o superávit de pluviometría anual. Durante el siglo XX se generaban alternancias de años lluviosos con deficitarios, influidos mayoritariamente por la ocurrencia de los eventos cálidos El Niño o La Niña. Sin embargo desde finales de los años 90, y en lo que va del siglo XXI especialmente desde el año 2007 en adelante, el alza persistente de las temperaturas máximas extremas está teniendo una contraparte inversa en los porcentajes de lluvias anuales. Lo anterior se observa en las cuatro estaciones meteorológicas consideradas. Probablemente el cambio climático global sea uno de los factores que con mayor fuerza este generando esta situación y creando ambientes propicios

para el registro de temperaturas máximas extremas record, que han estado por sobre los valores medios "normales" del verano.

Comportamiento quinquenal de las temperaturas máximas extremas en enero y febrero.

Santiago.

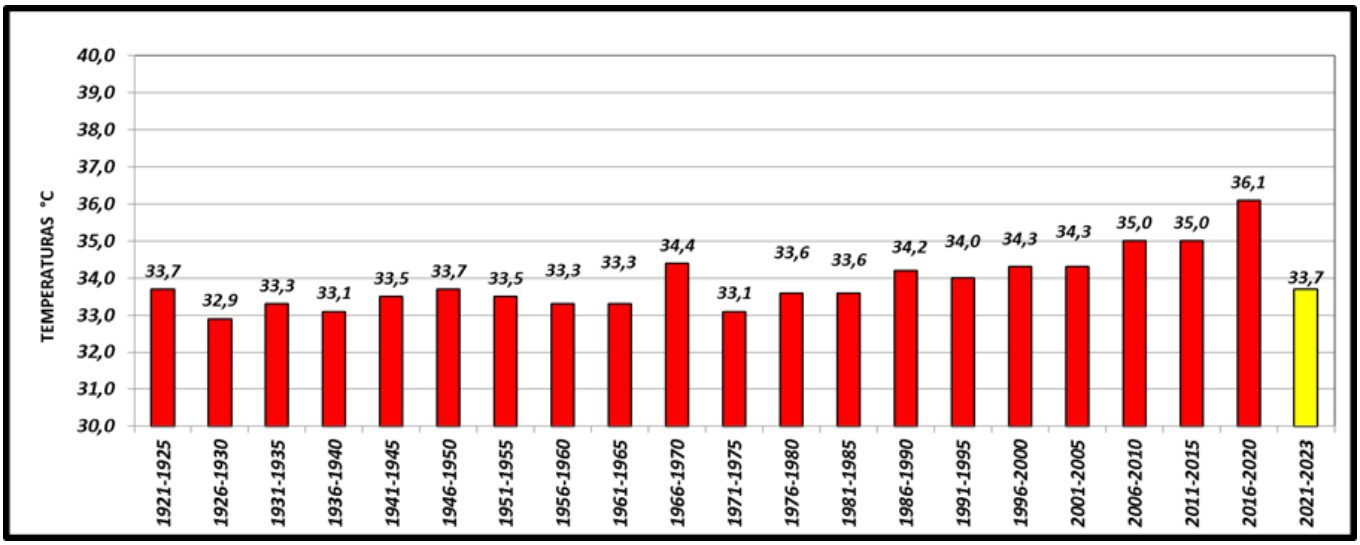


Figura 8. Santiago. Promedios quinquenales de temperaturas máximas absolutas de enero.

Durante el siglo XX (figura 8) los promedios quinquenales registran alternancias de temperaturas extremas máximas, sin un patrón definido. Los valores oscilan entre los 32.9°C a los 34.4°C; mayoritariamente los quinquenios presentan valores en torno a los 33°C. Por su parte los registros medios de 34°C empiezan a ser más persistentes a partir del período 1986-1990; estos se mantienen en las siguientes décadas, solo con pequeñas variaciones en las décimas. El cambio se origina a partir del período 2006-2010 y 2011-2015 en que ambos promedian los 35°C y se elevan a los 36.1°C en la siguiente (2011-2020), siendo el valor más alto de todo el período analizado. El último quinquenio 2021-2023, aún no finalizado, está promediando 33.7°C.

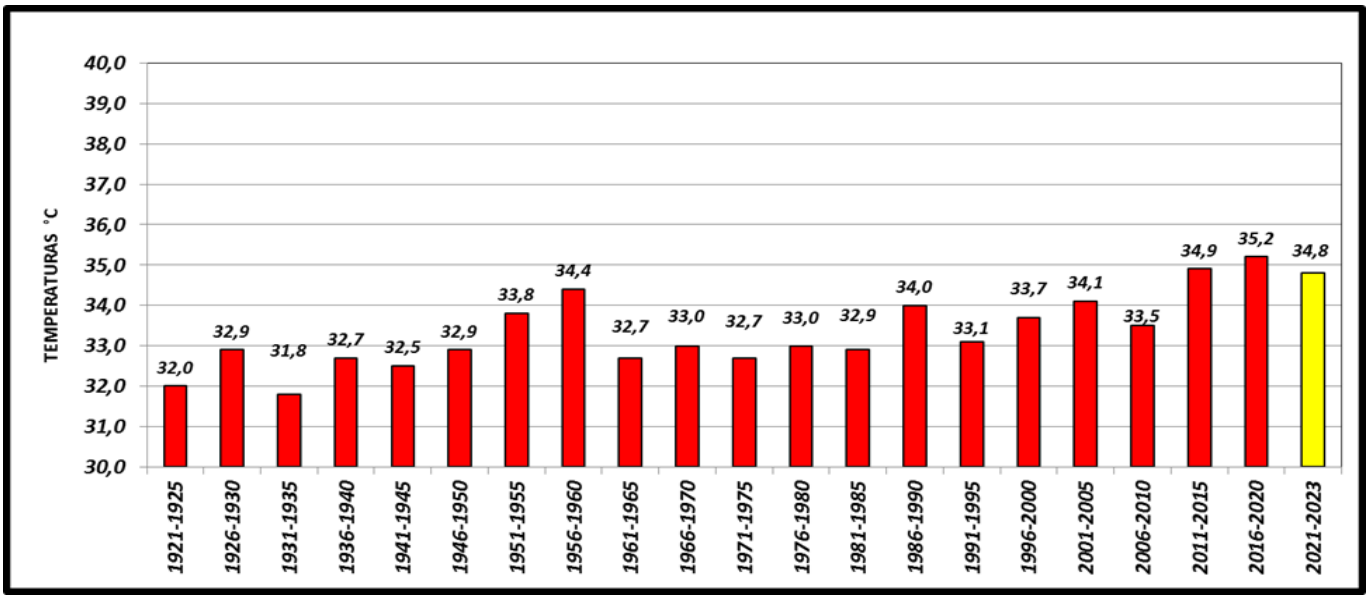


Figura 9. Santiago. Promedios quinquenales de temperaturas máximas absolutas de febrero.

En febrero (figura 9) los quinquenios que se extienden entre 1921 a 2000 no presentan patrones definidos. Mayoritariamente indican valores de 32°C seguidos por 33°C. Durante el siglo XX el período 1956-1960 fue donde se observaron promedios de 34.4°C, el más alto de la serie. Al analizar el siglo XXI los valores superiores se inician en 2011-2015 con 34.9°C para subir a los 35.2°C en el quinquenio siguiente 2016-2020; el más alto de toda la serie analizada. Para el quinquenio inconcluso 2021-2023, el registro indica en 34.8°C.

Talca.

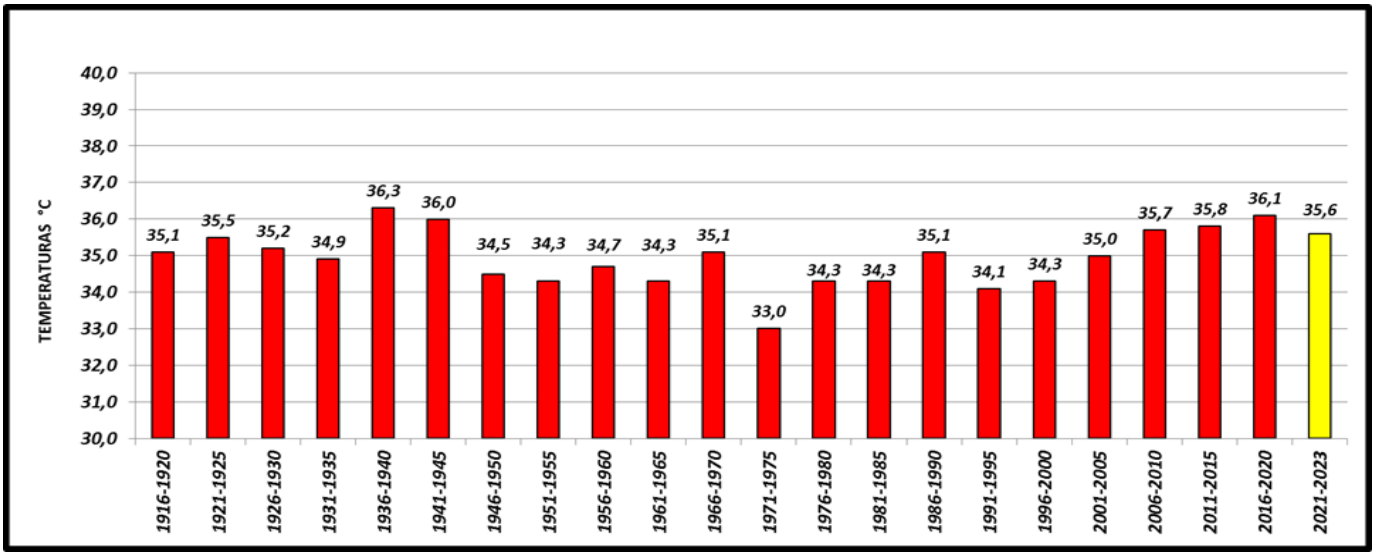


Figura 10. Talca. Promedios quinquenales de temperaturas máximas absolutas de enero.

En Talca (figura 10) durante los quinquenios del siglo XX se registran variaciones en las temperaturas máximas extremas: entre 34°C y 35°C; solo en los períodos 1936-1940 y 1941-1945 se elevan a 36°C. Una tendencia escalonada positiva se empieza a manifestar a partir del quinquenio 1991-1995, con 34.1°C, para luego elevarse

consecutivamente a 34.3°C; 35°C; 35.7°C; 35.8°C y finalizar en 36.1°C en el quinquenio 2016-2020, el registro más alto durante el siglo XXI. Para el período quinquenal aún en desarrollo, 2021-2023, los promedios indican un valor provisorio de 35.6°C.

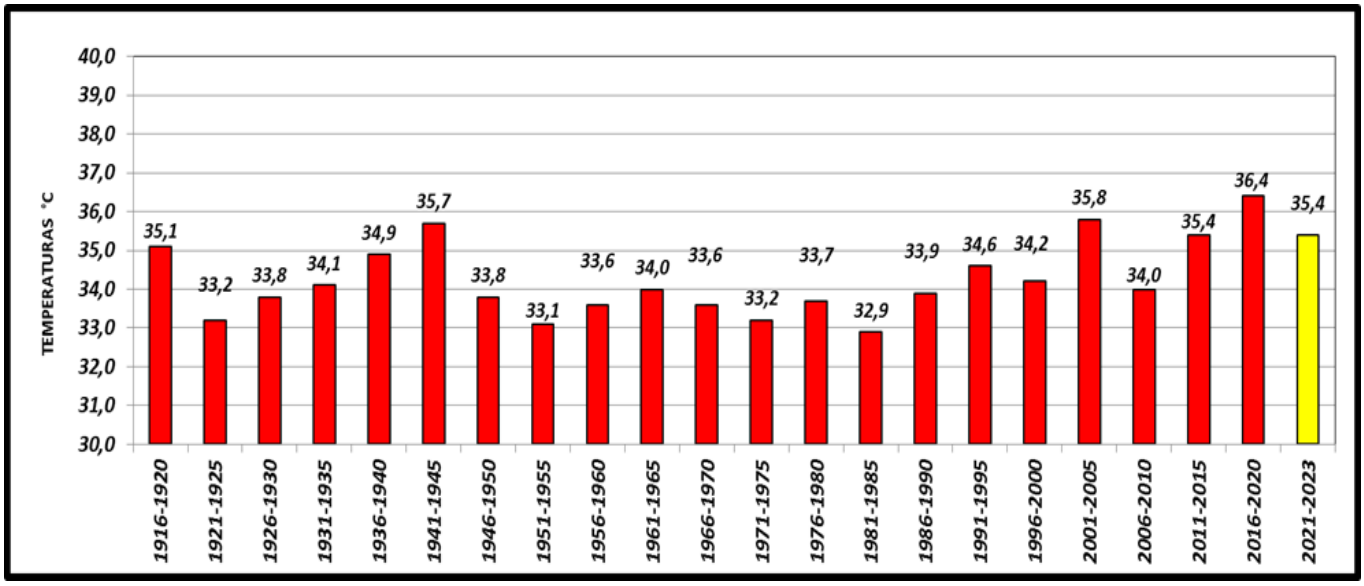


Figura 11. Talca. Promedios quinquenales de temperaturas máximas absolutas de febrero.

En febrero (figura 11) no se observan patrones definidos durante el siglo XX. Mayoritariamente los registros medios varían entre los 33°C y los 34°C. Las excepciones las indican los quinquenios 1916-1920 y 1941-1945 con valores de 35°C. En el siglo XXI el primer quinquenio se inicia con 35.8°C (2001-2005), luego desciende a 34°C (2006-2010) y desde aquí se inicia el escalonamiento positivo, pasando a 35.4°C (2011-2015) para llegar a los 36.4°C en el siguiente 2016-2020. En lo que va del 2021-2023, el promedio se está manteniendo alto: 35.4°C.

Chillán.

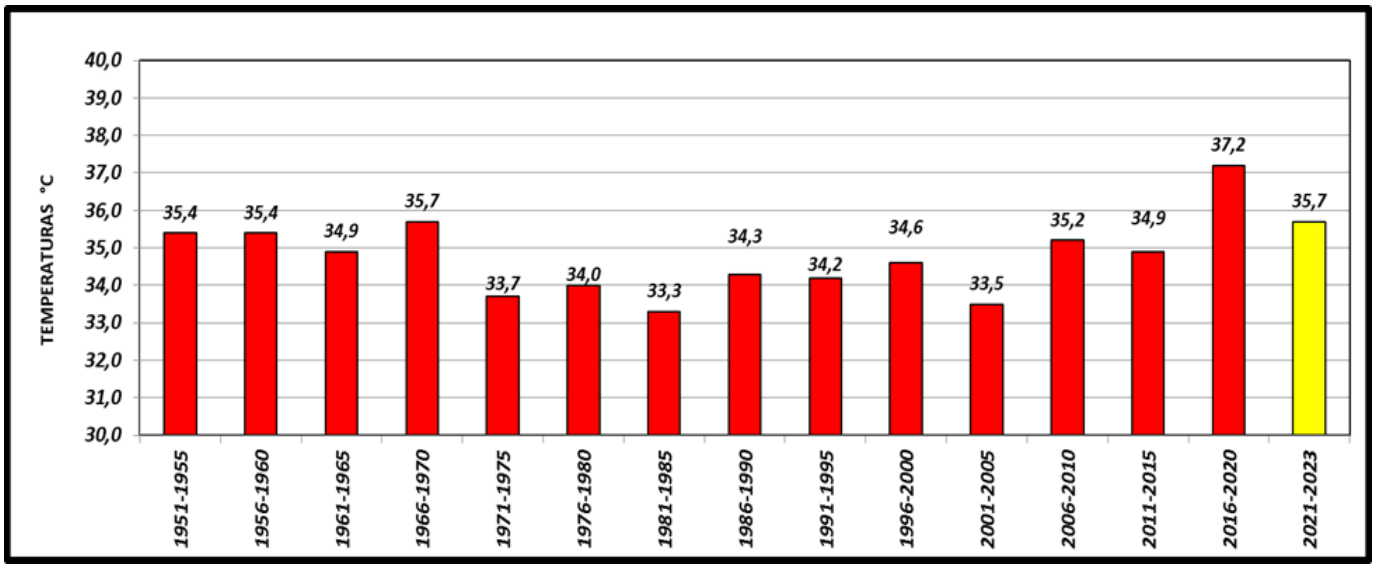


Figura 12. Chillán. Promedios quinquenales de temperaturas máximas absolutas de enero.

Durante el siglo XX las temperaturas máximas extremas de enero (figura 12) oscilaron entre los 33°C y 35°C, en forma alternativa. Los promedios más altos se observan entre 1966-1970 con 35.7°C; los valores mínimos en el período 1981-1985 con 33.3°C. A partir de 2001 al 2020 los quinquenios indican, alternativamente, tendencias a subir; el máximo es de 37.2°C entre 2016-2020. Este dato resulta ser el más alto de toda la serie. Finalmente entre 2021-2023, faltando dos años para completar el quinquenio, el promedio supera los 35.7°C.

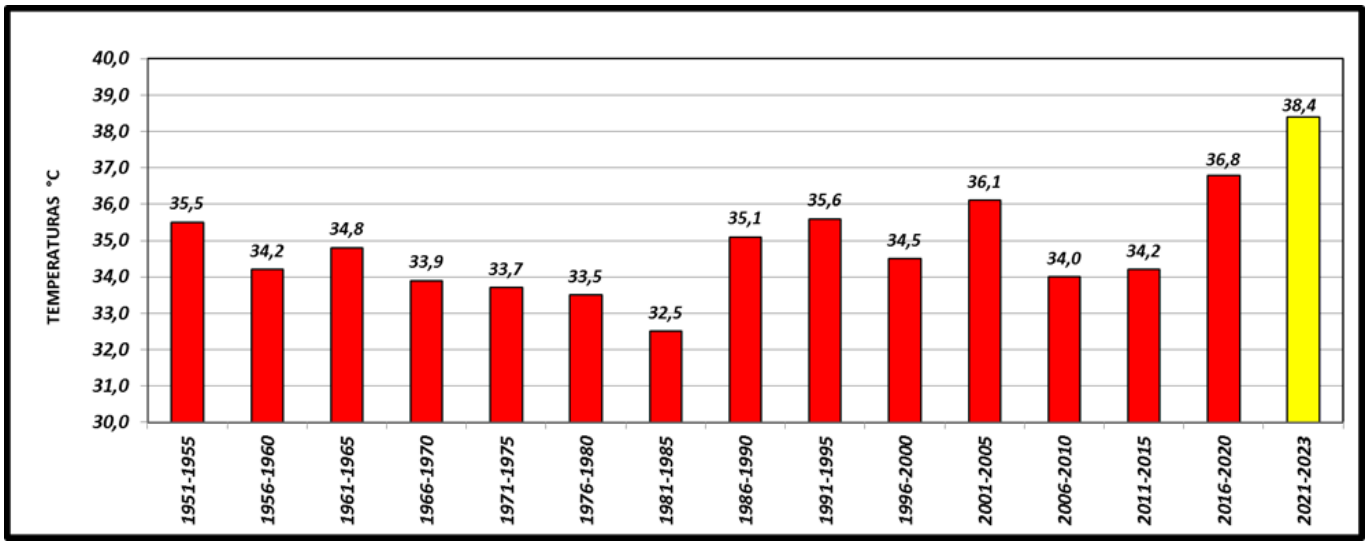


Figura 13. Chillan. Promedios quinquenales de temperaturas máximas absolutas de febrero.

Se observa que los quinquenios entre 1951 a 1985 presentan tendencias al descenso de los valores extremos máximos (figura 13). Se inicia con 35.5°C (1951-1955) y cierra con solo 32.5°C para el período 1981-1985. Entre los años 1986 y 1995 los quinquenios registran 35.1°C y 35.6°C respectivamente. Si bien desciende a 34.5°C entre 1996-2000, vuelve a elevarse a 36.1°C entre el 2001-2005. Finalmente, a partir del período 2006-2020 empieza nuevamente el escalonamiento de lenta elevación: 34.0°C; 34.2°C y culminando con 36.8°C entre 2016-2020, el valor más alto de todo el período analizado. Es excepcional que, aun no completando el quinquenio, el promedio supere a los anteriores con un valor de 38.4°C, entre 2021-2023.

Los Ángeles.

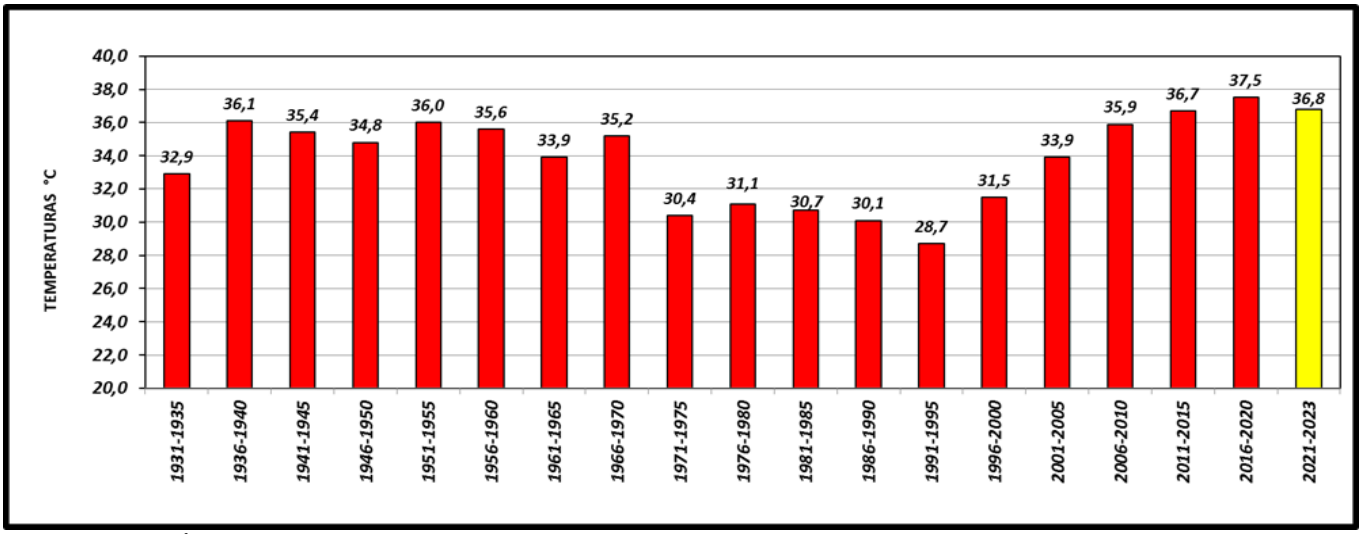


Figura 14. Los Ángeles. Promedios quinquenales de temperaturas máximas absolutas de enero.

Los quinquenios que se extienden entre 1931 a 1995 (figura 14) presentan promedios alternantes extremos que oscilan entre 36.1°C (1936-1940) y 28.7° C para el período 1991-1995. Esta tendencia cambia a partir de 1996-2000 en adelante, con registros escalonados positivos de 31.5°C; le siguen los valores de 33.9°C (2001-2005); 35.9°C (2006-2010); aumenta a 36.7°C para el período 2011-2015 y, finalmente, cerrar en 37.5°C entre 2016-2020. Desde el 2021 al 2023, como promedio temporal, se obtiene 36.8°C.

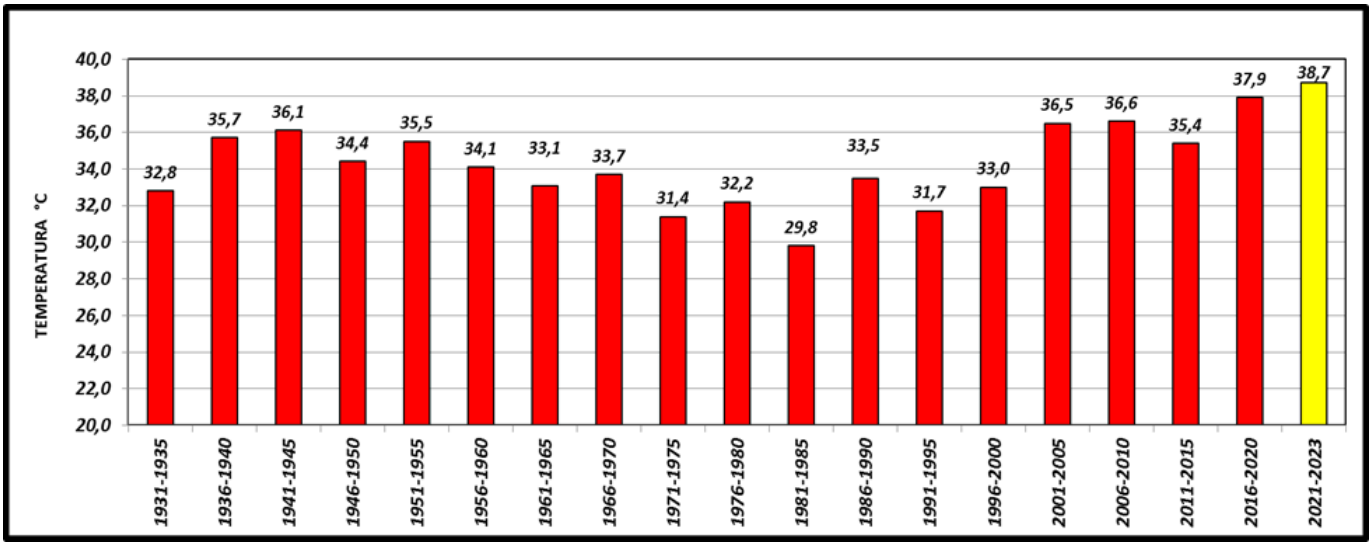


Figura 15. Los Ángeles. Promedios quinquenales de temperaturas máximas absolutas de febrero.

En la figura 15 se observan comportamientos alternantes, entre 1931 a 1990. Los períodos más cálidos ocurren en el lapso 1941-1945 con 36.1°C. Para los siguientes quinquenios, van descendiendo hasta 1981-1985 con 29.8° C. Puntualmente durante el lapso 1986-1990 vuelve a elevarse a 33.5°C. A partir del período 1991-1995 se observa un escalonamiento positivo en los promedios quinquenales. Entre 1996-2000 indica a 33.0°C; luego se

incrementa 36.5°C (2001-2005); se eleva a 36.6°C (2006-2010); desciende a 35.4°C para el lapso 2011-2015, para luego indicar un alza equivalente a 2.5°C entre 2016-2020, promediando un valor de 37.9°C. Al igual que sucede en Chillán, durante los primeros tres años del actual quinquenio 2021-2025, las temperaturas máximas extremas están registrando el valor más alto de la serie, con 38.7°C.

En síntesis los resultados numéricos, en las cuatro estaciones meteorológicas, muestran que se están manifestando tendencias respecto a un incremento en los aportes calóricos en las temperaturas máximas extremas, fundamentalmente en las estaciones de Chillán y Los Ángeles; siendo Talca un lugar de transición térmica y Santiago indica un menor rango en su escala promedio quinquenal, según los datos analizados. Estos aportes calóricos empezaron a ser significativamente altos desde el 2000 a la fecha.

Comportamiento y tendencias de las temperaturas máximas extremas iguales o superiores a 34° C.

Las temperaturas máximas extremas pueden afectar la calidad de los frutales, dependiendo de su estado fenológico. Una de las probables consecuencias directas del cambio climático sería el alza en estos valores extremos de verano y su tendencia a incrementarse, sin que tengamos una perspectiva clara respecto al umbral máximo al cual pudiera llegar en un futuro próximo, según los resultados anteriores; es ahí donde reside una de las mayores incertidumbres para la agricultura.

Temperaturas diurnas por encima de 30°C y humedad relativa menor al 60% provocan aborto y caída de las flores (Vallejo y Estrada, 2004). Cuando las plantas fueron expuestas a temperaturas superiores a 33°C o 34°C en los días previos a la antesis, los botones florales redujeron su tamaño y la viabilidad del polen declinó, lo que ocasionó reducción del cuaje y del tamaño de los frutos (Erickson y Markhart, 2002). Otro de los impactos de las temperaturas máximas extremas, es provocar altas tasas de evapotranspiración diarias, las cuales suelen ser de 60 a 70 m3/ ha. De esta manera al estrés térmico se une al hídrico, además puede haber afectación negativa de las funciones fotosintéticas (Marín F. López P., 2005). Con temperaturas sobre 34°C la fotosíntesis bruta se reduce rápidamente y la respiración y la fotorrespiración aumentan con gran velocidad (Azcón-Bieto J., M. Talón, 2013).

Se han contabilizado y graficado los valores extremos diarios de temperaturas iguales o superiores a 34°C para enero y febrero, para aquellos años que las registraron, de la serie en las cuatro estaciones meteorológicas seleccionadas, agregando líneas de tendencias.

Santiago.

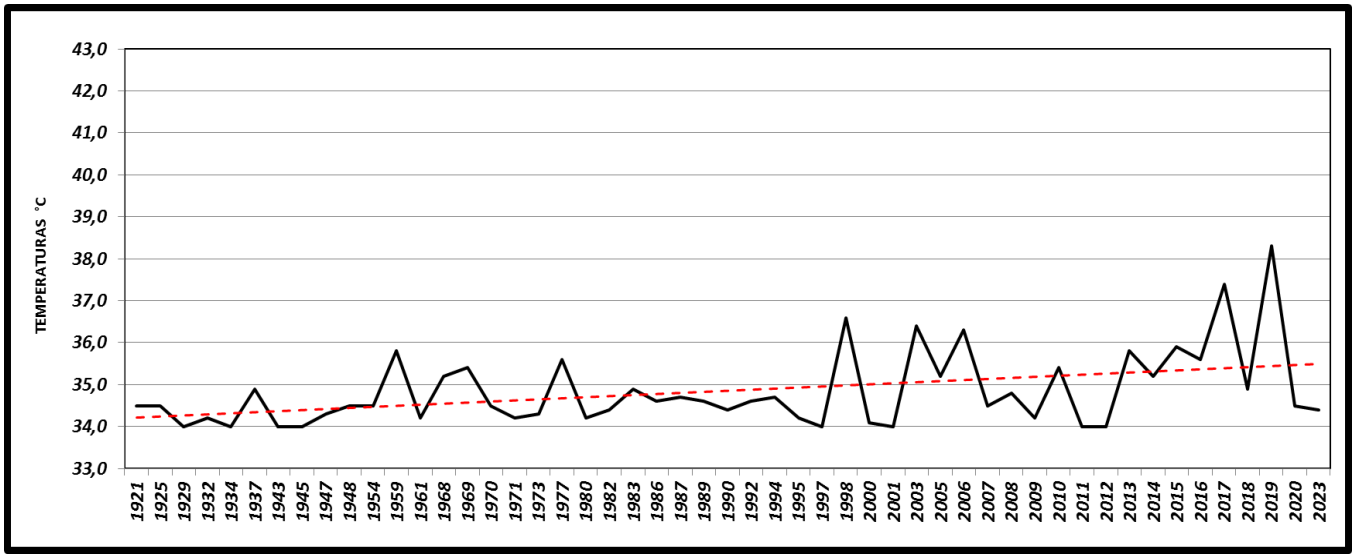


Figura 16. Santiago. Temperaturas máximas extremas iguales o superiores a 34°C en enero. Línea de tendencia.

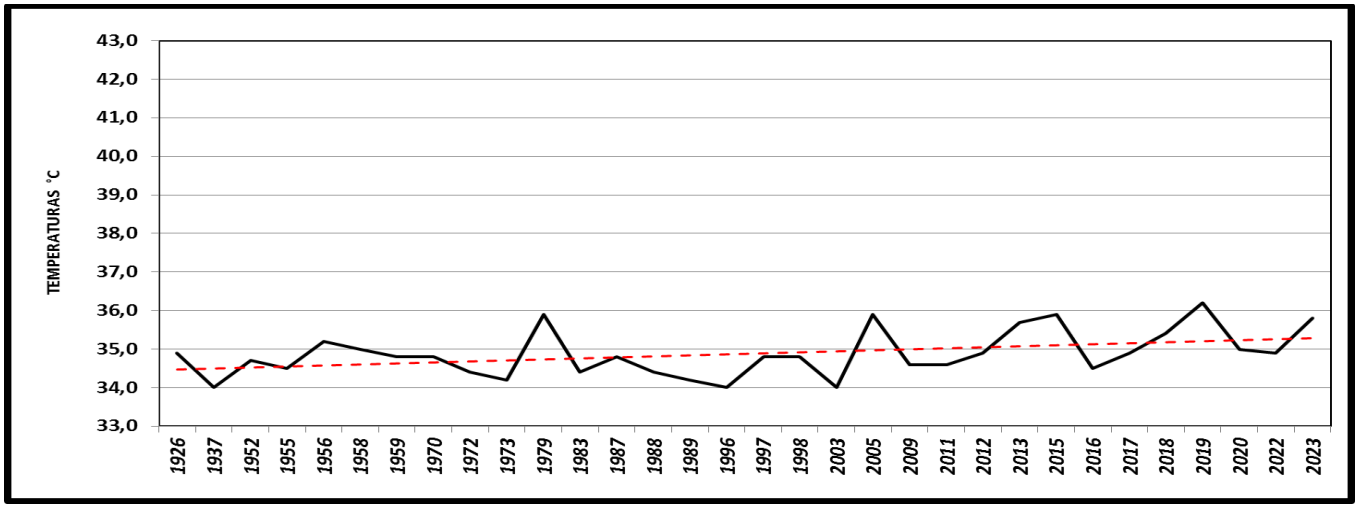


Figura 17. Santiago. Temperaturas máximas extremas iguales o superiores a 34°C en febrero. Línea de tendencia.

Talca.

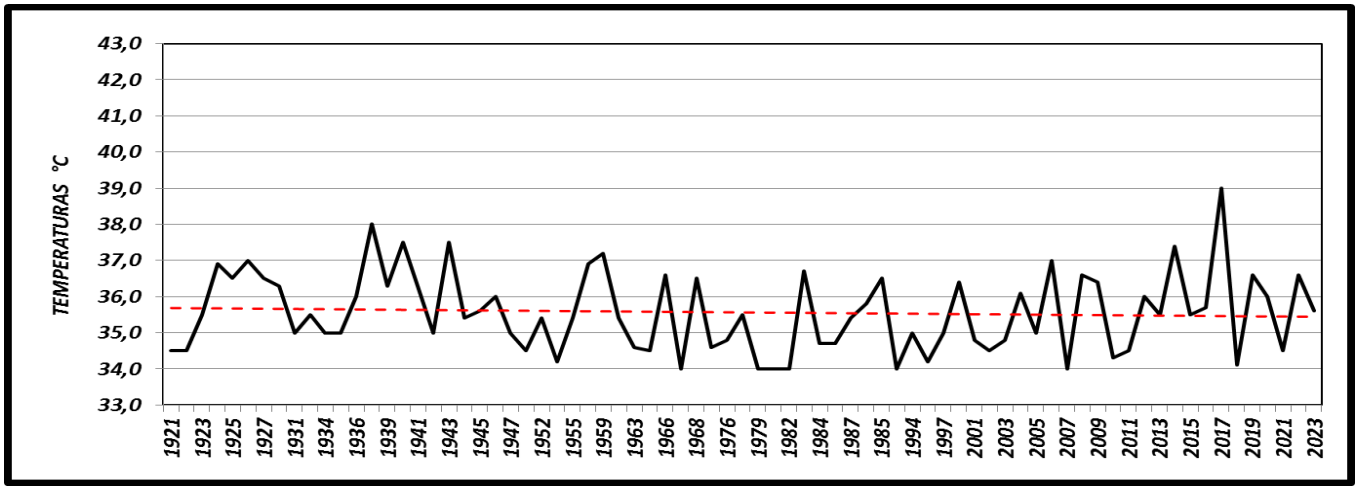


Figura 18. Talca. Temperaturas máximas extremas iguales o superiores a 34°C en enero. Línea de tendencia.

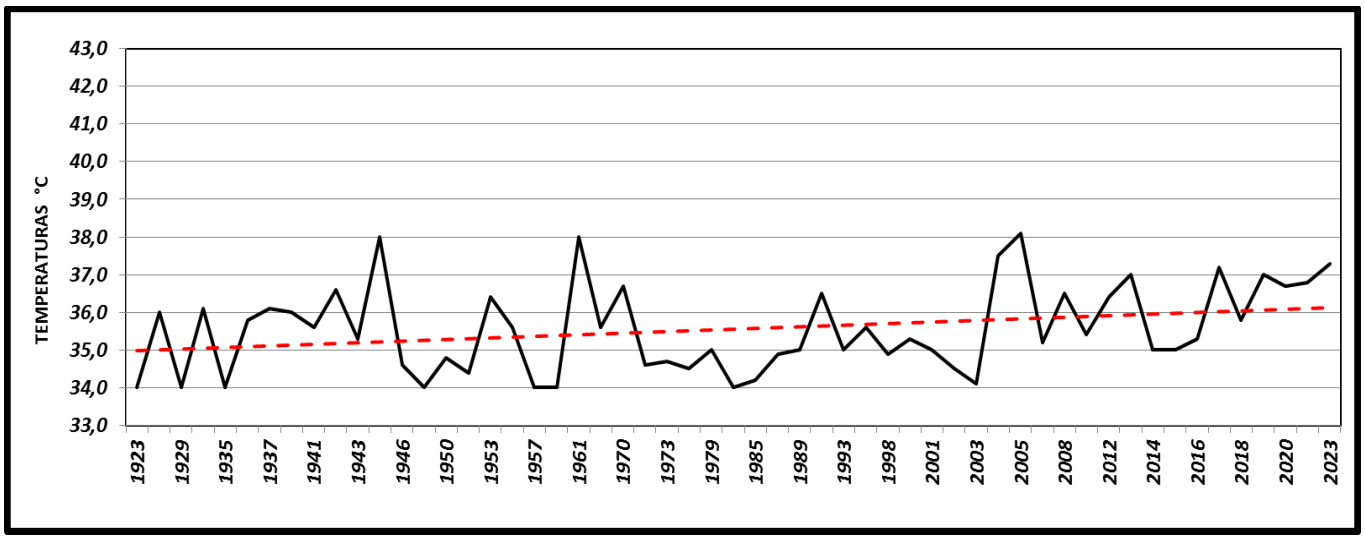


Figura 19. Talca. Temperaturas máximas extremas iguales o superiores a 34°C en febrero. Línea de tendencia.

Chillán.

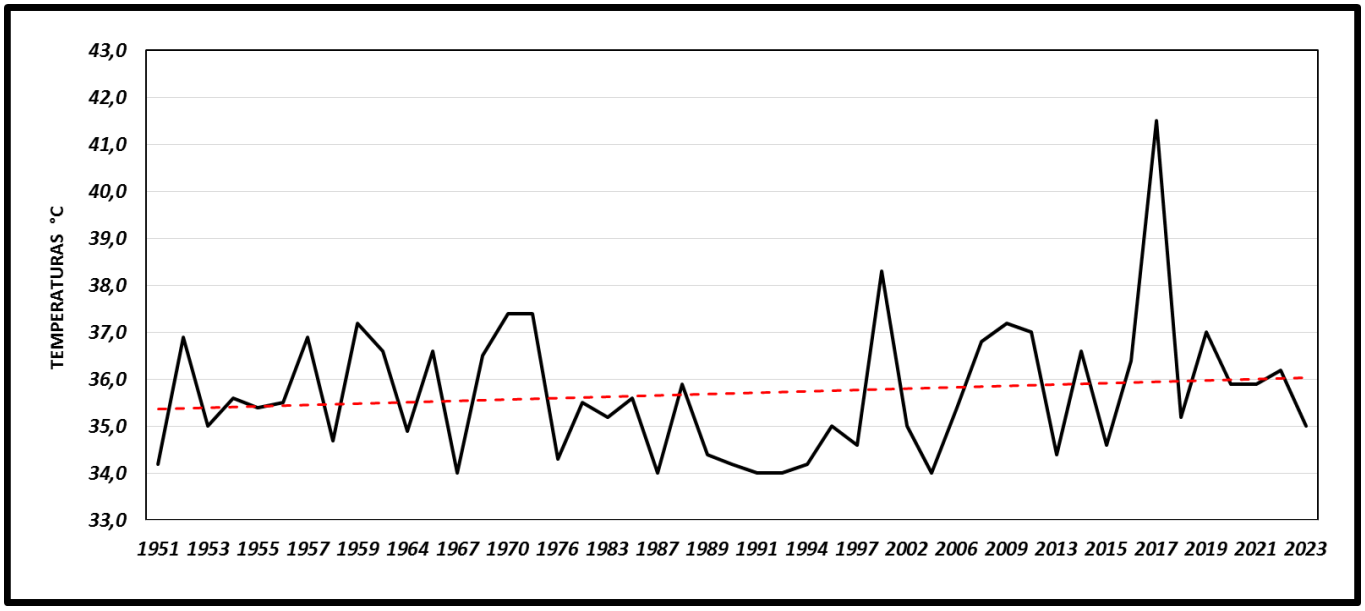


Figura 20. Chillan. Temperaturas máximas extremas iguales o superiores a 34°C en enero. Línea de tendencia.

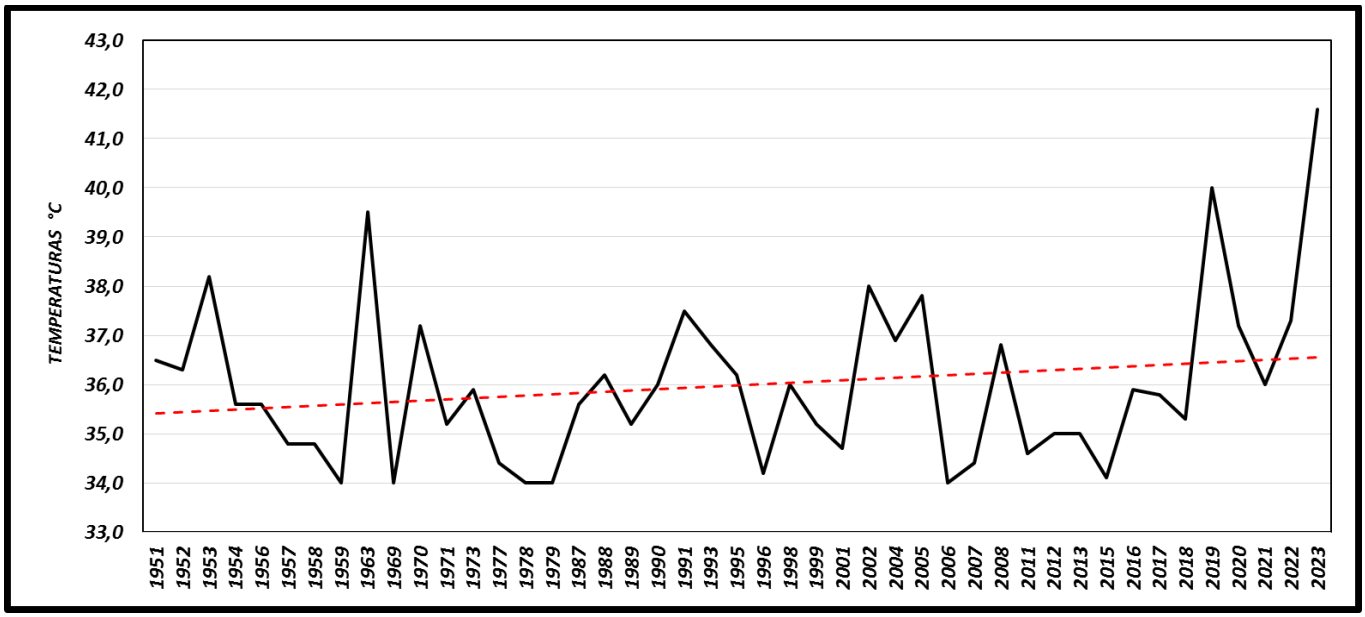


Figura 21. Chillan. Temperaturas máximas extremas iguales o superiores a 34°C en febrero. Línea de tendencia.

Los Ángeles.

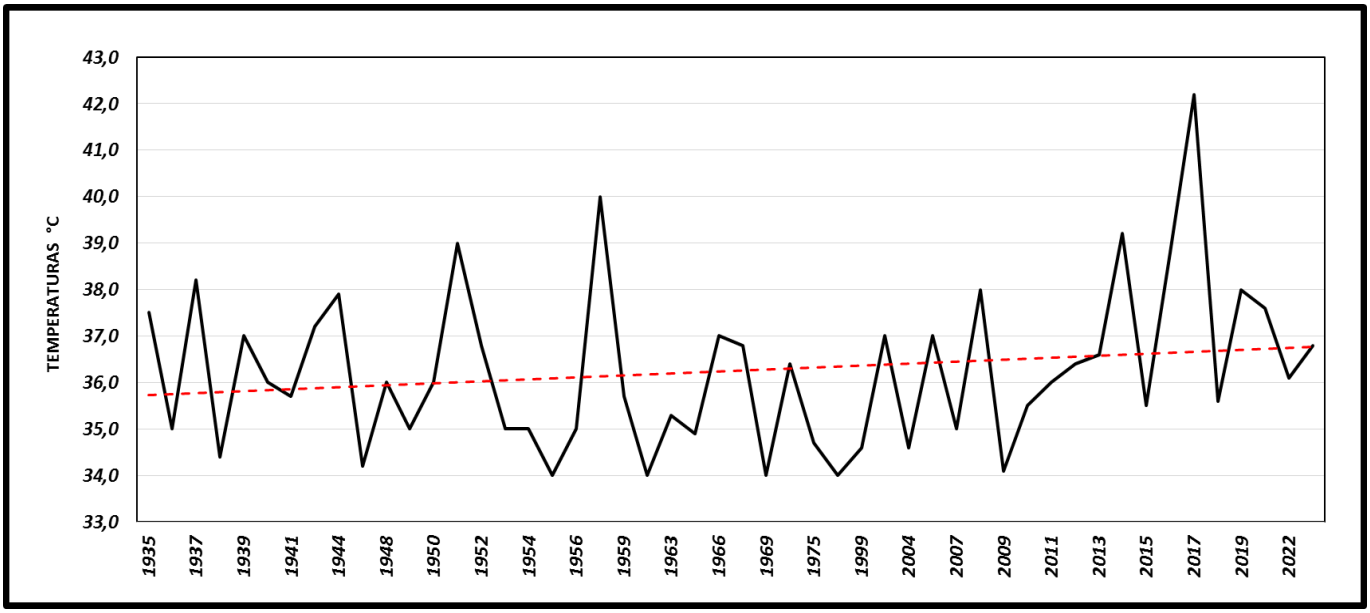


Figura 22. Los Ángeles. Temperaturas máximas extremas iguales o superiores a 34°C en enero. Línea de tendencia.

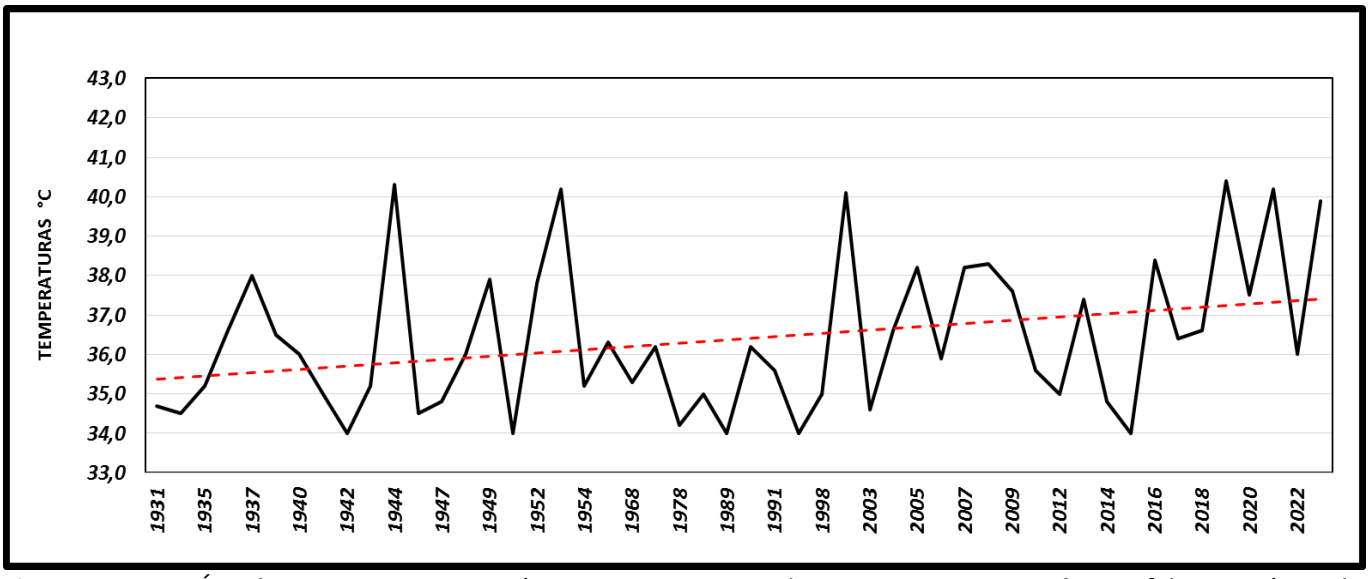


Figura 23. Los Ángeles. Temperaturas máximas extremas iguales o superiores a 34°C en febrero. Línea de tendencia.

Santiago en 104 años de registro, para enero, 51 de ellos indicó temperaturas iguales o superiores a 34°C. Para febrero solo fueron 34 años. Para Talca en 109 años de observación, durante enero, en 75 de ellos se observaron valores iguales o superiores a 34°C. Para febrero la cifra descendió 55 años. En Chillán en 73 años de mediciones en 47 de ellos, correspondientes al mes de enero, las temperaturas igualaron o superaron el umbral de 34°C. Para febrero se observaron 45 años. Finalmente en Los Ángeles, durante los 92 años de observación, en 50 de ellos los umbrales fueron iguales o superiores a 34°C. En el mes de febrero también la cifra alcanzó a los 50 años.

Los análisis de tendencias indican que la ocurrencia de estos valores térmicos máximos está aumentando en ambos meses. En Chillán y Los Ángeles este comportamiento se ha visto más acentuado, fundamentalmente durante el siglo XXI; lo anterior se explicaría por el mayor incremento de temperaturas máximas extremas ocurridas desde el 2017 en adelante. Los resultados son consistentes con los obtenidos en las figuras 4, 5, 6 y 7 en cuando a que los veranos, durante preferentemente el siglo XXI, indican tendencias positivas de calor.

Valores históricos récord de temperatura máximas extremas durante el siglo XXI en los meses de enero y febrero asociados a eventos cálidos El Niño-Oscilación del Sur.

En el siglo XX y XXI Chile ha sido afectado por 27 eventos. De ellos el 18.6% se catalogaron como fuertes y el 14.8% como muy fuertes. Como se observa en la figura 2 y 3 los más altos valores de temperatura superficial del mar (TSM) se registraron en diciembre, enero y febrero. Períodos que coinciden con los meses de verano, en donde la fruticultura está en pleno desarrollo.

Como la definición, respecto a la escala de intensidad de El Niño está asociada a los grados de elevación que alcance la TSM, en la tabla 3 siguiente se clasifican los eventos El Niño y La Niña durante el siglo XXI, período no solo caracterizado por tener altos registros de máximas extremas diarias, durante enero y febrero, también por la mega sequía iniciada en 2007 y que se extendió hasta el 2022; es excepcional que en 24 años 16 tuvieron afectados por déficit de lluvias, en distintos porcentajes, lo que corresponde al 67% de lo que va del siglo XXI.

En la tabla 3 se incluyen los años, del siglo XXI, en los cuales hubo eventos El Niño/La Niña o períodos neutros (ningún fenómeno presente). Se busca establecer, para los meses indicados, en cuántos de ellos hubo temperaturas máximas iguales o superiores a 35°C, valor meteorológico que hemos catalogado de “calor fuerte” porque este límite térmico supera en 10°C a los 25°C que es considerado como “día de calor normal”, en un contexto de definición más relacionado con la confortabilidad climática humana. (Organización Meteorológica Mundial, 2022).

			SANTIAGO	SANTIAGO	TALCA	TALCA	CHILLAN	CHILLAN	LOS ANGELES	LOS ANGELES
			T° MAXIMA	T° MAXIMA	T° MAXIMA	T° MAXIMA	T° MAXIMA	T° MAXIMA	T° MAXIMA	T° MAXIMA
EVENTO	AÑO	CLASIFICACION	ENERO	FEBRERO	ENERO	FEBRERO	ENERO	FEBRERO	ENERO	FEBRERO
EL NIÑO	2002	MODERADO					35,0	38,0	37,0	40,1
EL NIÑO	2003	MODERADO	36,4							34,6
EL NIÑO	2004	DEBIL			36,1	37,5		36,9		36,6
LA NIÑA	2005	DEBIL	35,2	35,9	35,0	38,0		37,8		38,2
EL NIÑO	2006	DEBIL	36,3		37,0		35,4		37,0	35,9
EL NIÑO	2007	DEBIL				35,2			35,0	38,2
LA NIÑA	2008	DEBIL			36,6	36,5	36,8	36,8	38,0	38,3
EL NIÑO	2009	MODERADO			36,4		37,2		35,0	37,6
EL NIÑO	2010	MODERADO							35,5	
LA NIÑA	2011	MODERADA				35,4			36,0	35,6
LA NIÑA	2012	MODERADA			36,0	36,4	37,0	35,0	36,0	35,0
NEUTRAL	2013		35,8	35,7	35,5	37,0		35,0	36,6	37,4
EL NIÑO	2014	DEBIL	35,2		37,4	35,0	36,6		39,2	
EL NIÑO	2015	MUY FUERTE	35,9	35,9	35,5	35,0			35,5	
EL NIÑO	2016	MUY FUERTE	35,6		35,7	35,3	36,4	35,9	38,8	
LA NIÑA	2017	DEBIL	37,4		39,0	37,2	41,5	35,8	42,2	36,4
EL NIÑO	2018	DEBIL		35,4		35,8	35,2	35,3	35,4	36,6
EL NIÑO	2019	DEBIL	38,3	36,2	36,6	37,0	37,0	40,0	38,0	40,4
LA NIÑA	2020	MODERADA		35,0	36,0	36,7	35,9	37,2		37,5
LA NIÑA	2021	MODERADA					35,9	36,3	37,6	40,2
LA NIÑA	2022	MODERADA			36,6	36,8	36,2	37,3	36,1	36,0
LA NIÑA	2023	DEBIL		35,8	35,6	37,3	35,0	41,6	36,8	39,9
EL NIÑO	2024	MODERADO								
VALOR RECORD DE TEMPERATURA MAXIMA EXTREMA			38,3	36,2	39,0	38,0	41,5	41,6	42,2	40,4

Tabla 3. Temperaturas máximas extremas iguales o superiores a 35°C registradas durante enero-febrero asociadas a eventos El Niño-Oscilación del Sur y La Niña. Período 2002-2023.

Se observa en la tabla 3 que de norte a sur las temperaturas máximas extremas diarias se incrementan durante el período considerado. Santiago con 38,3°C (enero 2019 El Niño); en Talca registra 39.0°C (enero 2017 La Niña); Chillán con 41.6°C (febrero 2023 La Niña) y Los Ángeles alcanzó a 42.2° C (enero 2017 La Niña).

Temperaturas asociadas a "calor fuerte" durante enero y febrero bajo influencia El Niño se contabilizan 9 en Santiago; 14 en Talca; 12 en Chillán y 18 en Los Ángeles. Para el evento La Niña hubo 5 en Santiago; 15 en Talca; en Chillán 15 y, finalmente, en Los Ángeles 16. En total el porcentaje de temperaturas asociadas a este límite térmico registra un 47.7% durante el evento El Niño y un 45.9% en régimen La Niña. Un 6.4% restante se originaron en año neutro (sin presencia de ninguno de los dos fenómenos). Cabe mencionar que no en todos los meses de enero o febrero se presentaron temperaturas de 35° C o superior, aún en ambientes El Niño o La Niña.

En términos de distribución porcentual, que incluye desde el 2002 al 2023, la presencia de "calor fuerte" fue de un 14.4% en Santiago; 27.9% para Talca; un 25.9% en Chillán y sube al 32.4% para Los Ángeles. Cabe destacar que valores de 40° C o superior solo se han registrado en Chillán (enero 2017; febrero 2019) y en Los Ángeles (febrero 2002; enero 2017, 2019 y 2021).

Estos resultados permiten evidenciar que las ciudades de Talca, Chillán y Los Ángeles concentraron los mayores porcentajes de ocurrencias de temperaturas asociadas a "calor fuerte", durante el período considerado.

En síntesis, las temperaturas máximas extremas iguales y superiores a 35°C no solo se registran cuando los meses de enero y febrero están bajo la influencia térmica marítima de El Niño; también lo hacen en eventos La Niña, no se observan diferencias significativas en cuando a la predominancia de un evento sobre el otro. En términos

porcentuales temperaturas máximas iguales o superiores a 35°C están asociadas a eventos El Niño en un 47.7% y a La Niña en un 45.9%. Durante años neutrales, en los cuales ninguno predomina, el porcentaje desciende al 6.4% para este serie de datos.

Valores récords iguales o superiores a 39°C y, hasta los 42.2°C, se han registrado 4 en enero y 6 en febrero, todos ellos durante el siglo XXI. Las ciudades de Talca, Chillán y sobre todo Los Ángeles son las que indican mayores recurrencias con temperaturas asociadas a "calor extremo". Sin duda que condiciones geomorfológicas locales o topográficas como su altura sobre el nivel del mar (130 metros en promedio), entre otras variables, estarían condicionando a que se registren amplificaciones positivas en sus registros térmicos extremos diarios, durante los meses indicados. Sin de dejar de considerar las implicancias del cambio climático global, la presencia de fenómenos zonales como El Niño y La Niña y la variabilidad climática natural, entre otras.

3.2.- Indicador de tendencias mediante ajuste lineal.

Proyección de probabilidad de ajuste lineal para temperaturas extremas para enero y febrero.

En las Figuras 24 y 25 cada punto corresponde a una temperatura máxima extrema de enero y febrero del año correspondiente. El parámetro m en las ecuaciones representa la pendiente de las tendencias lineales, reflejando el incremento anual promedio de las temperaturas máximas en grados Celsius. Para Santiago, se prevé un aumento anual promedio de aproximadamente 0.0339°C en enero y 0.1°C en febrero. En Talca, el incremento proyectado es más pronunciado, con un crecimiento anual promedio en torno a los 0.0594°C en enero y 0.0693°C en febrero. Por su parte, en Chillán, se anticipa una subida anual promedio de aproximadamente 0.1495°C en enero y 0.1397°C en febrero. Finalmente, en Los Ángeles, se visualiza un aumento anual promedio de alrededor de 0.2110°C en enero y 0.1316°C en febrero (Ver Tabla 4 y 5).

Las tendencias de las temperaturas máximas para el mes de enero en los años 2024, 2025 y 2026 en las ciudades de Santiago, Talca, Chillán y Los Ángeles revelan un crecimiento de estas temperaturas que son consistentes con el alza que está registrando el planeta (Copernicus, 2023). Lo anterior plantea desafíos y esfuerzos significativos para la adaptación y la mitigación de la agricultura a estos nuevos escenarios climáticos. En Santiago, se anticipa un aumento moderado pero constante en las temperaturas extremas, alcanzando valores de hasta 35.4°C. La ciudad de Talca indica un crecimiento más pronunciado, con proyecciones probables que podrían llegar hasta 36.4°C. La ciudad de Chillán experimentaría registros de hasta los 39°C. La ciudad de Los Ángeles enfrentaría el mayor incremento proyectado, con temperaturas extremas que registrarían hasta 41.6°C.

Para el mes de febrero, las proyecciones también indican aumentos notables en todas las ciudades. Santiago verá incrementos consistentes con temperaturas proyectadas de hasta 35.8°C, mientras que Talca podría alcanzar los 36.4°C. Las ciudades de Chillán y Los Ángeles registrarían alzas más significativas, con temperaturas máximas proyectadas de 37.6°C y 38.6°C, respectivamente. Estas proyecciones subrayan la urgencia de implementar estrategias adaptativas y medidas de mitigación sólidas para hacer frente a las crecientes temperaturas y las condiciones climáticas extremas que se avecinan en estas áreas urbanas y también rurales. La necesidad de intervenciones a nivel regional y nacional se vuelve aún más crítica para abordar el cambio climático y sus impactos que ya hemos experimentado.

Cabe mencionar que, según la tabla 3, las ciudades de Chillán y Los Ángeles ya han registrados temperaturas máximas extremas de 41.6°C y 42.2°C respectivamente.

Estos resultados respecto de ocurrencias de temperaturas máximas extremas para los años 2024, 2025 y 2026 en las ciudades de Santiago, Talca, Chillán y Los Ángeles son consistentes con los datos respecto a los promedios móviles y medias quinquenales explicados en el análisis climatológico de este estudio. Además se alinea con estudios previos que han examinado los efectos del cambio climático en diferentes regiones del mundo. Comparando nuestros hallazgos con estudios como el de Tripathy et al. (2023), que se centra en eventos compuestos de sequía y olas de calor, observamos una tendencia común hacia un aumento en la frecuencia de eventos climáticos extremos. Esto plantea desafíos significativos para la seguridad hídrica, energética y alimentaria para nuestro país, toda vez que las ciudades estudiadas se ubican en el centro agrícola de Chile.

Al considerar la influencia de patrones atmosféricos en el hemisferio sur, en línea con las investigaciones de Boschat et al. (2023), nuestros resultados sugieren una compleja interacción entre variaciones climáticas a gran escala y las temperaturas máximas proyectadas. El estudio de Barrucand et al. (2008) que investiga la relación entre las temperaturas extremas en el sur de Sudamérica y las variaciones en las temperaturas superficiales del océano Atlántico, concuerda con nuestras observaciones sobre las variaciones térmicas extremas proyectadas.

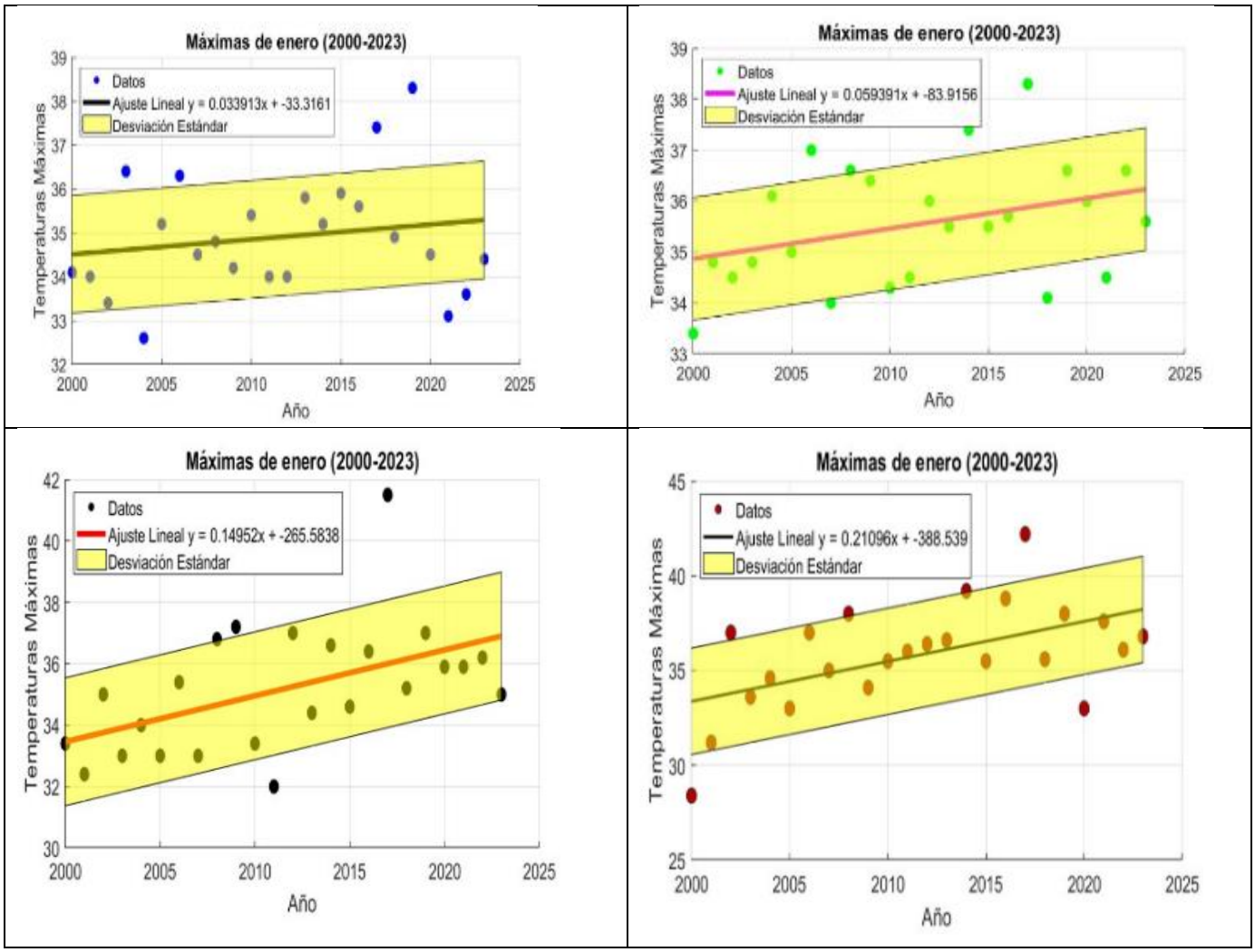


Figura 24. Tendencias de las temperaturas extremas en Santiago, Talca, Chillán y Los Ángeles (Zona Centro Sur de Chile) durante el mes de enero desde el 2000 al 2023. Las líneas sólidas muestran las tendencias lineales ajustadas a los datos recopilados desde 2000 hasta 2023, mientras que las sombras indican la desviación estándar de las temperaturas observadas en ese período. Estas tendencias ofrecen una visión clara de cómo han evolucionado las temperaturas extremas en las ciudades seleccionadas en la zona centro sur de Chile a lo largo del tiempo.

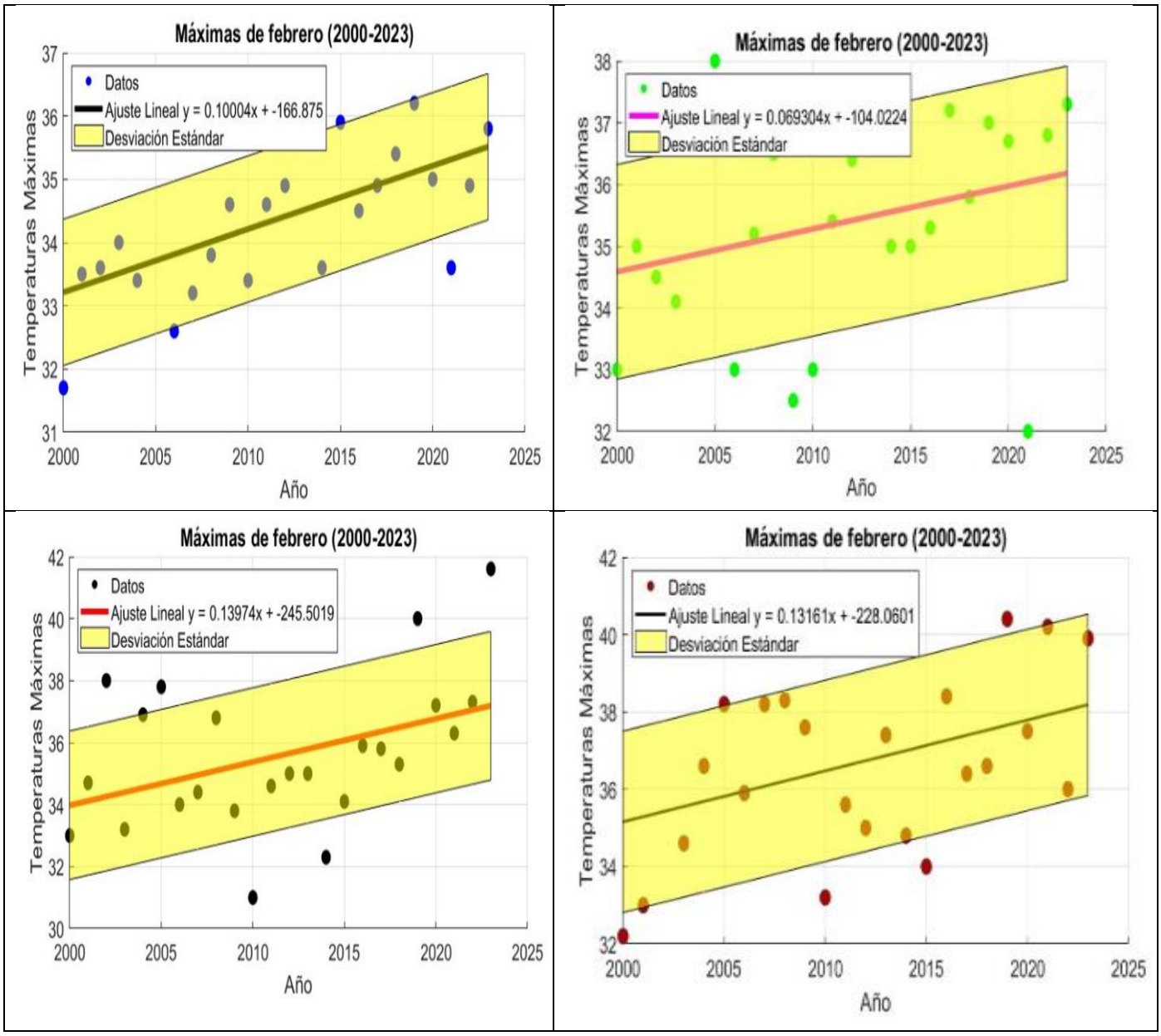


Figura 25. Tendencias de las temperaturas extremas en Santiago, Talca, Chillán y Los Ángeles (Zona Centro Sur de Chile) durante el mes de febrero desde el 2000 al 2023. Las líneas sólidas muestran las tendencias lineales ajustadas a los datos recopilados desde 2000 hasta 2023, mientras que las sombras indican la desviación estándar de las temperaturas observadas en ese período. Estas tendencias ofrecen una visión clara de cómo han evolucionado las temperaturas extremas en las ciudades seleccionadas en la zona centro sur de Chile a lo largo del tiempo.

Ciudad	m	b	2024	2025	2026	Prob.	%
Santiago	**0.033913**	**-33.3161**	**35.32 ± 1.3**	**35.35 ± 1.3**	**35.39 ± 1.3**	**0.7**	**70**
Talca	**0.059391**	**-83.9156**	**36.29 ± 1.2**	**36.35 ± 1.2**	**36.41 ± 1.2**	**0.75**	**75**
Chillán	**0.149520**	**-265.5838**	**37 ± 2.0**	**37.19 ± 2.0**	**37.34 ± 2.0**	**0.87**	**87**
Los Ángeles	**0.210960**	**-388.539**	**38.44 ± 2.8**	**38.65 ± 2.8**	**38.86 ± 2.8**	**0.83**	**83**

Tabla 4. Se presentan las tendencias de temperaturas extremas de **enero** para los años 2024, 2025 y 2026 en las ciudades de Santiago, Talca, Chillán y Los Ángeles, considerando datos desde el 2000 hasta el 2023. Se incluyen los valores de los parámetros de pendiente (m), el coeficiente de posición (b), las estimaciones para los años especificados, con sus desviaciones estándar (que se asumirá positiva debido al cambio climático) y el indicador de probabilidad asociado a las proyecciones.

Ciudad	m	b	2024	2025	2026	Prob.	%
Santiago	**0.100040**	**-166.875**	**35.6 ± 1.1**	**35.7 ± 1.1**	**35.8 ± 1.1**	**0.83**	**83**
Talca	**0.069304**	**-104.0224**	**36.2 ± 1.7**	**36.31 ± 1.7**	**36.38 ± 1.7**	**0.83**	**83**
Chillán	**0.139740**	**-245.5019**	**37.33 ± 2.3**	**37.47 ± 2.3**	**37.61 ± 2.3**	**0.75**	**75**
Los Ángeles	**0.131610**	**-228.0601**	**38.31 ± 2.84**	**38.45 ± 2.84**	**38.58 ± 2.84**	**0.83**	**83**

Tabla 5. Se presentan las tendencias de temperaturas extremas de **febrero** para los años 2024, 2025 y 2026 en las ciudades de Santiago, Talca, Chillán y Los Ángeles, considerando datos desde el 2000 hasta el 2023. Se incluyen los valores de los parámetros de pendiente (m), el coeficiente de posición (b), las estimaciones para los años especificados, con sus desviaciones estándar (que se asumirá positiva debido al cambio climático) y el indicador de probabilidad asociado a las proyecciones.

		ENERO			**FEBRERO**	
	2024	***2025***	***2026***	***2024***	***2025***	***2026***
SANTIAGO	*36,7*	*36,8*	*36,9*	*36,7*	*36,8*	*36,9*
TALCA	*37,9*	*38,0*	*38,1*	*37,9*	*38,0*	*38,1*
CHILLAN	*39,6*	*39,8*	*39,9*	*39,6*	*39,8*	*39,9*
LOS ANGELES	*41,2*	*41,3*	*41,4*	*41,2*	*41,3*	*41,4*

Tabla 6. Resumen de las tendencias probabilísticas en las temperaturas máximas extremas en base ajuste lineal.

Según las tendencias indicadas en la tabla 6, en las cuatro ciudades, es probable que pudieran registrarse estas temperaturas máximas extremas, durante enero y febrero de 2024, 2025 o 2026. El indicador de probabilidad de estas proyecciones oscilan entre un 70% a un 87% para enero y de 75% a 83% en febrero.

Potenciadores térmicos océano-atmosféricos para enero y febrero 2024.

El año 2023 ha sido de temperaturas generalmente elevadas y marcas climáticas superadas. El verano europeo se estableció como el más caluroso desde que hay registros, con el mes de julio encabezando la lista de meses más cálidos de la historia, tal y como reportó en un boletín oficial el Servicio de Cambio Climático Copernicus (C3S-2023).

Al mismo tiempo, octubre presentó las cifras más altas jamás registradas para este mes, llegando a una media de 1,7ºC por encima del nivel pre-industrial y siendo, además, el quinto mes consecutivo que se alcanza esta marca.

Otro de los motivos por los cuales este año se percibe, a nivel mundial con un aumento de las temperaturas, es debido al evento cálido El Niño iniciado en julio de este año en la categoría de "fuerte". La Organización Meteorológica Mundial (OMM) estima que continúe hasta abril de 2024 y prevé que este año sea aún más cálido que 2023. De la misma manera estima que el período 2023-2027 será eventualmente el más caluroso jamás registrado (OMM, 2023).

Es probable que en su apogeo, previsto para el período comprendido entre noviembre de 2023 y febrero de 2024, este episodio sea intenso. La probabilidad de que persista durante el próximo invierno del hemisferio norte —y verano del hemisferio sur— es del 90 %. "Los efectos de El Niño en la temperatura mundial suelen manifestarse el año siguiente a la instauración del episodio, en este caso en 2024. Sin embargo, como consecuencia de las temperaturas sin precedentes registradas en la superficie terrestre y marina desde junio, el año 2023 va camino de convertirse en el más cálido del que se tiene constancia. Y el año 2024 puede ser aún más cálido. Las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero fruto de la actividad humana, que capturan el calor en la atmósfera, contribuyen de forma clara e inequívoca a ese aumento de las temperaturas", declaró el Secretario General de la OMM, profesor Petteri Taalas. (OMM, 2023).

Es muy probable que estos potenciadores térmicos descritos, que actualmente están afectando al planeta, como lo advierten la Organización Meteorológica Mundial, el Servicio de Cambio Climático Europeo Copernicus (C3S) y Climate Reanalyzer-University of Maine, generen algún impacto positivo en las temperaturas del verano en el área de estudio. La temperatura superficial del mar en el área 3.4 del océano Pacífico central, asociadas al evento cálido El Niño-Oscilación del Sur, llegan a su máximo registro entre diciembre 2023 y febrero 2024 (figura 3). Todas estas condiciones oceánicas-atmosféricas podrían contribuir, probablemente, a que durante enero o febrero del 2024 las temperaturas máximas extremas tiendan a estar entre 1.5°C a 2.0° C por sobre los valores estimados por el indicador de tendencias, descritas para las ciudades en estudio, consistentes con sus desviaciones estándar. Probablemente puedan superarse los registro récord de las temperaturas máximas extremas indicados en el Tabla 3.

Los resultados de un estudio sobre modelos para pronosticar altas temperaturas concluyeron que, durante los últimos 70 años, el calor extremo ha aumentado a un ritmo desproporcionado en Europa occidental, en comparación con las simulaciones de modelos climáticos. En las 170 simulaciones disponibles de 32 modelos diferentes que se analizaron, incluidos 3 conjuntos de modelos complejos, ninguno resolvió el calentamiento tan intenso como el que se está dando en Europa occidental. Al parecer las proyecciones futuras que se predicen son

demasiado conservadoras. Lo anterior genera una profunda incertidumbre sobre el ritmo del futuro calor del verano en Europa (Vautard, R. J. Cattiaux, T. Happé, et al., 2023).

Para nuestro país las temperaturas de "calor extremo", reflejadas en la tabla 3 especialmente las que superan los 39°C, difícilmente pudieron ser pronosticadas o estimadas en su momento. Lo que ocurre con los modelos complejos europeos deben hacernos reflexionar sobre la frecuencia, rapidez e intensidad que temperaturas extremas altas puedan generarse en un futuro inmediato y la capacidad que tendríamos para anticipar su impacto, especialmente en la agricultura.

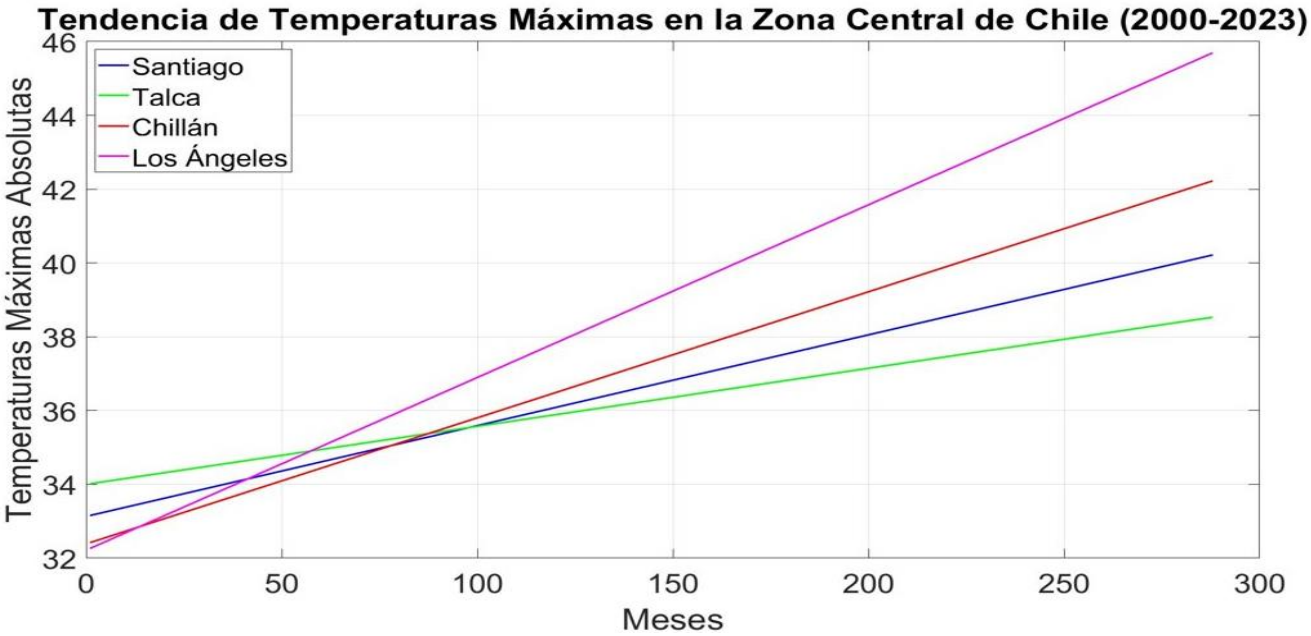


Figura 26. Resumen en las tendencias de las temperaturas extremas máximas en Santiago, Talca, Chillán y Los Ángeles (Zona Centro Sur de Chile) enero-febrero el 2000 al 2023.

La Figura 26 representa el resumen para enero y febrero en las tendencias lineales obtenidas del análisis de los polígonos en relación al aumento de las temperaturas extremas máximas por ciudad, abarcando el periodo de enero de 2000 (0) a diciembre de 2023 (300). Se observa un incremento más acelerado en Los Ángeles, seguido por Chillán, luego Santiago y, finalmente, Talca. Estos aumentos debieran haber comenzado alrededor de 2006 y, según indican las tendencias, continuar en enero y febrero de 2024.

Este resultado no solo deja en evidencia la creciente vulnerabilidad agrícola frente a las temperaturas máximas extremas de enero y febrero, sino que también un grado de incertidumbre respecto de cuál será el límite superior a los cuales llegaran estos registros en los próximos años.

4.- Conclusiones.

Las series de tiempo en analizadas, como promedios móviles de las temperaturas máximas extremas de verano, indican en las cuatro estaciones meteorológicas tendencias a un aumento persistente en sus valores desde el 2000 en adelante. A esta condición térmica se suma la mega sequía iniciada el 2007, generando un contraste

inverso entre aumento de calor en verano y déficit de lluvias anuales. Los más altos promedios quinquenales de temperaturas máximas extremas se están produciendo en el siglo XX. Para Santiago es enero. En el caso de Talca, Chillan y Los Ángeles, se observan durante febrero. Se observa una tendencia a una mayor ocurrencia de temperaturas iguales o superiores a 34° C en todas las estaciones, durante enero y febrero, en la serie de tiempo. Esta condición se observa con mayor persistencia desde el 2000 en adelante, siendo más notoria en Chillán y Los Ángeles. Los valores extremos de temperaturas máximas diarias iguales o superiores a 35° C, tanto en enero como en febrero, suelen ocurrir indistintamente bajos regímenes climáticos asociados El Niño o La Niña; teniendo una leve predominancia el evento cálido (47.7%) por sobre el frío (45.9%) entre 2002 al 2023.

Los indicadores de tendencia mediante ajuste lineal proyectan alzas en las temperaturas máximas para enero y febrero de los años 2024, 2025 y 2026 en las ciudades de Santiago, Talca, Chillán y Los Ángeles. Se esperan incrementos significativos que superarían los 35°C alcanzando, en casos extremos, hasta los 41.6°C. En el caso especial de la temporada veraniega de enero-febrero 2024 potenciadores térmicos que se están desarrollando, como el evento cálido El Niño, pudieran incrementar las temperaturas máximas extremas por sobre los registros históricos. Este escenario plantea desafíos alarmantes para la agricultura. Los cultivos frutales, particularmente sensibles a variaciones extremas de temperatura, podrían ver afectados en su crecimiento y calidad. El aumento de las temperaturas puede intensificar la evapotranspiración, incrementando el estrés hídrico y térmico en las plantas, como afectar negativamente la floración y cuajado de frutos, disminuyendo los rendimientos de los cultivos.

En consecuencia, estas proyecciones enfatizan la urgencia de implementar medidas adaptativas en la agricultura regional. Estrategias de riego más eficientes, variedades de cultivos más resistentes al calor y técnicas para proteger los cultivos de altas temperaturas son cruciales. La inversión en sistemas de monitoreo climático y la investigación continua son fundamentales para una adaptación efectiva y sostenible en el sector agrícola, en un escenario de cambio climático irreversible.

5.- Bibliografía

Azcón_Bieto J., M. Talón (2013). Fundamentos de Fisiología Vegetal. 2° Edición McGraw-Hill Interamericana. Barcelona. España.

Barrucand, M., Rusticucci, M., & Vargas, W. (2008). Temperature extremes in the south of South America in relation to Atlantic Ocean surface temperature and Southern Hemisphere circulation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *113*(D20).

Boschat, G., Purich, A., Rudeva, I., & Arblaster, J. (2023). Impact of zonal and meridional atmospheric flow on surface climate and extremes in the Southern Hemisphere. *Journal of Climate*, 1-45.

Erickson, A.N., and A.H. Markhart (2002). Flower developmental stage and organ sensitivity of bell pepper (Capsicum annuum l.) to elevated temperature. Plantcell environ. 25:123-130.

Figueres, Ch., T. Rivett. 2021. El Futuro por Decidir. Penguin Random House Grupo Editorial. Barcelona. España.

Martín F., P. López., A. Calera (2005). Agua y Agronomía. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona. Madrid.

Tripathy, K. P., Mukherjee, S., Mishra, A. K., Mann, M. E., & Williams, A. P. (2023). Climate change will accelerate the high-end risk of compound drought and heatwave events. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *120*(28), e2219825120.

Vallejo, F.A., E. I. Estrada. (2002). Mejoramiento genético de plantas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. Cali. Colombia*. Manual de producción frutal. Edición 1: 23-55.*

Vautard, R., J. Cattiaux., T. Happé., J. Singh., R. Bonnet. Et. Als. (2023). Heat extremes in Wester Europe increasing faster than simulated due to atmospheric circulation trends. *Article Nature Communications. 14: 6803 (1-9).*

Yan, W., & Hunt, L. A. (1999). An equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. *Annals of Botany*, *84*(5), 607-614.

Páginas web de Instituciones citadas.

https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/

https://climatereanalyzer.org/clim/t2_daily/?dm_id=world

https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/sea-surface-temperature

https://www.meteochile.gob.cl/PortalDMC-web/index.xhtml

http://citrautalca.cl/citra

https://www.unep.org/es/resources/informe/sexto-informe-de-evaluacion-del-ipcc-cambio-climatico-2022

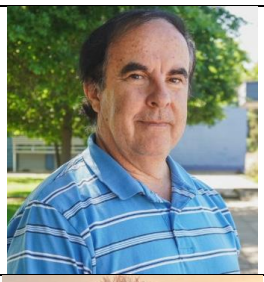
https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/enso/soi

https://ggweather.com/enso/oni.htm

https://wmo.int/es

https://www.copernicus.eu/es/servicios/cambio-climatico

https://climatereanalyzer.org/clim/t2

	**Patricio González Colville,** es Licenciado en Geografía, M. Sc. (Universidad de Chile), con especialización en Agroclimatología en la Universidad de Israel. Su área de estudio es Cambio Climático, Agroclimatología y Fenómeno El Niño. En la actualidad, se desempeña como Profesor de Agroclimatología en cursos de pre y post grado la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Talca.
	Dr. William Campillay-Llanos, actualmente es investigador postdoctoral en el Instituto de Investigación Interdisciplinaria y el Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología (CITRA) de la Universidad de Talca. Enfocado en investigación multidisciplinaria utilizando modelado biomatemático para describir procesos agronómicos, con el objetivo de desarrollar una agricultura más sostenible frente a los escenarios de cambio climático.