



Universidad de Concepción



**FACULTAD DE CIENCIAS
AMBIENTALES**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO PARA
LA CUENCA DEL RÍO ITATA DURANTE EL PERÍODO
1999 – 2016**



Habilitación presentada para optar al título de
Ingeniero Ambiental

ALEJANDRO IGNACIO OSORIO GALLARDO

Profesor Guía: Dr. Roberto Urrutia Pérez

Concepción, Chile

2022



“Evaluación del comportamiento térmico para la Región de Ñuble durante el periodo 1999-2016”

PROFESOR GUÍA: Dr. Roberto Urrutia Pérez

PROFESOR CO- GUÍA: Dr. Mauricio Aguayo Arias

PROFESOR COMISIÓN: Dr. Pablo Pedreros Troncoso

CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA

Conceptos que se indica en el Título

- ✓ Aprobado por Unanimidad : (En Escala de 4,0 a 4,9)
- ✓ Aprobado con Distinción (En Escala de 5,0 a 5,6)
- ✓ Aprobado con Distinción Máxima (En Escala de 5,7 a 7,0)

Concepción, julio 2022

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
RESUMEN.....	vii
1.MARCO TEÓRICO	1
1.1. Cambio Climático.....	1
1.1.1. Contexto Global y Nacional.....	1
1.2. Comportamiento de la temperatura en el escenario actual.....	3
1.2.1. Temperatura y su relación respecto a la geografía	3
1.2.2. Situación Global.....	8
1.2.3. Situación Nacional.....	10
1.3. Relación entre la agricultura y la temperatura	13
1.3.1. Variables que inciden en los cultivos	14
1.3.2. Medidas de adaptación ante las variaciones térmicas.....	16
1.4. Problemática Identificada.....	17
2.PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	18
3.OBJETIVOS	18
3.1. Objetivo General.....	18
3.2. Objetivos Específicos	18
4.METODOLOGÍA.....	19
4.1. Área de estudio.....	19
4.2. Objetivos Específicos	21
4.2.1. Analizar la homogeneidad y la validez de los datos del registro térmico de la Cuenca del Itata	21
4.2.2. Analizar estadísticamente las tendencias de las temperaturas máximas, mínimas y medias mensuales y estacionales de la Cuenca del Río Itata para el período 1999 – 2016.....	25
4.2.3. Determinar la Variabilidad Espacial de las tendencias térmicas mensuales encontradas para la Cuenca del Río Itata.....	28
5.RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29

5.1. Análisis de homogeneidad y validación de la serie de datos	29
5.1.1. Análisis de homogeneidad.....	29
5.1.2. Validación con estaciones meteorológicas	30
5.2. Análisis estadístico de las tendencias mensuales y estacionales de temperatura.	33
5.2.1. Estimación de magnitudes de las tendencias mensuales.33_Toc112916493	
5.2.2. Estimación de tendencias de temperaturas estacionales.....	39
5.3. Variación espacial de las tendencias de las temperaturas mensuales encontradas.	47
5.3.1. Distribución espacial temperaturas máximas	48
5.3.2. Distribución espacial tendencias de temperaturas medias mensuales	54
5.3.3. Distribución espacial tendencias de temperaturas mínimas mensuales..	58
5.3.4. Generalidades distribución espacial de tendencias.....	63
6.CONCLUSIONES	66
7.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
8.ANEXOS	74



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1. Tendencias Térmicas a nivel global y hemisférico.	9
Tabla N°2. Tendencias térmicas a nivel nacional y local.	12
Tabla N°3. Resultados de aplicación de Criterio de Chauvenet.....	30
Tabla N°4. Validación de puntos térmicos con estaciones.....	31
Tabla N°5. Magnitudes de tendencias de temperaturas máximas y significancia de Mann – Kendall.....	33
Tabla N°6. Magnitudes de tendencias de temperaturas medias y significancia de Mann – Kendall.	36
Tabla N°7. Magnitudes de tendencias de temperaturas mínimas y significancia de Mann – Kendall.....	37
Tabla N°8. Tendencias estacionales de temperaturas máximas por zona.	41
Tabla N°9. Tendencias estacionales de temperaturas medias por zona.....	44
Tabla N°10 Tendencias estacionales de temperaturas mínimas por zona.....	46

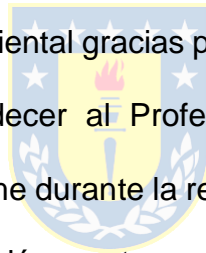
ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Delimitación de la cuenca.	21
Figura 2. Puntos térmicos y estaciones meteorológicas.	23
Figura 3. Relación Punto térmico – Estación para validación de datos.	24
Figura 4. Área de estudio y división agroecológica.	26
Figura 5. Gráfico regresión lineal simple temperaturas máximas estacionales.	40
Figura 6. Gráfico regresión lineal simple temperaturas medias estacionales.	43
Figura 7. Gráfico regresión lineal simple temperaturas mínimas estacionales.	46
Figura 8. Tendencias de temperaturas máximas mensuales meses de primavera.	48
Figura 9. Tendencias de temperaturas máximas mensuales en meses de verano.	50
Figura 10. Tendencias de temperaturas máximas mensuales en meses de otoño.	51
Figura 11. Tendencias de temperaturas máximas mensuales en meses de invierno.	52
Figura 12. Tendencias de temperaturas medias mensuales en meses de primavera.	54
Figura 13. Tendencias de temperaturas medias mensuales en meses de verano.	56
Figura 14. Tendencias de temperaturas medias mensuales en meses de otoño.	57
Figura 15. Tendencias de temperaturas medias mensuales en meses de invierno.	58
Figura 16. Tendencias de temperaturas mínimas mensuales en meses de primavera.	59
Figura 17. Tendencias de temperaturas mínimas mensuales en meses de verano.	60
Figura 18. Tendencias de temperaturas mínimas mensuales en meses de otoño.	61
Figura 19. Tendencias de temperaturas mínimas mensuales en meses de invierno.	62

AGRADECIMIENTOS

Al terminar este proceso no queda más que agradecer a todos los que me rodearon durante este largo camino, en especial a mí familia, que a pesar de contar con un sinfín de dificultades fue posible culminarlo de buena manera y con ello alcanzar una gran satisfacción personal.

En especial hago mención a los amigos que hice en el camino y que día a día siguen estando conmigo a cada paso y que en muchas ocasiones creyeron más en mí que yo mismo. Nicolás, Pilar, Gonzalo, Cristóbal, Emmanuel, Francisca, Germán y otros, sin ustedes nunca hubiera podido terminar esta etapa. A mi querido equipo de fútbol de Ambiental gracias por el proceso, por las penas y por las alegrías. Por último, agradecer al Profesor Roberto que supo en todo momento comprender y apoyarme durante la realización de esta investigación, a pesar de todo el tiempo de duración que tuvo.



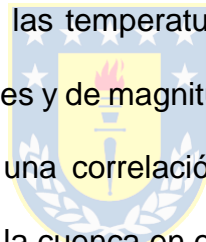
RESUMEN

En la actualidad el mundo se encuentra sometido a un proceso de cambios nunca visto en las variables climáticas. Factores como el aumento de la emisión de gases de efecto invernadero, la mayor producción de efluentes de origen industrial y la sobrepoblación, han producido un aumento en la frecuencia de eventos climáticos extremos, una disminución de las precipitaciones y un aumento significativo en las temperaturas, siendo este último el de importancia en esta investigación. Siendo Chile un país susceptible a esta clase de cambios y dependiendo en gran parte de la agricultura intensiva se hace necesario saber si estas variaciones en la temperatura son de carácter significativo o no.

Es así, como en este estudio se utilizó una base de datos de temperaturas máximas, mínimas y medias mensuales entregada por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) para el período 1999 – 2016, cuyos puntos térmicos se distribuyen en toda la extensión de la Región de Ñuble, lo que coincide con el área de estudio utilizada en este caso, la cual es la Cuenca del Río Itata. La estimación de tendencias para estas diferentes temperaturas se realizó en dos escalas temporales, ambas probadas en literatura para las diferentes variables climáticas. La primera de ellas es la estimación de tendencias de temperaturas mensuales para la cual se utilizó el método no paramétrico de Mann Kendall y posterior a esto para calcular la magnitud de este cambio se usó el método de la pendiente de Sen. Por otro lado, la otra escala temporal utilizada

fue estacional y el cálculo de las tendencias se realizó mediante una regresión lineal simple y la magnitud de estas se obtuvo mediante la ecuación de la pendiente de la recta. Por último, se esgrimió la distribución espacial que tendrían las tendencias mensuales de temperatura mediante el método de distancia inversa ponderada. (IDW).

Los resultados muestran que no existen variaciones estadísticamente significativas en ninguna de las escalas temporales que se utilizaron en el estudio, más bien existieron meras variaciones estadísticas las cuales en el caso de las temperaturas mensuales variaron entre picos de $-0,12^{\circ}\text{C}/\text{década}$ y $0,18^{\circ}\text{C}/\text{década}$, y en el caso de las temperaturas estacionales dichos cambios eran en muchos casos inexistentes y de magnitudes muy menores. Por otro lado, es posible notar que no existe una correlación de aumento o disminución de temperaturas en ningún área de la cuenca en específico.



1. MARCO TEÓRICO

1.1. Cambio Climático

1.1.1. Contexto Global y Nacional.

El cambio climático es un fenómeno que al día de hoy se encuentra en boga tanto a nivel mundial, como a nivel nacional e inclusive a nivel de regiones o de comunidades más pequeñas. El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), lo define como *“la variación estadísticamente significativa en cualquiera de las medias o estados del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (décadas)”* (Zakaria et al., 2013). Al ser un fenómeno que tiene relación directa con el clima y el comportamiento de este, produce distintas afectaciones que pueden generar tanto macro como micro impactos, dependiendo de la zona que sea estudiada, por ello, es necesario realizar observaciones regularmente a estos posibles efectos, ya que, estos pueden incidir tanto en los ecosistemas como en la vida cotidiana de las personas.

Así, a nivel mundial se constatan como los factores de mayor influencia en el cambio climático, el incremento en las emisiones de carbono atmosférico (CO₂) y otros gases de efecto invernadero, esto produciría un aumento en las temperaturas del planeta, además se indica la producción de efluentes propios del aumento en las actividades industriales, producto del incremento demográfico del planeta como uno de los posibles factores que influyen en el desarrollo del

fenómeno antes señalado. (*Kundu et al., 2014*). Sumado a esto, el desarrollo de esta variación en el clima del planeta arrastra consigo cambios tanto en las precipitaciones, como en la temperatura, lo que provoca a su vez una mayor frecuencia de ocurrencia para eventos climáticos extremos como tormentas, sequías e inundaciones. (*Zakaria et al., 2013*).

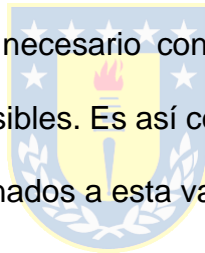
En cuanto a Chile, está reconocido por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) como uno de los países que cumple con nueve de los criterios enunciados por dicha convención, entre aquellos criterios se encuentran el poseer: zonas costeras con baja altura, zonas áridas y semiáridas, zonas de bosques, territorio propenso a desastres naturales, áreas expuestas a sequía, zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica y ecosistemas montañosos (*MMA, 2017*). Dado esto, el Gobierno Chileno se ha propuesto reducir en un 30% las emisiones de GEI para el año 2030 con el fin de mitigar el avance y los posibles efectos adversos producto del cambio climático, si bien, para que esta meta pueda cumplirse, se necesitan mejoras en los aspectos tecnológicos, económicos, legislativos y en el comportamiento humano, ya que, este es un fenómeno que incide en todas las personas por igual. (*MMA, 2017*).

Siguiendo con una de las ideas planteadas anteriormente es necesario destacar que la alta variabilidad climática del país es causada por la enorme extensión

meridional del mismo, debido a ello, es capaz de atravesar una gran variedad de regímenes climáticos, pudiendo pasar del árido desierto del norte, a las zonas templadas del centro y finalizando con las áreas lluviosas del sur del país. (Falvey & Garreaud, 2009).

1.2. Comportamiento de la temperatura en el escenario actual

Como ya fue mencionado en reiteradas ocasiones Chile es uno de los países más expuestos al Cambio Climático y a los procesos que este conlleva. Si bien el más notorio y estudiado de estos procesos hace mención a las variaciones en la temperatura del planeta, es necesario conocer la situación actual de esta variable en todas las escalas posibles. Es así como, en seguida se presentan los tópicos más importantes relacionados a esta variable.



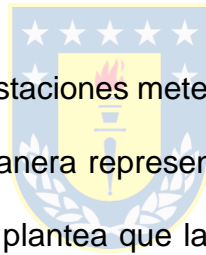
1.2.1. Temperatura y su relación respecto a la geografía

A pesar que Chile y la zona en cuestión que se desea analizar (Cuenca del Río Itata, región de Ñuble), cuentan con una escasa extensión zonal (alrededor de 160 – 170km), existe una alta variabilidad en lo que se refiere a las temperaturas, dado que la zona en cuestión cuenta con la clásica división longitudinal de Chile Central, es decir, planicies costeras, Cordillera de la Costa, Depresión intermedia y la Cordillera de Los Andes, es por esto que es de suma importancia reconocer

cuales son los factores o fenómenos que tienen incidencia en las variaciones en este elemento del clima, como lo es la temperatura.

1.2.1.1. Comportamiento Longitudinal

Como ya se dijo anteriormente, existen evidencias que la temperatura del país ha ido in crescendo de oeste a este, es decir, desde las planicies costeras hacia la Cordillera de Los Andes, si bien esto también ocurre en la zona central del país, no se sabe a ciencia cierta si el calentamiento se extiende más al este de Los Andes, o si el enfriamiento es continuo mar adentro.



Pese a que la ubicación de las estaciones meteorológicas no es la óptima debido a que no están repartidas de manera representativa a través del país, si existe una concordancia en la cual se plantea que la zona central de Chile, tiene una variación significativa entre las temperaturas encontradas en la Costa y la zona Cordillerana, yendo estas primeras a la baja y estas últimas al alza. (*Falvey & Garreaud, 2009*).

A pesar que esto se repite a lo largo de Chile Central, se cree que podría estar relacionado con un fenómeno de variabilidad interanual tal como lo es el ENSO. (El Niño – Oscilación Sur o La Niña - Oscilación Sur). Cabe destacar que dicho evento nace de la relación entre la Oscilación del Sur, la cual se presenta como una anomalía de carácter atmosférica que incide en las variaciones de la presión

de la misma, manifestandose con bajas en ella para la zona occidental del P acífico, en este caso Chile (*Aceituno, 1988*), y el fen omeno del niño, el cual se caracteriza por ser un fen omeno que lleva aguas c alidas a la costa generando un aumento en las temperaturas, ocasionando un aumento en la evaporación y la condensación y llevando a que aumenten en consideración los eventos de lluvia extremos, cabe destacar que este evento se produce debido a la variación de las presiones atmosféricas, he ahí su relación con la Oscilación del sur. Además, se debe hacer notar que el ENSO posee una fase de enfriamiento, llamada fen omeno de la Niña, la cual en relación a su contraparte se caracteriza por la proliferación de aguas frías, un descenso en las temperaturas y una alta incidencia en los eventos de sequía o disminución de las precipitaciones. (*Aguilar et al., 2005*).



Por contraparte y dado que el ENSO, está más relacionado a las variaciones climaticas en la costa, es necesario conocer lo que ocurre en la Cordillera de Los Andes respecto a la temperatura. Es así como se tiene que esta enorme masa montañosa debido a su longitud, continuidad y altura, genera una irrupción de carácter significativa en lo que respecta a la circulación atmosférica. Es sabido que entre los 5  y los 30 S, la Cordillera cuenta con un clima más bien tropical y subtropical; pero esto se invierte alrededor de los 35 S, dando paso a un clima más templado y lluvioso, lo cual coincide con la zona de estudio, ya que la zona centro sur del país se encuentra entre los 35  y 37 S. (*R. D. Garreaud, 2009*).

Sumado a esto y debido a que este cordón montañoso nace en Venezuela y se extiende hasta la zona austral de Chile, atravesando casi toda Sudamérica, tiene incidencia en el transporte de masas de viento cálidas y húmedas desde la cuenca del Amazonas hacia Chile, generando un mayor impacto en la zona norte y central del país. (*Lenters & Cook, 1997*). Por último, existen antecedentes que detallan que debido a la existencia de calentamiento en las zonas interiores del continente se producen áreas de relativa baja presión que prevalecen a lo largo de todo el año, de esta manera se interrumpe el cinturón de alta presión y, por lo tanto, la temperatura tiende a aumentar en territorios cordilleranos. (*Seluchi et al., 2003*).

1.2.1.2. Comportamiento Vertical



Es sabido que debido al rápido cambio en la elevación topográfica de las planicies costeras hacia la Cordillera de Los Andes y a la marcada diferencia existente entre las temperaturas de ambas zonas, se puede inferir que existe una relación directa entre las tendencias térmicas y la altitud.

Es así, como se constata que en la troposfera inferior de la costa de la zona central del país existe una capa límite marina, fría y húmeda, la cual recibe el nombre de MBL, que por lo general está delimitada por un estrocúmulo (sc) (con una altitud posible de hasta 2000m), y que genera una especie de inversión

térmica en la atmosfera, produciendo así una disminución de la temperatura desde ella hacia altitudes menores. Otro punto a destacar es que la temperatura en dicha capa, va ascendiendo a medida que la altitud va incrementando, generando así una fuerza de inversión mayor y provocando una mayor estabilidad troposférica inferior (LTS), que dicho sea de paso, también se encuentra relacionada con la prevaencia de estratocúmulos en esta capa atmosférica. *(Boisier & Aceituno, 1997).*

Otro punto a tener en consideración es que por encima de la MBL el calentamiento sigue existiendo, es decir, en el caso de Ñuble, si por ejemplo se midiera la temperatura 100km sobre el nivel del mar en la comuna de Cobquecura, dicha temperatura debería ser idéntica a la existente 100km sobre el nivel del mar en la comuna de San Fabían, pese a que la primera es una comuna costera y la segunda una comuna pre cordillerana. Esto es un caso anómalo para el mundo en general, dado que en otros países o zonas geograficas las temperaturas y las tendencias de la misma, difieren enormemente a altitudes iguales en zonas diferentes. *(Falvey & Garreaud, 2009).*

1.2.1.3. Fenómeno atípico: Isla de calor urbana

Otro de los fenómenos que tienen implicancia dentro de la variación que pueden tener las temperaturas dentro de una determinada área es uno llamado como

“Isla de calor urbana”, la cual se define como “el exceso de calor generado en un ambiente urbano generado por la acción antrópica”(Steffens et al., 2001). Este comportamiento anormal en los valores térmicos produce que las ciudades o grandes zonas urbanas tengan una temperatura mayor a la que existe en sus alrededores, siendo esto provocado por la escasa vegetación dentro de las ciudades, además del exceso de urbanizaciones o construcciones de concreto lo que incide directamente en la respuesta que tienen las coberturas rurales y las coberturas urbanas ante la radiación solar, estando así directamente relacionadas con el albedo que posean ambas superficies. En resumen, los valores del albedo dentro de las ciudades es menor debido principalmente a las construcciones de concreto, de esta manera se acumula una mayor cantidad de radiación, aumentando así la temperatura de la zona en cuestión, en cambio, en las zonas rurales donde la cobertura vegetal es mayor, el albedo es mayor, siendo así la temperatura de esta última menores a las existentes en la ciudad. (Steffens et al., 2001).

1.2.2. Situación Global

Dado que a nivel mundial se ha presentado un proceso de “calentamiento global” se han realizado variados estudios para ver en que escala se producirá esta variación en la temperatura. Así es como se ha establecido un incremento de entre $0.3^{\circ}\text{C}/\text{decada}$ y $0.6^{\circ}\text{C}/\text{decada}$ en la temperatura superficial del suelo en los últimos 100 años, donde el mayor aumento se produjo durante el segundo lustro

de la década del 80 (IPCC, 1992), por otro lado, algunos autores destacan que el incremento de los niveles térmicos del planeta está relacionado más que nada a las temperaturas mínimas diarias (asociadas a la noche) que son las que han registrado una mayor alza en comparación con las máximas diarias (asociadas al día), de esta manera se han atribuido aumentos de 0.84 °C para las mínimas y de solo 0.28 °C para las máximas, si esto es extrapolado a nivel global el aumento de la temperatura llega hasta los 0.33 °C/década. (Karl et al., 1993). A su vez se tiene otro estudio realizado sólo para el hemisferio sur, en el cual se constata que los aumentos en la temperatura global están mayormente concentrados en el aumento de las temperaturas mínimas, dado que se encontró un aumento del 0.84 °C/década en ellas, en contraposición con las máximas que sólo encontraron un aumento de 0.28 °C/ década (Vose et al., 2005). En seguida se presenta una tabla resumen para facilitar la comprensión de lo expuesto.

Tabla 1. Tendencias Térmicas a nivel global y hemisférico.

Variable	Tendencia identificada	Período analizado	Escala	Referencia
Temperaturas medias mensuales	T_{mens} : +(0.3 °C – 0.6 °C) / década	1892 – 1992	Global	IPCC, 1992
Temperaturas máximas y mínimas diarias	$T_{mín}$: +0.84 °C / década $T_{máx}$: +0.28 °C / década *Extrapolado a nivel global +0.33 °C / década	1951 – 1991	Global	Karl et al., 1993

Temperaturas máximas y mínimas anuales	<i>Tmáx:</i> +0.102°C / década <i>Tmín:</i> +0.134°C / década	1950 – 2004	Hemisferio Sur	Vose et al., 2005
---	--	----------------	-------------------	----------------------

Fuente: Realizada en base a revisión bibliográfica.

1.2.3. Situación Nacional

En cuanto a la situación país, es necesario destacar que Chile es conocido por ser una zona de transición climática entre las corrientes oceánicas frías existentes a lo largo de la costa y zonas continentales en donde el clima es más bien cálido y húmedo. Otro punto a tener en consideración es que debido a la pobre existencia de estaciones meteorológicas o a la mala ubicación de las mismas, cualquier estimación hecha sobre la climatología del país es más bien pobre. (*Garreaud, 2011*). Como fue mencionado con anterioridad al ser una zona de transición climática el territorio nacional cuenta con un comportamiento dispar de la temperatura, en especial en la zona central del país, en donde esta variable registra disminuciones de -0.15°C/década en las áreas costeras, incrementos de poca escala en los valles centrales o depresión intermedia y un aumento significativo de hasta 0.25°C/década en territorios cordilleranos. Esta tendencia de disminución de la temperatura a lo largo de la costa y el incremento en las zonas cordilleranas se encuentra ampliamente probado en la literatura. (*Falvey & Garreaud, 2009*). Si bien el calentamiento cordillerano se atribuye al aumento de los GEI, no se descarta que al menos una parte de este sea consecuencia de

un ciclo natural del planeta, en tanto, se cree que el enfriamiento costero podría estar relacionado a la intensificación de los vientos provenientes del sur a lo largo de la costa debido a la expansión propia del Anticiclón Subtropical. (*Garreud, 2011*).

Por último, para la Región de Ñuble (donde esta emplazada la cuenca del Itata) no se tienen mayores datos relacionados a la temperatura, aunque por lógica esta debería verse afectada por lo expuesto en el párrafo anterior debido a que cuenta con zonas cordilleranas y costeras, además de ser bastante susceptible a los cambios en la temperatura pues gran parte de la actividad económica de la región se basa en la agricultura. Si bien existe en la literatura un antecedente del cambio en las temperaturas de la región, el cual coincide con lo expuesto en (*Falvey & Garreud, 2009*), ya que se constata el incremento en las temperaturas mínimas, por consiguiente generando un aumento en las temperaturas medias de la zona; pero estas tendencias solo fueron realizadas con datos de una estación presente en la comuna de Chillán, por lo tanto, debe ser tomada en cuenta su baja representatividad respecto a la zona en cuestión. (*Corvacho et al., 2015*). Aún así, se debe considerar que Ñuble y por consiguiente la cuenca, pertenece a la macrozona centro - sur del país que comprende junto a las regiones de Maule y Biobío. Esta área se encuentra clasificada según Köppen como una zona mayormente de clima mediterráneo (alrededor del 90% del territorio comprendido), y con un menor territorio en donde predomina el clima

semiárido, el cual pertenece a las zonas precordillerana y cordillerana. (Sarricolea et al., 2017).

A continuación, se presenta una tabla resumen con las tendencias en las temperaturas para el país, con el fin de facilitar lo expuesto en el párrafo anterior.

Tabla 2. Tendencias térmicas a nivel nacional y local.

Variable	Tendencia identificada	Período analizado	Escala	Referencia
Temperaturas medias diarias	-0.2 °C/década en las zonas costeras +0.25 °C/década en Los Andes	1979 – 2006	Chile continental	Falvey & Garreud, 2009
Temperaturas máximas y mínimas mensuales	<i>T_{máx}</i> : +(0.03 °C – 0.78 °C) / década a excepción de Sept. que presenta una disminución de – 0.12 °C/década. <i>T_{mín}</i> : +(0.03 °C – 0.42 °C) / década a excepción de julio que presenta una disminución de 0.19 °C / década.	1966 – 2015	Chile Continental *Estación Chillán	Corvacho et al., 2015

Fuente: Realizada en base a revisión bibliográfica.

Cabe destacar que no se consideró lo expuesto en (*Sarricolea et al., 2017*), debido a que no realizó ningún tipo de análisis para determinar las tendencias térmicas, si no que sólo se le aplicó la Clasificación de Köppen a los datos utilizados.

1.3. Relación entre la agricultura y la temperatura

Como se ha reiterado dentro de este informe cada vez son más notorios los efectos del cambio climático a nivel global, en especial los referidos al aumento en las temperaturas, afectando de esta manera la salud de las personas y la producción de los cultivos, alterando así los precios de los alimentos, la seguridad alimentaria y las decisiones sobre el uso de los suelos. (*Pathak & Wassmann, 2009*). En este caso cae Chile, dado que al contar con una alta variabilidad climática y una exacerbada dependencia de la agricultura intensiva, además de contar con alrededor de 51.6 millones de hectáreas (lo que corresponde a la mitad de la superficie del país) destinadas tanto a la agricultura como a la silvicultura (*ODEPA, 2019*), podría verse bastante afectado ante escenarios futuros en donde las temperaturas crezcan en forma desmedida. (*MMA, 2017*).

Por otro lado, todos los modelos de circulación climática coinciden en que el país tendrá un futuro más árido y que avanza hacia pasos agigantados hacia la desertificación. (*MMA & MINAGRI, 2013*). Esta predicción es de mucha importancia si se tiene en cuenta que alrededor del 50% de las zonas cultivables

del país pertenecen a la zona central del país. (ODEPA, 2019). Es por ello que se hace necesario conocer en exactitud las variables de los cultivos que se ven afectadas por el incremento de las temperaturas, así como también las medidas de adaptación más efectivas que están llevando a cabo los agricultores del país para poder combatir el cambio climático en el país.

1.3.1. Variables que inciden en los cultivos

Tanto los cultivos agrícolas como la vegetación silvestre son de los sistemas más vulnerables al cambio climático. Situaciones tales como el estrés hídrico, la sequía, la salinidad del suelo, las temperaturas bajas y altas, generan efectos adversos en el crecimiento de las plantas. (Kaushal et al., 2016). Entre estos factores, se considera la temperatura como esencial, siendo esta la encargada de controlar la tasa de desarrollo y los rendimientos de los cultivos. (Hatfield et al., 2016). En una variedad de ocasiones se cuentan situaciones como una disminución o aumento de las temperaturas por encima de umbrales específicos durante el proceso de crecimiento de los cultivos, provocando de esta manera una limitación en su crecimiento y, el metabolismo, lo que ha derivado en importantes pérdidas de cosecha, lo que tiene una directa injerencia en el objetivo de lograr asegurar la seguridad alimentaria de la población. (Kaushal et al., 2016).

Los datos relacionados a las temperaturas máximas y mínimas, se utilizan con bastante frecuencia para obtener índices agroclimáticos basados en la temperatura que puedan ser usados para evaluar el impacto de los cambios climáticos y la variación en la producción de los cultivos. (*Fernández-Long et al., 2013*). Sumado a la utilidad que presentan estos índices para fines productivos, también facilitan la comunicación de la información sobre determinadas condiciones climáticas relativas a los cultivos y que pueden ser de utilidad para diversos sectores o incluso para la gente común y corriente. (*Anandhi & Baker, 2013*). Por otro lado, se han descrito cambios significativos en los índices agroclimáticos, es así como se ha datado una disminución en cuanto a los índices relacionados con el estrés por frío, no así con los relacionados al estrés por calor que han aumentado, esto quiere decir que el planeta se encuentra pasando por un momento en el que las temperaturas van en constante elevación. (*Croitoru & Piticar, 2013*).

Otra variable importante a tener en consideración en lo referido a la relación entre la agricultura y las temperaturas, es la Amplitud Térmica que no es más que la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas de un determinado período de tiempo. De esta manera esta variable es importante debido a que si esta amplitud es demasiado grande puede ocasionar efectos adversos cuando el cultivo esta recién naciendo, dado que si la temperatura es muy alta un día, y al día siguiente la temperatura decae al punto de congelar el brote de la semilla

recién nacida, se producirá la rotura de la pared celular del cultivo, pudiendo ocasionar grandes pérdidas económicas a nivel de producción en los cultivos. (Bogantes Arias & Mora Newcomer, 2017).

1.3.2. Medidas de adaptación ante las variaciones térmicas

A grandes rasgos la adaptación en la agricultura se puede dividir en dos grandes grupos, el primero de ellos plantea que la adaptación es el cambio en la toma de decisiones públicas y privadas respecto a la asignación de los recursos para la implementación de medidas de ambos sectores (Zilberman et al., 2012), por otro lado, se encuentran las medidas de adaptabilidad implementada directamente por los agricultores, es así como dentro de este grupo se pueden encontrar tres grandes conjuntos: el primero de ellos referido a las prácticas de conservación de agua y suelo (WSC), seguido del cambio de los cultivos (C) y terminando con las mejoras en los sistemas de irrigación (I). Es así, como también la adaptación variará dependiendo de las prácticas agroecológicas particulares y las condiciones socioeconómicas de los sitios en donde se planea implementar dichas medidas. (Deressa et al., 2009; Gbetibouo, 2009).

En cuanto a lo señalado en el párrafo anterior se constata la existencia de un estudio (Roco et al., 2014) que señala las medidas de adaptación más efectivas en la zona central del país, lo que coincide con la zona de estudio. Para esta evaluación de las medidas más efectivas se utilizó la clasificación referidas a las

prácticas de adaptación utilizadas por los agricultores. Es así, como se encontró que para Chile Central las medidas de adaptación más eficientes son el mejoramiento de las técnicas de irrigación para los cultivos (I), y la diversificación de los cultivos a unos resistentes a situaciones de temperatura extremas como las olas de calor y la sequía (C). (Roco *et al.*, 2014).

1.4. Problemática Identificada

Como ya se ha mencionado en diversas ocasiones, en la actualidad el mundo esta sometido a un proceso de cambio climático, el cual afecta de distintas maneras las variables que rigen el clima mundial. Sin duda uno de los efectos más estudiados es el aumento en las temperaturas a nivel planetario o calentamiento global, el cual se ha visto acelerado principalmente por la acción antrópica. Uno de los países más afectados por este fenómeno es Chile, debido a su alta variabilidad climática y a que cumple con una diversidad de zonas susceptibles a los efectos de las variaciones del clima a nivel mundial. A nivel nacional se espera que una de las zonas más afectadas por el aumento en las temperaturas sea la zona centro – sur, la cual comprende las regiones de Maule, Ñuble y Biobío (macrozona centro-sur) en este punto es necesario destacar que en esta zona se encuentra gran parte de los cultivos agrícolas del país, los cuales se ven afectados de sobremanera ante las variaciones de temperatura, ya que ésta rige variables de importancia para este sector como lo son la amplitud térmica y las temperaturas máximas y mínimas. Es por esto, que se hace

necesario reconocer como se han comportado las tendencias térmicas de la zona centro – sur del país, utilizando la cuenca del Río Itata como caso de estudio.

2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

En relación al Cambio Climático que se ha manifestado con un claro aumento de la temperatura en la Zona Centro – Sur de Chile (Región de Ñuble), ¿Existen tendencias estadísticamente significativas que demuestren dicho incremento en las últimas dos décadas?

3. OBJETIVOS



3.1. Objetivo General

Evaluar el comportamiento de las temperaturas medias mensuales para la Cuenca del Río Itata durante el período: 1999 - 2016.

3.2. Objetivos Específicos

- 1) Analizar la homogeneidad y la validez de los datos del registro térmico de la Cuenca del Río Itata.

- 2) Analizar estadísticamente las tendencias de las temperaturas máximas, mínimas y medias mensuales y estacionales de la Cuenca del Río Itata para el período 1999 – 2016.
- 3) Determinar la Variabilidad Espacial de las tendencias térmicas mensuales encontradas para la Cuenca del Río Itata.

4. METODOLOGÍA

4.1. Área de estudio



La cuenca del Río Itata pertenece a la región de Ñuble, una región más bien nueva dado que recién se constituyó como tal en septiembre del 2018. Así es como cuenta con una superficie de 11294 km², teniendo como cauce principal el Río Itata que tiene su origen a pocos kilómetros del Río Laja. Sumado a esto, 85km hacia el NNW este río se une con su afluente principal, el Río Ñuble, teniendo además al Diguillín, al Danicalqui y al Larqui como otros tributarios de importancia. Por último, cabe destacar que en la zona de la desembocadura esta cuenta alcanza de 100 a 200m de ancho en la época estival y hasta 300m durante el período invernal. (BCN, 2020).

En cuanto a los centros poblados de importancia destacan Chillán (161953 hab.) y San Carlos (50681 hab.) por concentrar una mayor cantidad de población;

pero también se cuentan otros de importancia como Coihueco, Bulnes, Yungay, Coelemu y Huépil. (DGA, 2004).

La zona de estudio cuenta con las clásicas franjas territoriales de la zona central del País es así como de este a oeste se encuentran primero las planicies litorales que cuentan con Cobquecura y la desembocadura del Río Itata, seguido de la Cordillera de la Costa que cuenta con microclimas secos entre sus montañas (con alturas entre los 400 y 9000 m.s.n.m), continuado por la depresión intermedia (también llamado Valle Regado por los agricultores) que cuenta con la mayor extensión de las 4 franjas, alrededor de los 100km, además de contar con la mayor disponibilidad de recursos hídricos permitiendo así el desarrollo óptimo de la actividad agrícola, forestal y ganadera, por último, se encuentra la Cordillera de los Andes que posee una altura promedio de 3000 m.s.n.m en esta región y se encuentra marcada por una alta actividad volcánica. (MMA, 2017; ODEPA, 2019).

Respecto a las condiciones climáticas de la zona en cuestión se encuentra como una zona de transición entre los climas secos del centro norte del país y las zonas lluviosas del sur, siendo de esta manera una región marcada por climas templados con lluvia, y con estaciones muy marcadas durante el año. (MMA (2017); Sarricolea et al., (2017)).

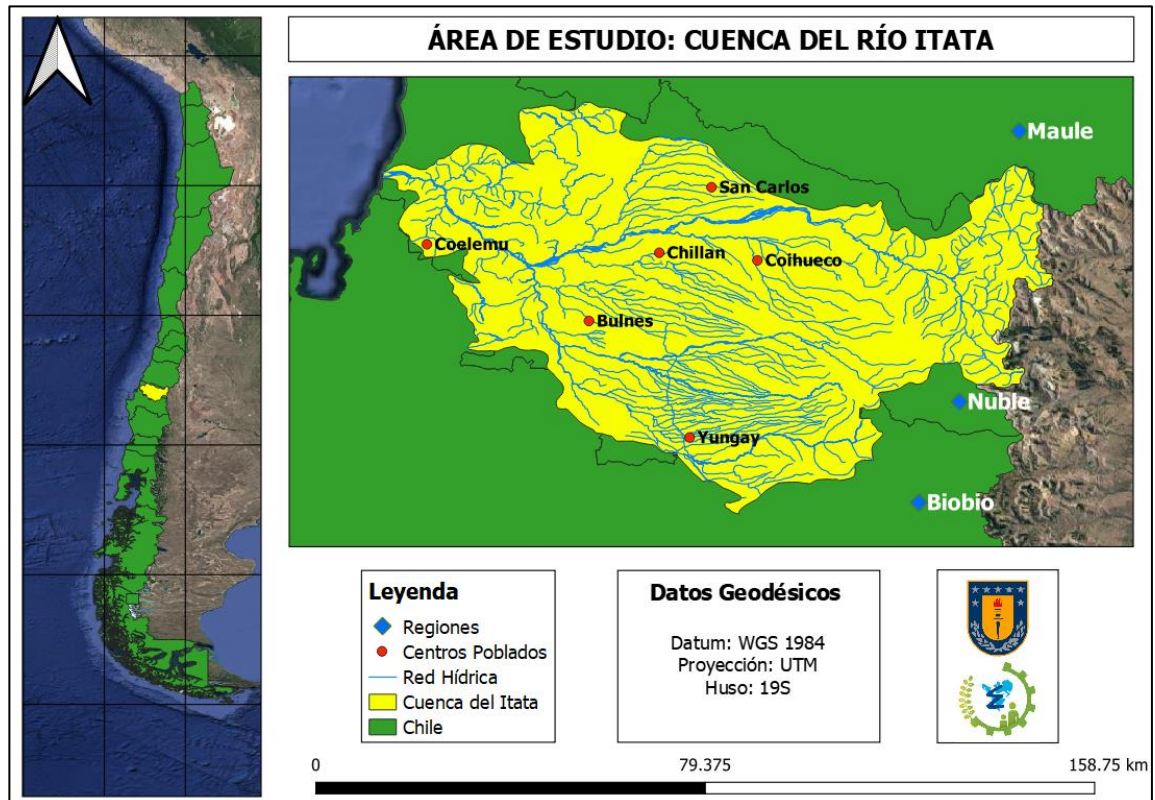


Figura 1. Delimitación de la cuenca.
Fuente: Elaboración mediante software QGIS.

4.2. Objetivos Específicos


4.2.1. Analizar la homogeneidad y la validez de los datos del registro térmico de la Cuenca del Itata.

La base de datos de temperaturas mensuales con la cual se trabajará durante el proyecto será entregada por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Dicho banco de datos cuenta con 84 puntos térmicos y fue obtenido a partir de valores de radiación solar presentes en la zona de estudio. Posteriormente estos

datos fueron procesados por profesionales del INIA y se obtuvo una base de datos de temperaturas mensuales para el período 1999 – 2016.

Elaborada la base de datos, un paso fundamental es analizar la calidad de la información realizada con el fin de identificar valores atípicos (Outliers), estos valores generalmente son considerados como erróneos, aunque también pueden deberse a situaciones puntuales. (DGA, 2017).

Para la detección de los valores atípicos se utilizará el siguiente criterio de orden estadístico, denominado criterio de Chauvenet:


$$X_R = X_{PROM} \pm K_N \cdot S \quad (\text{Ec. 1})$$

En donde X_R es la medida a probar y los valores tanto máximo como mínimo resultantes de la ecuación forman el intervalo en el cual el dato analizado debe estar para no ser catalogado como outlier o dato atípico. En el caso que el dato sea considerado como lo último antes señalado, será eliminado de la serie temporal o reemplazado con algún método para dicha situación. (Jiménez et al., 2017).

Por otro lado, para la validación de los datos se utilizará tanto la base de datos entregada por el INIA como datos extraídos de dos estaciones meteorológicas

del CR². A continuación, se muestran las dos bases de datos que serán utilizadas en la validación.

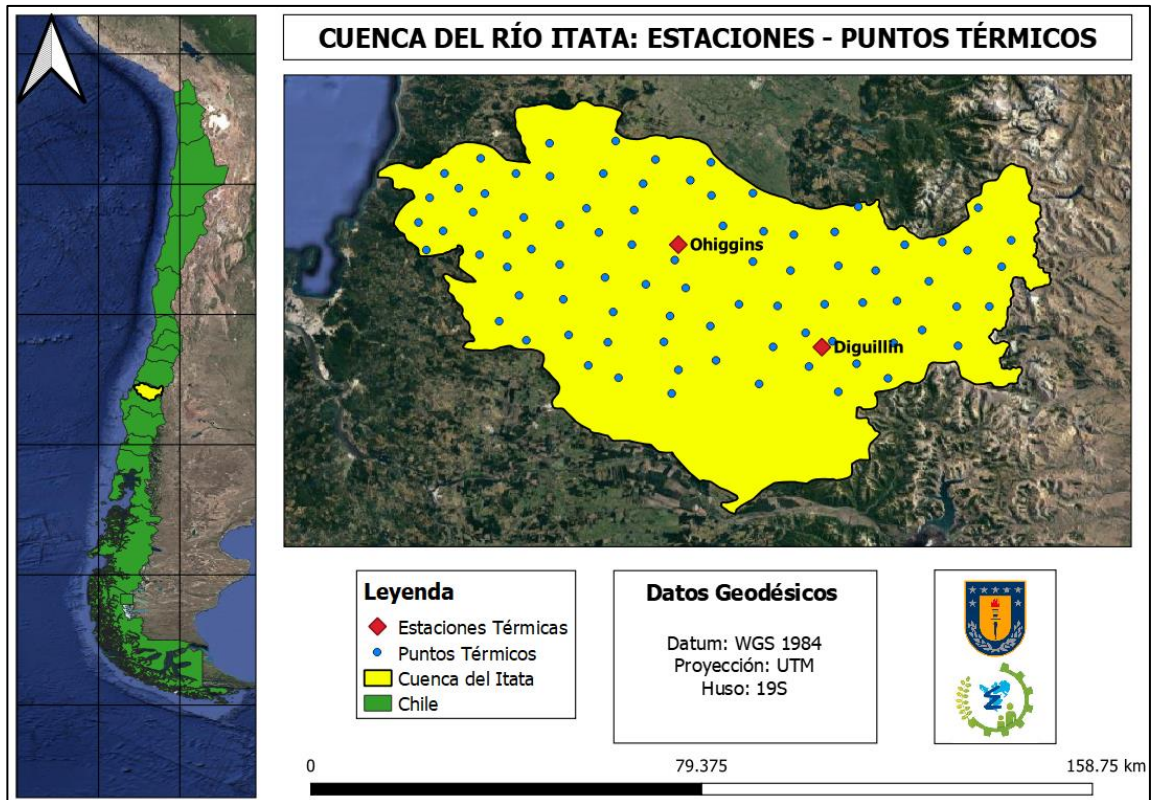


Figura 2. Puntos térmicos y estaciones meteorológicas.
Fuente: Elaboración propia mediante software QGIS.

Dicha validación se realizará usando la Correlación de Pearson, medida muy utilizada en este tipo de procedimientos cuando se trata de datos climáticos. Para la validación se utilizará un criterio de ubicación geográfico para definir que puntos térmicos se validarán con una determinada estación. En seguida se muestra la relación estación – punto térmico que será usada en este paso.

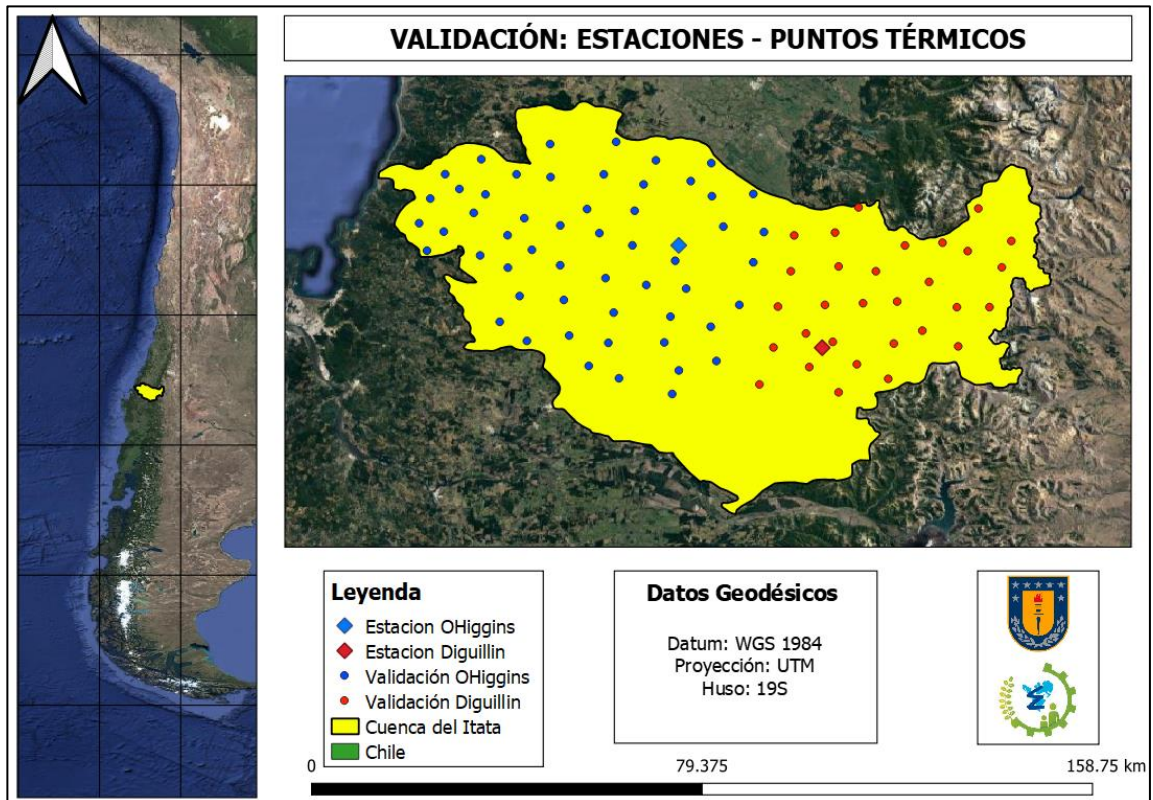


Figura 3. Relación Punto térmico – Estación para validación de datos.
Fuente. Elaboración propia mediante software QGIS.

Es así como la correlación de Pearson se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P_{X,Y} = \frac{Cov(X,Y)}{\sqrt{Var(X) Var(Y)}} \quad (\text{Ec. 2})$$

En donde X e Y son los valores de temperatura de las estaciones y puntos térmicos, cov y var, son la covarianza y varianza respectivamente. Calculado el valor $P_{X,Y}$, este puede tomar valores de -1 a 1, en donde los valores extremos representan correlaciones perfectas, siendo el valor negativo una correlación

negativa (inversamente proporcional) y el valor positivo una correlación positiva (directamente proporcional), y los valores intermedios representan de igual manera esta relación señalada; pero con una menor fuerza. (Restrepo et al., 2005.)

4.2.2. Analizar estadísticamente las tendencias de las temperaturas máximas, mínimas y medias mensuales y estacionales de la Cuenca del Río Itata para el período 1999 – 2016.

Anterior a realizar cualquier análisis es necesario mencionar que la zona de estudio en cuestión será dividida en 3 zonas acotadas y adaptadas de la literatura, todo esto con el fin de facilitar la comprensión de los resultados presentados. (Valderrama et al., 2019). La determinación de estas zonas agroecológicas se basa más que nada en criterios económicos, culturales y ecológicos, dichas zonas determinadas son la planicie litoral, que incluye el secano costero e interior; el valle central, que incorpora la depresión intermedia y el valle de la cuenca; y por último la zona cordillerana, que fusiona la zona cordillerana con la precordillerana. (MMA, 2017). En breve se presenta un mapa con la división utilizada para esta presentación de resultados.

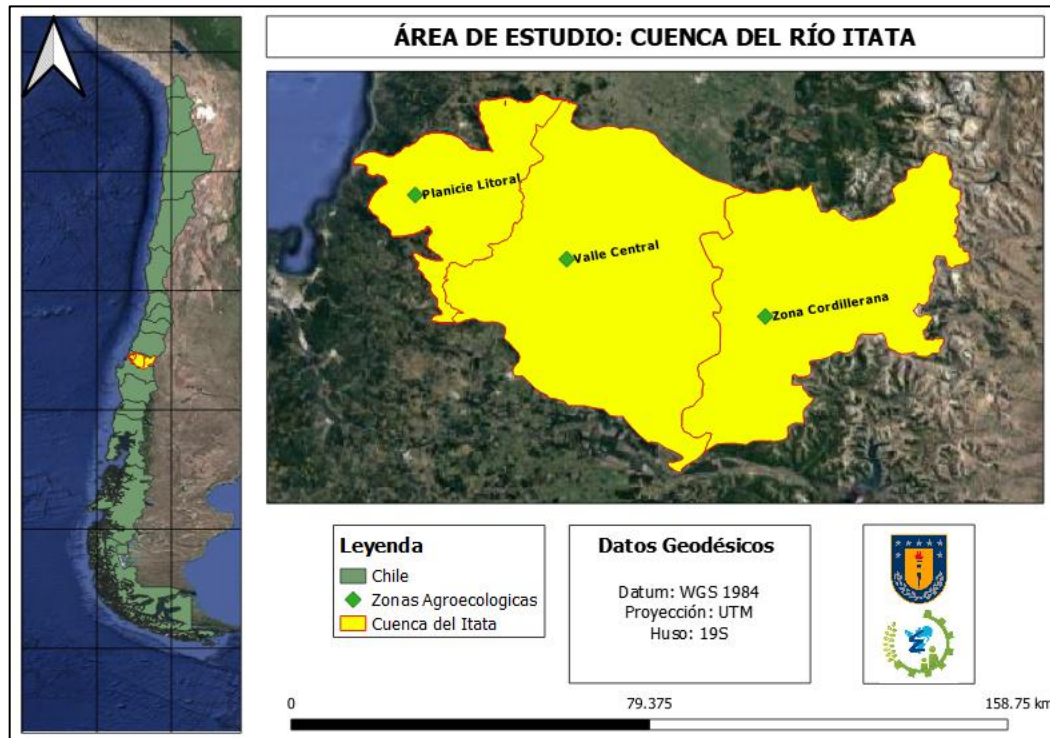


Figura 4. Área de estudio y división agroecológica.
 Fuente. Elaboración propia mediante software QGIS.

Para el análisis estadístico de las series de datos con las cuales se trabajará, es necesario considerar varios factores que tendrán incidencia en la manera de determinar estas tendencias. Es así, como se utilizarán dos métodos distintos (ambos largamente probados en estimación de tendencias de datos climatológicos) para la determinación de tendencias en las temperaturas mensuales y estacionales. Para el primero de los casos se usará la prueba de Mann – Kendall y en el segundo el método de Regresión Lineal simple.

En el caso de las temperaturas mensuales y como ya se mencionó se aplicará la prueba no paramétrica de Mann – Kendall a cada uno de los 84 puntos térmicos presentes en la extensión de la zona de estudio. Esta es una prueba robusta debido a que no necesita que los datos se ajusten a ningún tipo de distribución para poder utilizarla, además de estar ampliamente probada para la estimación de tendencias en las series temporales de temperatura. (*Caloiero et al., 2017; Corvacho et al., 2015*). Una vez probada la existencia de tendencias en las series de temperatura, es necesario estimar la magnitud que estas poseen. Para ello se utilizará el test de la pendiente de sen, ampliamente probado para datos climatológicos el cual es capaz también de estimar la pendiente o tasa lineal de cambio en una serie temporal. (*Mustapha, 2013*).



Para las temperaturas estacionales se utilizará el método de regresión lineal simple, el cual consistirá en la creación de gráficos que consideren la temperatura estacional promedio de cada uno de los años que componen la serie temporal, este promedio será para cada una de las 3 zonas agroecológicas antes mencionadas (Planicie costera, valle central y zona cordillerana). Una vez construidos estos gráficos, se integrará una línea de tendencia para los valores de temperatura la cual indicará el comportamiento de estos, para después calcular el valor de la pendiente de esta recta de tendencia la cual indicará la magnitud del cambio en las temperaturas que se produjo en el tiempo analizado. Sumado a esto, se mostrarán dos líneas de máximo y mínimo construidas a partir

de la línea de promedio y de la desviación estándar de la serie temporal. (Santillán-Espinoza et al., 2011).

4.2.3. Determinar la Variabilidad Espacial de las tendencias térmicas mensuales encontradas para la Cuenca del Río Itata.

Para determinar la variabilidad espacial de las tendencias mensuales de las variables de temperatura analizadas se hará uso del Método de distancia inversa ponderada (IDW) con el fin de interpolar los valores encontrados con la disposición geográfica de la Región de Ñuble. Este método de interpolación determinístico es uno de los más comúnmente usados cuando se trata de elaborar cartografía con algún tipo de información espacial específica. (Díaz Padilla et al., 2008).

A pesar que este método es bastante sencillo de utilizar necesita de puntos en específico dentro del territorio con el fin de establecer en base a ellos la distribución del parámetro con el cual se está trabajando. Así es como al punto en cuestión se le asigna un mayor peso el cual disminuye a medida que la distancia se incrementa dependiendo de un coeficiente exponencial, el cual lleva el nombre de coeficiente de potencia (p). (López et al., 1995). Cabe destacar que una de las desventajas del método obedece al coeficiente de potencia (p), ya que si es demasiado pequeño se tiende a generar una cartografía discontinúa y más

bien tosca. Es por ello que diversos autores (Gotway et al., 1996; Schloeder et al., 2001) recomiendan utilizar valores de p altos (mayores a 2), con el fin de generar superficies más suaves y continuas, más aún si los datos no tienen coeficientes de variación demasiado grandes, lo que encaja perfectamente con un variable como la temperatura.

Por último, es necesario destacar que la necesidad de determinar la distribución espacial de las tendencias térmicas nace de la posibilidad que esta última pueda ser utilizada en los sectores productivos de la Región de Ñuble, es especial el sector agrícola.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



5.1. Análisis de homogeneidad y validación de la serie de datos

5.1.1. Análisis de homogeneidad

Como se menciona en el punto 4.2.1 para el análisis de homogeneidad se utilizó el criterio de Chauvenet para las temperaturas máximas, medias y mínimas pertenecientes a la cuenca del Rio Itata. En total fueron 55080 los datos analizados bajo este criterio, estos están subdivididos en partes iguales para las temperaturas antes señaladas. Además, se utilizó un valor del coeficiente de Chauvenet (K_N) de 3,0014 obtenido mediante una interpolación desde la tabla de constantes del criterio en cuestión.

Tabla N°3. Resultados de aplicación de Criterio de Chauvenet.

Tipo de temperatura	Cantidad de datos analizados	Porcentaje que cumple criterio	Porcentaje que no cumple criterio
Máximas	18360	100%	0%
Medias	18360	100%	0%
Mínimas	18360	100%	0%

Como se ve en la tabla 3 es posible notar que no existen valores considerados atípicos u “outliers” en toda la serie de datos. Dado esto se asume que no existen valores que necesiten ser reemplazados, debido a que ningún dato se escapa del parámetro impuesto por el intervalo de probabilidad Gaussiana usado por este criterio. Por ello, se deduce que no existirán puntos que influyan en un comportamiento anormal o en errores de cálculo futuros durante los siguientes objetivos, ya que como ya se indicó con anterioridad no existe reemplazo o eliminación de ningún valor de la serie. (Jiménez et al., 2017).

5.1.2. Validación con estaciones meteorológicas

Al aplicar la correlación de Pearson señalada en el 4.2.1 se utilizaron dos estaciones meteorológicas pertenecientes al Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR²), dichas estaciones son O'Higgins (cercana a la comuna de Chillán), y la estación Diguillín establecida en la zona precordillerana de la región de Ñuble. Cada uno de los puntos térmicos se validó individualmente con una de

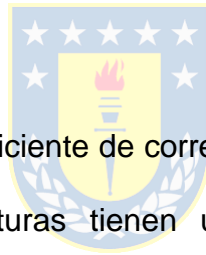
las dos estaciones mencionadas, resultando así que se validaron 54 puntos con la estación O'Higgins y 30 con la estación Diguillín.

Tabla N°4. Validación de puntos térmicos con estaciones.

Tipo de temperatura	Estación Meteorológica	Puntos validados	Coefficiente de Pearson promedio	Tipo de correlación
Máximas	O'Higgins	54	0,958	Correlación positiva fuerte
	Diguillín	30	0,952	Correlación positiva fuerte
Medias	O'Higgins	54	0,997	Correlación positiva fuerte
	Diguillín	30	0,981	Correlación positiva fuerte
Mínimas	O'Higgins	54	0,926	Correlación positiva fuerte
	Diguillín	30	0,901	Correlación positiva fuerte

Es necesario recalcar que lo ideal hubiera sido validar los puntos térmicos con estaciones que contaran con una mayor variabilidad espacial que las dos estaciones utilizadas; pero lamentablemente solo estas dos contaban con un registro de las temperaturas completo para el período de tiempo analizado, sumado a esto, si bien existían estaciones en las cuales se podría haber

rellenado los vacíos de datos con algún método, esto no se hizo debido a que la idea principal era validar los valores de los puntos térmicos con los datos originales de las estaciones meteorológicas disponibles. Sumado a esto y como han expuesto varios autores, en Chile existe una problemática bastante arraigada con la ubicación donde son instaladas las estaciones meteorológicas, debido a que en muchos casos no son puestas en las zonas más representativas, si no que se toman en consideración factores tales como la cercanía a alguna localidad para su mantención, zonas seguras en donde no existan daños de terceros e incluso o se ubican incluso dentro de establecimientos de distintos tipos. (Garreud, 2011).



En cuanto a los valores del coeficiente de correlación de Pearson (r), es posible notar que todas las temperaturas tienen una correlación positiva fuerte, considerando que la correlación positiva perfecta es cuando el valor de r es igual a 1. Debido a esto, se denota la existencia de una relación directamente proporcional entre ambas variables (puntos térmicos y estaciones meteorológicas), por lo tanto, se puede asumir que la serie de datos entregada por el INIA es fiable en comparación con los datos de las estaciones, dado esto los puntos térmicos quedarían validados y no existiría ninguna problemática asociada a la utilización de estos para el análisis de tendencias realizado en el objetivo siguiente. (Matiz – León et al., 2019).

5.2. Análisis estadístico de las tendencias mensuales y estacionales de temperatura

5.2.1. Estimación de magnitudes de las tendencias mensuales.

Una vez aplicada la prueba de Mann – Kendall expuesta en el punto 4.2.2. se obtuvieron las magnitudes de cambio en las temperaturas de cada uno de los 84 puntos térmicos ubicados dentro de la cuenca objetivo, además se obtuvo el valor del Z de Mann – Kendall (Z_{MK}), el cual es el encargado de dar la significancia o tipo de la variación de la tendencia obtenida después de la aplicación de la prueba. A continuación, se detallan dichos resultados para las temperaturas máximas.



Tabla N°5. Magnitudes de tendencias de temperaturas máximas y significancia de Mann – Kendall.

Mes	Magnitud Máxima (°C)	Magnitud Mínima (°C)	Z_{MK} Máximo	Z_{MK} Mínimo	Tipo de tendencia MK
Enero	0,190	0,038	0,577	0,079	TNSC
Febrero	0,062	-0,103	0,203	-0,315	TNSC Y TNSD
Marzo	0,117	-0,030	0,255	-0,046	TNSC Y TNSD
Abril	0,098	-0,118	0,244	-0,190	TNSC Y TNSD

Mayo	0,112	-0,061	0,359	-0,281	TNSC Y TNSD
Junio	0,099	-0,110	0,341	-0,341	TNSC Y TNSD
Julio	0,107	-0,075	0,328	-0,150	TNSC Y TNSD
Agosto	0,091	-0,063	0,249	-0,137	TNSC Y TNSD
Septiembre	0,169	-0,087	0,262	-0,190	TNSC Y TNSD
Octubre	0,102	-0,058	0,190	-0,039	TNSC Y TNSD
Noviembre	0,208	0,030	0,454	0,072	TNSC
Diciembre	0,102	-0,116	0,255	-0,264	TNSC Y TNSD

Es posible observar en la tabla que solo enero y noviembre cuentan exclusivamente con incrementos en la temperatura máxima de la cuenca, el resto de los meses presenta tanto caídas como incrementos en dicho índice de temperatura, es posible deducir esto de los valores del Z_{MK} obtenido para cada uno de los meses analizados, debido a que existen valores tanto negativos como positivos en la mayoría de ellos. Por otro lado, se puede observar que ninguna de las variaciones obtenidas alcanza a ser clasificada como una tendencia significativa importante dado que los valores del Z_{MK} no alcanzan a superar en ninguno de los casos los valores de 1,96 o -1,96 indicados en la literatura para

que una tendencia de cualquier variable sea considerada como significativa. (Alves et al., 2017).

En cuanto a las magnitudes de cambio obtenidas para cada caso es posible notar que estas tienen un alza mayor en el caso de los meses de enero (+0,190 °C), septiembre (+0.169 °C) y noviembre (+0.208 °C) respectivamente. En el caso de los decrecimientos de la temperatura máxima las mayores disminuciones fueron identificadas en los meses de febrero (-0,103°C), abril (-0,118°C), junio (-0,110°C) y diciembre (-0,116°C). Si bien para el caso de la prueba de Mann Kendall tanto estos incrementos como disminuciones en la temperatura no alcanzan a ser significativos, igual son variaciones que deben ser tenidas en cuenta en base a que el período de tiempo analizado es solo de 18 años (1999 – 2016). Aun así, podemos notar que esto coincide con lo expuesto con algunos autores que indican que las mayores variaciones se están produciendo en las temperaturas extremas, máximas y mínimas, dejando en segundo plano a la temperatura media- (Sallinger & Griffiths, 2001).

En seguida se presentan las magnitudes de cambio y los tipos de significancia de Mann Kendall (Z_{MK}) obtenidos con las temperaturas medias.

**Tabla N°6. Magnitudes de tendencias de temperaturas medias y
significancia de Mann – Kendall.**

Mes	Magnitud Máxima	Magnitud Mínima	Z_{MK} Máximo	Z_{MK} Mínimo	Tipo de tendencia MK
Enero	0,125	0,040	0,412	0,184	TNSC
Febrero	0,066	-0,031	0,216	-0,111	TNSC Y TNSD
Marzo	0,138	0,058	0,386	0,190	TNSC
Abril	0,099	0,005	0,281	0,020	TNSC
Mayo	0,051	0,023	0,340	0,105	TNSC
Junio	0,043	-0,076	0,210	-0,242	TNSC Y TNSD
Julio	0,038	-0,031	0,124	-0,131	TNSC Y TNSD
Agosto	-0,018	-0,070	-0,072	-0,333	TNSD
Septiembre	0,040	0,004	0,163	0,007	TNSC
Octubre	0,007	-0,045	0,033	-0,216	TNSC Y TNSD
Noviembre	-0,100	-0,020	0,320	-0,105	TNSC Y TNSD
Diciembre	0,041	-0,041	0,105	-0,157	TNSC Y TNSD

En el caso de las temperaturas medias es posible denotar que existen al menos 4 meses que cuentan con tendencias crecientes no significativas (enero, marzo, abril y mayo), al menos 1 mes (agosto) cuenta con tendencias decrecientes no significativas, lo que implica que solo tenga disminuciones en la temperatura

media. El resto de los meses cuenta tanto con crecimientos y decrecimientos en lo relacionado al parámetro analizado. (Alves et al., 2017).

En tanto, las magnitudes de cambio para los meses en cuestión solo se produce un aumento relevante en los meses de enero y marzo, con crecimientos de 0,125°C y 0,138°C respectivamente. Es así como las demás variaciones de temperatura casi no existen, debido a que tienen valores muy cercanos a 0°C, por ello no son consideradas de importancia. Estos cambios coinciden en lo planteado por autores que indican que las temperaturas medias no han tenido tantas variaciones como las extremas. ((Falvey & Garreud, 2015); (Sallinger & Griffiths, 2001)).



Por último, es necesario conocer los resultados obtenidos para las magnitudes de cambio y los tipos de tendencia encontrados para las temperaturas mínimas del área de estudio.

Tabla N°7. Magnitudes de tendencias de temperaturas mínimas y significancia de Mann – Kendall.

Mes	Magnitud Máxima (°C)	Magnitud Mínima (°C)	Z_{MK} Máximo	Z_{MK} Mínimo	Tipo de tendencia MK
Enero	0,173	0,015	0,354	0,020	TNSC
Febrero	0,148	0,041	0,294	0,072	TNSC
Marzo	0,176	0,010	0,310	0,033	TNSC

Abril	0,185	-0,086	0,438	-0,216	TNSC Y TNSD
Mayo	0,197	-0,001	0,333	-0,007	TNSC Y TNSD
Junio	0,032	-0,029	0,137	-0,085	TNSC Y TNSD
Julio	0,056	-0,073	0,150	-0,147	TNSC Y TNSD
Agosto	0,065	-0,052	0,255	-0,191	TNSC Y TNSD
Septiembre	0,085	-0,035	0,184	-0,176	TNSC Y TNSD
Octubre	-0,028	-0,142	-0,085	-0,660	TNSD
Noviembre	0,056	-0,085	0,132	-0,294	TNSC Y TNSD
Diciembre	-0,005	-0,155	-0,020	-0,333	TNSD

Según los valores obtenidos del Z_{MK} para esta serie temporal se tiene que 3 de los meses del año (enero, febrero y marzo) presentan exclusivamente un aumento en la tendencia térmica, por otro lado, solo dos meses (octubre y diciembre) poseen exclusivamente un decrecimiento en las tendencias señaladas. Así es como resulta que los meses restantes cuentan dentro de sus puntos térmicos con aumentos y disminuciones de temperatura de forma paralela, lo cual es completamente normal debido a que son 84 los puntos analizados que se encuentran ubicados dentro de la cuenca del Itata. (Alves et al., 2017).

Por otro lado, en cuanto a los valores de magnitud encontrado, se tiene que en el caso del aumento de las temperaturas se necesita destacar a 5 meses que cuentan con un crecimiento que puede ser considerado de importancia, estos meses son enero (+0,173°C), febrero (+0,148°C), marzo (+0,176°C), abril (0,185°C), mayo (0,197°C), esto hace que el análisis de las temperaturas mínimas diste un poco de las medias y máximas, ya que las primeras son las únicas que cuentan con un incremento sostenido por varios meses. En cuanto a los decrecimientos solo se presenta una caída notoria en los meses de octubre (-0,142°C) y diciembre (-0,155°C). El resto de los meses presenta variaciones muy cercanas a 0°C, por ello no son consideradas como de importancia. Finalmente es posible notar que se cumple lo expuesto por Sallinger y Griffiths, dado que las mayores variaciones se presentaron en los rangos extremos de temperatura, resultando así la media casi sin variaciones.

5.2.2. Estimación de tendencias de temperaturas estacionales.

Después de obtener las tendencias de las temperaturas mensuales, se aplica el método de la regresión lineal para la estimación de las tendencias de las temperaturas estacionales. Para esto se consideraron las estaciones como Verano (enero, febrero, marzo), Otoño (abril, mayo, junio), Invierno (julio, agosto, septiembre) y Primavera (octubre, noviembre, diciembre). A continuación, y a

modo de acotar la entrega de resultados se mostrarán los cambios más determinantes en cuanto a la variación de las tendencias en el periodo analizado.

5.2.2.1. Tendencias estacionales temperaturas máximas

En la figura siguiente se muestra un gráfico con la línea de tendencia de los promedios estacionales de cada uno de los años analizados en este informe. Si bien se muestra uno solo a modo de comprensión y para acotar la extensión de esto, son 12 los gráficos totales correspondientes a las temperaturas máximas estacionales de la cuenca en cuestión.

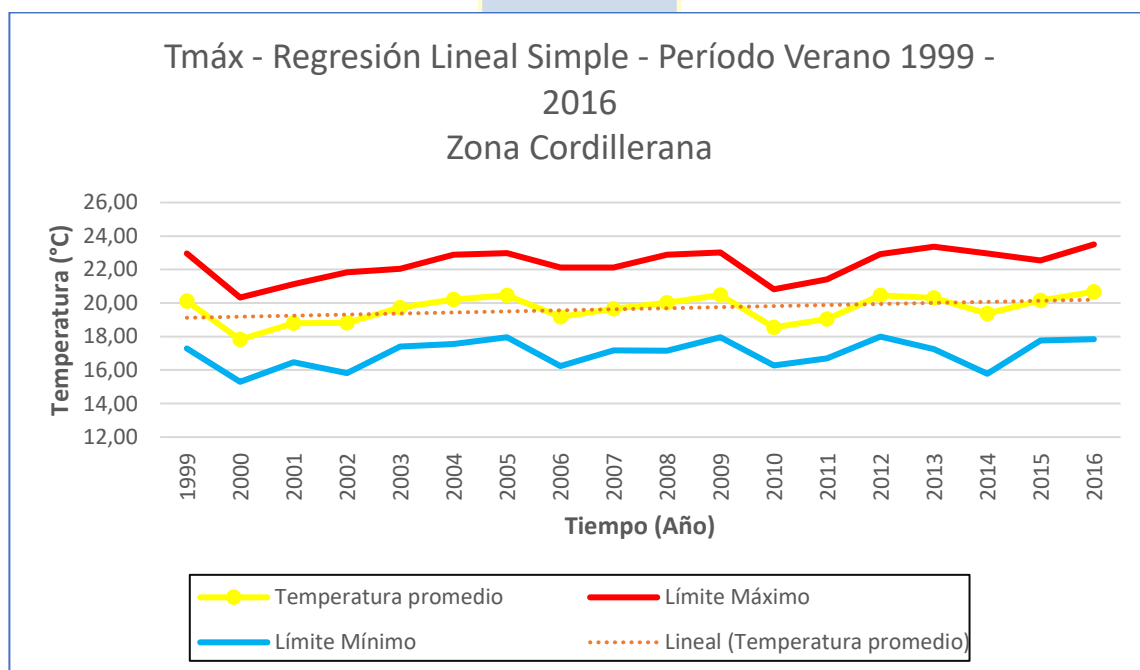


Figura 5. Gráfico regresión lineal simple temperaturas máximas estacionales.

Por otro lado, en la siguiente tabla se muestran las variaciones encontradas en cada uno de los gráficos anteriormente descritos. Esta tabla indica la estación, la

zona agroecológica definida y la variación de la temperatura promedio de dichas zonas. A su vez cuenta con una variación máxima y mínima, construidos a partir de las temperaturas promedios y la desviación estándar de los datos.

Tabla N°8. Tendencias estacionales de temperaturas máximas por zona.

Estación	Zona	Variación promedio (°C)	Variación Máxima (°C)	Variación Mínima (°C)
Verano	Planicie Litoral	0,020	-0,001	0,040
	Valle Central	0,031	0,032	0,030
	Zona Cordillerana	0,063	0,076	0,051
Otoño	Planicie Litoral	0,017	0,026	0,007
	Valle Central	-0,016	-0,003	-0,029
	Zona Cordillerana	0,002	-0,010	0,013
Invierno	Planicie Litoral	0,035	0,017	0,054
	Valle Central	0,020	0,002	0,037
	Zona Cordillerana	0,013	0,037	-0,011
Primavera	Planicie Litoral	-0,050	-0,039	-0,061
	Valle Central	0,042	0,045	0,039
	Zona Cordillerana	0,045	0,031	0,059

Como es posible observar en la tabla en todos los casos se observa que no existen variaciones demasiado grandes en lo que respecta a la magnitud de las tendencias encontradas, ya que estas varían entre incrementos de máximo

0,076°C/década en la zona cordillerana durante el verano y la mayor disminución de temperatura se observa durante la primavera en la planicie litoral siendo una variación de apenas -0,061°C/década. Además, se ve que claramente que en la temperatura máxima promedio tiene incrementos a lo largo de casi todas las estaciones y zonas agroecológicas diferentes, siendo las únicas que divergen y tienen un decrecimiento en esta variable el valle central y la planicie litoral durante el otoño y la primavera respectivamente.

Si bien existe un calentamiento en gran parte de la zona de estudio no se puede aseverar que este sea de grandes proporciones ni que obedezca lo planteado en diversos artículos que indican un calentamiento sostenido en las zonas costeras el cual va disminuyendo a medida que se avanza hacia la zona cordillerana. (Falvey & Garreud, 2009). Tampoco es posible notar que exista una disminución en las temperaturas extremas (en este caso máximas) como se plantea en la actualidad, ya que diversos estudios indican que Chile después de tener años y años de un calentamiento sostenido tanto en la costa como en la cordillera, en el último tiempo ha ido disminuyendo su temperatura. (Falvey & Garreud, 2019; Schulz et al., 2012). Por otro lado, estos incrementos y disminuciones de tan baja magnitud en especial en la zona cordillerana pueden estar referidas al “*Global Warming Hiatus*” registrado en las zonas montañosas a nivel mundial, el cual no es más que una pausa en el calentamiento presentado en el globo durante las últimas décadas. (Bennett et al., 2016).

5.2.2.2. Tendencias estaciones temperaturas medias

A continuación, se presenta una gráfica referente a la estimación de tendencias estacionales de las temperaturas medias, en donde se considera una temperatura anual promedio de cada una las zonas y unas líneas de máximo y mínimo construidas a partir de la temperatura promedio y la desviación estándar del conjunto de datos.

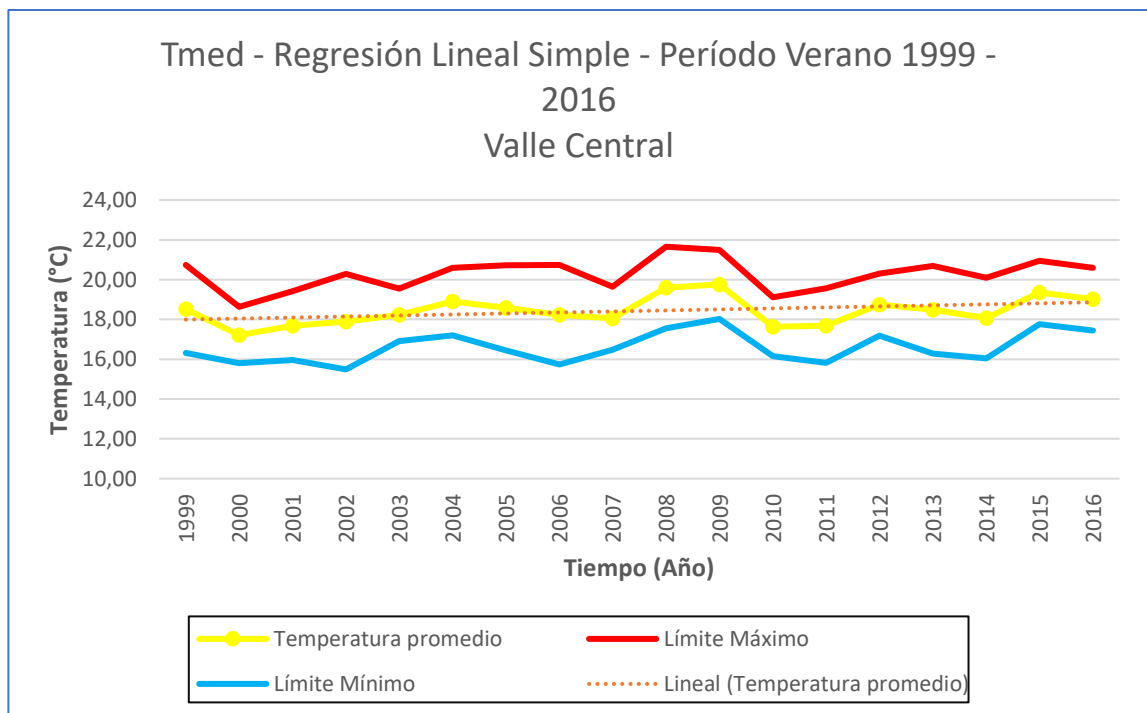


Figura 6. Gráfico regresión lineal simple temperaturas medias estacionales.

Como ya se dijo en párrafos anteriores el gráfico anterior solo está incorporado a modo de ejemplificar el trabajo. Por ello en seguida se muestra una tabla con todas las variaciones de temperatura encontradas por zona al realizar el análisis de datos.

Tabla N°9. Tendencias estacionales de temperaturas medias por zona.

Estación	Zona	Variación promedio (°C)	Variación Máxima (°C)	Variación Mínima (°C)
Verano	Planicie Litoral	0,043	0,021	0,064
	Valle Central	0,051	0,042	0,060
	Zona Cordillerana	0,064	0,052	0,075
Otoño	Planicie Litoral	0,005	0,036	-0,025
	Valle Central	0,010	0,043	-0,023
	Zona Cordillerana	0,032	0,035	0,030
Invierno	Planicie Litoral	-0,009	0,000	-0,017
	Valle Central	-0,020	0,003	-0,044
	Zona Cordillerana	0,002	0,018	-0,015
Primavera	Planicie Litoral	-0,008	-0,012	-0,003
	Valle Central	-0,010	0,005	-0,024
	Zona Cordillerana	0,020	0,021	0,020

Al analizar la tabla es posible apreciar que la temperatura media aumentó en casi todas las zonas y a lo largo de todas las estaciones, encontrándose disminuciones en planicie litoral y el valle central solo en las estaciones de invierno y primavera. Cabe destacar que las variaciones y disminuciones a lo largo de la cuenca se manifiestan entre incrementos del orden de los $0,06^{\circ}\text{C}/\text{década}$ hasta disminuciones de $-0,020^{\circ}\text{C}/\text{década}$, lo cual deja en claro que no son variaciones de un orden importante. Sin embargo, esto puede estar relacionado directamente con el hecho que la escala temporal analizada es

bastante menor en comparación a otros estudios y sujeto a esto se encuentra la pausa del calentamiento global que ha sido identificada durante los últimos tiempos (Kosaka & Xie, 2013). Seguido de esto, se tiene que no existen mayores diferencias que identifiquen un incremento en la zona costera y una disminución en las temperaturas a medida que se avanza hacia el interior del país como se plantea en la literatura, la única estación que difiere de la homogeneidad de las tendencias a lo largo de una determinada estación es el caso de la primavera que presenta variaciones disimiles entre la planicie litoral, el valle central y la zona cordillerana, aunque estas no sean de una magnitud considerada como mayor. (Falvey & Garreud, 2019).



5.2.2.3. Tendencias estacionales temperaturas mínimas

Al igual que en los puntos anteriores se presenta la gráfica de muestra de la estimación de tendencias de los periodos estacionales a lo largo del área de estudio.

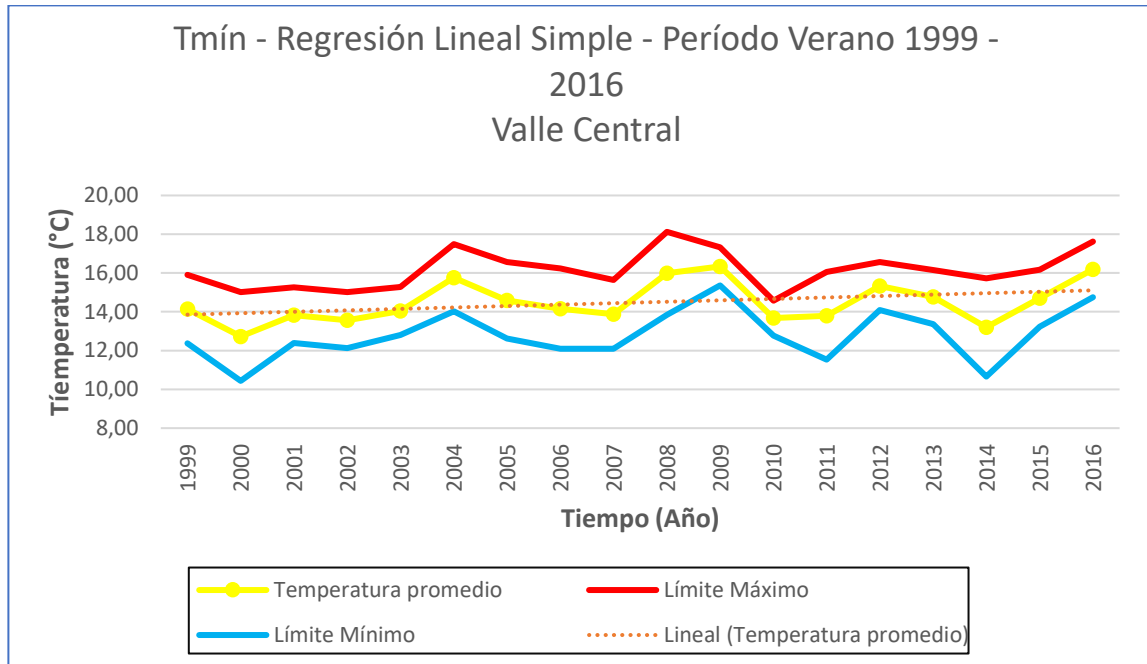


Figura 7. Gráfico regresión lineal simple temperaturas mínimas estacionales.

De inmediato se muestra la tabla resumen que contiene todas las variaciones encontradas en el análisis de las temperaturas mínimas de la cuenca.

Tabla N°10 Tendencias estacionales de temperaturas mínimas por zona.

Estación	Zona	Variación promedio (°C)	Variación Máxima (°C)	Variación Mínima (°C)
Verano	Planicie Litoral	0,061	0,056	0,065
	Valle Central	0,074	0,065	0,063
	Zona Cordillerana	0,074	0,048	0,101
Otoño	Planicie Litoral	0,040	0,050	0,030
	Valle Central	0,062	0,076	0,048
	Zona Cordillerana	0,012	0,015	0,008

Invierno	Planicie Litoral	0,006	0,003	0,009
	Valle Central	0,005	0,003	0,007
	Zona Cordillerana	-0,012	0,000	-0,025
Primavera	Planicie Litoral	-0,069	-0,051	-0,088
	Valle Central	-0,073	-0,062	-0,084
	Zona Cordillerana	-0,046	-0,059	-0,032

Al igual que los casos anteriores predomina un incremento en las variaciones de temperatura a excepción de la época primaveral en la cual las temperaturas presentaron una disminución bastante más notoria que cualquiera de los casos presentados con anterioridad. Es así como las variaciones se encuentran en un rango de incrementos de $0,074^{\circ}\text{C}/\text{década}$ y disminuciones de $-0,073^{\circ}\text{C}/\text{década}$ en el área de estudio, los cuales son los mayores cambios encontrados en las 3 variables de temperatura analizadas (máximas, medias y mínimas). Si extrapolamos esto a nivel global se tiene que coincide con lo que plantean Sallinger & Griffiths (2001), el que indica que las variaciones de mayor magnitud se producen en las temperaturas extremas, es decir, en las máximas y mínimas.

5.3. Variación espacial de las tendencias de las temperaturas mensuales encontradas

Posterior a la realización del análisis estadístico se procedió con lo expuesto en el punto 4.2.3 en el cual se busca determinar la variabilidad espacial que tienen

los puntos térmicos respecto a la tendencia de temperatura que fue encontrada para cada uno de ellos. Es así como a continuación se exponen la distribución de las tendencias térmicas luego de utilizar el método de interpolación IDW.

5.3.1. Distribución espacial temperaturas máximas

En seguida se presenta la cartografía correspondiente a la distribución espacial de las tendencias térmicas identificadas en las temperaturas máximas mensuales obtenida luego de aplicar el proceso de interpolación.

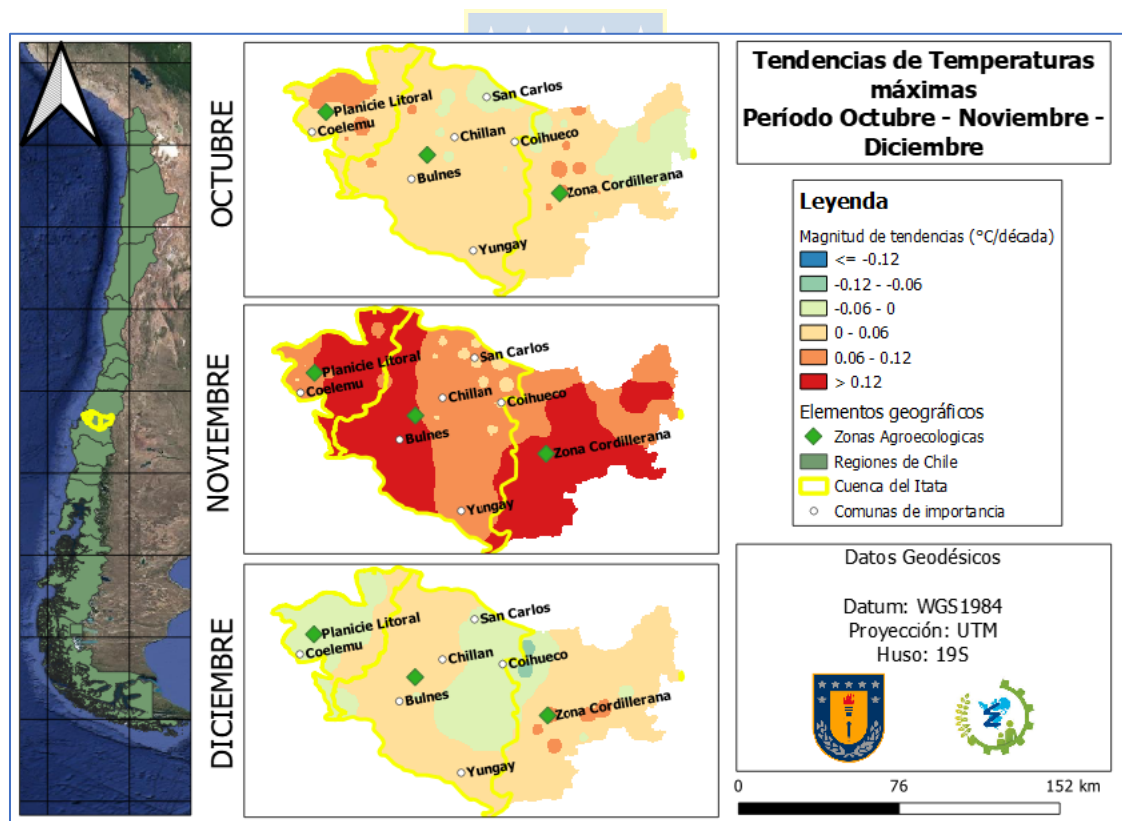


Figura 8. Tendencias de temperaturas máximas mensuales meses de primavera.

Como es posible apreciar en la imagen anterior para los meses de primavera se tiene que la mayor variación de temperatura tiene lugar durante el mes de noviembre en el cual estas han aumentado desde 0.06°C hasta incluso valores mayores a los 0.12°C , lo cual para el período analizado no deja de ser un aumento de consideración, más aún si tenemos en cuenta lo sensible que son las especies vegetales a los cambios presentes en las condiciones habituales de crecimiento. Aun así, en el resto de los meses apreciables es posible denotar que las variaciones (tanto disminuciones como aumentos) son en su mayoría mínimas, oscilando entre -0.06°C y 0.06°C aproximadamente, lo que no representa cambios notorios en la temperatura durante la época analizada. Aun así, es posible notar que al menos durante esta época del año no se cumple la disminución de la temperatura en la zona costera ni tampoco el aumento de ésta a medida que se avanza hacia dentro de la cuenca expuesto por Falvey & Garreud. (2009). Por otro lado, si coincide con otros estudios en los que se señala que para el período 1966 – 2015 ha habido incrementos de entre 0.03°C y 0.78°C en la temperatura de la región, encontrándose de esta manera los incrementos obtenidos dentro de esta escala antes señalada, aunque obviamente tiene variaciones los que se pueden deber a la cantidad de años del periodo sobre el cual se trabajó. (Corvacho et al., 2015).

A continuación de esto se presentan la distribución de tendencias observada para la estación veraniega, la cual considera los meses de enero, febrero y marzo.

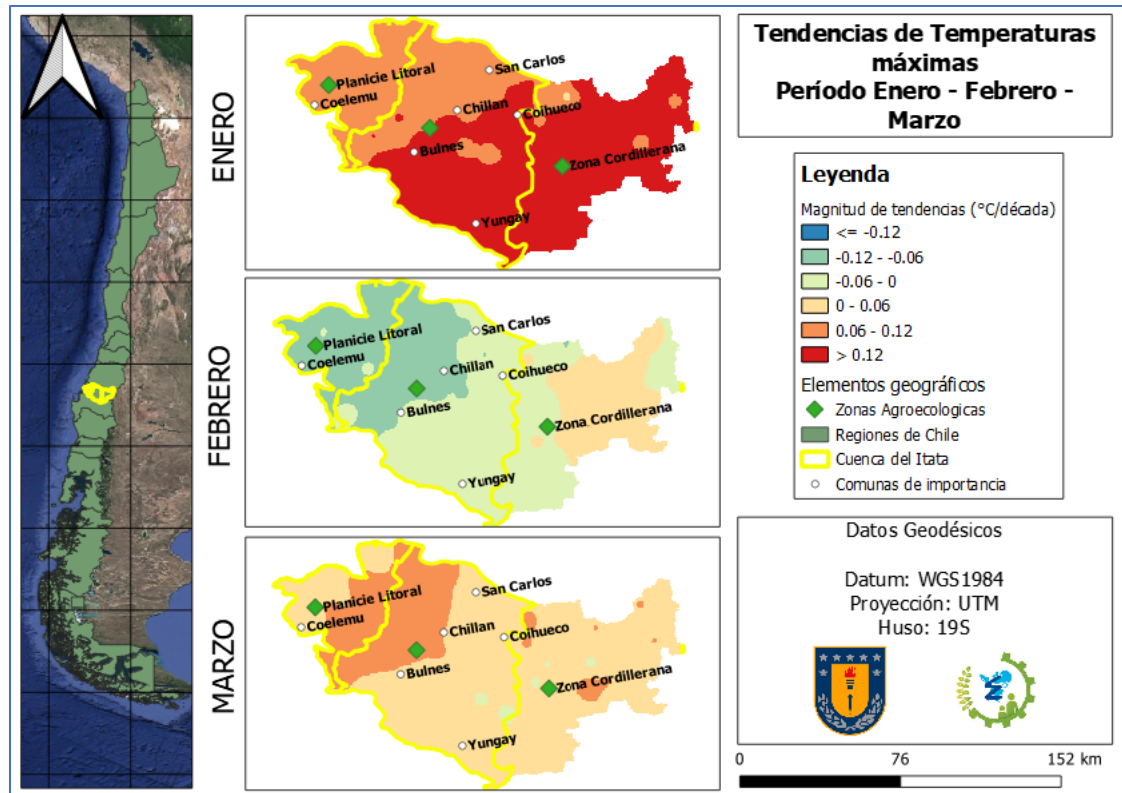


Figura 9. Tendencias de temperaturas máximas mensuales en meses de verano.

Al observar la figura anterior es posible notar que las variaciones son inconsistentes en lo que respecta a un mes de otro, a pesar que estén en la misma estación del año. Es así como se tiene que enero registra los aumentos de mayor magnitud principalmente concentrados en la zona cordillerana y parte del valle central de la cuenca del Itata, si bien esto coincide con lo expuesto por Falvey & Garreud (2009), no es total ya que no se produce un enfriamiento en la zona costera, algo que sí ocurre durante febrero; pero al revés, ya que presenta un decrecimiento en la costa y una variación casi nula a medida que se avanza

hacia el interior de la cuenca, en el caso de marzo la temperatura ha aumentado solo en la costa, en las cercanías de la comuna de Coelemu, teniendo gran parte del resto de la cuenca una variación casi nula.

En seguida se muestra las tendencias encontradas para la época otoñal, la que comprende los meses de abril, mayo y junio.

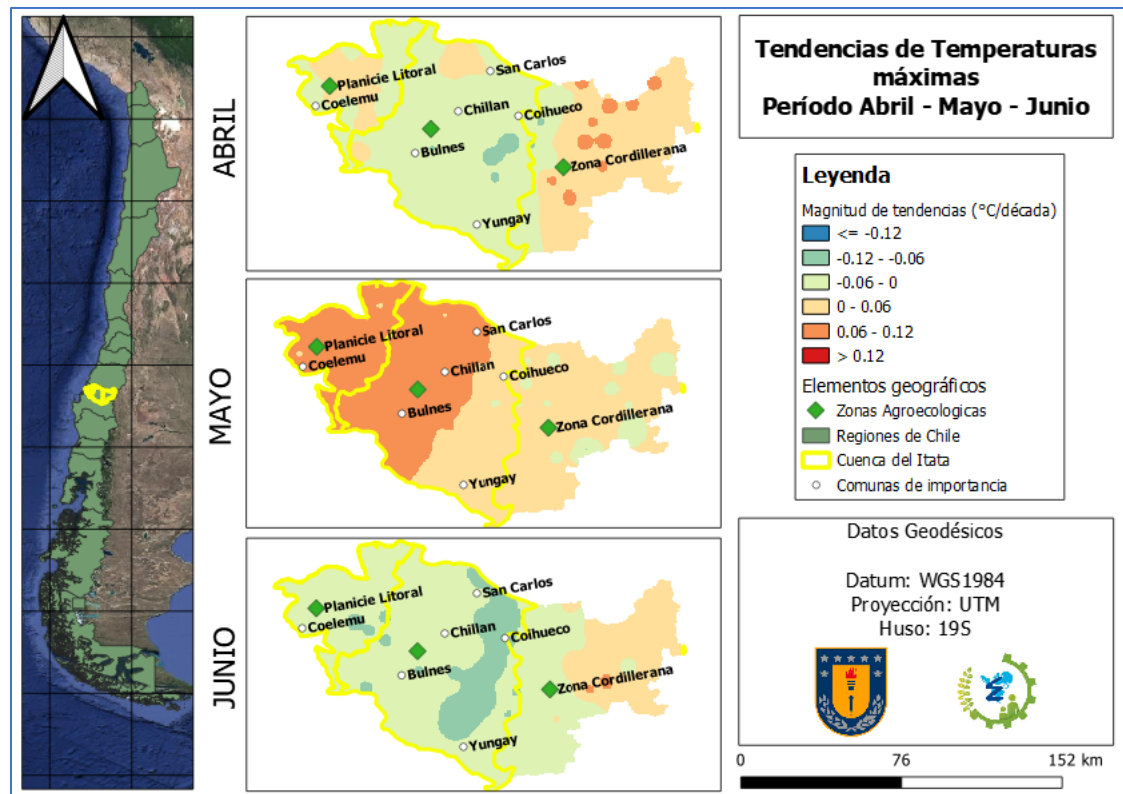


Figura 10. Tendencias de temperaturas máximas mensuales en meses de otoño.

Al analizar la cartografía obtenida es posible notar que durante abril y mayo las variaciones producidas son ínfimas pudiendo considerarse la de mayor importancia la ocurrida en la zona costera y parte del valle central, que entrega

una variación de entre 0.06°C a 0.12°C , pudiendo considerarse un cambio importante. Nuevamente no se cumple lo expuesto por Falvey & Garreud (2009), ya que no existe una disminución de las temperaturas en la zona costera, ni tampoco un calentamiento constante hacia el interior. En tanto para lo presentado por Corvacho (2015), si se cumple que las variaciones de estos meses sean del orden de entre los 0.03°C y los 0.78°C identificados en ese artículo.

Por último, se presentan los resultados obtenidos para las tendencias máximas de la temporada invernal, la cual se extiende durante los meses de julio, agosto y septiembre.

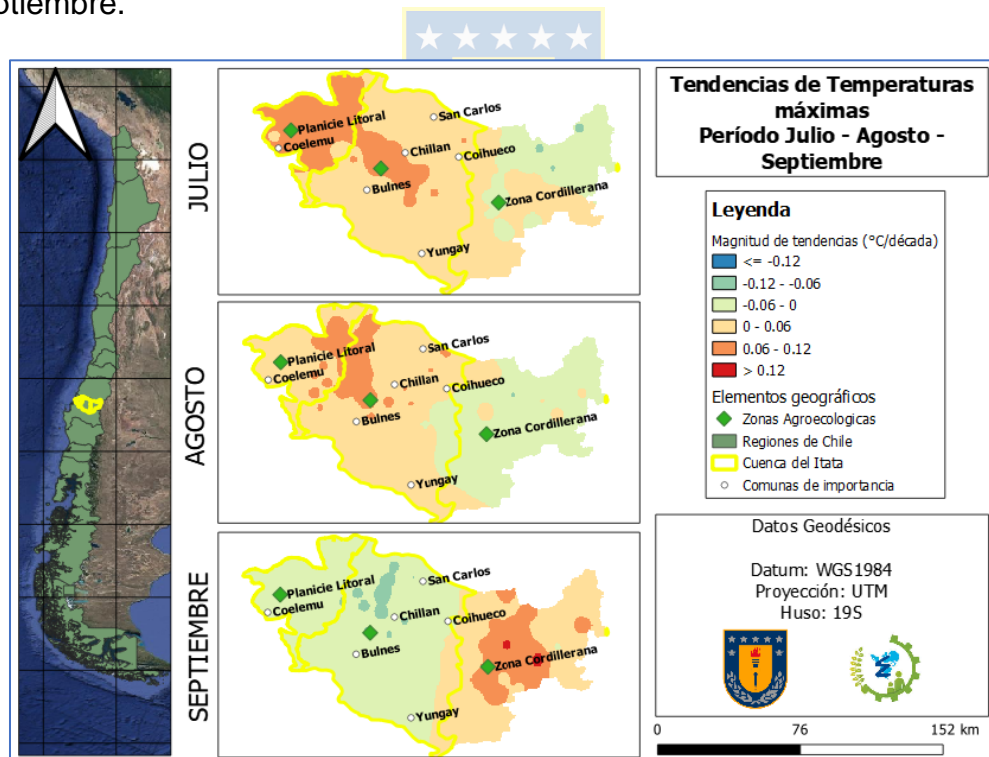


Figura 11. Tendencias de temperaturas máximas mensuales en meses de invierno.

Al igual que en los análisis realizados en los demás períodos de tiempo se tiene que no se destaca una variación de carácter importante en casi ninguno de los períodos de tiempo analizados, es así como solo podrían considerarse de importancia un par de cambios en la zona costera cercana a Coelemu durante los meses de julio y agosto, cuya magnitud es superior a los 0.06°C e inferior a los 0.12°C , además es posible ver que existen un par de picos donde el incremento fue mayor a 0.12°C , esto ocurre en el mes de septiembre en la zona cordillerana comprendida entre las comunas de Coihueco y Chillán. Sobre este último mes analizado, es posible vislumbrar que de cierta manera se cumple lo expuesto por autores como Falvey & Garreud (2009), en donde se habla de un decrecimiento de las temperaturas de las zonas costeras y un aumento a medida que se avanza hacia las planicies litorales y por ende la Cordillera de Los Andes. Finalmente, otra consideración a tener en cuenta es que según plantea Corvacho (2015), el único mes que presenta una disminución de temperaturas en la escala de máximas es septiembre, lo cual aquí se cumple; pero solo en la zona costera y teniendo en cuenta que en varios meses más se determinaron decrecimientos en las temperaturas.

5.3.2. Distribución espacial tendencias de temperaturas medias mensuales

En adelante se presenta la cartografía obtenida luego de analizar las tendencias de las temperaturas medias mensuales correspondientes a la cuenca del Río Itata. Es así, como en seguida se muestran las variaciones correspondientes a los meses de octubre, noviembre y diciembre.

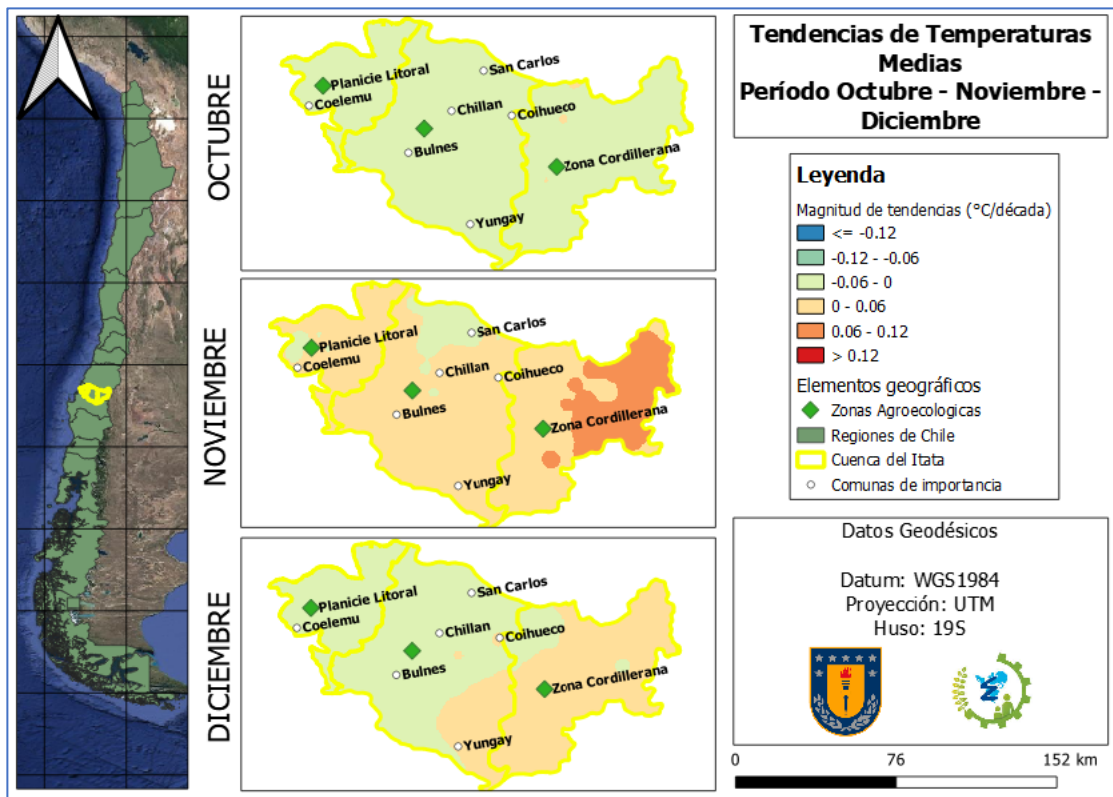
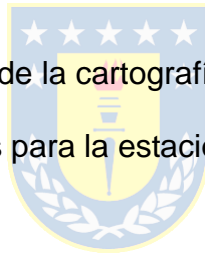


Figura 12. Tendencias de temperaturas medias mensuales en meses de primavera

A simple vista es posible notar que a lo largo de los 3 meses analizados casi no existen variaciones importantes de temperatura, ya que en su mayoría oscilan en valores muy cercanos a los 0°C, aun así, existe un mes que tiene un incremento

de temperatura notorio, este es noviembre, ya que cuenta con un cambio en los valores de temperatura comprendido en el intervalo entre 0.06°C y 0.12°C . A pesar de esto, sería válido decir que en su mayoría la temperatura se ha mantenido constante en esta escala temporal, al menos para estos meses. Si comparamos con las temperaturas máximas del punto anterior se tiene que las variaciones de esta última son más notorias lo que podría indicar que se cumple lo presentado por Sallinger y Griffiths (2001), debido a que estos planteaban que los mayores cambios en las tendencias de temperatura se producirían en las escalas extremas de esta, no así en las medias.

En breve, se hace presentación de la cartografía obtenida luego de analizar las temperaturas medias mensuales para la estación de verano durante el período 1999 – 2016.



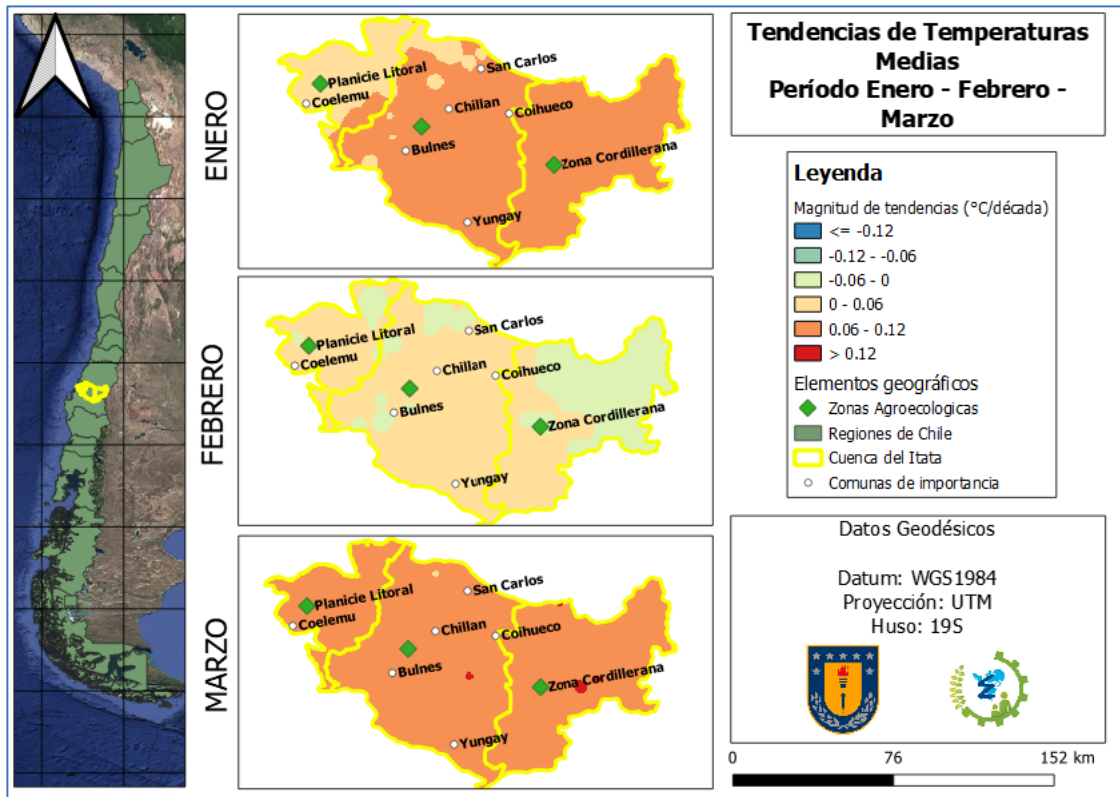


Figura 13. Tendencias de temperaturas medias mensuales en meses de verano.

A simple vista es posible apreciar, que existe un constante incremento en las temperaturas durante esta época del año, el cual se mantiene constante durante los 3 meses que dura la estación. Así, es como se puede ver que este incremento es más fuerte en los meses de enero y marzo, en los cuales la variación a lo largo de casi toda la cuenca varía entre los 0.06°C y los 0.12°C . Nuevamente es posible notar que no existe la correlación expuesta por Falvey & Garreud (2009), debido a que las variaciones son constantes a lo largo de la cuenca y no se concentran disminuciones ni aumentos importantes en determinadas zonas.

Finalmente, a continuación, se pueden observar la cartografía obtenida para las estaciones de otoño e invierno, las cuales comprende los meses de abril, mayo, junio para la primera de ellas, julio, agosto y septiembre para la última antes mencionada.

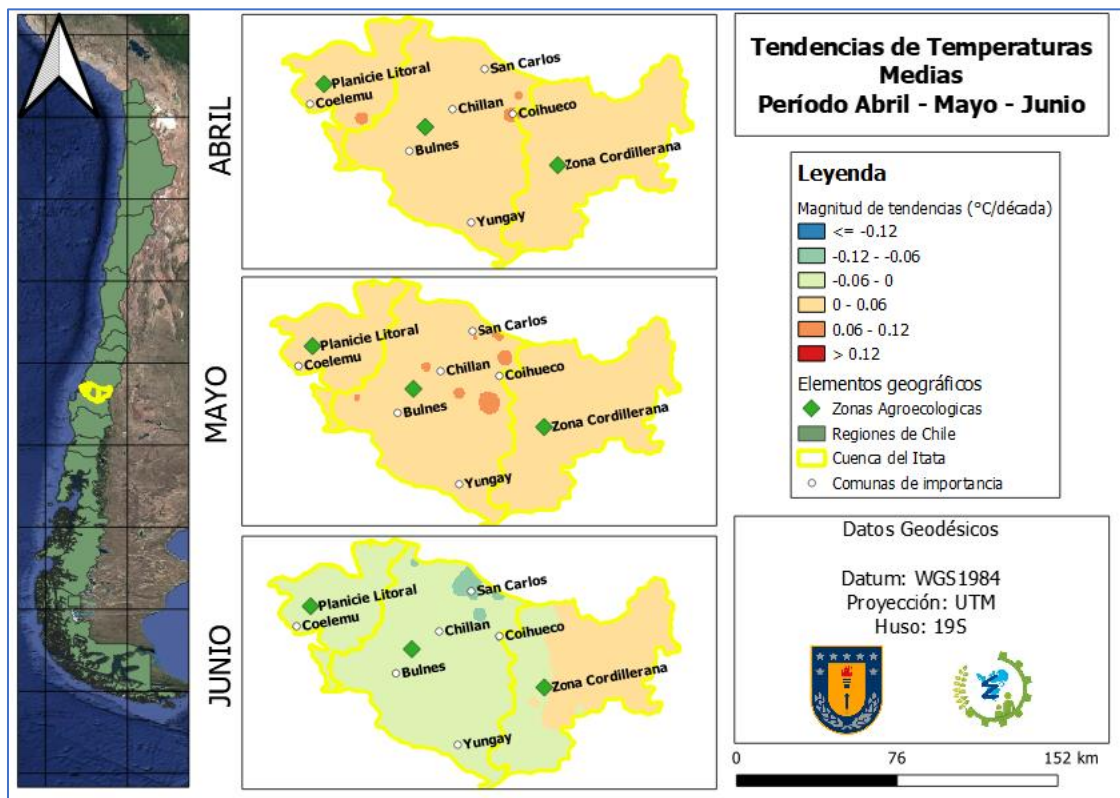


Figura 14. Tendencias de temperaturas medias mensuales en meses de otoño.

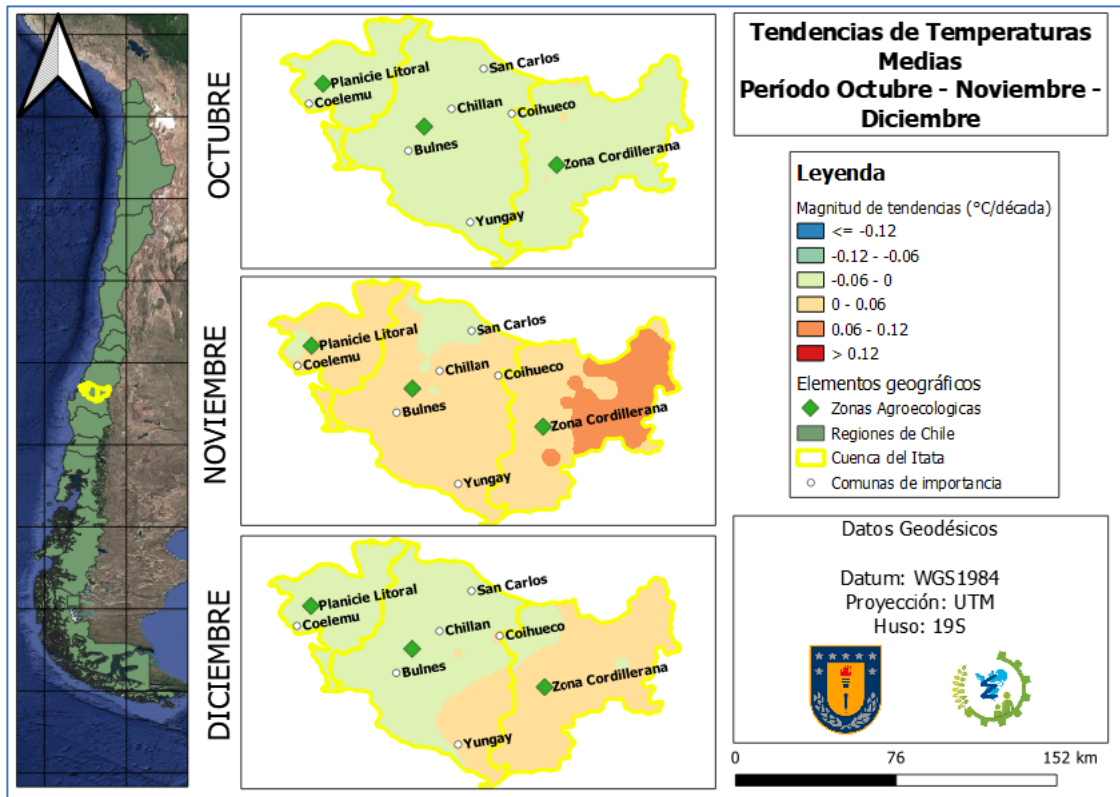


Figura 15. Tendencias de temperaturas medias mensuales en meses de invierno.

Es posible notar, que a excepción del mes de noviembre en la zona cordillerana no existen mayores variaciones en la extensión de la cuenca, dado que las oscilaciones de la temperatura apenas varían entre los 0.06°C y los -0.06°C , las cuales son magnitudes insignificantes para poder declararlas de importancia

5.3.3. Distribución espacial tendencias de temperaturas mínimas mensuales

A continuación, se presenta la distribución que tomaron las tendencias térmicas posterior a ser analizadas. En el primer caso, se tiene la cartografía obtenida para la época de primavera.

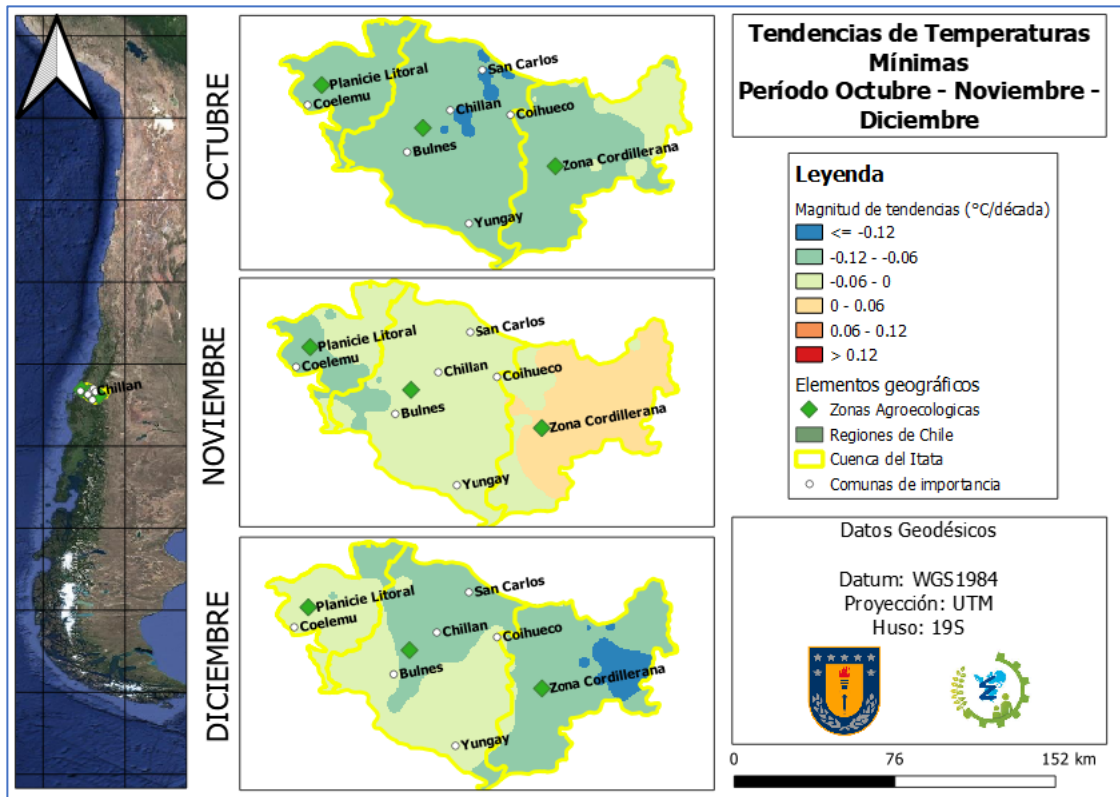


Figura 16. Tendencias de temperaturas mínimas mensuales en meses de primavera.

A diferencia de otros análisis realizados, a simple vista se puede apreciar que existe una tendencia clara a la disminución de la temperatura en esta época del año. Dado esto, se puede ver que para el caso del mes de noviembre se aprecian decrecimientos mayores a los -0.12°C en las cercanías de Chillán, lo mismo se repite en la zona cordillerana colindante a Argentina durante el mes de diciembre. Aun sabiendo esto, se puede considerar extraño este comportamiento térmico, dado que todos los autores señalan que existe un aumento constante en las temperaturas a nivel global, solo Falvey & Garreud (2009) identificaron

disminuciones en la magnitud de la temperatura; pero en la zona costera, no en interiores, como es el caso de este análisis.

Para continuar con este análisis, en breve se presenta la cartografía obtenida para la época de verano, compuesta por los meses de enero, febrero y marzo.

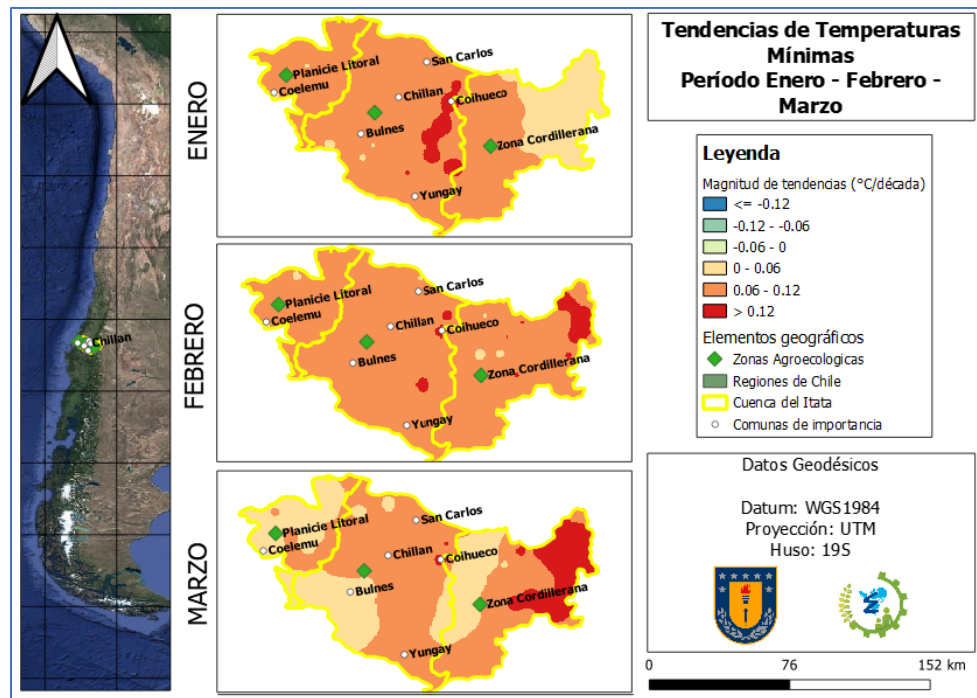


Figura 17. Tendencias de temperaturas mínimas mensuales en meses de verano.

Al igual que en el caso de las temperaturas medias mensuales, se repite que los incrementos más grandes se producen en los meses de verano, en especial en zonas cercanas a Chillán, o en la Cordillera, en las cercanías del límite con Argentina. Al llevar esto a lo expuesto, por autores como Corvacho (2015), es

posible ver que coincide con que las temperaturas mínimas van en aumento en un rango parecido al mostrado en el mapa anterior en los meses que se presentan estas tendencias.

Así es como en seguida se presentarán los resultados obtenidos para los meses de abril, mayo y junio, equivalentes a la estación otoñal.

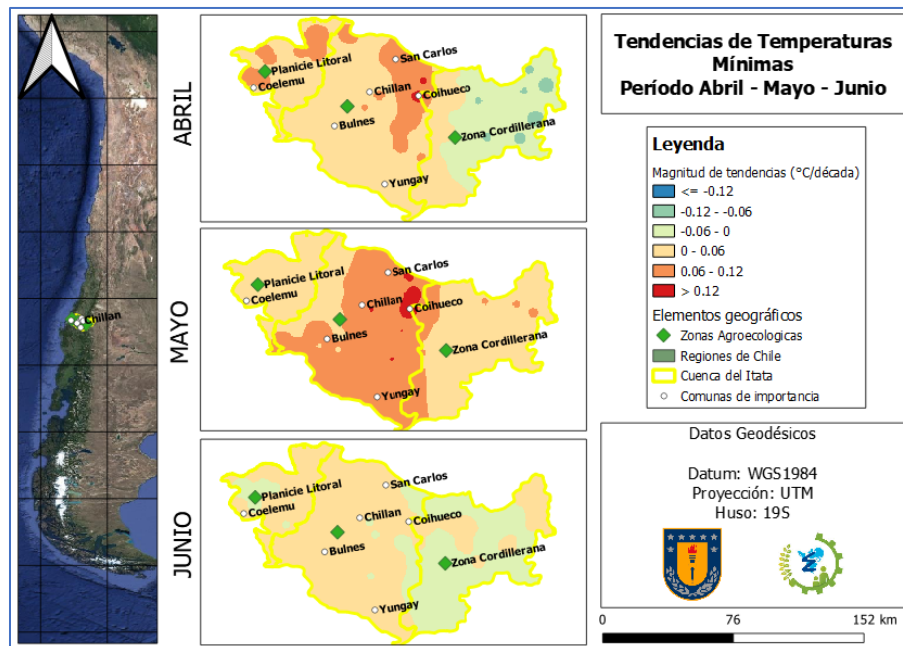


Figura 18. Tendencias de temperaturas mínimas mensuales en meses de otoño.

Sólo se pueden notar incrementos de relativa importancia en los meses de abril y mayo, en zonas correspondientes al valle central, cercanas a centros poblados como Chillán, dichas variaciones oscilan en su mayoría entre los 0.06°C y los 0.12°C . Nuevamente no existe congruencia con lo expuesto con anterioridad por

autores como Falvey & Garreud (2009), debido a que no existen disminuciones de temperatura en la zona costera, muy por el contrario ésta presenta incluso leves, casi nulos, aumentos de temperatura. Por el contrario, al compararlo con lo demostrado por Corvacho (2015), se puede apreciar que existe coincidencia en el aumento de temperatura identificado para estos meses por dicho autor.

Por último, se presentan los resultados para la época invernal, compuesta por las variaciones de los meses de julio, agosto y septiembre.

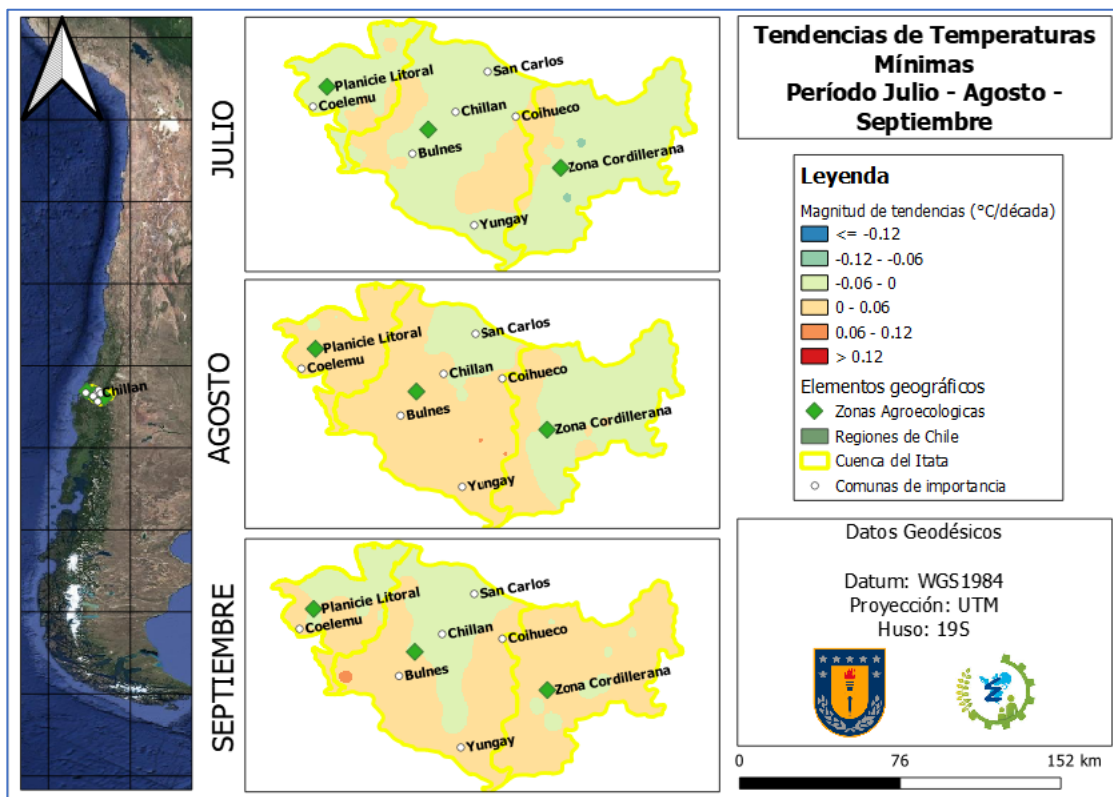


Figura 19. Tendencias de temperaturas mínimas mensuales en meses de invierno.

No existe ningún incremento ni disminución de importancia para este período de tiempo, aun así, se puede destacar que lo obtenido coincide de cierta manera con lo expuesto por Corvacho (2015), dado que la cuenca presenta una leve disminución de temperatura en el mes de septiembre, el cual es el único mes en el que el autor identificó una baja en las temperaturas.

5.3.4. Generalidades distribución espacial de tendencias

Salvo en contados meses fue posible apreciar que las tendencias encontradas y la magnitud que estas tenían son bastante pequeñas en comparación a lo planteado en la literatura, la cual menciona aumentos de $0.33^{\circ}\text{C}/\text{década}$ (Karl. Et al, 1993) e incluso mayores a esa cifra ($0.6^{\circ}\text{C}/\text{década}$. (Houghton et al., 1992)). Teniendo en cuenta que las variaciones más altas de temperatura obtenidas en las tres escalas analizadas eran apenas superiores a la magnitud de 0.12, es posible atribuir esta notable diferencia a la escala temporal analizada, la cual es bastante menor a los dos antecedentes señalados, ya que solo contemplo 17 años de datos, los cuales, si bien contaban con una excelente distribución geográfica, siguen siendo una cantidad de datos menor para un estudio de este tipo, pese a esto sigue siendo válida. (Corvacho et al., 2015).

A pesar que las variaciones de temperatura son de una magnitud más bien baja, se debe tener en cuenta que el período analizado también es bastante acotado,

pese a ello, no se debe dejar de lado la información obtenida, dado que existe una clara tendencia al calentamiento en la cuenca del Itata, la cual es posible notar, teniendo en cuenta que solo 3 meses (octubre y diciembre de temperaturas mínimas) de los 36 analizados en total (12 por cada escala), otorgaron resultados en donde habían claras tendencias al enfriamiento, todo el resto de meses o se mantenía casi sin variación o tenía incrementos que podrían considerarse importantes en que lo a temperatura refiere.

Teniendo ya estos hechos en consideración y como fue descrito con anterioridad en muy pocos casos se cumple con lo expuesto por autores como Falvey & Garreud (2009) o Corvacho (2015), esto además de estar influenciado por las distintas escalas temporales analizadas, es debido a que las zonas analizadas por los autores son mucho mayores que la de la Cuenca del Itata, teniendo esta una superficie muchísimo más acotada que el país o una macrozona completos del país. Es por ello por lo que, influencias de procesos tales como el Fenómeno del Niño o la Niña, o la oscilación decadal del Pacífico (PDO), o incluso las grandes masas de aire provenientes de las amazonas, no generarían una mayor influencia en la zona de estudio. (Falvey & Garreud, 2009).

Por otro lado, se deben tener en cuenta los efectos que pueden producirse debido a las variaciones térmicas en distintos ámbitos. Es así como en el caso de la agricultura a nivel de la cuenca del Itata, se debe tener en plena conciencia esta

información debido a que como lo plantean Lobell & Field (2007), existen impactos negativos en la producción de especies vegetales debido al aumento en las temperaturas, afectando principalmente a granos básicos como el arroz, el trigo y la avena, que cuentan con una parte de su producción en la zona de estudio (ODEPA, 2020). Si la producción de estos granos disminuye, pueden producirse alertas alimentarias debido a su escasez, poniendo en riesgo de esta manera la seguridad alimentaria de la población (Phatak & Wassmann, 2009). Por otro lado, se tiene que especies frutales que predominan en la cuenca del Itata y la región de Ñuble, tales como la frambuesa, el castaño y las moras y que forman parte importante de la economía de la zona también podrían verse afectadas en lo que respecta a su producción debido a los cambios de temperatura, es por ello que se hace primordial instruir a los agricultores para establecer planes de adaptación a estos cambios, siendo los más eficientes y recomendados, los mejoramientos en los procesos de irrigación y la diversificación de los cultivos, con el fin que estos puedan adaptarse a diversas adversidades climáticas sin ver mermada su producción. (Roco et al., 2014). Otro ámbito a tener en consideración es la producción animal la cual de igual manera puede verse afectada por un aumento en las temperaturas máximas dado que estas inciden directamente en la fisiología y el comportamiento de los animales, poniendo en riesgo la reproducción y, por ende, la producción, dado que se produce un fenómeno llamado agobio por calor el cual consiste en la

descoordinación, el colapso y la posterior muerte del ganado, mermando a ganaderos de toda índole. (Epperson & Salesky, 2002).

6. CONCLUSIONES

Se sometieron a una prueba de homogeneidad y validación los 18360 pertenecientes a la base de datos utilizada, para lo cual un 100% cumplió con la prueba de homogeneidad y a la vez todos los datos cumplieron con un coeficiente de correlación de Pearson de más 90%, siendo calificado como una correlación positiva fuerte, por lo tanto, los datos estarían bien calibrados y podrían ser usados sin ningún problema



Mediante la utilización de pruebas tales como Mann Kendall y regresión lineal, se consiguió determinar la variación de las magnitudes de temperatura para una escala mensual y estacional respectivamente. Para ambos casos, si bien se detectaron variaciones, ninguna alcanzó el grado de ser significativa, esto contrasta directamente con lo expuesto por otros autores que planteaban grandes cambios en la escala térmica del país, aunque esta variación puede deberse a que las escalas tanto temporales como geográficas son de un carácter mucho más elevado.

En cuanto a la distribución que tomaron las variaciones de temperatura no existe una correlación entre una determinada zona y un aumento o disminución de la temperatura, resultando así una cartografía que muestra una variación de temperatura bastante homogénea. El único punto para destacar sería que para las 3 escalas analizadas los incrementos más grandes de temperatura se produjeron durante el verano, en el mes de enero, aun así, estos no llegan a ser significativos.

Por último, es posible concluir que la pregunta de hipótesis planteada en la investigación se rechaza, debido a que no se cumplen los criterios necesarios para que las variaciones de temperatura deriven en tendencias significativas.



RECOMENDACIONES

A modo de recomendación se plantea incorporar el tipo de base de datos utilizado para el libre acceso de las personas, dado que presenta una multitud de ventajas respecto a las estaciones meteorológicas, que por lo general carecen o presentan vacíos de información respecto a un variable en cuestión, además de no estar siempre ubicadas en zonas representativas y donde realmente la información pueda ser útil para su utilización en un determinado proceso.

Por último y pese a que no hay tendencias significativas de temperatura identificadas es necesario que los sectores productivos del país y, en especial la agricultura se preparen para los cambios en los elementos del clima que vendrán, dado que cada vez se están haciendo más notorios y planes de adaptación a estos cambios, educación ambiental y acceso a la información son la base para poder avanzar hacia asegurar la seguridad alimentaria de la población, todo esto requiere de un proceso participativo entre el sector privado, los gobiernos y los ciudadanos, que son quienes se verán afectados si es que no se realiza una preparación adecuada para afrontar los tiempos venideros.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceituno, P. (1988). On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: surface climate. *Monthly Weather Review*, 116(3), 505–524. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1988\)116<0505:OTFOTS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1988)116<0505:OTFOTS>2.0.CO;2)
- Agricultura, O. de C. C. del M. del M. A. & del M. de. (2013). *PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL SECTOR SILVOAGROPECUARIO*.
- Agricultura y productividad: tendencias y determinantes en una región de Chile central | RAN - Revista Academia & Negocios*. (s. f.). Recuperado 24 de agosto de 2022, de <https://revistas.udec.cl/index.php/ran/article/view/2593>
- Aguilar, E., Peterson, T. C., Obando, P. R., Frutos, R., Retana, J. A., Solera, M., Soley, J., García, I. G., Araujo, R. M., Santos, A. R., Valle, V. E., Brunet, M., Aguilar, L., Álvarez, L., Bautista, M., Castañón, C., Herrera, L., Ruano, E., Sinay, J. J., ... Mayorga, R. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 110(23), 1–15. <https://doi.org/10.1029/2005JD006119>
- Anandhi, A., & Baker, L. M. (2013). Undergraduate research: eliminating the drinking from the firehouse effect. En *North American Colleges and Teachers of Agriculture Journal* (Vol. 57, Número 2)
- BCN. (2020). *Región de Ñuble*.
- Bogantes Arias, A., & Mora Newcomer, E. (2017). Influencia del genotipo y la temperatura sobre la carpelodia en papaya. *Agronomía Mesoamericana*, 28(3), 577. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i3.27892>
- Boisier, J. P., & Aceituno, P. (1988). *CHANGES IN SURFACE AND UPPER-AIR TEMPERATURE ALONG THE ARID COAST OF NORTHERN CHILE*. <https://doi.org/10.1029/2002JD003357>
- Caloiero, T., Coscarelli, R., Ferrari, E., & Sirangelo, B. (2017). Trend analysis of monthly mean values and extreme indices of daily temperature in a region of southern Italy. *International Journal of Climatology*, 37, 284–297. <https://doi.org/10.1002/joc.5003>
- Corvacho, O., López-Cepeda, J. F., Meseguer-Ruíz, O., Sarricolea, P., & Tapia-

- Tosetti, A. (2015). *Analysis of the trends in observed extreme temperatures in mainland Chile between 1966 and 2015 using different indices.*
- Croitoru, A.-E., & Piticar, A. (2013). Changes in daily extreme temperatures in the extra-Carpathians regions of Romania. *International Journal of Climatology*, 33(8), 1987–2001. <https://doi.org/10.1002/joc.3567>
- Deressa, T. T., Hassan, R. M., Ringler, C., Alemu, T., & Yesuf, M. (2009). Determinants of farmers' choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia. *Global Environmental Change*, 19(2), 248–255. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.01.002>
- Díaz Padilla, M., Cohen, S., Payán, G., Thorp, W., Medina, C., & Roberto, I. (2008). Agricultura Técnica en México. *México Agricultura Técnica en México*, 34(3), 279–287.
- Falvey, M., & Garreaud, R. D. (2009). Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979-2006). *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 114(4). <https://doi.org/10.1029/2008JD010519>
- Fernández-Long, M. E., Müller, G. V., Beltrán-Przekurat, A., & Scarpati, O. E. (2013). Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *International Journal of Climatology*, 33(7), 1673–1686. <https://doi.org/10.1002/joc.3541>
- Garreaud, R. D. (2009). The Andes climate and weather. *Advances in Geosciences*, 22, 3–11. <https://doi.org/10.5194/adgeo-22-3-2009>
- Garreaud, René D. (2011). *Cambio Climático: Bases Físicas e Impactos en Chile.*
- Gbetibouo, G. A. (2009). *Understanding Farmers' Perceptions and Adaptations to Climate Change and Variability: The Case of the Limpopo Basin, South Africa.*
- Gotway, C. A., Ferguson, R. B., Hergert, G. W., & Peterson, T. A. (1996). Comparison of Kriging and Inverse-Distance Methods for Mapping Soil Parameters. *Soil Science Society of America Journal*, 60(4), 1237–1247. <https://doi.org/10.2136/sssaj1996.03615995006000040040x>
- Hatfield, J. L., Prueger, J. H., Kustas, W. P., Anderson, M. C., & Alfieri, J. G. (2016). *Evapotranspiration: Evolution of Methods to Increase Spatial and Temporal Resolution* (pp. 159–193). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.2134/advagriscystmodel7.2015.0076>

- IPCC. (1992). *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment — IPCC*.
- Karl, T. R., Jones, P. D., Knight, R. W., Kukla, G., Plummer, N., Karl, T. R. ;, Jones, P. D. ;, Knight, R. W. ;, Kukla, G. ;, Plummer, N. ;, Razuvayev, V. ;, Gallo, K. P. ;, Lindseay, J. ;, Charlson, R. J. ;, & Peterson, T. C. (1993). *Asymmetric Trends of Daily Maximum and Minimum Temperature*.
- Kaushal, N., Bhandari, K., Siddique, K. H. M., & Nayyar, H. (2016). Food crops face rising temperatures: An overview of responses, adaptive mechanisms, and approaches to improve heat tolerance. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1134380. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1134380>
- Kosaka, Y., & Xie, S. P. (2013). Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling. *Nature*, 501(7467), 403–407. <https://doi.org/10.1038/NATURE12534>
- Kundu, A., Dwivedi, S., & Chandra, V. (2014). Precipitation Trend Analysis over Eastern Region of India Using Cmp5 Based Climatic Models. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL–8(8), 1437–1442. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-8-1437-2014>
- Lenters, J. D., & Cook, K. H. (1997). On the origin of the Bolivian high and related circulation features of the South American climate. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 54(5), 656–677. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1997\)054<0656:otootb>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1997)054<0656:otootb>2.0.co;2)
- López Galván, J. V. O., Landois Palencia, L. L., & Valle Paniagua, D. H. del, asesor. (1995). *Comparación de 4 métodos numéricos utilizados en la interpolación puntual de precipitación pluvial en el Edo. de Veracruz /*.
- MMA. (2017). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/02/Plan-Nacional-Adaptacion-Cambio-Climatico-version-final.pdf>
- Mustapha, A. (2013). (PDF) *Detecting Surface Water Quality Trends Using Mann-Kendall Tests and Sen's Slope Estimates*.
- Nacional Costa Rica, U., da Silva Alves, A., Manuela, K., & Nóbrega, S. (2017). TENDENCIA PLUVIOMETRICA Y CONCENTRACIÓN ESTACIONAL DE PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO MOXOTÓ – PERNAMCUCO – BRASIL. *Central*, 1. <https://doi.org/10.15359/rgac.58-1.12>

ODEPA. (2019). *ODEPA Chile en marcha OFICINA DE ESTUDIOS V POLÍTICAS AGRARIAS OFF/CE OF AGRICULTURAL STUDIES AND POLICIES*.

Pathak, H., & Wassmann, R. (2009). Quantitative evaluation of climatic variability and risks for wheat yield in India. *Climatic Change*, 93(1–2), 157–175. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9463-4>

Restrepo, L. F., Julián González L., Est, E., & Bioma, E. (s. f.). *SELECCIONES De Pearson a Spearman From Pearson to Spearman*.

Roco, L., Engler, A., Bravo-Ureta, B., & Jara-Rojas, R. (2014). Farm level adaptation decisions to face climatic change and variability: Evidence from Central Chile. *Environmental Science and Policy*, 44, 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.07.008>

Saleh Zakaria, Nadhir Al-Ansari, & Seven Knutsson. (2013). Historical and Future Climatic Change Scenarios for Temperature and Rainfall for Iraq. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 7(12). <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2013.12.012>

Santillán-Espinoza, L. E., Blanco-Macías, F., Magallanes-Quintanar, R., García-Hernández, J. L., Cerano-Paredes, J., Delgadillo-Ruiz, O., & Valdez-Cepeda, R. D. (2011). Tendencias de temperaturas extremas en Zacatecas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(spe2), 207–219. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000800004&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Sarricolea, P., Herrera-Ossandon, M., & Meseguer-Ruiz, Ó. (2017). Climatic regionalisation of continental Chile. *Journal of Maps*, 13(2), 66–73. <https://doi.org/10.1080/17445647.2016.1259592>

Schloeder, C. A., Zimmerman, N. E., & Jacobs, M. J. (2001). Comparison of Methods for Interpolating Soil Properties Using Limited Data. *Soil Science Society of America Journal*, 65(2), 470–479. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.652470x>

Seluchi, M. E., Saulo, A. C., Nicolini, M., & Satyamurty, P. (2003). The Northwestern Argentinean Low: A study of two typical events. *Monthly Weather Review*, 131(10), 2361–2378. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2003\)131<2361:TNALAS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2003)131<2361:TNALAS>2.0.CO;2)

Steffens, A. C. de, Píccolo, M. C., González, J. H., & Navarrette, G. (2001). LA ISLA DE CALOR ESTIVAL EN TEMUCO, CHILE. *Papeles de Geografía*, 33(33), 49–60. <https://revistas.um.es/geografia/article/view/47211>

- Vose, R. S., Easterling, D. R., & Gleason, B. (2005). Maximum and minimum temperature trends for the globe: An update through 2004. *Geophysical Research Letters*, 32(23), 1–5. <https://doi.org/10.1029/2005GL024379>
- Zilberman, D., Zhao, J., & Heiman, A. (2012). Adoption Versus Adaptation, with Emphasis on Climate Change. *Annual Review of Resource Economics*, 4(1), 27–53. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-083110-115954>



8. ANEXOS

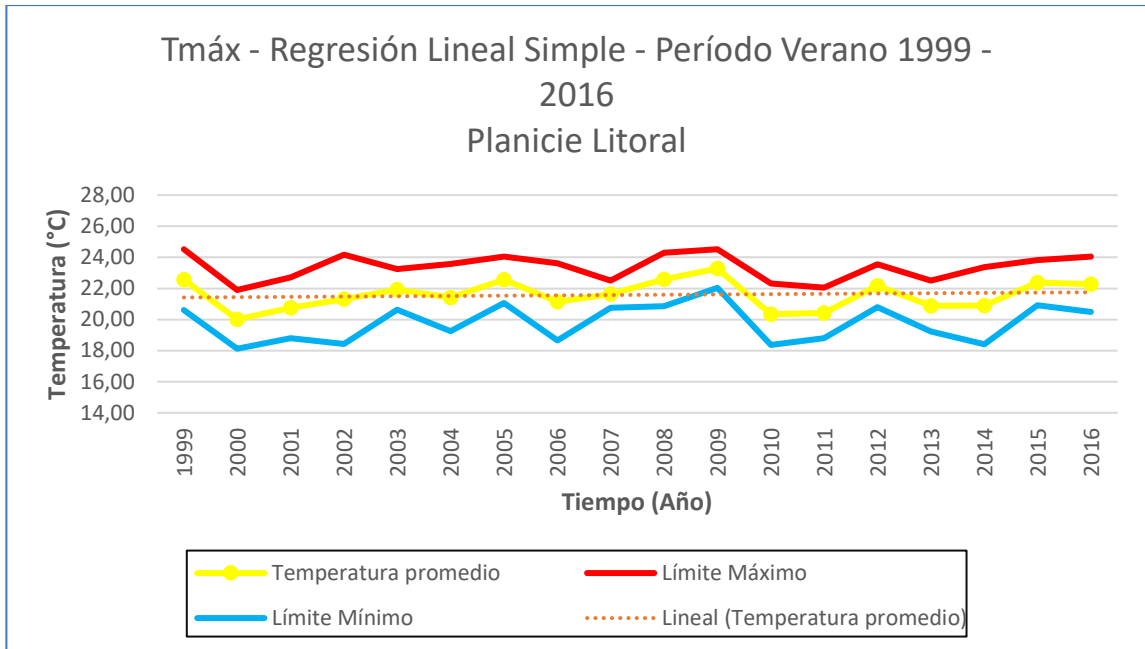


Figura Anexo 1. Gráfico regresión lineal simple temperaturas máximas verano

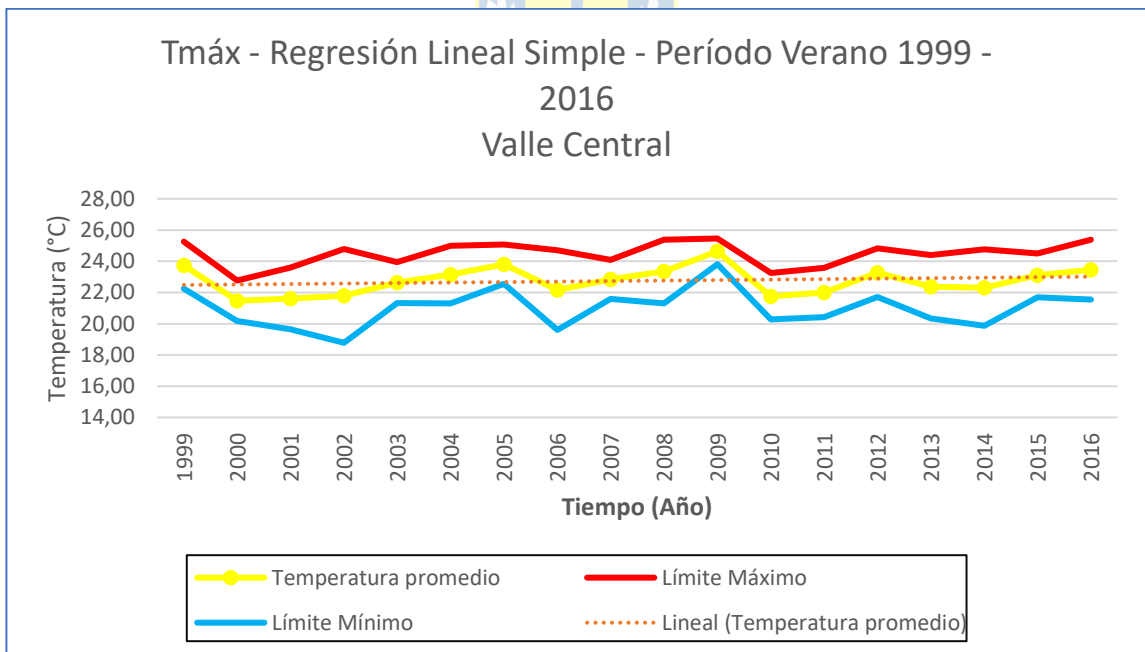


Figura Anexo 2. Gráfico regresión lineal simple temperaturas máximas verano.

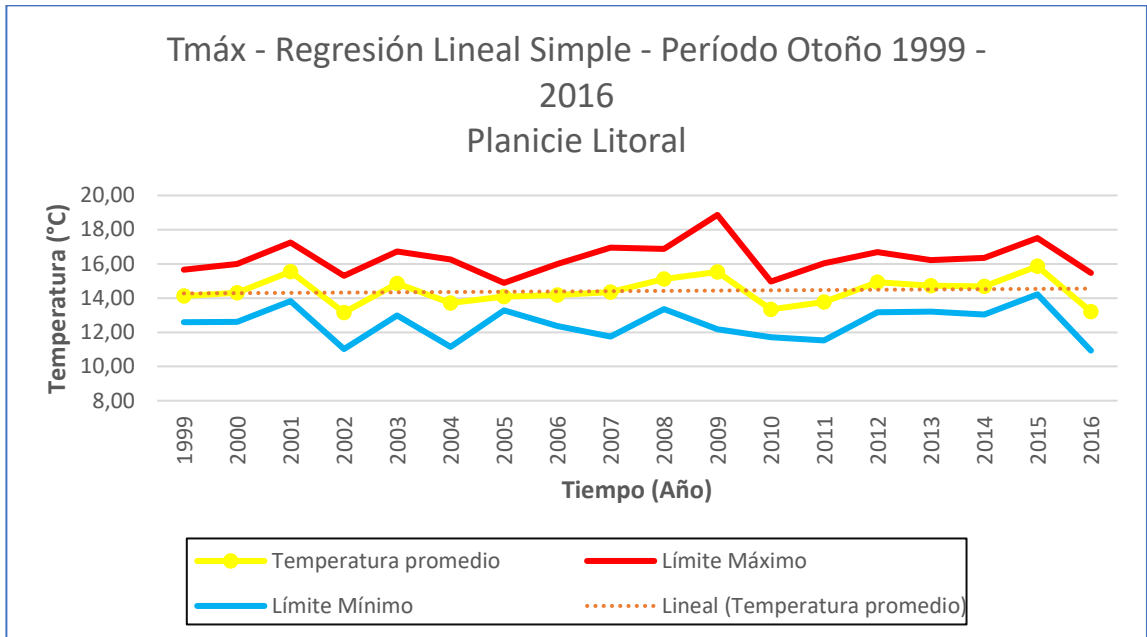


Figura Anexo 3. Gráfico regresión lineal simple temperaturas máximas otoño.

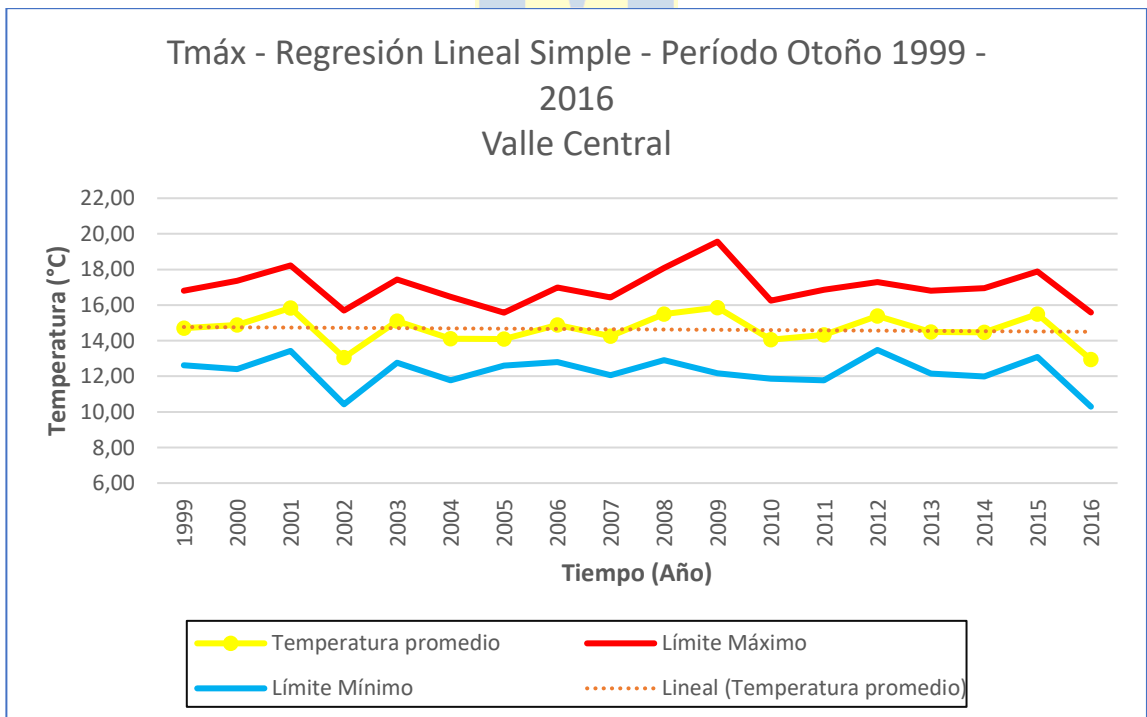


Figura Anexo 4. Gráfico regresión lineal simple temperaturas máximas otoño.

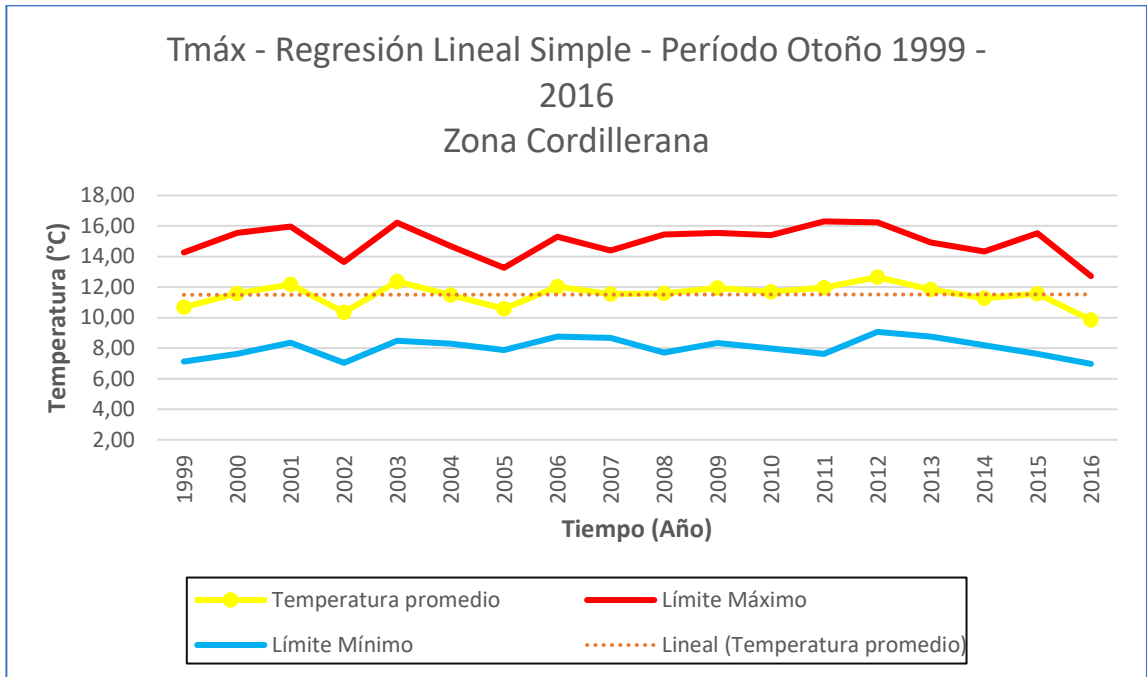


Figura Anexo 5. Gráfico regresión lineal simple temperaturas máximas otoño.

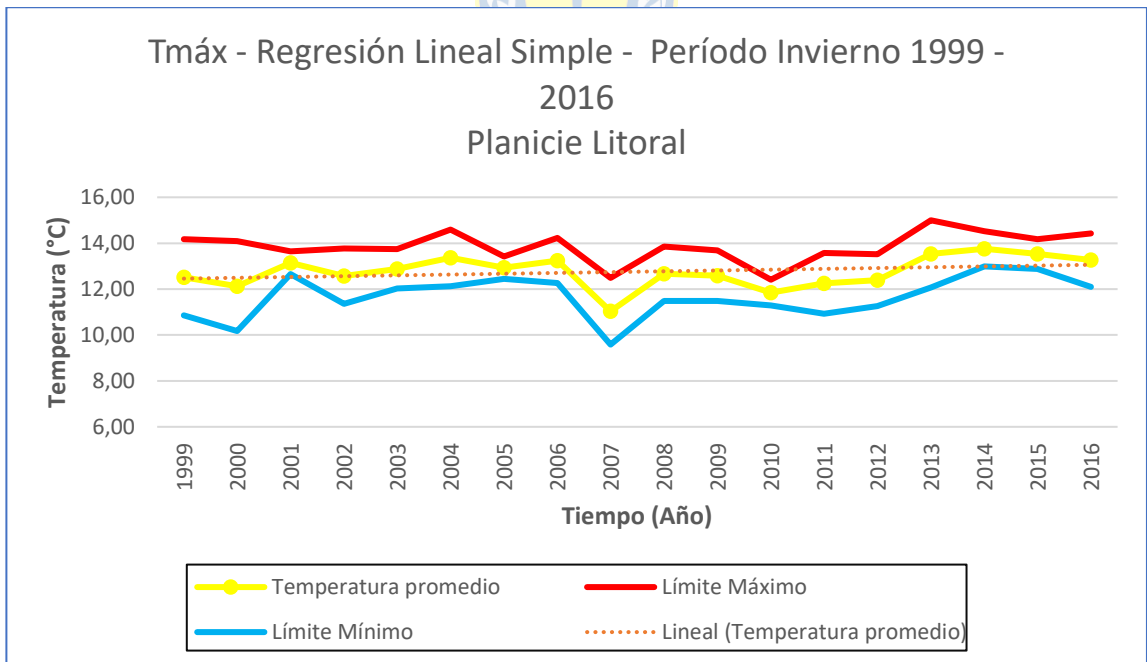


Figura Anexo 6. Gráfico regresión lineal simple temperaturas máximas invierno.

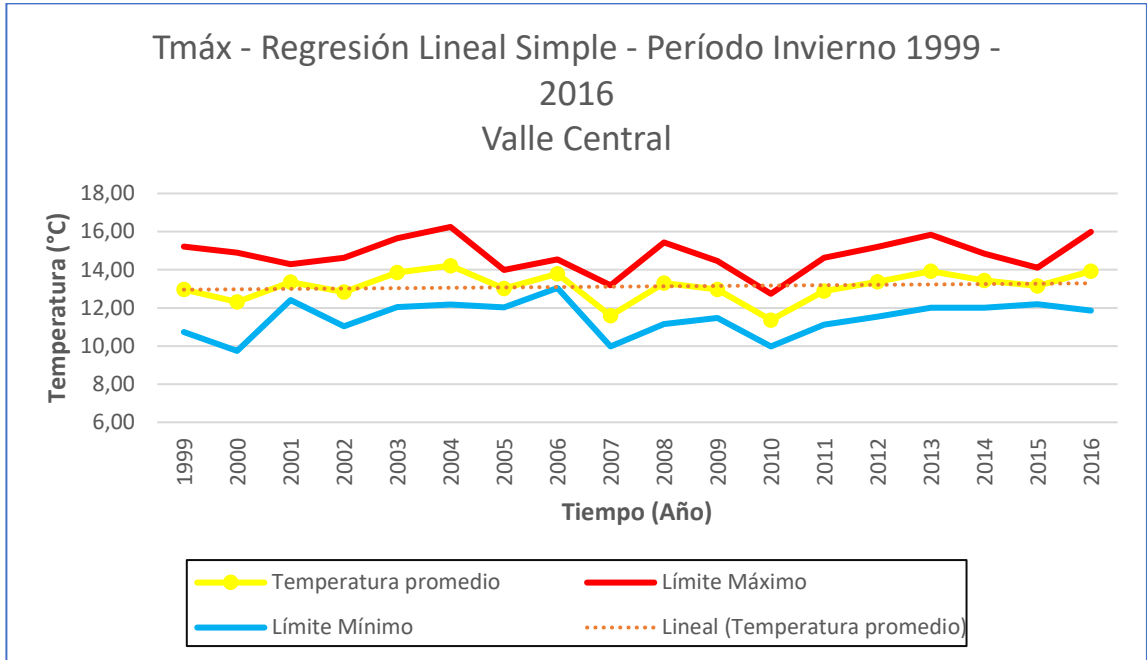


Figura Anexo 7. Gráfico regresión lineal simple temperaturas máximas invierno.

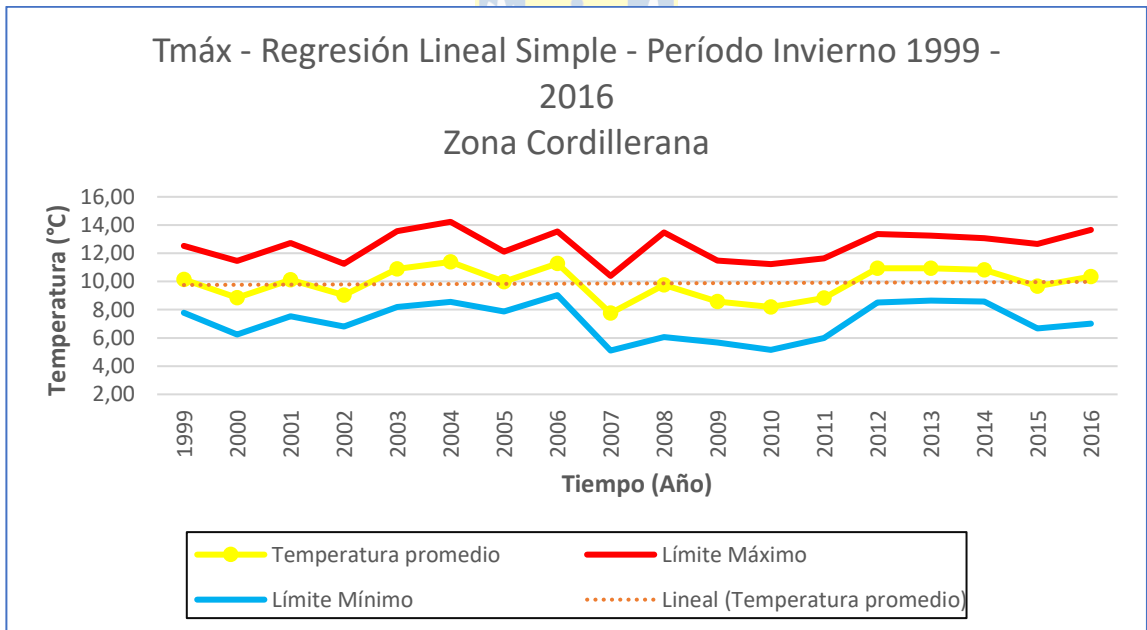


Figura Anexo 8. Gráfico regresión lineal simple temperaturas máximas invierno.

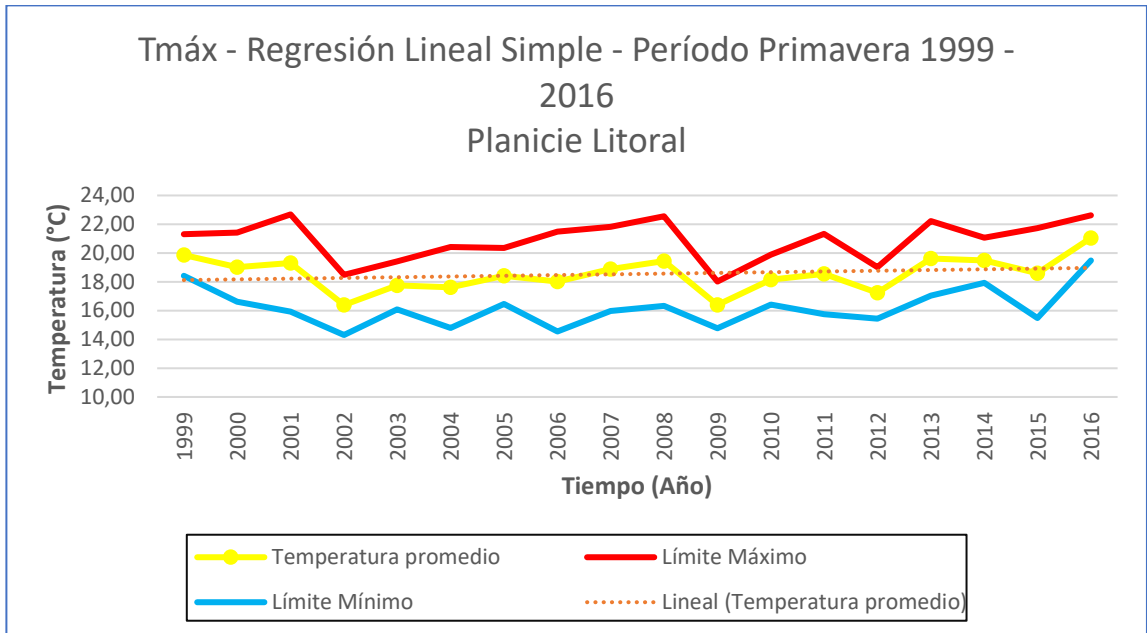


Figura Anexo 9. Gráfico regresión lineal simple temperaturas máximas primavera.

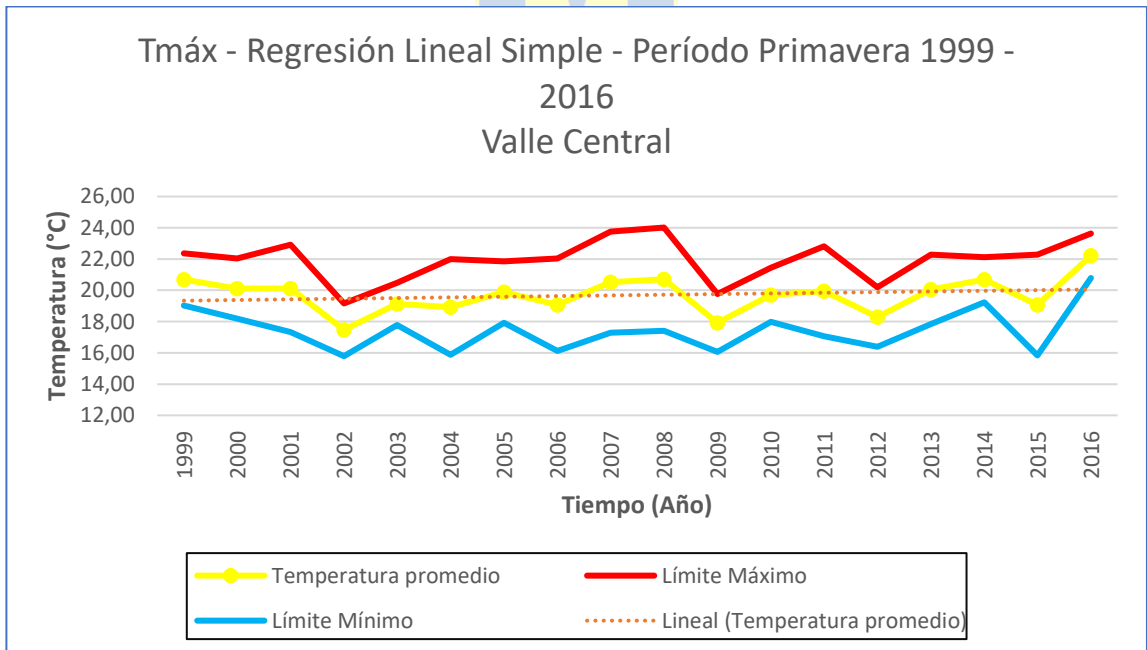


Figura Anexo 10. Gráfico regresión lineal simple temperaturas máximas

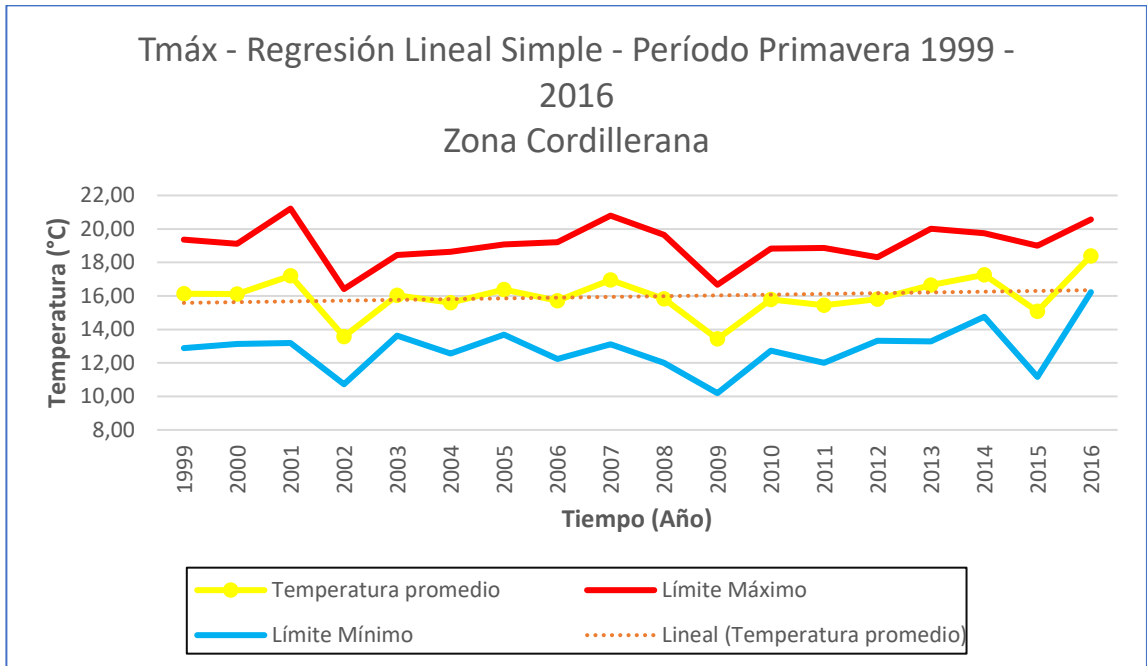


Figura Anexo 11. Gráfico regresión lineal simple temperaturas máximas primavera.

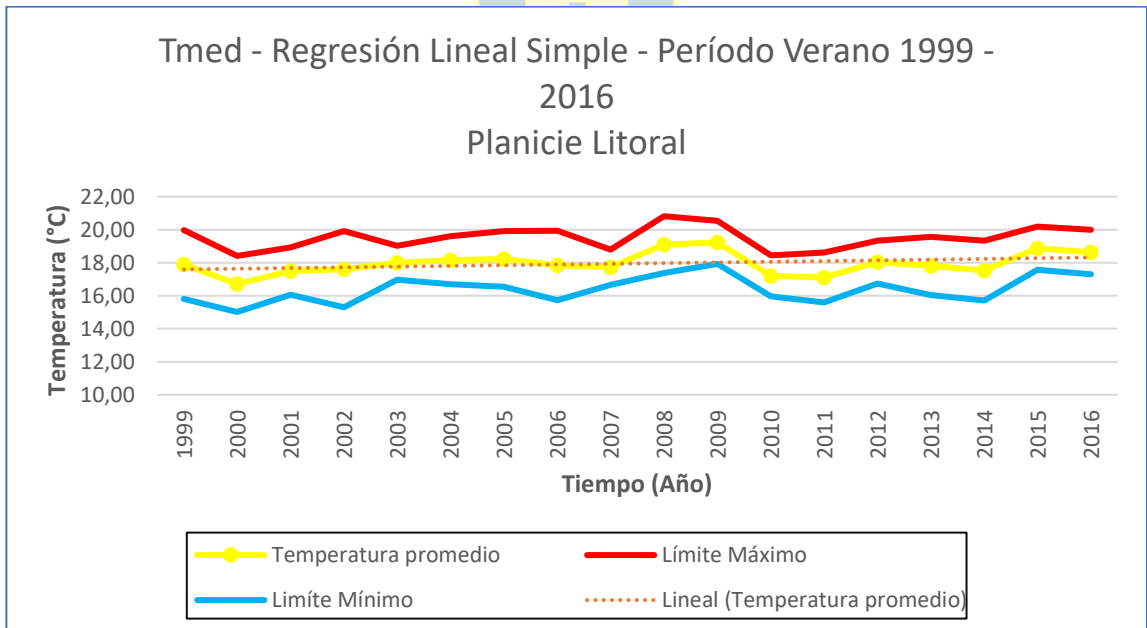


Figura Anexo 12. Gráfico regresión lineal simple temperaturas medias verano.

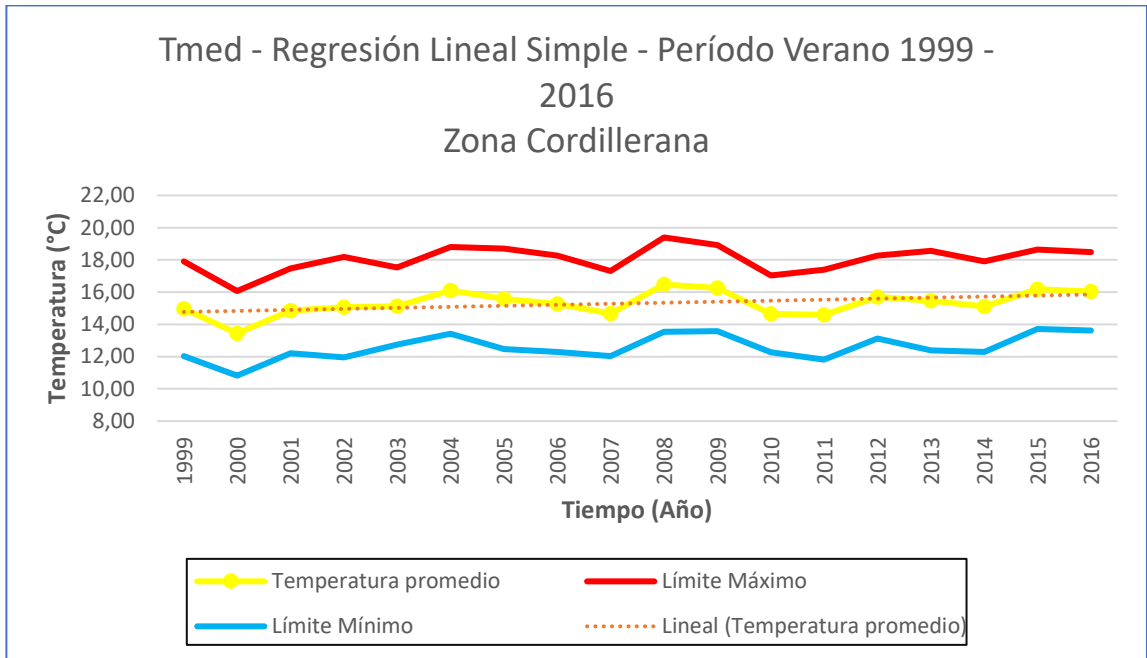


Figura Anexo 13. Gráfico regresión lineal simple temperaturas medias verano.

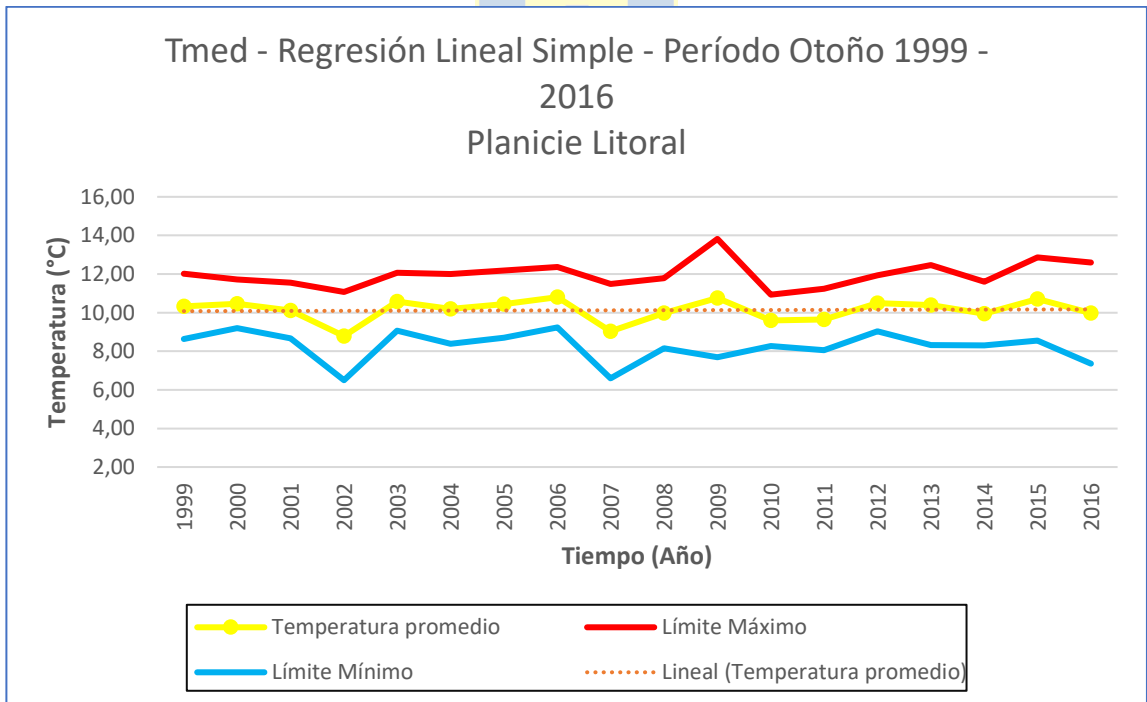


Figura Anexo 14. Gráfico regresión lineal simple temperaturas medias otoño.

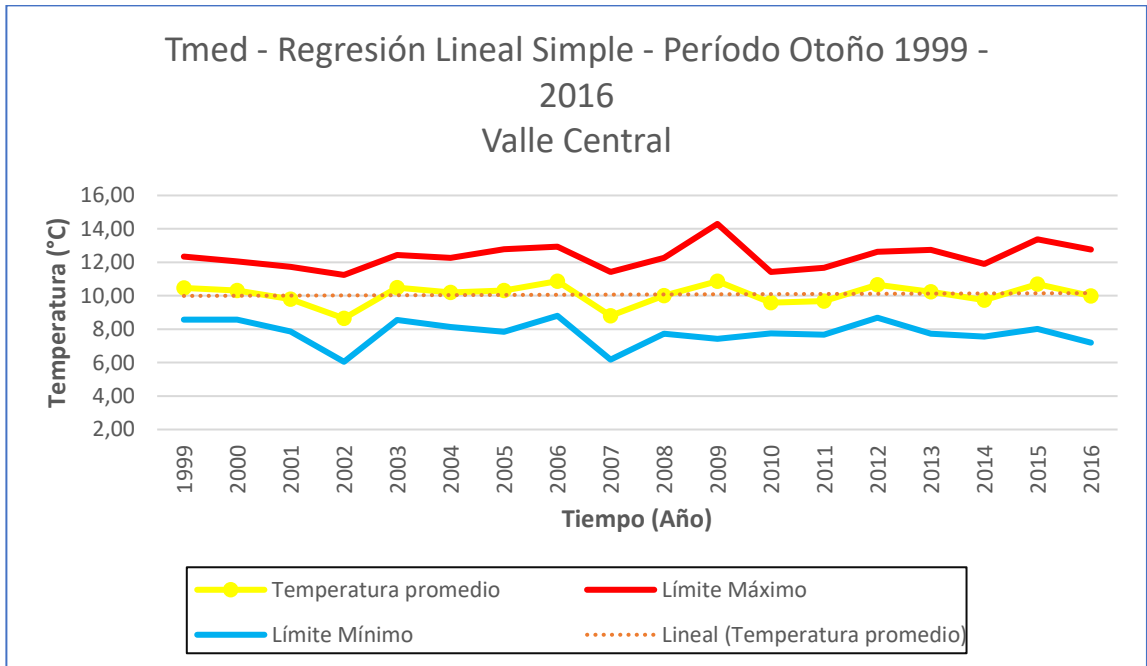


Figura Anexo 15. Gráfico regresión lineal simple temperaturas medias otoño.

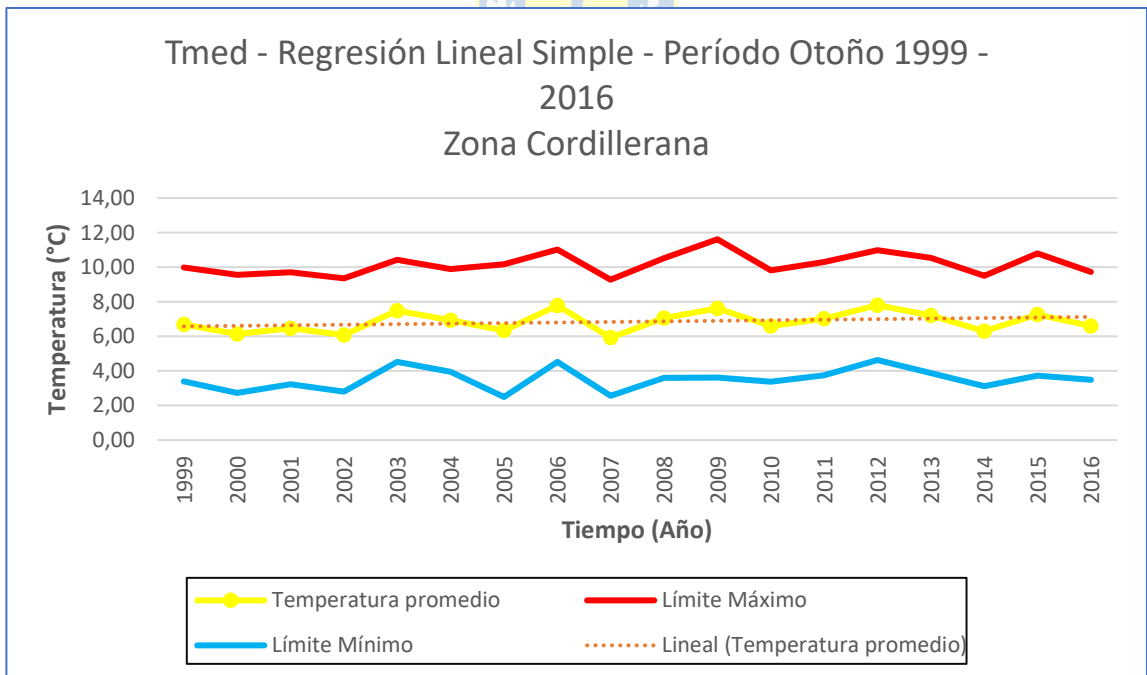


Figura Anexo 16. Gráfico regresión lineal simple temperaturas medias otoño.

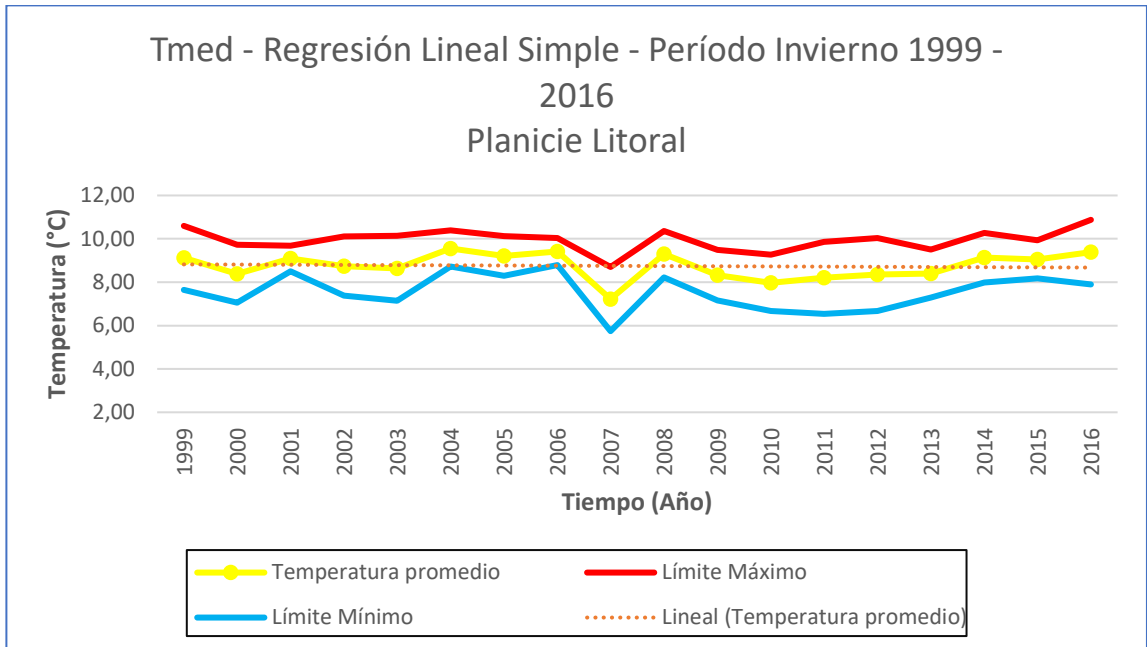


Figura Anexo 17. Gráfico regresión lineal simple temperaturas medias invierno.

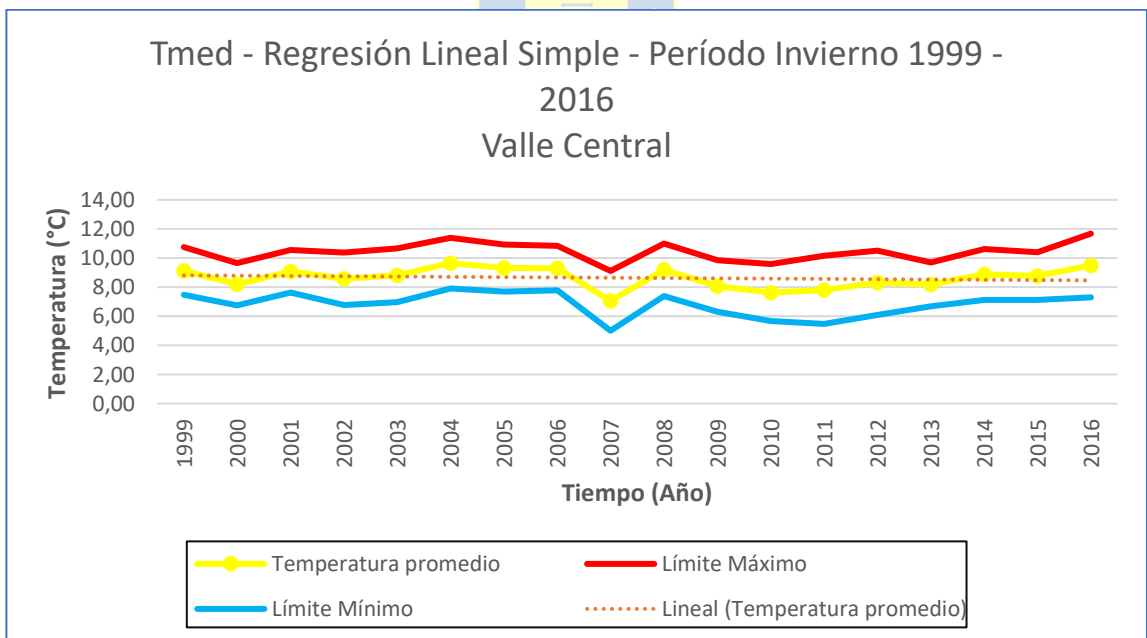


Figura Anexo 18. Gráfico regresión lineal simple temperaturas medias invierno.

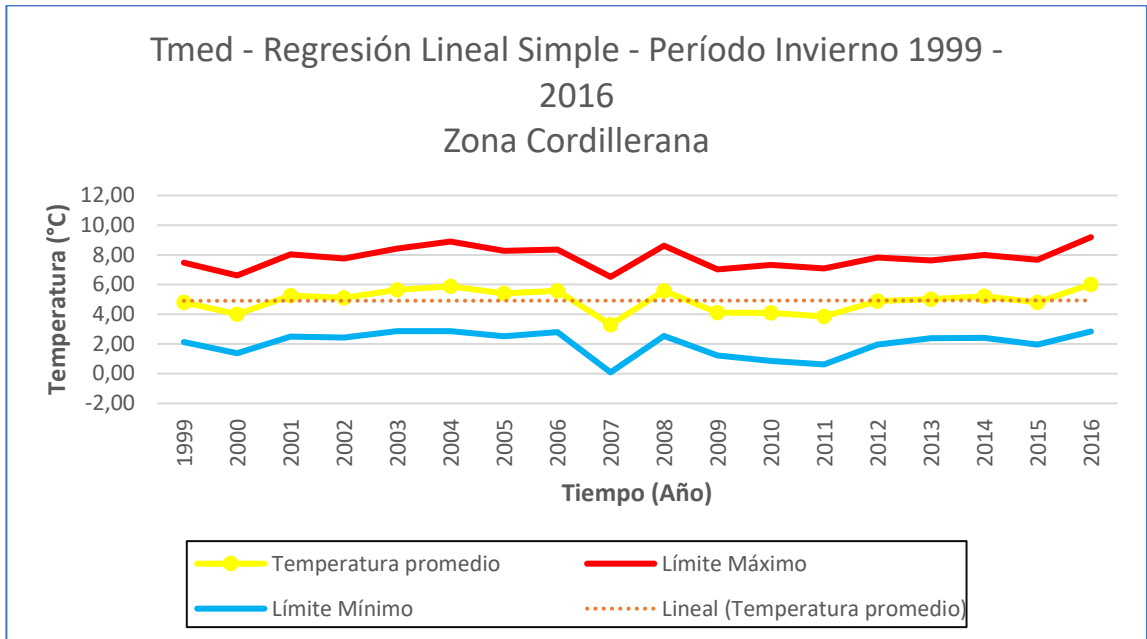


Figura Anexo 19. Gráfico regresión lineal simple temperaturas medias invierno.

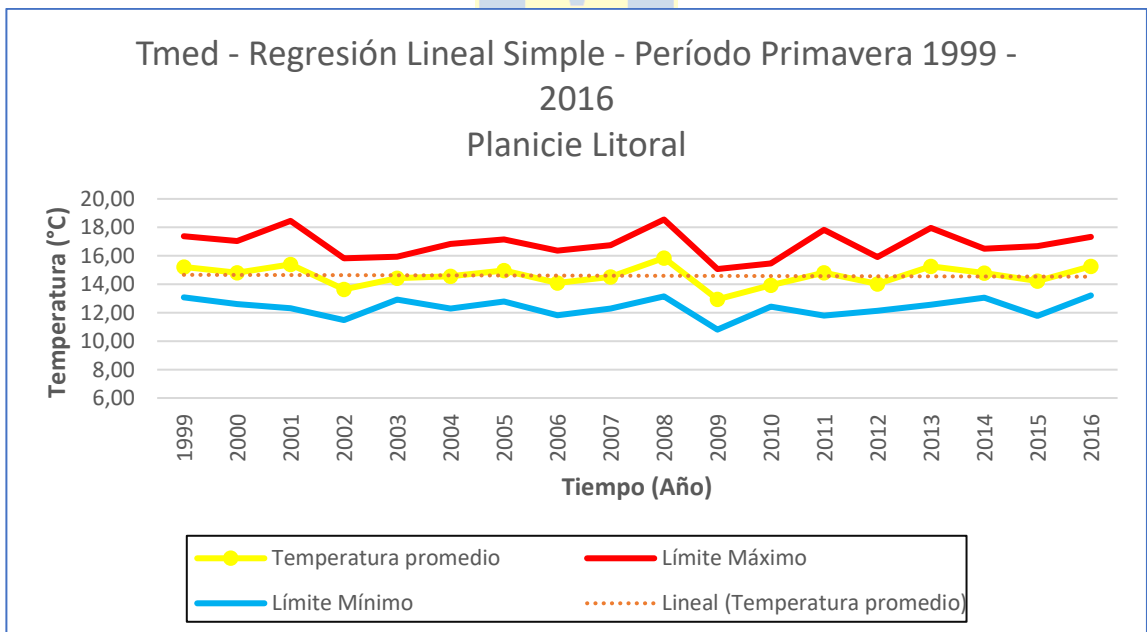


Figura Anexo 20. Gráfico regresión lineal simple temperaturas medias primavera.

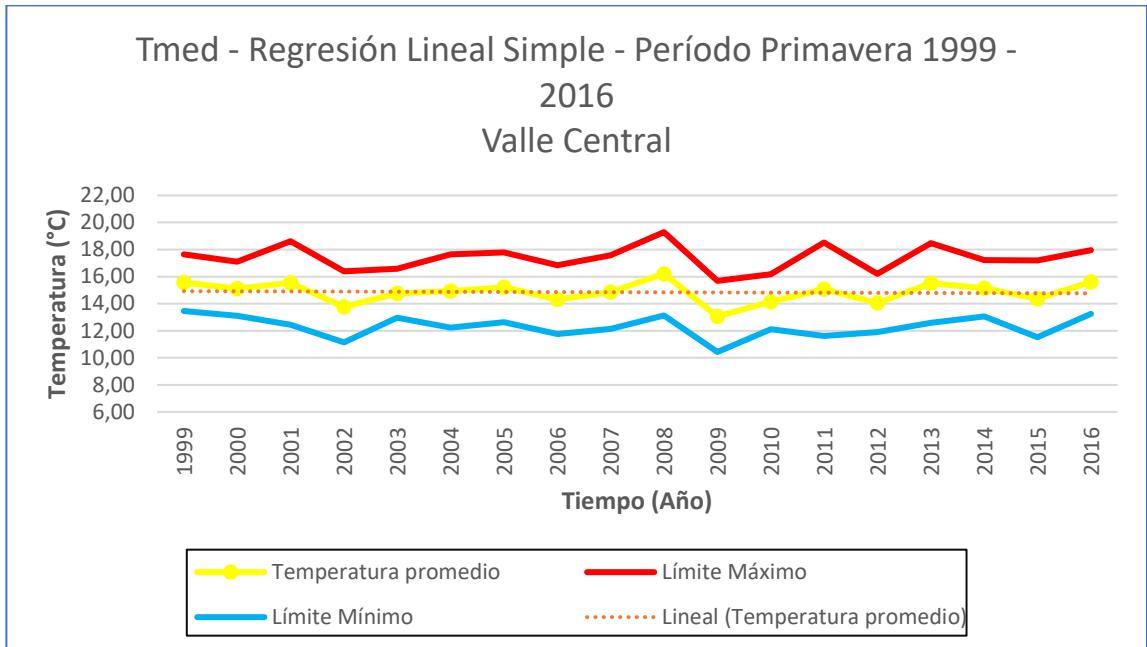


Figura Anexo 21. Gráfico regresión lineal simple temperaturas medias

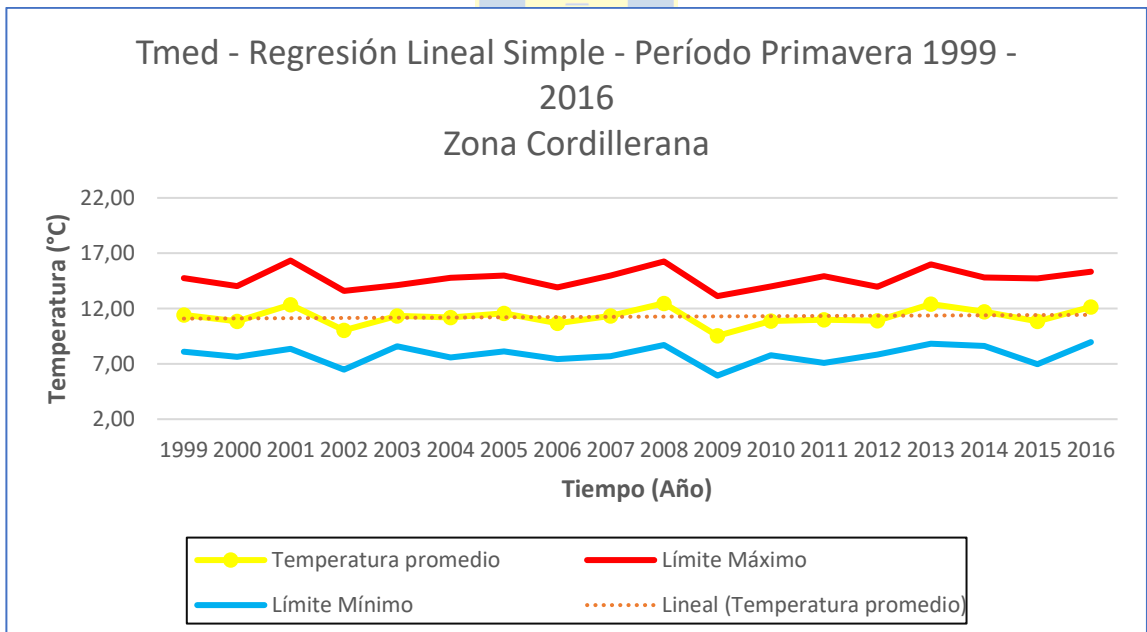


Figura Anexo 22. Gráfico regresión lineal simple temperaturas medias primavera.

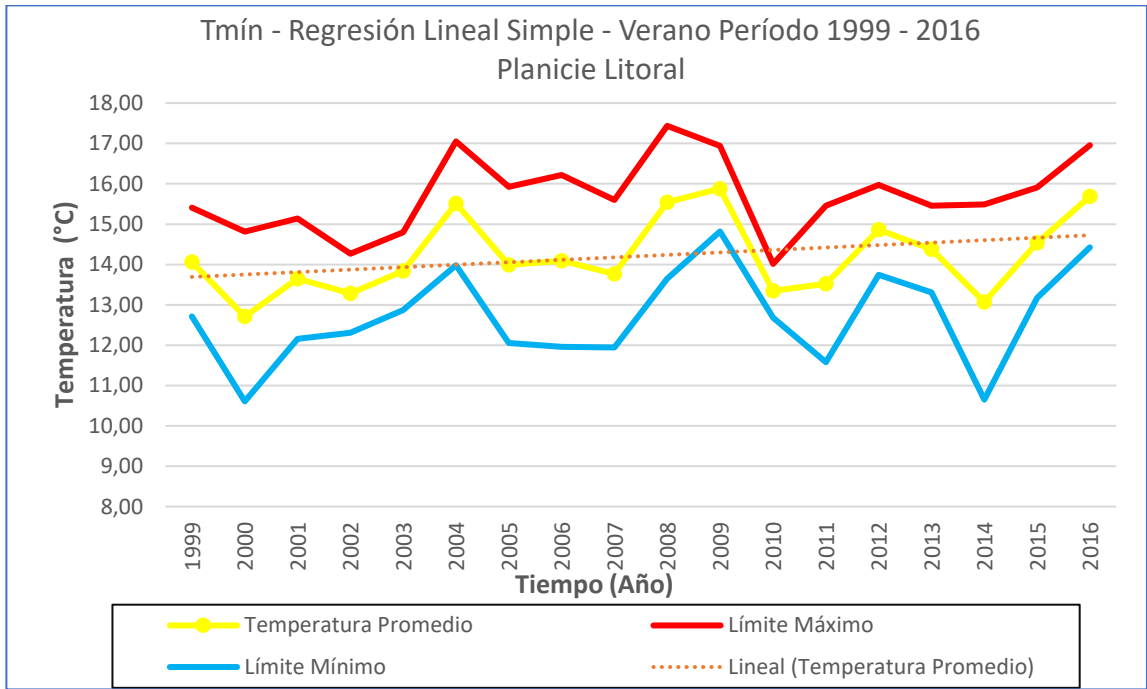


Figura Anexo 23. Gráfico regresión lineal simple temperaturas mínimas verano.

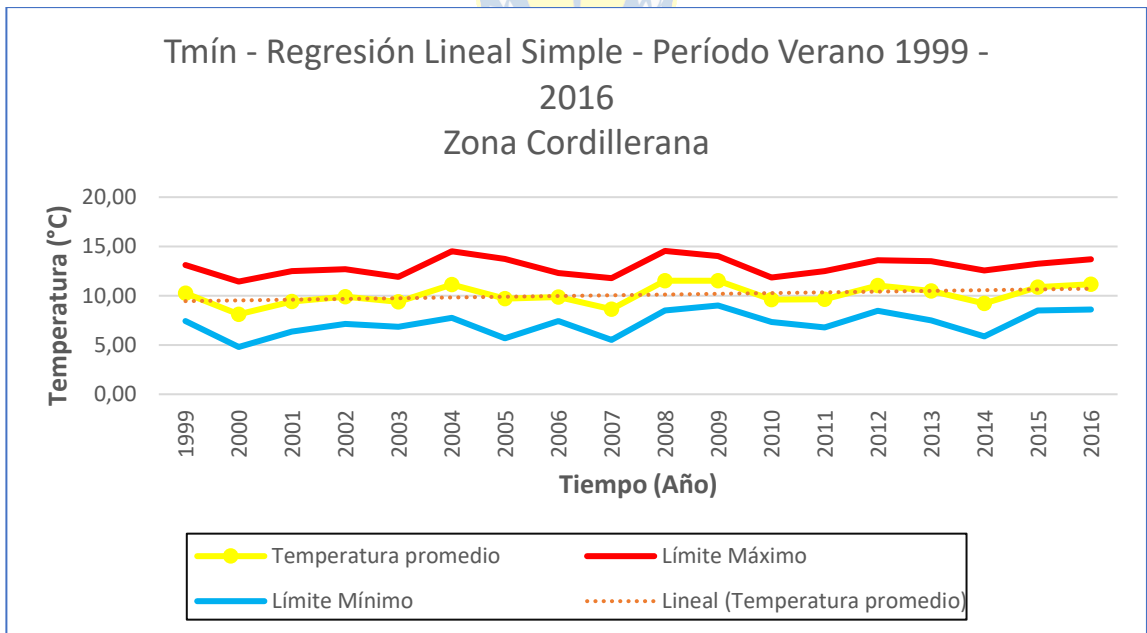


Figura Anexo 24. Gráfico regresión lineal simple temperaturas mínimas verano.

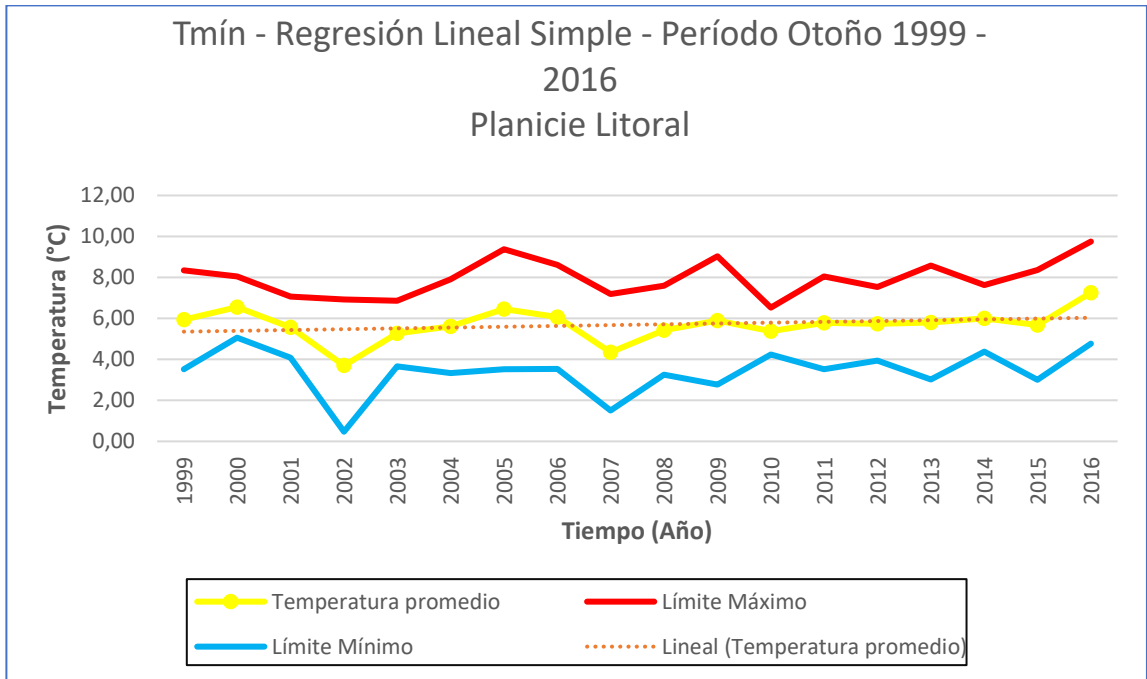


Figura Anexo 25. Gráfico regresión lineal simple temperaturas mínimas otoño.

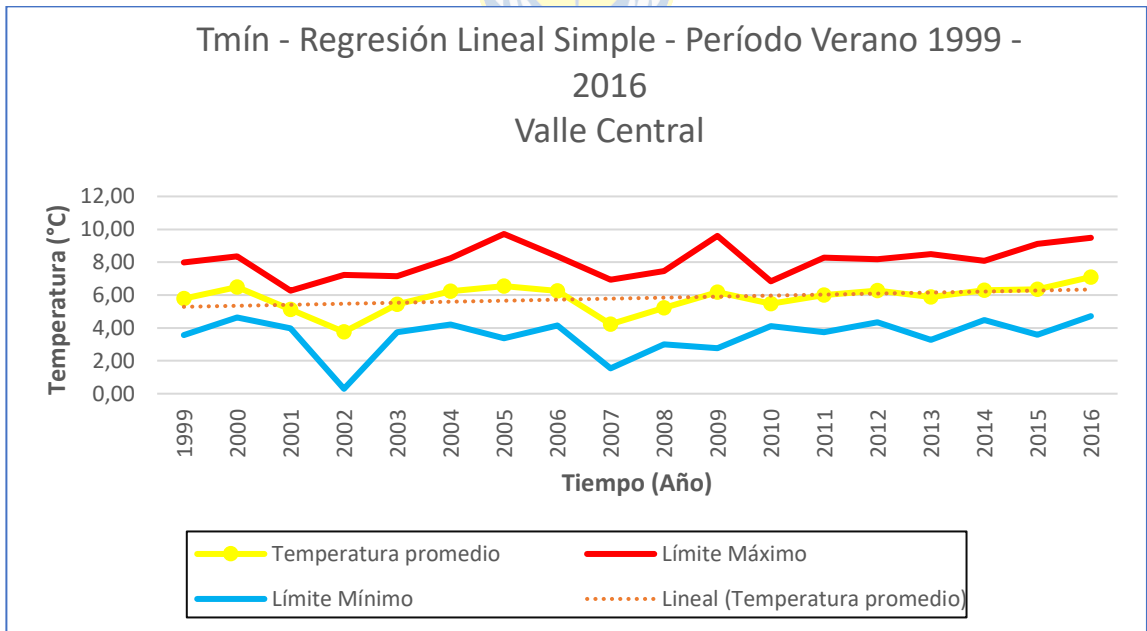


Figura Anexo 26. Gráfico regresión lineal simple temperaturas mínimas otoño.

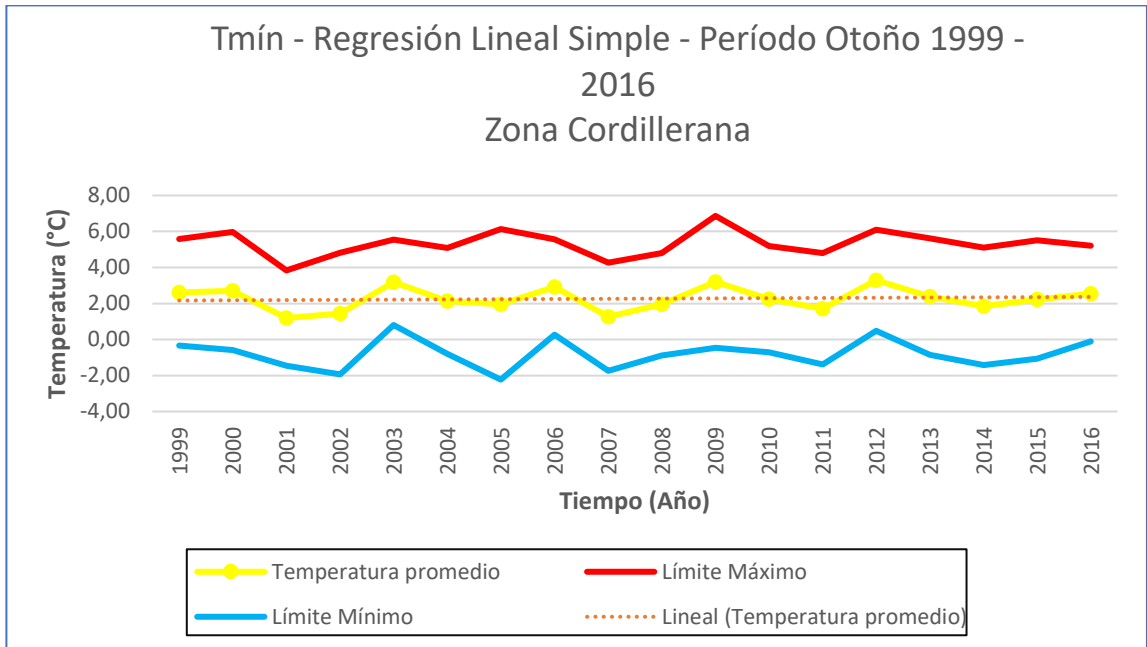


Figura Anexo 27. Gráfico regresión lineal simple temperaturas mínimas otoño.

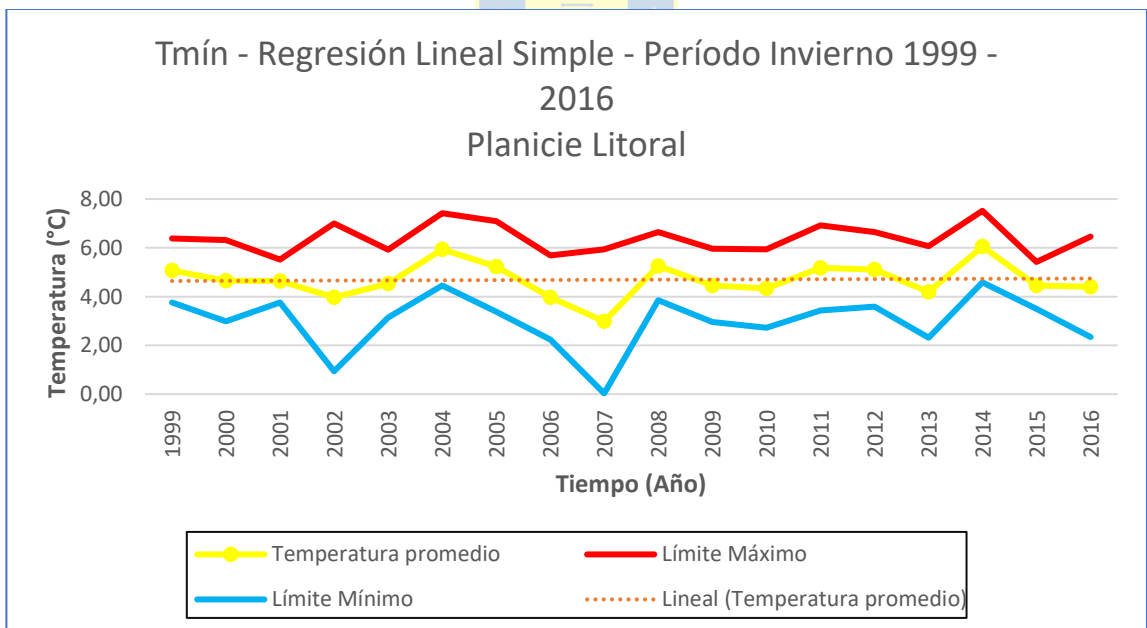


Figura Anexo 28. Gráfico regresión lineal simple temperaturas mínimas invierno.

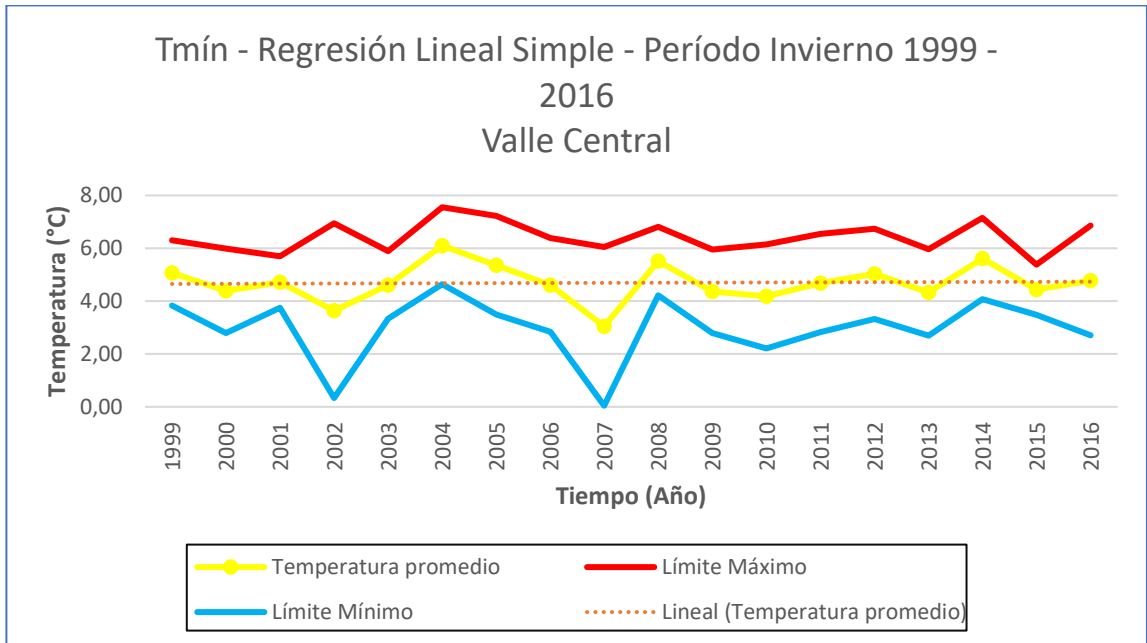


Figura Anexo 29. Gráfico regresión lineal simple temperaturas mínimas invierno.

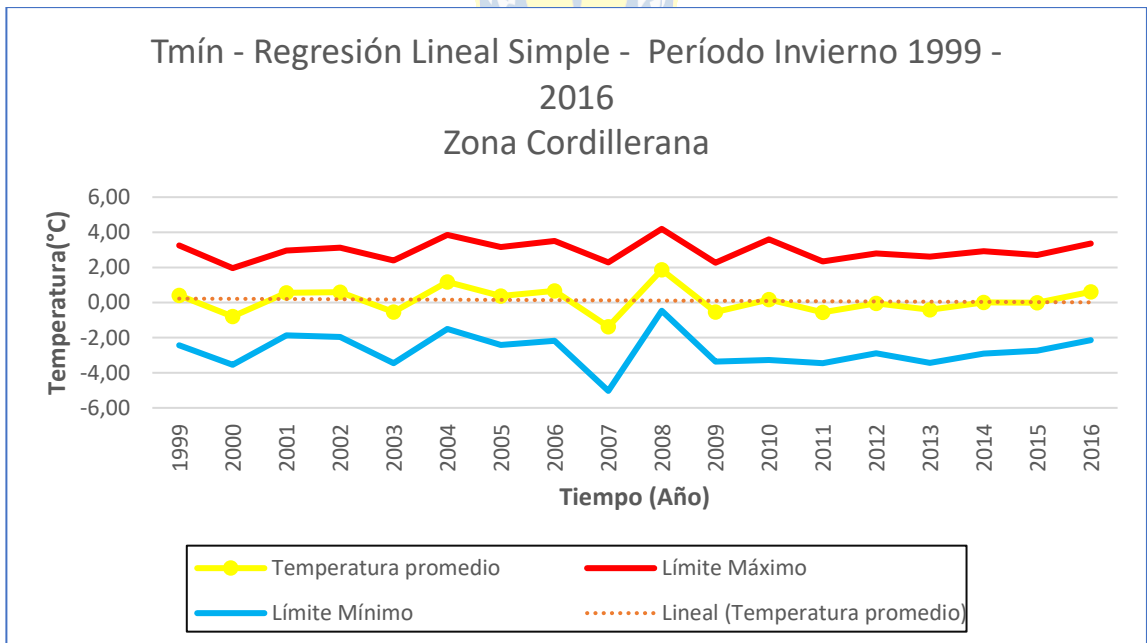


Figura Anexo 30. Gráfico regresión lineal simple temperaturas mínimas invierno.

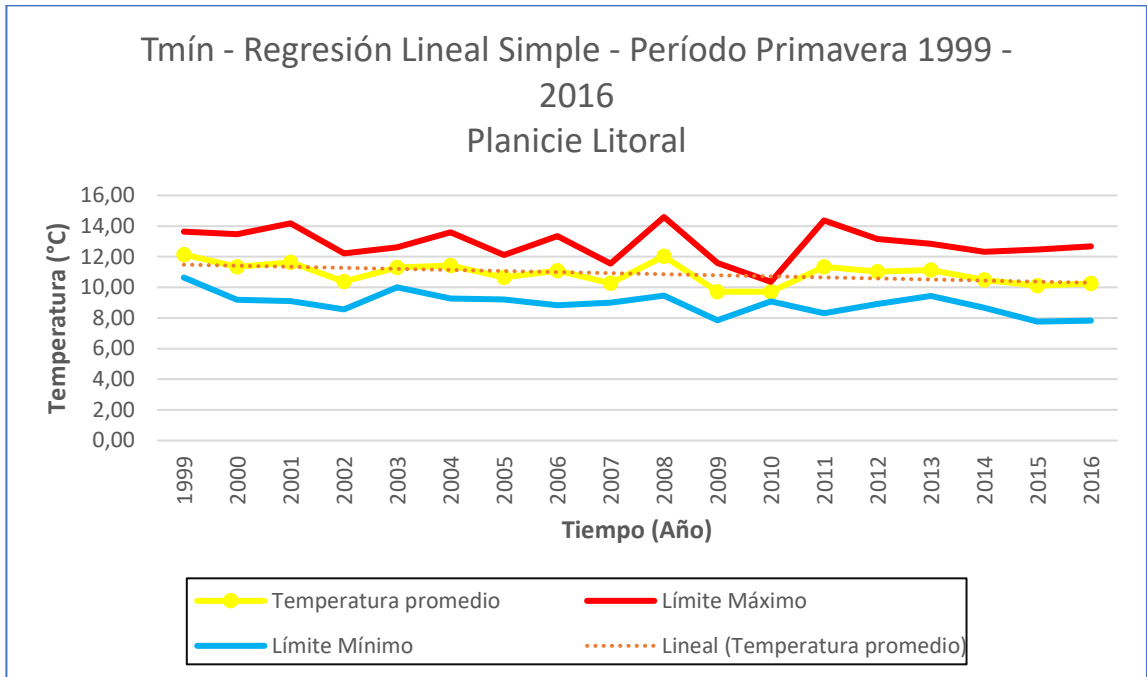


Figura Anexo 31. Gráfico regresión lineal simple temperaturas mínimas primavera.

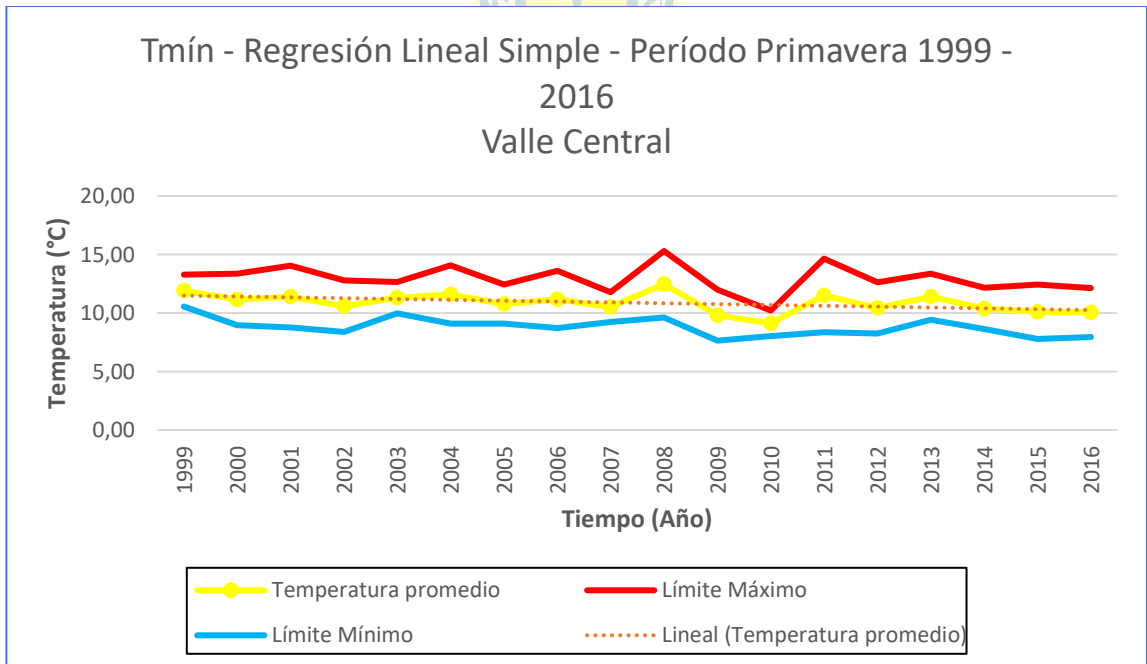


Figura Anexo 32. Gráfico regresión lineal simple temperaturas mínimas primavera.

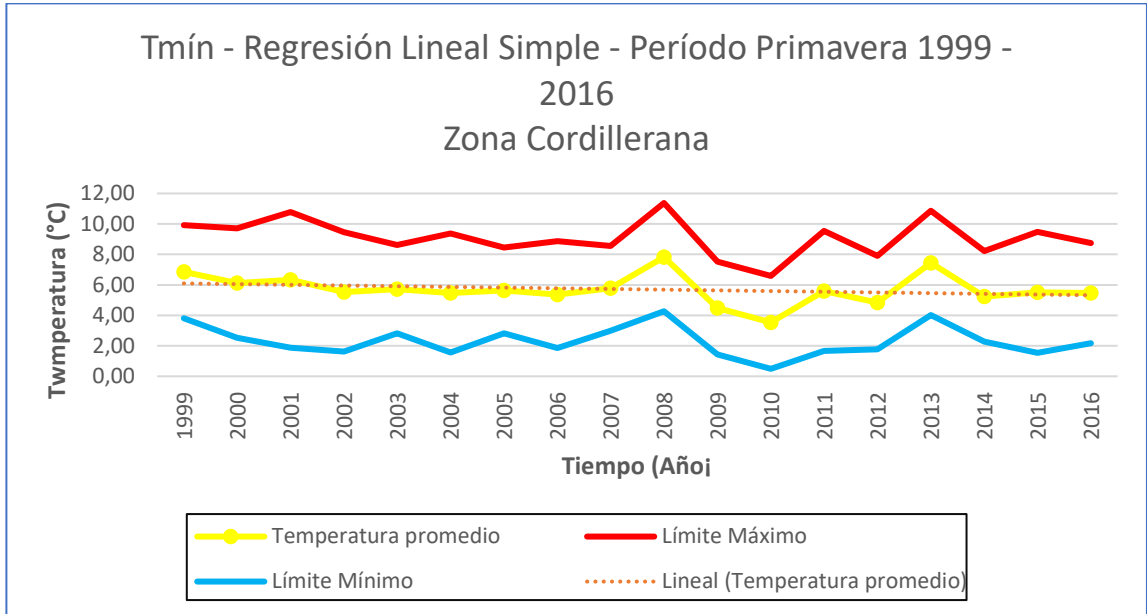


Figura Anexo 33. Gráfico regresión lineal simple temperaturas mínimas primavera.

Fuente: Toda las Figuras de Anexos - Elaboración propia en base a resultados obtenidos.

