



UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Escuela de Pregrado

Carrera de Geografía

APLICACIÓN DE UN MÉTODO DE DETERMINACIÓN Y VALIDACIÓN DE
ALTURA DE ISOTERMA 0°C EN EL TERRITORIO CHILENO, A PARTIR DE
DATOS DE RADIOSONDA EN EL PERÍODO 1973-2017

Memoria para optar al título profesional de Geógrafo

BASTIAN ARIEL MIRANDA CEPEDA

Profesor Guía: Pablo Sarricolea

Santiago - Chile

2019

Resumen

El planeta se enfrenta a nuevos escenarios climáticos, y Chile no se encuentra ajeno. Aumentos de temperatura y disminución en las precipitaciones son algunos de los fenómenos que se están dando con mayor frecuencia, en donde la isoterma 0°C toma un rol importante al encontrarse vinculado estrechamente con las variaciones de temperatura. Es así como se propone un método de determinación de isoterma 0°C mediante datos de radiosonda lanzados en territorio chileno, así como también una validación de sus resultados. Los datos de radiosonda son limpiados y llevados a una macro, en donde se automatiza el cálculo de la altura de la isoterma 0°C mediante una regresión polinómica, cuyos resultados son espacializados en el territorio chileno a nivel estacional. Por otro lado, estos datos son analizados temporalmente según Makesens y contrastados con resultados arrojados por un modelo alternativo, utilizando datos de una base mundial denominada Terraclimate. La isoterma 0°C se ubica principalmente en la cordillera de Los Andes, abarcando mayor superficie en la zona norte y centro del país. A grandes rasgos, las tendencias señalan un aumento en la altura de isoterma 0°C en la zona norte, centro y sur, siendo en los meses de verano en donde existe un mayor grado de significancia. La altura de la isoterma 0°C en días de precipitación presenta un alza en la zona norte y centro del país, mientras que en la zona austral se destaca la tendencia negativa.

Palabras claves: Isoterma 0°C, Radiosondas, Temperatura, Precipitación. Cordillera de Los Andes.

Abstract

The planet is facing to new climate stages, and Chile isn't so far of that. Temperature increase, decrease in rainfall, are just some of the phenomenon that happens more frequently, where 0°C isotherm takes an important role to be closed linked with temperature variations. This Is how a 0°C isotherm variations method is proposed using radiosonde data launched in Chilean territory, as well as a validation of their results. The radiosonde data are cleaned and taken to a macro, where the calculation of the 0°C isotherm height is automated by a polynomial regression, the results of which are spatialized in Chilean territory at the seasonal level. On the other hand, these data are temporarily analyzed according by Makesens and contrasted with results produced by an alternative model, using data from a global database called Terraclimate. The 0°C isotherm is located mainly in the Andes mountain range, covering a larger area in the northern and central part of the country. Broadly speaking, the trends indicate an increase in the height of 0°C isotherm in the north, center and south zone, being in the summer months where there is more significance. The height of the 0°C isotherm on rainy days shows an increase in the north and center of the country, while in the southern zone the negative trend is noted.

Keywords: 0°C isotherm, Radiosonde, Temperature, Precipitation, Andes Mountain.

Agradecimientos

En primer lugar, he de destacar el rol de mis padres durante mi etapa universitaria, agradezco la confianza puesta en mí y su apoyo incondicional. También he de agradecer la ayuda entregada por la oficina de servicios climatológicos, especialmente a Rodrigo Padilla, quien fue un pilar fundamental en el comienzo de esta investigación. Reconocer la ayuda del Profesor Pablo Sarricolea, tanto en conocimientos como herramientas entregadas.

Finalmente dedicar esta memoria a mi familia y amigos, quienes siempre estuvieron alentándome y entregando buenas vibras durante la realización de ella.

Contenido

1	Presentación	11
1.1	Introducción	11
1.2	Planteamiento del problema	13
1.2.1	Área de estudio	16
1.2.2	Superficie y extensión	16
1.2.3	Geomorfología	18
1.2.4	Pisos vegetacionales de Chile	19
1.2.5	Climas de Chile	22
1.2.6	Infraestructura en cordillera	23
1.3	Objetivos	26
1.3.1	Objetivo general:	26
1.3.2	Objetivos específicos:	26
2	Estado del Asunto	27
2.1	Espacialización de variables climáticas	27
2.2	Clima de montaña	27
2.3	Isoterma 0°C	29
2.4	Calentamiento global y riesgos	31
2.5	Implicancias socioeconómicas debido a isoterma 0°C	34
2.6	Planificación estratégica del territorio	36
3	Metodología	39
3.1	Recopilación de datos, cálculo y especialización de isoterma 0°C	39
3.1.1	Recopilación de información	39
3.1.2	Ráster de latitud	40
3.1.3	Elección de isoterma 0°C	40

3.1.4	Corroboración con vuelos completos	41
3.1.5	Estadísticas	41
3.1.6	Espacialización	42
3.1.7	Cálculo de superficies.....	42
3.2	Validación de modelo mediante datos de Terraclimate.....	43
3.2.1	Cálculo isoterma 0°C según Terraclimate	43
3.2.2	Procesamiento información de Terraclimate	43
3.3	Tendencias temporales de isoterma 0°C, vínculo con días de precipitación	44
3.3.1	Tendencia de isoterma 0°C.....	44
3.3.2	Vínculo precipitación/isoterma	45
4	Resultados	48
4.1	Identificación y espacialización de isoterma 0°C	48
4.1.1	Obtención de isoterma 0°C.....	48
4.1.2	Casos de doble isoterma 0°C	49
4.1.3	Corroboración con vuelos completos	50
4.1.4	Estadísticas	52
4.1.5	Comportamiento de la isoterma 0°C	53
4.1.6	Superficies bajo isoterma 0°C	55
4.2	Validación con metodología alternativa	56
4.2.1	Antofagasta (SCFA)	56
4.2.2	Santo Domingo (SCSN)	58
4.2.3	Puerto Montt (SCTE)	61
4.2.4	Punta Arenas (SCCI)	61
4.3	Tendencias de isoterma 0°C	64
4.3.1	Tendencias temporales	64

4.3.2	Vinculo precipitación/isoterma 0°C	67
5	Discusión.....	76
5.1	Comportamiento espacial en Chile	76
5.2	Comportamiento temporal de Isoterma 0°C	76
5.3	Comportamiento de isoterma 0°C en las precipitaciones	78
6	Conclusiones	80
7	Bibliografía.....	83
8	Anexos.....	89

Índice de Figuras

Figura 1. Área de estudio.....	17
Figura 2. Pasos fronterizos de Chile. (Fuente: Unidad de pasos fronterizos, 2019)	25
Figura 3. Diagrama de Isotherma 0°C. (SERNAGEOMIN, 2018).	30
Figura 4. Zonas de un glaciar. (Cuffey & Paterson, 2010).....	31
Figura 5. Distribución de observaciones en isoterma 0°C por sitio de lanzamiento.	49
Figura 6. Isothermas 0°C estacionales en territorio chileno.	54
Figura 7. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate (SCFA).	56
Figura 8. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en verano (SCFA).....	57
Figura 9. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en otoño (SCFA).	57
Figura 10. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en invierno (SCFA).57	
Figura 11. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en primavera (SCFA).	58
Figura 12. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate (SCSN).	59
Figura 13. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en verano (SCSN)...	59
Figura 14. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en otoño (SCSN). ...	60
Figura 15. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en invierno (SCSN).60	
Figura 16. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en primavera (SCSN).	61
Figura 17. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate (SCCI).	62
Figura 18. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en verano (SCCI)....	62
Figura 19. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en otoño (SCCI).....	63
Figura 20. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en invierno (SCCI). 63	
Figura 21. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en primavera (SCCI).	63
Figura 22. Gráfico de isoterma 0°C en días de precipitación, periodo 1975-2015 (Socaire)	68
Figura 23. Comportamiento estacional decadal de isoterma 0°C en eventos de precipitación de Socaire	69

Figura 24. Gráfico de isoterma 0°C en días de precipitación, periodo 1999-2017 (El Yeso Embalse).	70
Figura 25. Comportamiento estacional decadal de isoterma 0°C en eventos de precipitación de El Yeso Embalse.....	71
Figura 26. Gráfico de isoterma 0°C en días de precipitación, periodo 1973-2017 (Futaleufú).	72
Figura 27. Comportamiento estacional decadal de isoterma 0°C en eventos de precipitación de Futaleufú.	73
Figura 28. Gráfico de isoterma 0°C en días de precipitación, periodo 1976-2017 (Punta Arenas)	74
Figura 29. Comportamiento estacional decadal de isoterma 0°C en eventos de precipitación de Punta Arenas.	75

Índice de Tablas

Tabla 1. Síntesis de geomorfología de Chile.....	19
Tabla 2. Pasos fronterizos de Chile. (Fuente: Unidad de Pasos Fronterizos, 2018).....	24
Tabla 3. Resumen estaciones meteorológicas.	46
Tabla 4. Distribución de observación en isoterma 0°C por sitio de lanzamiento.....	48
Tabla 5.. Porcentajes de datos recopilados en caso de doble isoterma 0°C.	49
Tabla 6. Cuadro comparativo en Antofagasta	50
Tabla 7. Cuadro comparativo en Santo Domingo	51
Tabla 8. Cuadro comparativo en Puerto Montt	51
Tabla 9. Cuadro comparativo en Punta Arenas	51
Tabla 10. Promedios altitudinales de isoterma 0 estacional.....	52
Tabla 11. Superficies en porcentaje bajo isoterma 0°C estacional a nivel regional.....	55
Tabla 12. Tendencias mensuales anuales según Makesens (SCFA).	65
Tabla 13. Tendencias mensuales anuales según Makesens (SCSN).	65
Tabla 14. Tendencia mensual anual según Makesens (SCTE).....	66
Tabla 15. Tendencias mensuales anuales según Makesens (SCCI)	67
Tabla 16. Tendencias estacionales de isoterma 0°C en días de precipitación de Socaire.	69

Tabla 17. Tendencias estacionales de isoterma 0°C en días de precipitación de El Yeso Embalse.	71
Tabla 18. Tendencias estacionales de isoterma 0°C en días de precipitación de Futaleufú.	73
Tabla 19. Tendencias estacionales de isoterma 0°C en días de precipitación de Punta Arenas.	75

1 Presentación

1.1 Introducción

Ante la acumulación de gases de efecto invernadero de origen antropogénico, el cambio climático es entendido como la suma de factores naturales y humanos, fenómeno que ha significado un aumento en la temperatura a nivel global y cambios en la circulación atmosférica, lo que se traduce en una variación de los patrones de precipitación (Garreaud, 2011), siendo la isoterma cero un derivado de aquella variable meteorológica. La temperatura del aire incide en gran parte en la altura en donde se va a localizar este derivado, el cual es definido como la línea que delimita las zonas con precipitación líquida y sólida (Garreaud, 1992) y que, de acuerdo a Seguel & Stowhas (1985), tradicionalmente ha sido calculada mediante la temperatura del aire en superficie.

El término “isoterma 0°C” ha traspasado la frontera climatológica, siendo actualmente un factor estudiado en diversas áreas debido a sus grandes cambios y repercusiones en el territorio, haciendo necesario un estudio temporal más acabado y un comportamiento espacial fácil de interpretar. Es precisamente a esto último a lo que se dirige esta memoria de título.

Bajo una metodología exploratoria se propone un método de estimación de la altura de la isoterma 0°C diaria, a través de una regresión polinómica, utilizando datos proporcionados por radiosondas lanzados en Chile. Al respecto, las estaciones utilizadas son Antofagasta (SCFA), Santo Domingo (SCSN), Puerto Montt (SCTE) y Punta Arenas (SCCI), siendo a partir de ellos en donde se realiza una espacialización de datos en todo el territorio chileno continental a nivel estacional.

Los radiosondas son instrumentos de medición vertical en la tropósfera, que son lanzados en puntos estratégicos utilizando globos de helio o hidrógeno, alcanzando una altitud de hasta 18.000 metros. Su función es obtener mediciones de parámetros meteorológicos a diferente altura, siendo algunos de estos la presión atmosférica, altura, temperatura del aire, humedad relativa, punto de rocío, promedio de capa mezcla o dirección y velocidad del viento (OMM, 2010). Para esta investigación se utilizaron los datos de altitud y temperatura, ya que estos son los más competentes a la hora de determinar la altitud de la isoterma 0°C.

Una propuesta metodológica requiere de una validación de sus resultados. Es así como los datos de radiosonda son sometidos a una comparación con una metodología alternativa, en este caso con las estimaciones de isoterma 0°C calculadas a través de temperaturas superficiales de Terraclimate, gracias a Google Engine. De esta forma, se demostraría la semejanza de los datos y determinaría la viabilidad de utilizar el modelo propuesto posteriormente.

Para demostrar a priori la aplicación de la propuesta metodológica se evalúan sus tendencias temporales, además de trabajar con estaciones pluviométricas para analizar la isoterma 0°C en los episodios de precipitación y, de esta manera, evidenciar el comportamiento que ha tenido en las diferentes zonas del país a nivel decadal.

Con el fin de contribuir con el conocimiento de la isoterma 0°C se ha elaborado la presente memoria de título, la cual entrega una propuesta metodológica de estimación de isoterma 0°C, el compilado de productos espaciales, su validación mediante la comparación de una metodología alternativa (Terraclimate) y, por último, un análisis temporal de esta variable a nivel mensual/anual y en días de precipitación.

1.2 Planteamiento del problema

Chile hace frente a un nuevo escenario climático producto del calentamiento global y a la variabilidad climática que afecta a todo el planeta, lo que se puede evidenciar en fenómenos meteorológicos extremos más intensos y recurrentes que afectan a la población mundial, impactando en los modos de vida, las actividades económicas, recursos hídricos e, inclusive, en la integridad humana (DMC, 2015).

Las variables de precipitación y temperaturas se ven influenciadas por estos cambios, adquiriendo suma importancia el comportamiento de la isoterma 0°C debido a su vinculación con las variaciones de la temperatura del aire y, en consecuencia, en el volumen de precipitación sólida que se acumula en las altas cumbres de Los Andes.

El concepto de isoterma 0°C hace referencia a una línea imaginaria de altitud, en donde se posiciona la temperatura 0°C en la horizontal. Teóricamente es aquí en donde se da el cambio de estado de la precipitación, ya que bajo esta línea es de tipo líquida, mientras que sobre ella la precipitación se presenta de manera sólida. No obstante, existen otros factores que pueden incidir en la altitud, como por ejemplo la cobertura del suelo (DMC, 2015), haciendo referencia directamente al estado de la superficie. Es por ello por lo que sus variaciones son tan importantes, ya que una isoterma a baja altura genera nevadas en precordillera y sectores en valles, volviendo complejos los servicios básicos de las urbes y aumentando la vulnerabilidad de ciertos grupos sociales (CNN, 2017). Por otro lado, una isoterma muy elevada conlleva otro tipo de complicaciones, ya que el volumen de precipitación líquida es mayor en aquellos lugares en donde debiese caer nieve, lo que puede desencadenar posibles aluviones, desbordes y turbiedad de cauces en los ríos (Bustos, 2011).

A lo largo de Chile se presentan condiciones y ambientes muy diferentes, ya sean topográficas, climáticas o vegetacionales. El relieve se encuentra influenciado principalmente por la cordillera de Los Andes, la que disminuye su altitud a medida que avanza en latitud. En el norte se encuentra una imponente meseta altiplánica, hacia la zona central se hacen presente valles escarpados de tipo transversal, mientras que en la zona sur se distingue un predominio de zonas lacustres y cumbres volcánicas; por último, en la zona austral la erosión glacial moldeó los actuales fiordos y campos de hielo. En cuanto al clima,

se identifica una clara transición de condiciones secas a húmedas de norte a sur: en el sector septentrional se ubica el desierto de Atacama, uno de los más áridos del mundo; en la zona central se da la transición, pasando a un clima mediterráneo con estaciones bien marcadas; ya en la zona sur se presenta un clima templado húmedo, en donde las lluvias están presentes gran parte del año (Garreaud, 2013).

En las últimas décadas los asentamientos humanos tienden a ubicarse en sectores precordilleranos, lo que genera problemas de ocupación, uso, usufructo (OLCA, 2009). Esto puede atribuirse el atractivo paisajístico o al buen acceso a servicios y comercios que presenta el piedemonte, especialmente en áreas de gran urbanización como lo es Santiago de Chile. Por otro lado, los cauces de ríos y esteros cada vez son más manipulados, viéndose en muchos casos estrechados, reduciendo el cauce máximo que un río pudiese alcanzar en caso de aumentos de caudal. Sepúlveda y Padilla (2008), basados en la investigación de otros autores, concluyen que existe una relación entre lluvia e isoterma 0°C, señalando que en el caso de un evento de precipitación con isoterma elevada, aumentaría el volumen de agua líquida, generando mayor escurrimiento en zonas de pendientes, aumentando el caudal de los ríos, activando quebradas, aumentando la probabilidad de ocurrencia de procesos de remoción en masa e inundaciones en zonas precordilleranas.

Si bien es sabido que los impactos de la isoterma 0°C no son homogéneos a lo largo del país, es de suma importancia contar con información espacial y temporal sobre esta variable climática a nivel nacional y a menor escala en una cuenca determinada, ya que puede ser incorporada como insumo en políticas públicas, investigaciones climatológicas y planificación territorial, sobre todo en lo concerniente a reducir la exposición al desastre.

Por otro lado, es importante conocer la tendencia que muestra la isoterma 0°C, ya que es sabido que el planeta se encuentra en un escenario de calentamiento global, donde las temperaturas presentan un sostenido aumento en las últimas décadas (Vasconi, 2008). Ello hace interesante conocer como este fenómeno repercute en la variable trabajada, de manera que un análisis temporal permitirá conocer sus fluctuaciones a través de los años y, a la vez, determinar si estos cambios son realmente significativos y homogéneos a lo largo y ancho del país.

Para contar con una metodología de determinación de isoterma 0°C validada se realiza una comparación de los resultados con metodologías alternativas, principalmente a partir de datos satelitales, de esta manera se logrará ver márgenes de error y/o similitud entre ellos. Una validación de este tipo se hace absolutamente necesaria, especialmente a la hora de contar con una metodología confiable para utilizar en posteriores investigaciones.

El área de estudio a investigar abarca todo el territorio nacional continental y, dentro de él, se trabaja con los cuatro sitios de lanzamiento de radiosonda abarcando sus cuencas hidrográficas, las cuales cuentan con estaciones pluviométricas que se encuentren dentro de ellas o lo más próximo posible. Se escogen estaciones meteorológicas bajo dos criterios: por un lado, que se ubiquen en la parte alta de la cuenca, es decir en zonas precordilleranas o cordilleranas, debido a que en ellas las variaciones de isoterma 0°C tienen una mayor sensibilidad en el territorio; y, como segundo criterio, poseer datos pluviométricos de larga data para un análisis más completo. Por lo tanto, las cuencas trabajadas corresponden a Río Loa (Región de Antofagasta), Río Maipo (Región Metropolitana) y Cuencas e islas entre Río Bueno y Río Puelo/Río Yelcho (Región de Los Lagos) y, por último, Tierra del Fuego (Región de Magallanes).

1.2.1 Área de estudio

En esta memoria el área de estudio comprende el territorio chileno. Chile se ubica al sur del continente americano, siendo junto a Argentina uno de los países más australes del continente, compartiendo parte del cordón de Los Andes, el que se caracteriza por ser una rica fuente de recursos naturales y económicos que permiten el sustento de dichas naciones (INE,2017). El país se divide administrativamente en 16 regiones y estas, a su vez, en 56 provincias y 346 comunas (BCN, 2018), teniendo como capital Santiago de Chile. Hasta el año 2017 Chile contaba con una población de 17.574.003 habitantes (INE,2018) En lo respectivo a nuestro objeto de estudio los sitios de lanzamiento son: Antofagasta ((23°26'S, 70°26'O), Santo Domingo (33°38'S, 71°18'O), Puerto Montt (41°26'S ,73°07'O) y, por último, Punta Arenas (53°00'S, 70°07'O).

1.2.2 Superficie y extensión

Chile se divide en tres territorios: continental, insular y antártico. En esta investigación se trabaja con la superficie continental, la cual posee una extensión de 756.096 km² y que se ubica entre los 17°30' S y los 56°30'; su largo alcanza los 4.400 km., y su ancho máximo (445 km) se da en el estrecho de Magallanes, aproximadamente a los 52°, mientras que el ancho mínimo (90 km) se encuentra en la Región de Coquimbo (Universidad de Chile, 2018). Sin embargo, Chile demuestra ser un territorio largo y estrecho con una clara fragmentación en islas e islotes hacia la zona austral.

Chile limita al norte con Perú, hacia el noreste con Bolivia, por el este con Argentina, al oeste con el Océano Pacífico y por el sur con el Polo Sur (INE, 2017).

Área de estudio: Territorio continental de Chile

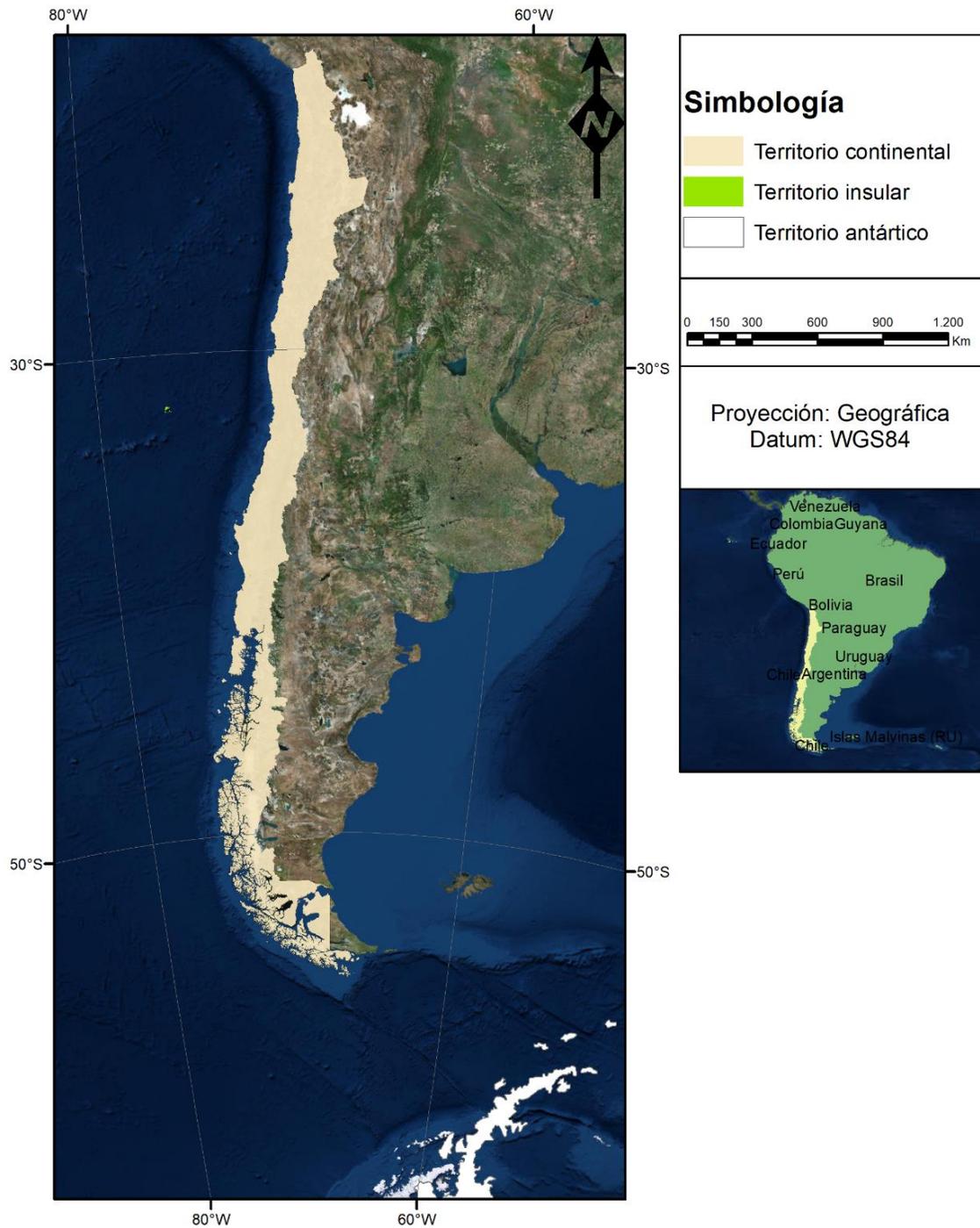


Figura 1. Área de estudio

1.2.3 Geomorfología

En el territorio chileno se logran distinguir diversos relieves, los que en un principio correspondían a una sola unidad, pero que debido a procesos de hundimiento y solevantamiento producto de la actividad tectónica dieron origen al actual paisaje chileno (Errázuriz et al, 1992).

Errazuriz et al, 1992, señala que en Chile existen 4 formas de relieve que se pueden encontrar en todo el territorio de forma longitudinal; las planicies costeras, cordillera de la costa, depresión intermedia y cordillera de Los Andes. A continuación, se caracteriza a grandes rasgos cada uno de estos relieves presentes en el país.

Relieve	Características
Planicies litorales	<p>Esta se extiende hacia el oeste del territorio, entre el mar y la cordillera de la costa.</p> <p>Se encuentra presente desde el límite norte hasta el canal de Chacao por el sur, sin embargo, presenta ciertas interrupciones en la zona norte debido a la presencia del farellón costero. En cuanto a su aspecto, esta se exhibe en una disposición de terrazas marinas, destacando que el número de escalones depende de cada lugar.</p>
Cordillera de la costa	<p>Se ubica frente al litoral, posee una extensión de 3.000 km y un ancho promedio de 40 km. Está presente desde la región de Arica y Parinacota hasta la península de Taitao, Aysén.</p> <p>Se origina a partir de movimientos tectónicos desde el cretáceo medio hasta el cuaternario, siendo una unidad no homogénea ya que los aportes no fueron los mismo a lo largo de ella. Cabe destacar que esta cordillera es más reducida que la cordillera de Los Andes, ya que aquí el movimiento vertical no fue tan potente como en aquella.</p>
Depresión	Se conoce como depresión intermedia al área que se ubica entre

intermedia	<p>la cordillera de la costa y la cordillera de los Andes, esta se puede encontrar desde el límite norte hasta Puerto Montt.</p> <p>Su origen proviene del Terciario, fue en esa etapa cuando comenzó el proceso de “hundimiento” mientras que las otras dos cordilleras se levantaban. Conjuntamente, cuando esta área se deprimía, se fue rellenando con materiales muy diversos aportados por ambas cordilleras, principalmente provenientes de los Andes. A lo largo de Chile, se puede observar en diferentes paisajes, en el sector norte se aprecia como “pampas”, más al sur como Valles transversales y, por último, el sector de valles centrales se presenta en forma de cuencas.</p>
Cordillera de Los Andes	<p>Es el principal rasgo orográfico de Chile, tanto por su tamaño como por su desarrollo, sin embargo, al ser un cordón tan extenso presenta condiciones geomorfológicas diferentes: el sector norte se presenta como una muralla compacta de gran altura, árida y volcánica; el sector central está compuesto por materiales pertenecientes al Terciario superior y al cuaternario, presentando una disminución en altura y aridez, además de estar presente el volcanismo. El sector sur de Los Andes, es decir parte de Chile austral, tiene una composición compleja, ya que en general el rasgo distintivo en esta zona es la intensa acción glacial tanto en la erosión como en la sedimentación.</p>

Tabla 1. Síntesis de geomorfología de Chile.

1.2.4 Pisos vegetacionales de Chile

Chile presenta más 5.000 especies florísticas, de las cuales las herbáceas perenes y arbustos son las que se encuentran en mayor proporción. Debido a las condiciones topográficas de Chile y su extensión es posible encontrar una variada cantidad de climas y ambientes, lo que favorece que exista una alta diversidad en formaciones y comunidades vegetales (Trivelli, 2014). La flora chilena tiene un origen complejo, ya que por un lado es atribuible a una mezcla de orígenes godwánico, donde en sus diferentes épocas geológicas se fue adaptando a los climas hábitat locales; en cambio, la riqueza y endemismo se

deberían a los múltiples cambios florísticos durante el terciario y cuaternario (Muñoz y Moreira, 2004, citado en Donoso, 2007). A continuación, se presenta una síntesis vegetacional de Chile a partir de Trivelli (2014) y Lubert y Pliscoff (2006):

- a) **Zona norte (Región de Arica y Parinacota – Región de Atacama):** En esta zona la vegetación es casi nula debido a las condiciones de aridez y radiación solar. Los puntos en donde se puede encontrar vegetación se reducen a escasas áreas permitidas por la humedad, como lo son salares, oasis, desierto costero, sector preandino y andino, siendo el Tamarugo, Chañar o Pimiento algunas de las especies que se pueden encontrar en esa zona. En el sector costero se pueden encontrar *Nolana* (suspiros) y cactáceas. Entre los 3.000 y 4.000 predomina el *Tolar*, un tipo de matorral en donde conviven diferentes arbustos; ya sobre los 4.000, en la meseta altiplánica, existe mayor heterogeneidad de formaciones, se hayan Pajonales, Bofedales, Llaretas, Queñoales, Tolar del Altiplano y Lampayal.
- b) **Zona central (Región de Coquimbo - Región de Bio Bio):** debido a la mayor disponibilidad del recurso hídrico, se hace posible una mayor diversidad vegetacional, es aquí donde aparece el *Bosque esclerófilo*, el cual consiste en árboles y arbustos leñosos de hojas duras. Su distribución está limitada en cierto grado por la exposición solar y disponibilidad de agua. En quebradas o cursos de agua se pueden encontrar, Peumo, Lingue, Canelo, Arrayan y Patagua, entre otras. En laderas de sombría se hayan, a modo ejemplar, el Quillay, Litre, Molle y Corontillo. Por el contrario, en laderas de solana, esto es en zonas de mayor exposición solar, habitan principalmente el chagual, quisco y colliguay; en zonas planas del valle central es frecuente encontrar es espino, algarrobo, guayacán y maitén. Cabe destacar a una de las especies endémicas de esta zona, la palma chilena, que se encuentra en una progresiva disminución debido a la reducción de su hábitat natural. La vegetación en zonas andinas también presenta cambios, sobre los 1.500 metros se da el matorral arborescente subandino, donde es común el olivillo; sobre los 2.000 metros el matorral alto pasa a uno bajo, donde es frecuente observar el pingo-pingo. Cercano a los 3.000 metros la vegetación que se da es de tipo estepa andina: gramíneas, arbustos bajos y cojines como la Llaretilla. En la cordillera de Los Andes también existe un bosque de coníferas, el cual es representado

principalmente por el Ciprés de la cordillera. La zona central de Chile también está compuesta por el *bosque caducifolio* del género *Nothofagus*, siendo algunas de ellas el Raulí, Hualo y Roble de Santiago. Este se distribuye casi exclusivamente en zonas de gran altitud y comienzan a observarse desde la Región Metropolitana hacia el sur.

- c) **Zona sur y Austral (Región de La Araucanía – Región de Magallanes):** gracias a la pluviometría de la zona se permite el desarrollo de un bosque templado, uno de ellos es la pluviselva Valdiviana, especies de tipo laurifolia, es decir de hoja perenne y de tamaño mediano a grande, en donde conviven grandes árboles, helechos, lianas y alguna epifitas. Sin embargo, es muy frecuente observar bosques mixtos, en donde interactúan el bosque caducifolio con el siempre verde; en las cadenas montañosas es posible encontrar especies del género *Nothofagus* (roble, raulí) y algunas pertenecientes al bosque esclerófilo como el Peumo. El *Bosque siempre verde* se compone de diferentes especies según la disposición geográfica: en sectores bajos y en la cordillera de la costa se haya el olivillo, junto a especies de las mirtáceas como la Peta y el Arrayan, siendo destacable el gran número de helechos y enredaderas que crecen en aquella zona; en sectores de mediana altitud el Coigüe y el Ulmo son los principales protagonistas, los cuales suelen ser acompañados por el Mañío, Tapa, Radal entre otros. Dentro del bosque templado también se encuentra la pluviselva nordpatagónica la cual se caracteriza por una disminución en la riqueza florística debido al descenso de temperatura, ejemplo de ello son el Olivillo y el Ulmo. Sin embargo, las especies que si se encuentran presente son el Mañío hembra, Coigüe, Tineo, Luma y Coigüe de Chiloé, así como también el Alerce, el cual presenta problemas de conservación. Por los cordones boscosos que rodean las islas es habitual encontrar el Tepú y el Ciprés de las Guaitecas, acompañados por pequeños ejemplares de *Nothofagus*, precisamente el Coigüe de Magallanes. El bosque de *Araucaria Araucana* se encuentra en una distribución poco clara, ya que se puede hallar en la cordillera de la costa como en el cordón Nahuelbuta, así como también en laderas de la cordillera de Los Andes, marcando el límite de vegetación, acompañados eventualmente del Coigüe y la Lenga.

1.2.5 Climas de Chile

Sarricolea, Herrera-Osandon y Meseguer-Ruiz (2017) diseñaron una cartografía a nivel nacional que actualiza las zonas climáticas de Chile, realizándolo a partir de la clasificación climática de Köppen – Geiger. A partir de ella logran identificar tres climas existentes en el territorio continental, los áridos (B), templados (C), polares (E) los cuales se distribuyen de norte a sur, sin embargo, la categoría E se encuentra presente debido a la elevación de la cordillera de Los Andes. A partir de estos resultados y en conjunto a la síntesis bioclimatológica de Di Castri & Hajek (1976), se entrega la siguiente caracterización climática a grandes rasgos de Chile:

- a. **Macrorregión norte:** esta zona se comprende entre la región de Arica y Parinacota hasta la región de Antofagasta. Tanto en costa como en interior destaca un clima desértico, con precipitaciones prácticamente nulas, mientras que hacia la cordillera se dan condiciones polares a gran altura y lluvias estivales debido a la influencia amazónica.
- b. **Macrorregión norte chico:** corresponde a las regiones de Atacama y Coquimbo, en donde destaca la aridez hacia interiores y zonas costeras, mientras que hacia la cordillera se presentan climas polares e influencia amazónica durante el verano. La Región de Coquimbo se señala como una región de transición, ya que existe mayor humedad y precipitación durante el invierno, dando paso a áreas de clima mediterráneo.
- c. **Macrorregión zona central:** comprende las regiones entre Valparaíso y Biobío. Gran parte de ella se encuentra bajo un clima templado, tanto el árido como el polar se reducen considerablemente. Hacia la costa existe una influencia marítima que aporta una cuota importante de humedad, sin embargo, esta decrece hacia el interior, situación parecida es lo que ocurre con las precipitaciones, donde los promedios anuales suelen ser mayores en costa que interior, no obstante, desde la Región de Maule hacia el sur las precipitaciones suelen presentar un aumento desde valle a cordillera, así como también de norte a sur.

- d. **Macrorregión zona sur:** entre la Región de la Araucanía y Los Lagos se da un predominio casi exclusivo de climas templados, la tundra solo posee un 2,5% del territorio de la macrorregión. Existe mayor influencia marítima u oceánica en costa y en interior, las amplitudes térmicas son menores y las precipitaciones superan los 2.000 mm, sin embargo, existen condiciones de mediterraneidad en zonas donde la cordillera de la costa presenta mayor altitud y dificulta el ingreso de humedad.
- e. **Macrorregión zona sur austral:** corresponde a las Regiones de Aysén y Magallanes. Aquí destacan principalmente climas polares y en menor medida semiáridos en la Patagonia. Se pueden identificar dos franjas paralelas; una oceánica, con influencias marítimas y bajas amplitudes térmicas, así como precipitación durante todo el año y otra franja trasandina donde se dan condiciones de aridez y mayor oscilación térmica, la temperatura descende a medida que aumenta la latitud.

1.2.6 Infraestructura en cordillera

Chile a lo largo de su cordillera cuenta con dos países vecinos, en la zona norte con Bolivia y desde la Región de Antofagasta hacia el sur con Argentina, por ello que gran parte de las regiones del territorio chileno poseen complejos fronterizos que regularizan el tránsito de individuos y vehículos entre ambos países. Básicamente la demarcación fronteriza fue trazada a partir de las altas cumbres, no obstante, existieron una serie de dificultades por la heterogeneidad y complejidad geográfica de Los Andes (Sagredo, 2016). Sin embargo, está claro que los complejos fronterizos se localizan en zonas de gran altitud, las cuales deben enfrentar adversas condiciones de tiempo durante el año, donde la isoterma 0°C toma gran relevancia en su normal funcionamiento. A continuación, se presentan los actuales pasos fronterizos en Chile y su respectiva altitud.

Región	Complejo fronterizo	Altitud (m s.n.m)	Ciudad/Pueblo más cercano
Arica y Parinacota	Chacalluta	98	Arica
	Paso Chungará	4.678	Putre
	Visviri	4.095	Putre
Tarapacá	Colchane	3.690	Colchane
Antofagasta	Hito Cajón	4.549	San Pedro de Atacama
	Jama	4.200	San Pedro de Atacama,

Región	Complejo fronterizo	Altitud (m s.n.m)	Ciudad/Pueblo más cercano
			Calama
	Sico	4.080	Socaire
	Ollagüe	3.695	Calama
Atacama	San Francisco	4.748	Copiapó
	Barrancas Blancas	4.167	Copiapó
Coquimbo	Agua Negra	4.779	Paihuano
Valparaíso	Los Libertadores	3.220	Los Andes
Maule	Pehuenche	2.553	San Clemente
	Vergara	2.505	Curicó
Biobío	Pichachén	2.062	Antuco
Araucanía	Pino Hachado	1.884	Lonquimay
	Icalma	1.300	Melipeuco
	Mamuil Malal	1.210	Curarrehue
Los Ríos	Hua Hum	659	Panguipulli
	Carirriñe	1.223	Coñaripe
Los Lagos	Cardenal Samoré	1.305	Osorno
	Rio Encuentro	425	Palena
	Futaleufú	335	Futaleufú
	Peulla	-	Ensenada
Aysén	Coyhaique Alto	795	Coyhaique
	Huemules	523	Balmaceda
	Pallavicini	327	Puerto Ibáñez
	Jeinimeni	234	Chile Chico
Magallanes	Integración Austral	163	Punta Arenas
	Dorotea	605	Puerto Natales
	Casas Viejas	240	Puerto Natales
	Rio Don Guillermo	260	Puerto Natales
	San Sebastián	17	Porvenir
	Bellavista	113	Porvenir

Tabla 2. Pasos fronterizos de Chile. (Fuente: Unidad de Pasos Fronterizos, 2018).

Como se puede observar en la Tabla 2 y Figura 2, la concentración de pasos fronterizos se da en la zona norte y sur austral del país, posiblemente debido a la cercanía de centros urbanos en territorio argentino. Cabe destacar el sostenido descenso de altitud de la localización de pasos fronterizos de norte a sur, oscilando entre los 4.700 en la zona norte, hasta los 200 m.s.n.m. en la zona austral. Esto es proporcional a lo que ocurre con el comportamiento de la cordillera de Los Andes, es decir, su paulatino descenso a medida que incursiona hacia la zona austral del continente.

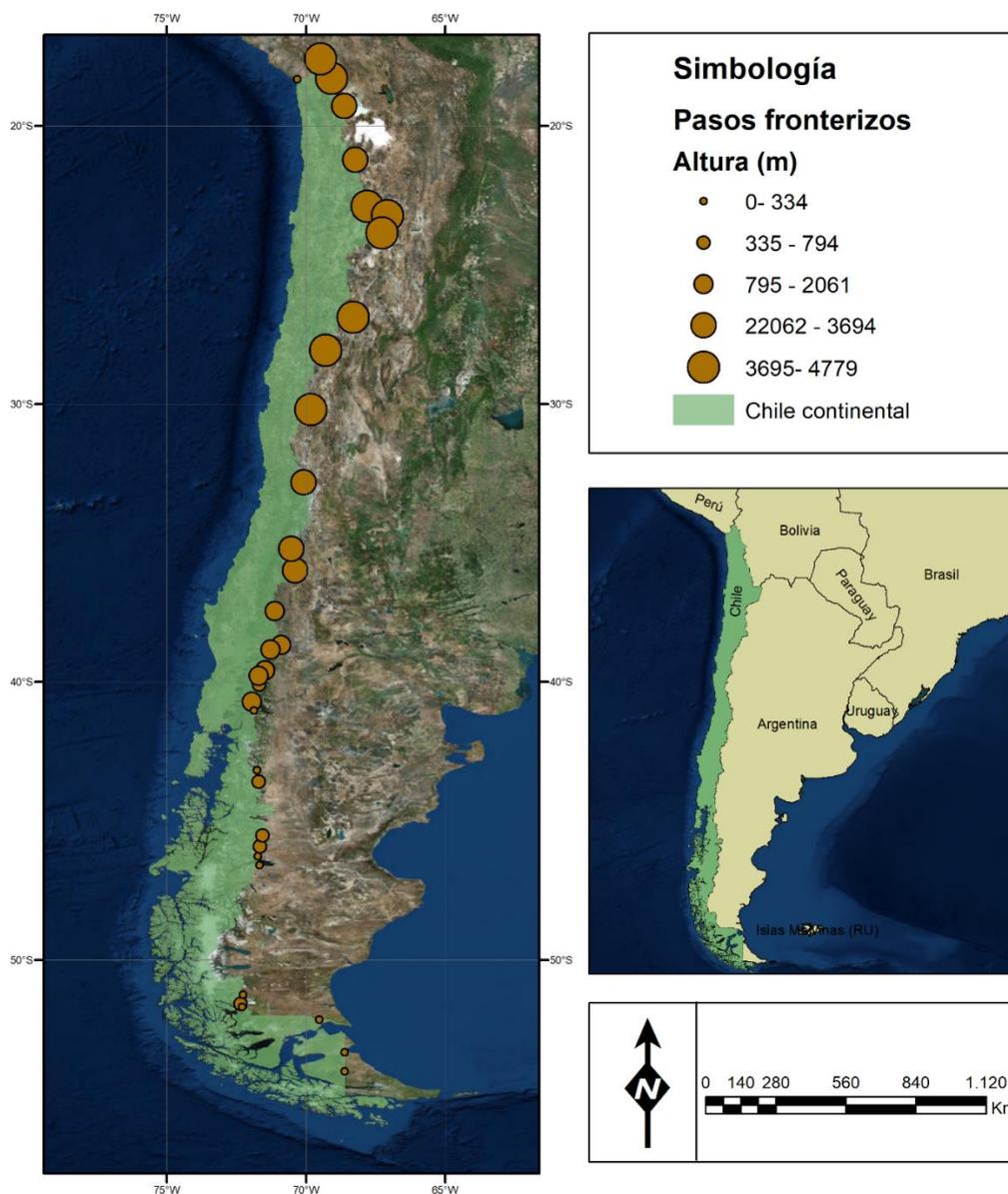


Figura 2. Pasos fronterizos de Chile. (Fuente: Unidad de pasos fronterizos, 2019)

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general:

Analizar el comportamiento temporal y espacial de la isoterma 0°C a partir de datos de radiosonda en el territorio chileno, validando la metodología empleada con otros modelos utilizados y asociando dicha isoterma con eventos de precipitación.

1.3.2 Objetivos específicos:

- O1: Determinar trazado de isoterma 0°C estacional a nivel nacional a partir de datos de radiosondas (estaciones nacionales continentales).
- O2: Comparar metodología empleada con otras fuentes, utilizando diferentes cuencas hidrográficas de Chile
- O3: Evaluar la tendencia que ha presentado la isoterma 0°C y adicionalmente aquellos días en que se presentan eventos de precipitación.

2 Estado del Asunto

2.1 Espacialización de variables climáticas

Diversas investigaciones expresan lo necesario que es una representación gráfica visual de las variables climáticas en una región determinada. Pese a sus múltiples dificultades debido a la insuficiencia y dificultad de acceso a la información, la espacialización consiste en llevar información empírica a una dimensión espacial, apaleando las necesidades de diferentes disciplinas, las cuales requieren este producto para entender y analizar el comportamiento de los procesos estudiados en el territorio (Marzo, 2016).

El método de Espacialización de información climática suele ser la interpolación espacial, la que es definida como el proceso mediante el cual se predice el valor de una variable en un punto no muestreado del espacio a partir de los valores de la misma variable, tomados en uno o varios puntos del mismo espacio (Burrough y McDonell, 1998). Proceso análogo es la regresión polinómica, un procedimiento más arraigado a la estadística y la que tal como su nombre indica no es lineal. El análisis de regresión consiste en ajustar un modelo a los datos, estimando coeficientes a partir de las observaciones o datos empíricos, con el fin de predecir valores de la variable de respuesta a partir de una regresión (Vinuesa, 2016). Este método puede ser considerado como una interpolación debido que, a partir de datos muestreados, la línea de tendencia difícilmente será lineal en una variable climatológica y por ello una línea polinómica se adapta mejor a los rangos entre medición.

2.2 Clima de montaña

La isoterma 0°C se encuentra presente en toda la estructura vertical de la atmosfera, sin embargo, esta se hace relevante y a la vez evidente principalmente en cordones montañosos o altas cumbres volcánicas, tal como lo avalan las imágenes satelitales.

El clima de montaña hace referencia a las condiciones climáticas que se dan sobre los 1.000 metros de altura. Las cadenas montañosas juegan el rol de barreras climáticas, por lo general en zonas extratropicales la ladera de barlovento presenta condiciones húmedas y frías, mientras que la zona de sotavento predomina el aire cálido y seco. Ahora bien, es

sabido que dichos cordones montañosos suelen tener gran extensión latitudinal, por lo que deben enfrentar diferentes ambientes, ya sea vegetacionales, glaciares o de presencia de isoterma 0, lo que permite que se vayan dando alternancias entre macro y microclimas (Kholer, Wehrli, Jurek, 2014). La precipitación en los Andes no sigue un patrón lineal, sino que está determinada por la orografía andina y la influencia de los vientos locales predominantes, lo que determina su alta variabilidad temporal y espacial (Buytaert et al., 2010). Los Andes centrales (Chile-Perú-Bolivia) presentan una estacionalidad marcada debido a la distancia con el Ecuador. Hacia la zona occidental, es decir el territorio chileno, está muy condicionado por el anticiclón del Pacífico Sur, el cual genera estabilidad y aridez en la zona norte, sin embargo durante el verano incursiona humedad proveniente de la cuenca de las amazonas y permite la ocurrencia de precipitación en las zonas altas de Los Andes a la altura del norte chileno, fenómeno más conocido como “invierno altiplánico”. Hacia el sur de la cadena, las precipitaciones de nieve se concentran en los meses invernales gracias al incursionamiento de sistemas frontales, por su parte la precipitación líquida es común en meses de verano debido a las lluvias convectivas (Cuesta et al, 2012). Saavedra et al. (2018) realiza una descripción climática del cordón de Los Andes a partir de varios autores, se determina que entre los paralelos 17°S y 31°S corresponde a una zona hiperárida, donde la cobertura de nieve estacional es muy escasa en las altas cumbres (>5000m). Ya en áreas extratropicales, es decir entre los 31°S y 35°S, las temperaturas tienden a la baja y las precipitaciones son mayores, lo que permite una capa de nieve significativa, destacando la estrecha relación que existe entre la precipitación y la capa de nieve estacional en los Andes centrales. Hacia la cordillera austral las precipitaciones se concentran exclusivamente en el lado de barlovento de la cordillera de Los Andes, coincidiendo así con los Campos de Hielo Norte y Sur ubicados en la Patagonia chilena (Carrasco et al, 2011). El clima de Chile se encuentra influenciado por El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), ya que cuando éste se encuentra presente las precipitaciones suelen estar sobre los promedios, caso contrario es con la presencia del fenómeno de La Niña, donde las precipitaciones se presentan con déficit considerables y conlleva graves impactos en el territorio. Así mismo, otras variables que inciden en las precipitaciones de Los Andes son la oscilación antártica (AAO) y la oscilación decadal del Pacífico (PDO) (Saavedra et al, 2008). El clima de montaña en Chile está determinado por una serie de factores

atmosféricos y oceánicos, los cuales tienen diferentes impactos a lo largo del cordón montañoso. Cabe destacar que el territorio chileno posee principalmente el lado occidental o de barlovento de Los Andes, exceptuando la zona austral donde algunas ciudades están ubicadas en el lado oriental, como lo es Punta Arenas, capital regional de Magallanes. Si bien el tiempo atmosférico es dinámico, este posee ciertos patrones que marcan estacionalidades climáticas de algunas variables, sin embargo, estas se ven alterados por cualquier mínima alteración en la atmósfera u océano.

2.3 Isoterma 0°C

En general existe gran consenso en los autores al hablar del concepto de isoterma 0°C. Una definición histórica la define como el límite de sectores entre la precipitación líquida y sólida y que suele ser uniforme en una región (Seguel y Stowhas, 1985). Por su parte la dirección meteorológica (2015), entidad pública de servicios climatológicos y meteorológicos de Chile, la define como el punto donde la temperatura del aire es igual 0°C, por lo tanto, sobre esta altitud la precipitación es en estado sólida, así como las fluctuaciones de altura se deben a variaciones de la temperatura del aire producto de un calentamiento o un enfriamiento troposférico. Mientras que Garreaud (1993) avala esta línea de definición, añade que esta puede ser calculada a través de la temperatura registrada en perfiles verticales de radiosonda. Carrasco et al (2009) trabaja con las 4 estaciones de lanzamiento en Chile en un periodo de 10 años para calcular la altitud de isoterma 0°C, incorporando un gradiente latitudinal para identificar el promedio anual de esta variable en cada grado y minuto de latitud y, de esta forma, poder calcular y ver su variación de norte a sur, para lo que formula una ecuación polinómica. Por lo tanto, la elevación de la isoterma 0°C dependería del grado latitudinal debido a la radiación solar y, por ende, a los cambios estacionales que implica los movimientos de traslación de la Tierra. De esta forma, se puede determinar que la isoterma 0°C tiene dos comportamientos paralelos, por un lado el altitudinal y, por otro lado, el latitudinal, los que conjugados van determinando la altitud y posicionamiento sobre la superficie de la tierra.

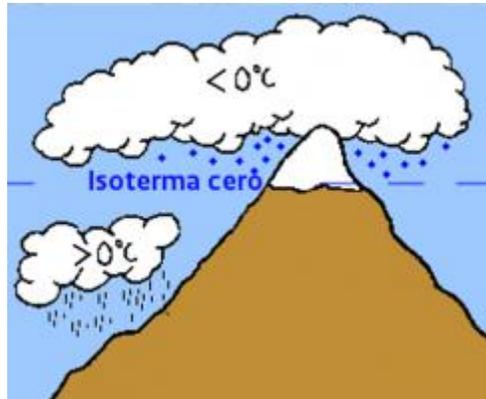


Figura 3. Diagrama de Isoterma 0°C. (SERNAGEOMIN, 2018).

Investigaciones de isoterma 0°C suelen vincularse con la ELA (Equilibrium line altitude), sin embargo, dichas altitudes no son lo mismo ya que la ELA es un concepto utilizado en el área de la glaciología e hidrología y es definida como el lugar del glaciar donde el balance de masa neto es igual a cero (acumulación = ablación) y define el límite entre la zona en que el glaciar gana masa neta (zona de acumulación) y la zona en que pierde masa neta (zona de ablación) (Cuffey & Paterson, 2010). Un aumento de precipitación o disminución en la altura de los 0°C generará una disminución en la ELA, mientras lo contrario ocurrirá si disminuye la precipitación o aumenta la elevación de los 0°C. Debido a lo mencionado anteriormente, es posible observar la importancia que tiene para los glaciares asentados sobre la cordillera de los Andes el estudio de la variación de la isoterma 0°C, ya que ella permite evaluar cómo se comportarán frente a los cambios del clima observados en las últimas décadas (Sepúlveda, 2016). Por lo tanto, si bien existe una relación entre estas líneas altitudinales, estas no necesariamente deben ser similares, ya que cada una responde a procesos disímiles.

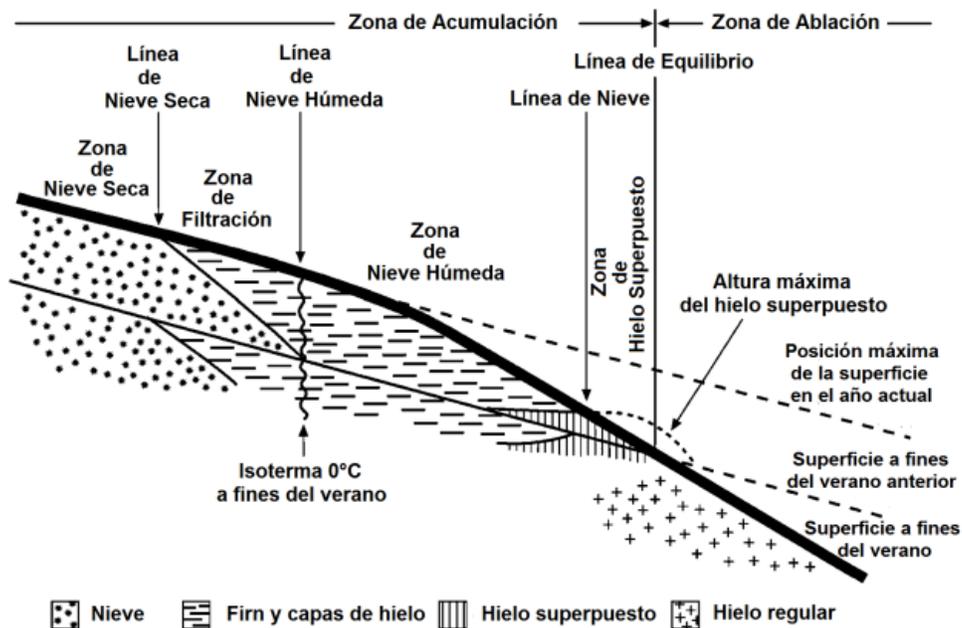


Figura 4. Zonas de un glaciar. (Cuffey & Paterson, 2010).

Otra acotación que es importante señalar es el punto o la temperatura donde cae la nieve, ya que si bien se puede determinar la altitud de la tropósfera, esto no significa que la nieve caiga exactamente en aquella altura, puesto que la precipitación sólida puede darse inclusive con temperaturas ligeramente positivas. Ferraz (1982) respalda lo anterior y señala que la caída de nieve dependerá de diferentes factores más allá de la temperatura del aire, como lo son; la importancia de la precipitación, el viento y el balance de radiación en la superficie. Si bien la isoterma 0°C es un factor determinante al momento de la caída de precipitación sólida, también existen otras variables que, sumadas a la heterogeneidad de la geografía y microclimas presentes en la cordillera, explicarían su diverso comportamiento a lo largo de la cordillera.

2.4 Calentamiento global y riesgos

El calentamiento global plasma sus impactos directamente en las variables climáticas y, por ende, en el territorio. Este fenómeno es definido como un cambio en el clima atribuido a las actividades humanas y que sus impactos se refieren a una escala de tiempo de largo plazo, donde se pueden distinguir eventos vinculados a cambios en el clima, ya sea por el efecto antrópico (principalmente aportes de gases de efecto invernadero), como también por la variabilidad climática natural (Aldunce, Neri y Szlafsztein, 2008). Los escenarios

proyectados hacia el sector cordillerano sugieren una irregularidad en la caída de nieve, aumento de las temperaturas y disminución del grosor de la nieve (OMT, 2013). Por lo tanto, la zona cordillerana no queda ajena a los impactos que implica el calentamiento global. Chile, así como también países que comparten la Cordillera de Los Andes, dependen de la acumulación nival en el periodo de precipitaciones para el abastecimiento de agua en sus centros poblados, es por ello por lo que el alza de temperaturas vinculadas a las modificaciones climáticas conlleva a una elevación de la isoterma 0°C, provocando preocupación en el provisionamiento del recurso agua (Barnett et al., 2005; Brown and Mote, 2009, en Saavedra et al, 2018).

“Esto (aumento de la temperatura) estaría generando un mayor aporte volumétrico aguas abajo, lo que queda de manifiesto al relacionar las variables precipitación v/s caudal. Así, existe en la época invernal un mayor volumen de agua que escurre en forma líquida, porque como producto de la ascensión de la isoterma cero, se verifica una disminución de los volúmenes de agua que quedan como reserva en las altas montañas, en forma de hielo y nieve” (Carrasco et al, 2011, p.16).

Se habla que en un corto plazo será posible encontrar una mayor disponibilidad del recurso debido a las inundaciones y anegamientos (mayor fusión), no obstante, en un mediado a largo plazo el problema sería la escasez del agua. Por lo tanto, las consecuencias están claras y ya no son alarmistas, los problemas originados a estos eventos de gran intensidad ya se hacen presente en el territorio y prometen agudizarse en los próximos años (Ferrando, 2012). Por lo cual el tema hace necesario su estudio, ya que se trata de un fenómeno variable y dinámico, por lo tanto, es de vital importancia tomar medidas en el asunto tanto en el corto como en el mediano plazo.

“Una línea de nieve que se eleva y un permafrost que se descongela podrían incrementar el riesgo de amenazas naturales y acelerar las tendencias de calentamiento debido a una menor reflectancia. Los cambios en estos límites pueden tener consecuencias drásticas para los ecosistemas (por ejemplo, en relación con los hábitats de las especies) e influir sobre las amenazas naturales, el potencial económico y el uso de la tierra” (Kholer, Wehrli, Jurek, 2014, p8).

En lo referente a la altitud de la isoterma 0°C, su aumento implica y desencadena diferentes impactos en el territorio y paisaje de montaña, no quedando ajeno de ello la biodiversidad. Moreno y Ruiz (2016) señalan que las áreas montañosas ya presentan una presión y sobreexplotación antrópica, sumado a ello al ascenso de la temperatura del planeta producto del calentamiento global, en los ecosistemas de montaña uno de los efectos son el retiro y/o desaparición de especies alpestres. Por otro lado, un aumento de la isoterma 0°C trae consigo una contracción de los glaciares, lo cual modifica la retención de agua en la montaña, afectando a los ecosistemas que se ubican agua abajo, ya que la alteración de la disponibilidad del recurso significa una fragilidad y trabajo de adaptabilidad en su ecosistema natural. Por ejemplo, una disminución de caudales o causas hidrológicas complica la alimentación y desove de muchas especies.

“Las especies montañosas tienen una capacidad muy limitada de desplazarse a altitudes más altas como respuesta al aumento de la temperatura, lo que ocurre sobre todo en las “islas montañosas”, donde están presentes principalmente especies endémicas” (Moreno y Ruiz, 2016, p.26)

En el área andina de América Latina el porcentaje de especies amenazadas alcanza el 77% de los ecosistemas, en cuanto a las especies endémicas de zona montañosas destacan el alto endemismo que presentan, 57% de aves se encuentran amenazadas, 80% de anfibios y 34% mamíferos (CONDESAN, 2011)

Ligado al cambio climático se pueden generar eventos extremos, es decir eventos meteorológicos que pueden ser de larga duración o alta intensidad capaces de causar una cifra importante de víctimas fatales y pérdidas económicas. Estos eventos potenciados por el cambio climático permiten que ellos sean más frecuentes y de mayor intensidad, por lo tanto, los períodos de retorno se hacen cada vez más cortos (Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2011). Gran parte de los eventos meteorológicos poseen un estrecho vínculo con la cobertura nival, estos pueden ser precipitaciones intensas con una isoterma 0°C elevada u olas de calor que impliquen un ascenso de la isoterma 0°C, provocando un derretimiento de la nieve acumulada y consecuentemente un aumento en los caudales. Ambos casos comprometen un riesgo inminente a la integridad de la población y sus actividades económicas.

2.5 Implicancias socioeconómicas debido a isoterma 0°C

Price (1998) señala que una décima parte de la población se localiza y depende de las zonas cordilleranas para su subsistencia, por lo general allí se localizan comunidades indígenas quienes llevan a cabo diferentes actividades de menor escala, algunas de ellas son productivas, ganaderas y silvícolas, las cuales generan un cierto grado de explotación a los recursos en zona de montaña. Así como también hoy en día se observa un crecimiento de las grandes urbanizaciones, extendiéndose a zonas precordilleranas, de esta manera conllevando los riesgos asociados a la variabilidad del comportamiento de la isoterma 0°C. Sepúlveda y Padilla (2008) mencionan los riesgos de remoción en masa están vinculados a la altitud de la isoterma diaria y a la acumulación de lluvias en días anteriores.

Por otro lado, existen actividades económicas de mayor escala que requieren del recurso nieve para su desarrollo, una de ellas es la minería, industria extractiva localizada principalmente el norte de Chile orientadas en el sector cordillerano debido a la cercanía de esta materia prima, así también la generación de electricidad por hidroeléctricas y el rubro turístico de nieve.

La minería depende del agua para sus diferentes procesos de producción, no obstante, se habla que esta actividad tiene un triple impacto en el territorio donde se localice, por un lado, consume agua, por otro, contamina el agua y por ultimo destruye las fuentes de agua (Monge, Patzy, y Viale, 2013). Por lo tanto, sumado al nuevo escenario de cambio climático en zonas semiáridas o áridas, esta situación agudiza aún más la disponibilidad hídrica en aquellos sectores, la minería suele ubicarse en las partes altas de las cuencas, por lo tanto, deja en peligro o en cierto grado de desventaja a la cuenca abajo, donde se localizan los poblados y también requieren del recurso para su subsistencia. Por lo tanto, la minería pone en amenaza sus propios recursos hídricos y los cuerpos glaciares de los cuales depende su funcionamiento, es decir, sin un desarrollo sostenible que frene la tendencia a la reducción de los glaciares, los recursos no serán suficientes para su producción.

Las hidroeléctricas son una fuente de energía más utilizada a nivel mundial, esta se genera a partir del flujo hídrico, suelen ubicarse en zonas de la cuenca alta, donde los caudales son mayores, sin embargo, frente al escenario de cambio climático las condiciones del espacio se están modificando, por un lado, tenemos el ascenso de temperaturas y por otro la

disminución de las precipitaciones, conjugando ambas variables se puede determinar un panorama desfavorable para esta actividad energética. Barañaño (2011) determina que se espera un ascenso en la isoterma 0°C , lo que conlleva a una pérdida del rol amortiguador que tiene la cordillera de Los Andes, por otro lado, se generarían mayores escorrentías instantáneas debido a los eventos de precipitación con mayor volumen de agua, dicha situación implica un volumen de agua considerable que no puede ser aprovechada por las centrales, por otro lado, se esperan caudales inferiores durante el periodo de deshielo ya que habrá menor acumulación de nieve durante el invierno y por último señala que el periodo de estío (menores caudales) serían aún más largos. Barañaño (2011) también habla de la calidad de agua, ya que con un aumento de la cota nieve la turbiedad del agua imposibilitará su utilización para la generación de energía, sumado a ello habría mayor cantidad de arrastre de objetos impidiendo el correcto funcionamiento. Para Ellena (2013) si bien el cambio climático implica un desafío para la generación hidroeléctrica, por otro lado, ha demostrado que su infraestructura jugaría un rol importante en un mediano plazo, ya que las represas permiten un almacenamiento de agua el cual puede ir siendo parcelado durante los meses más críticos de escasez. Sí este tipo de instalaciones se masificasen habría mayor disponibilidad del recurso, no solo para la industria generadora de electricidad, sino para otros sectores que dependen del agua para su desarrollo y productividad, como lo es la agricultura, la cual responde a la seguridad alimentaria.

Los servicios y actividades de nieve (hotelería, esquí y escalada en hielo) ubicados en la zona montañosa dependen de la cobertura nival para su apertura y normal funcionamiento, el gran atractivo son las actividades que se pueden realizar allí y el paisaje invernal que puede brindar. Las temporadas de esquí cada vez se hacen más cortas, inclusive se ha llegado a inviernos donde la acumulación no es suficiente para dichas actividades, esto se deriva del calentamiento global lo que permite que la isoterma 0°C vaya siendo más alta que hace 50 o 100 años atrás (Román, 2005). El año 2014 fue un año crítico para los centros invernales, aquel año se registraron interrupciones durante la temporada, al punto que el centro Penitentes (Región de Valparaíso) aquel año no pudo abrir debido a la falta de nieve (Sernatur, 2014). La cota mínima de los andariveles de los centros de esquí ha tenido

que adaptarse a los cambios en la línea de nieve, ascendido desde 2400 m.s.n.m. en 1950 a 2960 m.s.n.m. en 1987 (Enríquez et al., 2010, en Carrasco et al, 2011).

Las regiones de montaña son destinos importantes para el turismo global. La cubierta de nieve y los paisajes de montaña prístinos, los principales atractivos para el turismo en estas regiones, son las características más vulnerables al cambio climático. Además de los impactos negativos, el cambio climático también puede brindar oportunidades en las áreas de montaña. Si bien la temporada invernal podría acortarse, la temporada de verano podría alargarse, brindando oportunidades para otros tipos de actividades al aire libre y negocios turísticos que los proveen (por ejemplo, trekking, caminatas, ciclismo de montaña, etc.) (OMT, 2008, p.7).

Por lo tanto, el rubro turístico ya ha notado o está al tanto de los cambios que se están dando en la montaña en los últimos años, se está debatiendo y proponiendo medidas de mitigación y adaptación frente al cambio climático, el rubro propone acciones que permitan su continuidad. Si bien la nieve ha ido escaseando o aumentando la altura de la línea de nieves el turismo es optimista espera reivindicarse mediante la diversificación de actividades al aire libre, así como también con la concientización y educación hacia turista de montaña.

2.6 Planificación estratégica del territorio

Hacer parte las variables climáticas en una planificación estratégica es fundamental y a la vez necesario para un uso sostenible del territorio y sus recursos. Esta rama de la planificación es parte de la evolución que ha tenido la forma en como nos relacionamos y utilizamos el territorio. La planificación territorial estratégica consiste en una metodología participativa donde se fijan las fortalezas y debilidades que poseen de un territorio con la finalidad de plantearse caminos estratégicos y llegar a ser una región competitiva (Elizalde, 2003). Dichos caminos permiten una democratización, descentralización y fortalecimiento del desarrollo local, logrando un desarrollo sustentable, cabe destacar que este tipo de planificación suele presentar ciertos alcances a la hora de toma de decisiones ya que muchas veces las iniciativas son por parte de la sociedad civil o del estado, sin embargo con el sistema capitalista imperante muchos de los recursos se encuentra en manos de privados,

por ello es importante un trabajo en conjunto, con todos los actores presentes en el territorio (Jadue, 2009). Chile no está ajeno de lo señalado por este último autor, actualmente gran parte de la zona montañosa está en manos de grandes empresas multinacionales, sobre todo del sector minero y energético, lo que implica un dialogo más frío y distante entre las partes, comunidad-industria, lo que implica un desafío mayor a la hora de una coordinación y consiguiente planificación en pos de la conservación y desarrollo sostenible del territorio, sin embargo la mejor manera de enfrentar y llevar a cabo una planificación exitosa es el trabajo paralelo de cada entidad, siempre en una sola dirección con la finalidad de lograr un equipo complementario.

“Es posible mejorar la planeación e implementación de medidas de adaptación mediante acciones complementaria en todos los niveles, desde los individuos hasta los gobiernos (alta confianza)” IPCC, 2014, p.2.

Barton (2009) recalca la necesidad de integrar al cambio climático como una dimensión clave en la planificación estratégica tanto a nivel regional como local. El tema de la planificación territorial estratégica se encuentra estrechamente vinculada a la adaptación, la que según el IPCC (2007) la define como toda acción de ajuste de un sistema humano o natural para hacer frente algún cambio en el medio, como lo es el actual escenario de cambio climático y también el proyectado. La secretaria de Ambiente y desarrollo de la nación de Argentina (2011) ejemplifica algunas de estas acciones, algunas de ellas son cambios en los procesos, prácticas, y estructuras para atenuar los daños potenciales y a su vez generar beneficios del cambio climático sí es que los hay.

Cabe destacar que las adaptaciones suelen ser de dos tipos; estructurales y no estructurales, las primeras corresponden a resultados tangibles, como la construcción de reservorios o piscinas decantadoras, por el otro lado las no estructurales se refieren al desarrollo de capacidades en la población, ya sea concientización, educación o políticas sustentables con el fin de volverse más resilientes al cambio climático (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2011).

En Colombia existen los “planes de vida adaptativo”, los cuales son documentos de enfoque comunitario, es decir realizados a partir de la comunidad, estos se realizan en cada unidad hidrológica (cuena), en esta instancia se busca recopilar información sobre

acciones o medidas realizadas por la comunidad en sus predios. Dicha información recopilada es analizada y contemplada en las medidas de planificación y toma de decisiones a escala nacional y municipal, de esta manera se intenta aumentar la resiliencia hídrica al cambio y variabilidad climática (Proyecto Adaptación al Cambio Climático en Alta Montaña, 2018).

La importancia de planificar para la reducción de riesgos recae mediante planes de adaptación tanto en políticas como en acciones tangibles, como lo son la construcción de reservorios artificiales de agua en reemplazo de glaciares. Torres (2014) aborda el tema de la adaptación en montaña frente al cambio climático desde la perspectiva de la agrobiodiversidad, reconoce el ascenso de la isoterma 0°C y el retroceso de los glaciares, es por ello que destaca el fuerte rol que cumplen las cadenas montañosas al ser centro de origen y domesticación de muchas especies tanto vegetales como animales así como también la importancia del origen del agua para el abastecimiento al resto del territorio, sin embargo, el tema de la escasez de agua está preocupando a muchos investigadores y habitantes de la zona, el autor hace énfasis en una gobernabilidad del agua y su debida adaptación, donde las políticas públicas tengan una visión más amplia e integral, esclarecer los roles y responsabilidades de las autoridades del sector público así como también a los usuarios del agua, preocuparse tanto de la conservación y sostenibilidad como también en el uso y extracción.

Es así como una serie de medidas de mitigación se han ido gestionando y proponiendo para ir apaleando los efectos que el cambio climático implica en las zonas de montaña, sin embargo, la adaptación también propone sacar beneficios ante el adverso panorama y en este caso se sugiere un aprovechamiento y buena gestión de los recursos hídricos disponibles actualmente y hacia el corto plazo, donde las proyecciones señalan una mayor cantidad en relación al largo plazo. Situación similar se encuentran el resto de las actividades que se desarrollan en montaña, contar desde ya con planes de mitigación y adaptación, anticiparse a las consecuencias que conlleva el cambio climático.

3 Metodología

La metodología empleada en esta memoria es principalmente de carácter cuantitativa ya que se trabaja con datos arrojados desde un radiosonda y superficies climáticas satelitales, esta investigación es de tipo exploratoria ya que corresponde al estudio de una variable climatológica poco investigada como lo es la isoterma 0°C, la metodología empleada hace referencia a una propuesta procedimental, la cual busca ser validada mediante datos satelitales y posteriores comparaciones de datos.

3.1 Recopilación de datos, cálculo y especialización de isoterma 0°C

3.1.1 Recopilación de información

Actualmente la DMC cuenta con 4 estaciones que realizan lanzamiento de radiosonda a nivel nacional y continental, por el norte se ubica la de Antofagasta (SCFA), en la zona central se encuentra la estación de Santo Domingo (SCSN), la que sustituyó a la antigua estación de Quinteros (SCER), hacia el sur se localiza la estación de Puerto Montt (SCTE), y en la zona austral del país se encuentra la estación de Punta Arenas (SCCI), adicionalmente cuenta con una estación en territorio insular, la de Isla de Pascua (SCIP) pero como señaló anteriormente esta investigación sólo analiza la isoterma 0°C en territorio continental.

Los datos históricos de radiosonda se encuentran en una red mundial de datos, que es administrada por el departamento de ciencias atmosféricas de la Universidad de Wyoming de EE. UU. Estos fueron solicitados vía email, indicando la finalidad de los datos. Cabe destacar que estos se encuentran limitados al periodo de años que se encuentran instaladas, por lo tanto, no todas las estaciones tienen el mismo rango de años. Paralelamente se realizó un script en el programa R para la descarga de datos, para contar con una constatación de datos fidedignos. Los datos recopilados fueron recibidos en formato .out. por lo que fueron llevados a un formato .txt. para que Excel pueda leerlo y trabajar con ellos.

Mediante el programa informático de Excel, exactamente con la herramienta de macros (Visual Basic) se creó un código (ver anexo N°1) el que permitió una estandarización de

registros a una estructura tipo base de datos, desde la cual permitió la identificación de isoterma 0°C. En primer lugar se identifica la matriz hora y día, luego desde el primer registro día/hora se recorre la temperatura hasta encontrar la primera temperatura negativa con la cual se calcula la altitud de isoterma 0°C vía regresión lineal (considerando su registro altitud más el registro de altitud y temperatura del registro positivo anterior), a partir de ella se continua el recorrido sobre los siguientes diez registros siguientes (altura arriba) para revisar la tendencia que existe sobre la primera isoterma (tropósfera arriba). En caso de darse una segunda isoterma 0°C el programa también realizó los cálculos de altitud, la diferencia de altitud que existe en el quiebre de temperatura en cada isoterma 0°C, y el diferencial de temperatura que ocurre entre las dos isotermas. Por último, se aplicó una limpieza de datos, que consiste en un filtro horario, se trabaja sólo con datos de 12Z en todas las estaciones, dado que se encuentra mayor cantidad de datos en este registro y con la finalidad de trabajar con datos homogéneos.

3.1.2 Ráster de latitud

Para la creación de un ráster de latitud se utilizó la herramienta Trend del software ArcGis, este se crea a partir del área deseada, para ello es necesario crear al menos 4 puntos georreferenciados, de preferencia en los límites del área, a partir de ellos se genera una interpolación rectangular creando el ráster de latitud a partir de la coordenada Y. Es importante trabajar con el mismo tamaño de píxel que posee el otro ráster con el que se trabaja (SRTM), para que exista mayor exactitud en los cálculos estadísticos que se hacen posteriormente en la calculadora ráster.

3.1.3 Elección de isoterma 0°C

Existen registros diarios que presentan dos isoterma 0°C, es decir dos inversiones térmicas a diferentes altitudes, el método de esta elección de isoterma diaria en un mismo registro/vuelo fueron diferente para los sitios de lanzamiento trabajados.

Las estaciones de Antofagasta y Santo Domingo fueron trabajadas manualmente ya que cuentan con menos registros y a la vez menos días con “doble isoterma”. Para ellas se consideraron las isotermas de días anteriores y posteriores, así como también el rango de temperatura de ambas inversiones, si este valor es menor a 1°C se considera la primera

isoterma, si este número era superior se pasa a un análisis más detallado con los días próximos.

Las estaciones de Puerto Montt y Punta Arenas poseen registros más grandes y mayor porcentaje de días con dos isotermas. Para ello se elaboró un procedimiento en una macro de Excel que permitió; identificar los días consecutivos cuando se produce dos isotermas, (ya que se analizó el día antes y después). Este procedimiento permitió también el cálculo de promedios de altitudes de días anteriores y posteriores al día que ocurra inversión (promedios que fueron validados previamente por un filtro de valores extremos), este cálculo se aplicó tanto a la primera y segunda isoterma. De esta forma fue posible determinar qué promedio se encuentra más cercano a la isoterma correcta (Ver Anexo N°2).

3.1.4 Corroboración con vuelos completos

En la base de datos de la Dirección meteorológica existen vuelos completos de radiosonda, estos son datos extraídos desde el Centro Regional de Comunicaciones (CRC) debido a que los datos tienen un formato binario estos debieron ser decodificados en formato txt. sin embargo, la recepción de esta base es reciente, sólo se encuentra información desde octubre del año 2017 aproximadamente. Este procedimiento no se realizó de manera sistemática debido al factor tiempo, por ello fueron seleccionados 10 vuelos mensuales para examinar sus datos, esto se realizó con el propósito de conocer el grado de error que hay entre los datos trabajados provenientes de Wyoming y los vuelos completos.

3.1.5 Estadísticas

Estos cálculos se facilitaron gracias a una tabla dinámica de Excel, este permitió entregar promedios mensuales de isoterma 0°C de cada año que exista en la serie. Adicionalmente permitió el cálculo de promedios estacionales, lo cuales fueron utilizados en este trabajo. Los meses que poseían menos de 15 registros, lo que corresponde al 50% aproximadamente de datos, fueron descartados del análisis, con el propósito de contar con datos realmente representativos del mes y que no alteraran los promedios estacionales. Una vez obtenidos los valores promedio de isoterma estacionales (verano, otoño, invierno y primavera) en cada estación, se determinó **una regresión polinómica** de tercer orden utilizando la latitud

como variable independiente. Se escogió este tipo de regresión ya que su línea de tendencia tiene mayor coherencia con publicaciones anteriores de isoterma 0°C, además presenta buena adaptación a zona inter estaciones de radiosonda. Fueron consideradas las estaciones astronómicas, es decir la estación de verano corresponde a los meses de diciembre, enero, febrero, la estación de otoño a los meses de marzo, abril y mayo, la estación invierno a junio, julio y agosto y la estación primavera a los meses de septiembre, octubre y noviembre.

3.1.6 Espacialización

Los coeficientes numéricos de las ecuaciones de regresión fueron ingresados a la calculadora ráster de ArcMap, donde se trabajó con un ráster de latitud previamente creado. Como resultado arrojó un nuevo ráster con la altitud calculada en cada pixel del ráster de latitud. Posterior a ello se realizó un nuevo cálculo, esta vez una sustracción entre el SRTM (modelo de elevación digital) del territorio chileno continental con el ráster producto de la regresión con la finalidad de encontrar los píxeles que coinciden y por lo tanto dieran como resultado el valor 0 (intersección que marca la altitud registrada por la curva de regresión). Luego se le aplicó un cálculo de curva de nivel con la herramienta de “Contour”, creando líneas con el mismo valor, de aquí se hizo una selección por atributos, donde se escogieron las isolíneas de valor 0 y se exportan como nuevo shapefile. El procedimiento descrito se efectuó en cada estación del año, donde los resultados fueron disímiles debido a que los valores de la ecuación son distintos.

3.1.7 Cálculo de superficies

Para entender el comportamiento de la isolínea desde un punto espacial, es necesario conocer la superficie planimétrica que abarca la isoterma estacional y a la vez su proporción porcentual en cuanto a la superficie total en cada región. Para ello fue necesario llevar las polilíneas de isoterma a polígonos, sin embargo como anteriormente se trabajó con archivos raster, los extremos de las polilíneas no se ajustaban a los límites nacionales, por ello se recurrió a una limpieza topológica. Con la herramienta de “v.clean” del software QGis se ingresa el shape de las isotermas de cada estación previamente unidas a los límites regionales, la finalidad de esta herramienta es unir y cortar líneas, ajustándose hasta cerrar las líneas que no se encuentren unidas. Una vez realizada esta limpieza, se

pueden llevar estas líneas a polígono con la herramienta “feature to polygon” en ArcMap. Una vez hechos los polígonos se puede hacer el cálculo de sus superficies bajo isoterma a nivel regional a través de su tabla de atributos.

3.2 Validación de modelo mediante datos de Terraclimate

3.2.1 Cálculo isoterma 0°C según Terraclimate

En esta etapa se busca validar en cierto grado los resultados obtenidos en el objetivo N°1 a partir de la recopilación de datos de radiosondeo en Chile, para ello se estimó conveniente un cálculo de isoterma 0°C alternativo para ello se recurrió a utilizar la fuente de **Terraclimate**, las cuales son superficies climáticas con datos entre 1950-2017, e inclusive hasta la actualidad, un rango de años correctos para la posterior comparación ya que el radiosondeo comienza en 1973 aproximadamente en algunas estaciones de Chile, cabe destacar que su resolución abarca 4Km. La extracción de datos se realiza mediante la plataforma online de Google, específicamente Google Engine.

En dicha plataforma se requiere de la escritura de un código en lenguaje programático (Ver Anexo N° 3) donde se le ordenó utilizar las capas de temperatura superficial mensual de Terraclimate y junto a ella un modelo digital de elevación, SRTM. El código consistió en trabajar en las cuatro zonas de las estaciones de lanzamiento, en cada una de ellas se eligen cinco puntos de muestreo (puntos georreferenciados ver Anexo N° 4), los cuales se localizan aleatoriamente de costa a cordillera con la finalidad de medir la temperatura superficial en diferentes altitudes, cabe señalar que en cada estación se hace una medición con temperatura mínima y máxima y el periodo señalado obedeció a los años en que se realizó el radiosondeo en la estación correspondiente. Al hacer correr este código dio como resultado ocho graficas evidenciando el comportamiento de las temperaturas, una de las opciones de exportar estos datos es en el formato CVS el cual puede ser abierto en el Software Excel.

3.2.2 Procesamiento información de Terraclimate

Una vez recopilada la información de temperaturas superficiales según altitud estas son procesadas en Excel, el cual mediante la tabulación de datos facilitó el trabajo de análisis.

Para conocer la isoterma 0°C a partir de esos datos se estimó conveniente utilizar la función “intersección con el eje”, ya que se buscaba conocer la altitud cuando la temperatura fuese 0°. Este procedimiento se realizó tanto para las temperaturas mínimas como máximas, obtenidas ambas isotermas se promediaron y se obtuvo la isoterma diaria según Terraclimate tal como Azocar,2018 hace alusión en su investigación de memoria de título que dentro de los modelos de predicción de permafrost se incluye la variable de temperatura satelital aparente (AST) para el cálculo de temperatura en cordillera.

Una vez obtenidos estos valores se pudo continuar con la comparación, para visualizar las diferencias estadísticas de ambas series de datos se escogió el diagrama de cajas y bigotes que proporciona el programa Excel, el cual entrega gráficamente sus percentiles, mediana y valores máximos y mínimos. Los procedimientos se repitieron para cada sitio de lanzamiento y en las cuatro estaciones astronómicas para un análisis más detallado. Cabe señalar que el sitio de Punta Arenas se aplicó un procedimiento adicional, el cual consistió en el reemplazo de valores negativos por la altura de la estación (33 m s.n.m), esto se debe a la baja temperatura superficial principalmente en días de invierno.

3.3 Tendencias temporales de isoterma 0°C, vínculo con días de precipitación

3.3.1 Tendencia de isoterma 0°C

En primer lugar, se utilizó Makesens, la cual es una plantilla Excel desarrollada por el Instituto Meteorológico Finlandés. *MAKESENS se basa en la prueba no paramétrica de Mann-Kendall para la tendencia y el método no paramétrico de Sen para la magnitud de la tendencia. La prueba de Mann-Kendall es aplicable a la detección de una tendencia monótona de una serie de tiempo sin ciclo estacional o de otro tipo. El método de Sen utiliza un modelo lineal para la tendencia. La plantilla MAKESENS se creó con Microsoft Excel 97 y las macros se codificaron con Microsoft Visual Basic (Salmi et al,2002, p.24).* En este punto se trabajó con los promedios mensuales de cada año en la serie de datos según el sitio de lanzamiento obtenidos anteriormente, así como también con los promedios mensuales arrojados según Terraclimate, por lo tanto, como resultado de esta plantilla arrojó las tendencias positivas o negativas en cada mes y el grado de significancia en la

variación. Los resultados que Makesen debe arrojar son la **pendiente SEN** y **Q'** las cuales indican la dirección de la tendencia (positiva o negativa) y por otro lado arroja el valor de la tendencia decadal, donde según la tendencia indica si la variación es significativa o no. Los resultados arrojados permitieron un análisis y posterior comparación entre ellos.

*** sí la tendencia es $\alpha = 0.001$ nivel de significancia

** sí la tendencia es $\alpha = 0.01$ nivel de significancia

* sí la tendencia es $\alpha = 0.05$ nivel de significancia

+ sí la tendencia es $\alpha = 0.1$ nivel de significancia

El procedimiento es bastante sencillo, puesto que la plantilla ya contiene el código de la macro, por lo tanto es una ganancia en la variable tiempo, sin embargo se requirió realizar pequeñas modificaciones a la plantilla, más que nada detalles de adaptación de los datos, es decir renombrar filas y columnas con los años y meses que contiene cada estación, los promedios previamente calculados son llevados a la plantilla en formato número, realizado esto Makesens puede calcular automáticamente las tendencias estadísticas.

3.3.2 Vinculo precipitación/isoterma

En segundo lugar, para poder visualizar la tendencia que se ha dado entre las variables de precipitación diaria e isoterma, es decir determinar el aumento o disminución de lluvias cálidas específicamente en zonas precordilleranas mediante la isoterma calculada en cada sitio de lanzamiento de radiosonda, se trabajó con el **software Excel**, el cual permitió los análisis estadísticos correspondientes para determinar la vinculación de ambas variables. Para ello se requiere contar con la base de datos de las variables de precipitación diaria e isoterma, para la primera se utilizó las siguientes estaciones meteorológicas, cuya recopilación histórica se encuentra disponible en el explorador climático de CR2:

Sitio de lanzamiento (cálculo isoterma)	Estaciones meteorológicas (datos precipitación diaria)
--	---

Antofagasta (SCFA)	Nombre	Socaire
	Serie de datos	1974-2015
	Coordenadas	23°59'S, 67°89'O
	Altitud	3251 m s.n.m
	Propiedad	DGA
Santo Domingo (SCSN)	Nombre	Yeso Embalse
	Serie de datos	1962-2019
	Coordenadas	33°68'S, 70°09'O
	Altitud	2575 m s.n.m
	Propiedad	DGA
Puerto Montt (SCTE)	Nombre	Futaleufú
	Serie de datos	1954-2019
	Coordenadas	43°19'S, 71°85'O
	Altitud	347m s.n.m
	Propiedad	DMC
Punta Arenas (SCCI)	Nombre	Carlos Ibáñez Punta Arenas Ap.
	Serie de datos	1950-2019
	Coordenadas	53°00'S, 70°85'O
	Altitud	38 m s.n.m
	Propiedad	DMC

Tabla 3. Resumen estaciones meteorológicas.

El procedimiento consistió en hacer una limpieza a la información climatológica de las cuatro estaciones meteorológicas escogidas a partir de los días de precipitación ($\geq 0,5$ mm), se determina que la fecha de inicio sea similar al año desde que el sitio de lanzamiento el cálculo de isoterma, por lo tanto las estaciones tuvieron diferentes rangos de datos y análisis, cabe señalar que se trabaja solo con la variable de precipitación, la cual fue filtrada según el monto caído, se determina que días igual o sobre los 0,5 mm diarios

correspondería a un día de lluvia, ya que montos inferiores pudiesen ser relacionados a una llovizna y por lo tanto ajeno al análisis. Una vez obtenida la base de datos con los días de precipitación y sus montos correspondientes se pueden llevar a una nueva hoja de un libro de Excel, donde también se hallan los datos de isoterma diarios de cada día de la serie de datos. Mediante las funciones lógicas que proporciona el software se utiliza “=buscarv()” el cual consiste en buscar el dato semejante entre ambas series, en este caso la fecha del día con lluvia, la busca en la matriz de datos de isoterma, y si esta la encuentra arroja el valor de la isoterma en aquel día de precipitación.

Una vez realizada esta operación en las cuatro estaciones se procedió a una segregación de datos según las estaciones astronómicas, es decir verano, otoño, invierno y primavera. De esta manera se obtiene una tendencia más meticulosa del comportamiento de la isoterma 0°C en precordillera.

La finalidad de este procedimiento busca evidenciar empíricamente la tendencia de la isoterma 0°C en días con registro de precipitación en el periodo estudiado y a su vez comparar si este comportamiento es coherente o es proporcional a lo que ocurre con la isoterma 0°C en días con y sin precipitación.

4 Resultados

4.1 Identificación y espacialización de isoterma 0°C

4.1.1 Obtención de isoterma 0°C

Los resultados obtenidos al aplicar el procedimiento de la macro en Excel entrega una tabla con una serie de datos diarios y horarios, donde identifica la altitud de la primera isoterma 0°C y segunda (sí es que existe), así como también la marca u observación que pudiese haberse dado, la cual es un indicador muy importante para validar la altitud de la isoterma. La Tabla 4 entrega la distribución de observaciones en porcentaje por estación de lanzamiento.

	SCFA	SCSN	SCTE	SCCI
Isoterma 0° normal	96.0%	96.3%	88.5%	85.8%
2 isotermas 0°	3.7%	3.2%	9.0%	13.2%
3 o más isotermas 0°	0.1%	0.0%	0.4%	0.8%
Error	0.3%	0.5%	2.1%	0.1%

Tabla 4. Distribución de observación en isoterma 0°C por sitio de lanzamiento.

La Figura 5 evidencia una tendencia latitudinal en cuanto a los registros entregados por la macro, donde se observa que los registros con isoterma 0°C normal o sin errores tiende aumentar hacia el sur, mientras que los registros con doble inversión presentan un alza. Los casos donde se dan 3 o más isotermas son muy reducidos por lo que su tendencia es insignificante, por ello son eliminados para los cálculos posteriores. Por su parte, los casos que presentan dos isotermas 0°C pasan a un posterior análisis estadístico, donde se es posible la elección de una isoterma de manera automatizada, de esta manera se estaría trabajando con más del 96% de datos recopilados.

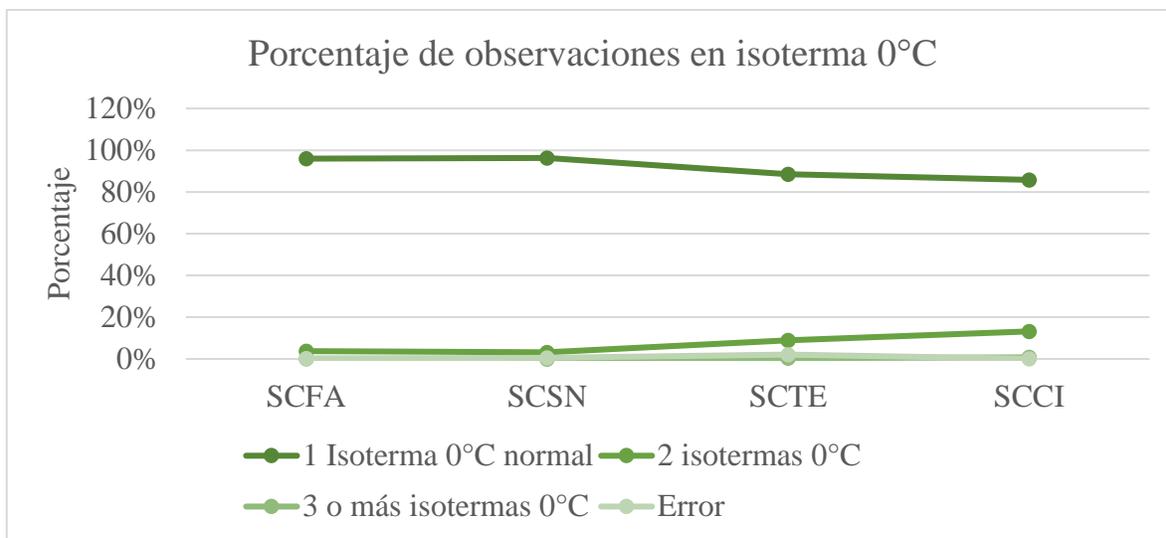


Figura 5. Distribución de observaciones en isoterma 0°C por sitio de lanzamiento.

4.1.2 Casos de doble isoterma 0°C

Como se menciona anteriormente los casos de doble isoterma en un vuelo son casos especiales y ameritaron una atención especial, ya que en un mismo registro se presentan dos inversiones térmicas a diferentes alturas, más allá de la importancia meteorología por entender dichos fenómenos, al momento de la recopilación de información se constató un porcentaje considerable que requieren ser limpiados, es decir, escoger una isoterma 0°C para contemplarla en las estadísticas y asimismo contar con una cantidad mayor de registros en la serie de datos.

La Tabla 5 muestra el porcentaje de datos que presentan el caso de doble inversión, así como también el porcentaje de datos rescatados mediante la metodología propuesta y por último el porcentaje final de datos que se utilizan para las estadísticas.

Estaciones	SCFA	SCSN	SCTE	SCCI
Registros con doble isoterma 0°C (%)	3,7%	3,2%	9,0%	13,2%
Total registros rescatados doble isoterma 0°C (%)	3,7%	3,2%	5,5%	6,7%
Registro total isotermas a trabajar (%)	99,7%	99,5%	94%	92,5%

Tabla 5.. Porcentajes de datos recopilados en caso de doble isoterma 0°C.

4.1.3 Corroboración con vuelos completos

Mediante este método se pudo determinar las discrepancias que ocurren entre un registro de vuelo completo (obtenido desde los mensajes en buffer del Centro regional de comunicaciones) y los registros trabajados en este trabajo los cuales fueron proporcionados por la Universidad de Wyoming (resumido) en la determinación de la isoterma 0°C.

La comparación de ambas estimaciones representada en las siguientes Tablas 5, 6, 7 y 8 y gráficos correspondientes (Ver anexo N°5):

SCFA	LECT COMP	MACRO	DIF	m
05-nov	4923	4959	-36	36
10-nov	5256	5288	-32	32
15-nov	4943	4922	21	21
20-nov	4598	4613	-15	15
30-nov	4709	4672	37	37
05-dic	4738	4739	-1	1
10-dic	5143	5096	47	47
15-dic	5525	5517	8	8
19-dic	5146	5158	-12	12
29-dic	5512	5494	18	18
Promedio				22.7

Tabla 6. Cuadro comparativo en Antofagasta

SCSN	LECT COMP	MACRO	DIF	m
15-oct	3802	3830	-28	28
05-nov	3354	3340	14	14
10-nov	4219	4121	98	98
15-nov	3342	3317	25	25
20-nov	3276	3274	2	2
30-nov	4216	4194	22	22
05-dic	4010	3933	77	77
10-dic	4925	4790	135	135 ***
15-dic	5012	5027	-15	15
19-dic	4503	4505	-2	2

29-dic	4989	4971	18	18
Promedio				39.64

Tabla 7. Cuadro comparativo en Santo Domingo

SCTE	LECT COMP	MACRO	DIF	m
05-nov	2421	2386	35	35
10-nov	2595	2574	21	21
15-nov	1341	1344	-3	3
20-nov	1733	1705	28	28
30-nov	2970	2938	32	32
05-dic	3594	3575	19	19
10-dic	4521	4464	57	57
15-dic	3025	2990	35	35
19-dic	3755	3734	21	21
29-dic	3315	3226	89	89 ***
Promedio				34.00

Tabla 8. Cuadro comparativo en Puerto Montt

SCCI	LECT COMP	MACRO	DIF	m
05-nov	2042	2032	10	10
10-nov	1138	1199	-61	61
15-nov	1213	1187	26	26
20-nov	646	635	11	11
30-nov	1196	1168	28	28
05-dic	2381	2437	-56	56
10-dic	2111	2084	27	27
15-dic	911	977	-66	66
19-dic	1394	1383	11	11
Promedio				32.89

Tabla 9. Cuadro comparativo en Punta Arenas

De ellos se desprende que las diferencias están alrededor de 30 m de diferencia en promedio, sin embargo, se dan casos particulares como el 10 de diciembre de 2017 en Santo Domingo, donde la diferencia es de 135 m. Estos casos fueron analizados con mayor

detalle y se concluyó que estas diferencias se deben al amplio rango que fue calculada la isoterma 0°C en los registros de Wyoming, para una mayor precisión de resultados se determinó descartar días donde esta diferencia de altitud en medición fuese mayor a 300 m. El número de registros donde se cumplía dicho caso fue inferior a los 20 días en cada estación.

4.1.4 Estadísticas

Una vez realizadas todas las operaciones estadísticas se pudo obtener las tablas con promedios estacionales de cada sitio de lanzamiento, así lo detalla la Tabla 10 (detalles mensuales ver Anexo N° 6).

	SCFA	SCSN	SCTE	SCCI
Verano	4984.4	4243.3	3083.5	1496.7
Otoño	4744.1	3788.8	2613.6	1307.3
Invierno	4323.8	2985.3	1668.4	656.0
Primavera	4573.6	3344.2	1995.1	964.6

Tabla 10. Promedios altitudinales de isoterma 0 estacional

Realizada la estimación lineal con los promedios estacionales se obtuvieron los coeficientes de cada ecuación de tercer grado, las que se presentan a continuación:

$$\text{Isoterma verano: } -0.1670L^3 - 20.7432L^2 - 699.7978L - 2176.3645$$

$$\text{Isoterma otoño: } -0.1567L^3 - 18.4088L^2 - 568.3051L - 476.2856$$

$$\text{Isoterma invierno: } -0.2158L^3 - 23.3353L^2 - 667.0395L - 1263.8850$$

$$\text{Isoterma primavera: } -0.2476L^3 - 27.3243L^2 - 827.2645L - 2998.1772$$

Donde L corresponde a la latitud en grados decimales y la isoterma se encuentra en m s.n.m.

4.1.5 Comportamiento de la isoterma 0°C

Como se puede observar en la Figura 6, la isoterma 0°C tiene mayor relevancia en la Cordillera de Los Andes debido a los altos cordones montañosos que esta posee, incluyendo importantes volcanes del país, así como también en los fiordos de la zona austral del país.

Desde la región de Arica y Parinacota hasta la región de O'Higgins aproximadamente se pueden encontrar las cuatro isolíneas estacionales, por lo que se puede determinar que la isoterma 0°C está presente durante todo el año.

Entre las regiones de Maule a Los Lagos la isoterma 0°C pierde importancia ya que las cumbres disminuyen su altitud, en esta zona destacan principalmente cimas de volcanes, por lo que es posible solo distinguir la isoterma 0°C en invierno y primavera.

En las regiones de Aysén y Magallanes nuevamente se observa la isoterma 0°C en las 4 estaciones, la de verano se encuentra próxima a los campos de hielo norte y sur, como también en el monte Darwin en extremo austral, en cuanto a los islotes y fiordos la mayoría alcanza la isoterma 0°C de invierno y primavera.

Isoterma 0°C estacional en territorio chileno

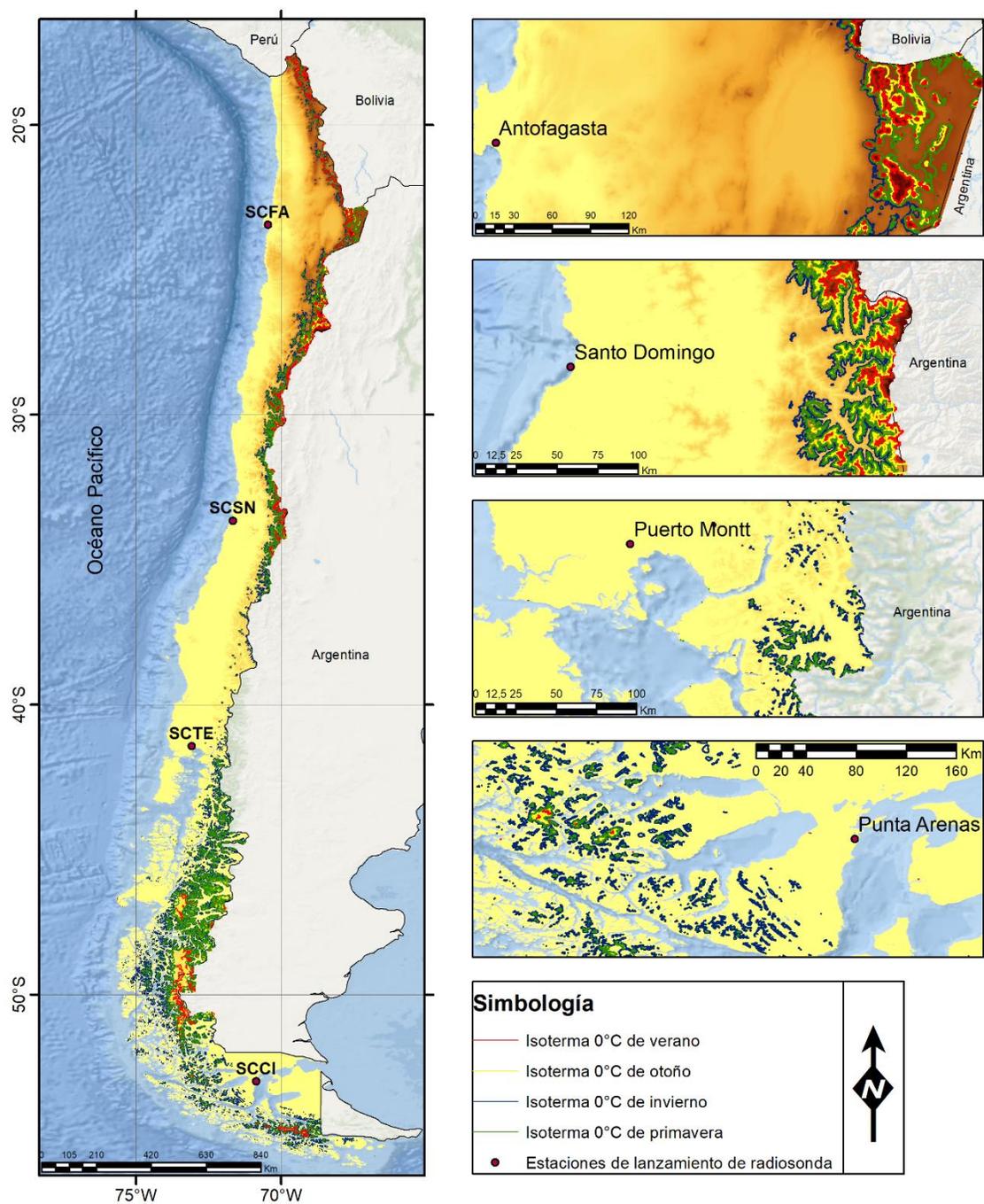


Figura 6. Isotermas 0°C estacionales en territorio chileno.

4.1.6 Superficies bajo isoterma 0°C

La Tabla 8 indica las superficies en porcentaje con mayor área bajo isoterma 0°C, donde se corrobora la relevancia la isoterma en la zona norte y centro norte, principalmente durante el invierno y primavera. Los porcentajes superan el 20% de superficie en las regiones de Atacama y Metropolitana durante el invierno, situación similar ocurre al analizar la superficie en km² (Anexo N°7).

La zona sur posee pequeñas superficies bajo las diferentes isotermas. En el extremo austral, desde la zona sur de Los Lagos hasta el norte de Magallanes experimenta un aumento de superficie, principalmente en invierno y primavera, acercándose casi a un tercio de la región de Aysén en invierno. A nivel nacional cabe destacar que durante otoño, invierno y primavera la isoterma 0°C abarca mayor territorio

Región	Isoterma de Verano (%)	Isoterma de Otoño (%)	Isoterma de Invierno (%)	Isoterma de Primavera (%)
Arica y Parinacota	7.5	7.0	18.5	15.6
Tarapacá	1.0	1.3	4.9	2.9
Antofagasta	1.4	3.0	11.0	5.2
Atacama	3.6	9.2	22.7	14.8
Coquimbo	1.0	3.7	15.7	8.6
Valparaíso	0.7	2.7	11.3	7.0
Metropolitana	3.5	8.4	21.8	15.6
O'Higgins	0.5	2.5	11.0	6.6
Maule	0.0	0.1	4.9	0.8
Biobío	0.0	0.0	0.6	0.1
Araucanía	0.0	0.0	0.4	0.1
Los Ríos	0.0	0.0	0.3	0.0
Los Lagos	0.0	0.0	3.7	0.6
Aysén	0.4	1.9	29.3	12.7
Magallanes	0.9	5.4	14.9	8.5

Tabla 11. Superficies en porcentaje bajo isoterma 0°C estacional a nivel regional.

4.2 Validación con metodología alternativa

A partir de los datos Terraclimate arrojados por Google Engine, se crea una nueva base de datos para cada sitio de lanzamiento, cabe señalar que el procedimiento se pudo realizar en todos los sitios, exceptuando Puerto Montt, ya que en ese sector los datos de Terraclimate eran incongruentes y por lo tanto no se pudo realizar su análisis comparativo. A continuación, se presentan los siguientes diagramas de cajas y bigotes tanto a nivel total, como estacional de cada sitio de lanzamiento.

4.2.1 Antofagasta (SCFA)

Los puntos de muestreo para el análisis de del sitio de lanzamiento de Antofagasta se localizan dentro de la cuenca del rio El Loa, los puntos y altitudes fueron: costa (106), Calama (2280), San Pedro de Atacama (2539), frontera con Bolivia 1 (4764) y frontera con Bolivia 2 (4296).

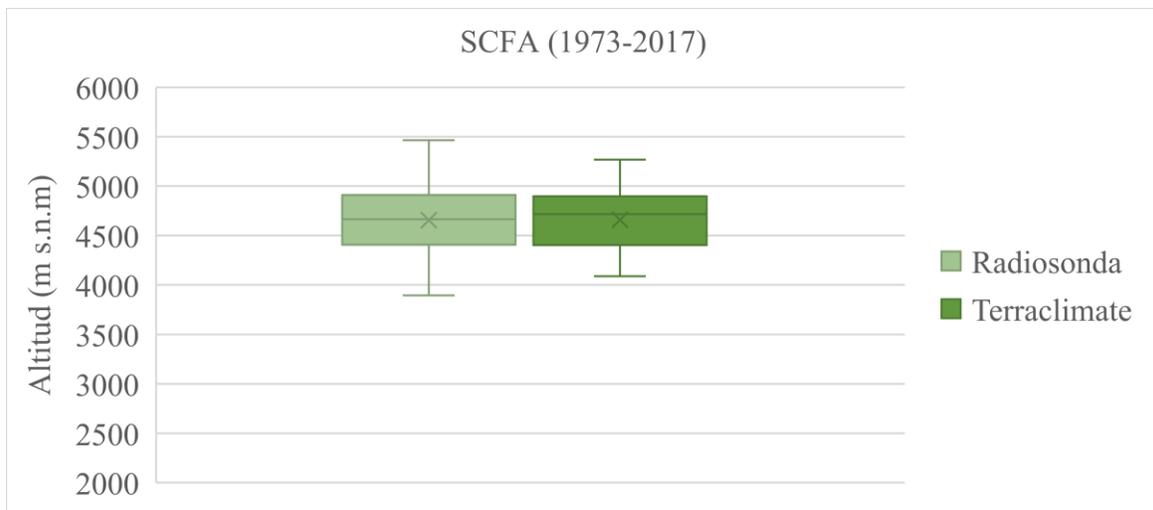


Figura 7. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate (SCFA).

A partir de la serie completa de datos de isoterma 0°C en ambos modelos, es evidente una alta paridad en los valores estadísticos, destacado la mediana de los datos, la cual se ubica entre los 4500 y 5000 m s.n.m. Tanto los valores máximos superiores, como inferiores, muestran una oscilación mayor en datos de radiosonda. A su vez, los datos de Terraclimate se distribuyen de una manera más ordenados, con cuartiles de semejantes tamaños.

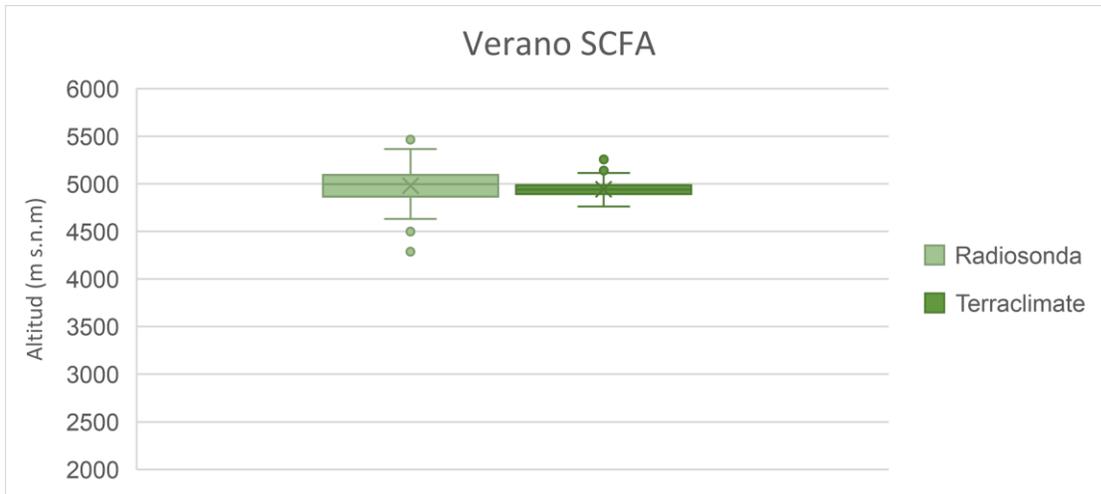


Figura 8. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en verano (SCFA).

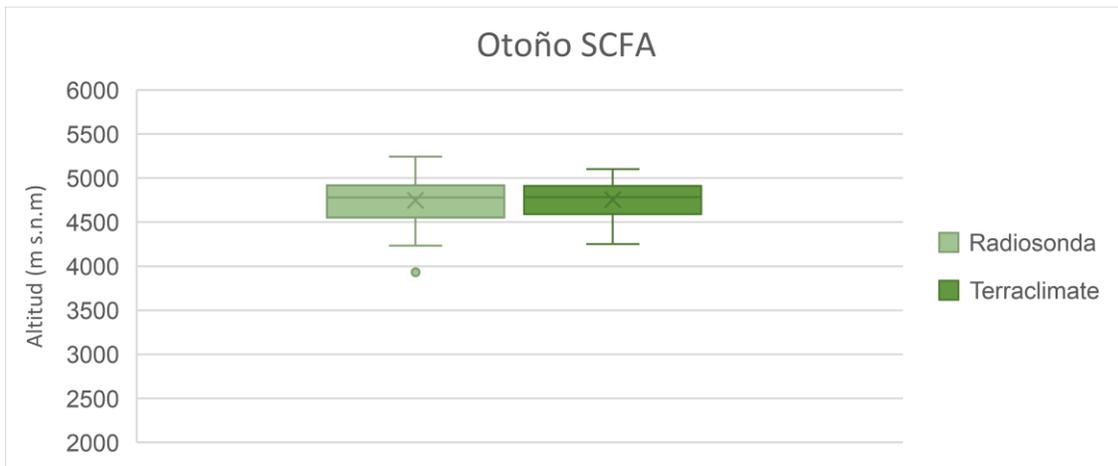


Figura 9. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en otoño (SCFA).

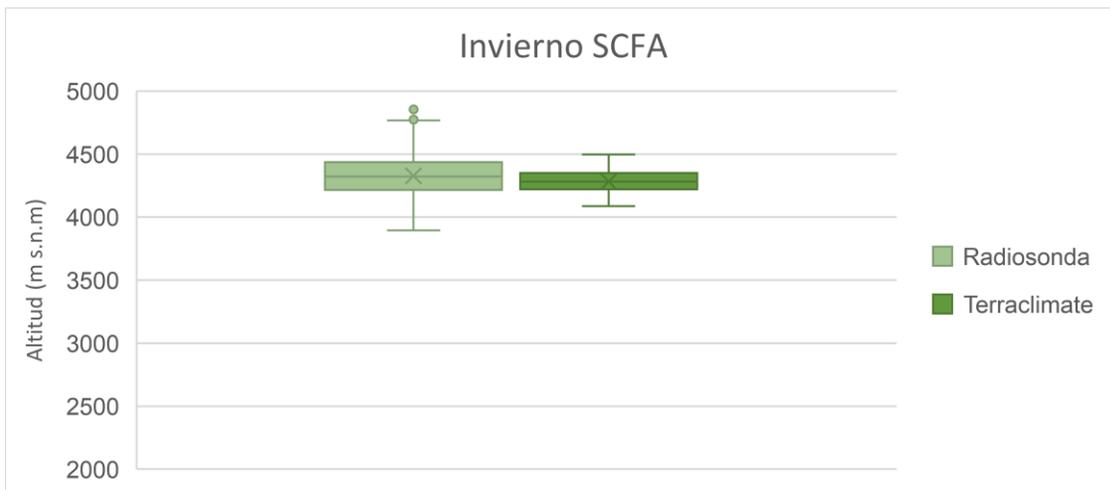


Figura 10. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en invierno (SCFA).

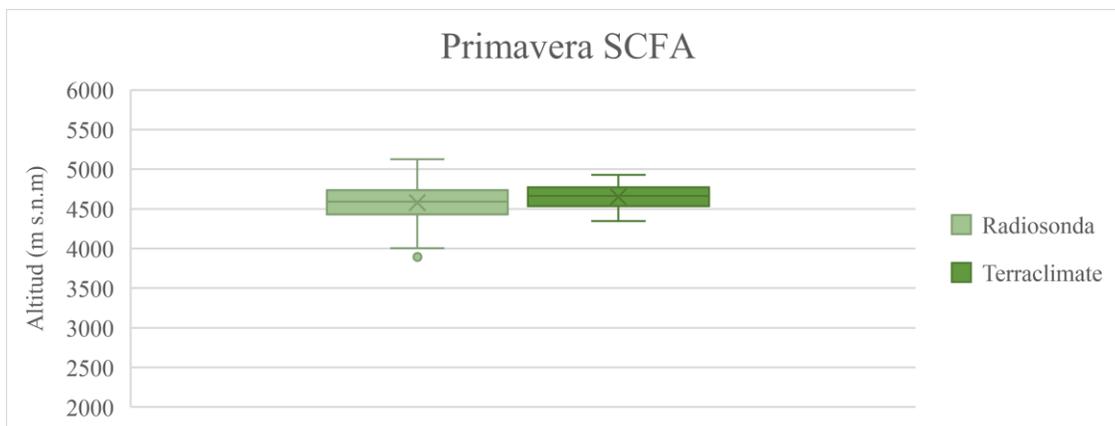


Figura 11. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en primavera (SCFA).

A partir de las 4 graficas estacionales de isoterma 0°C en el sitio de lanzamiento de Antofagasta, se observa una coherencia en los datos estacionales, se encuentran relativamente en rangos similares, no obstante, se logra identificar un patrón, que esta presenta en todas las estaciones de Antofagasta; en datos de radiosonda existe un rango ligeramente mayor que en los de Terraclimate, en máximas superiores e inferiores, así como también la presencia de valores únicos, lo que indica una mayor disipación en los datos de radiosondeo. Las mayores disparidades se distinguen en invierno y primavera.

4.2.2 Santo Domingo (SCSN)

Los puntos escogidos para el análisis de este sitio de lanzamiento se emplazan principalmente en la cuenca del Rio Maipo, específicamente en los sectores; Rocas de Santo Domingo (87), Melipilla (166), Pirque (675), Baños Morales (2409) y frontera con Argentina (4966).

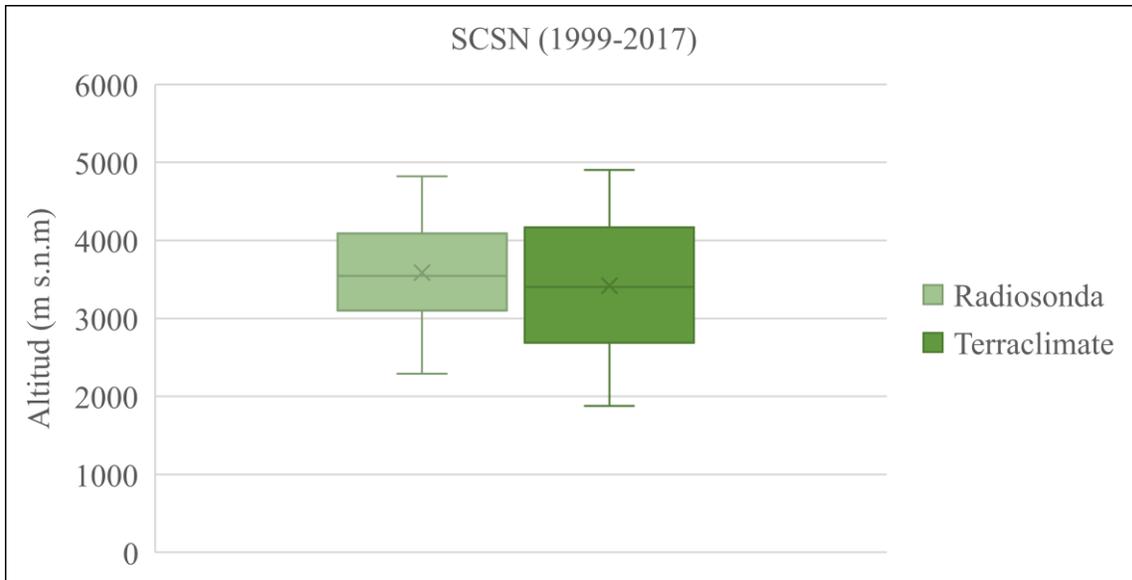


Figura 12. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate (SCSN).

A nivel de toda la serie de datos se evidencia una aproximación bastante alta. Las medianas se ubican alrededor de los 3500 metros de altitud, así como también el segundo y tercer cuartil de ambas bases de datos, los extremos superiores no alcanzan a superar los 5000 metros, en cambio los extremos inferiores presentan una diferencia algo mayor, los datos de Terraclimate alcanzan valores ligeramente más bajos que datos de radiosonda.

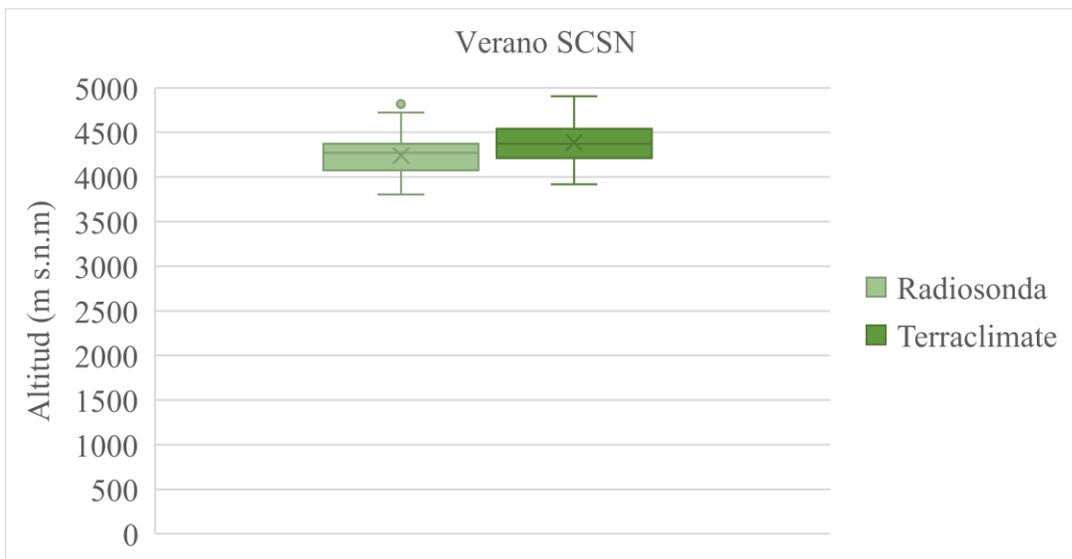


Figura 13. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en verano (SCSN).

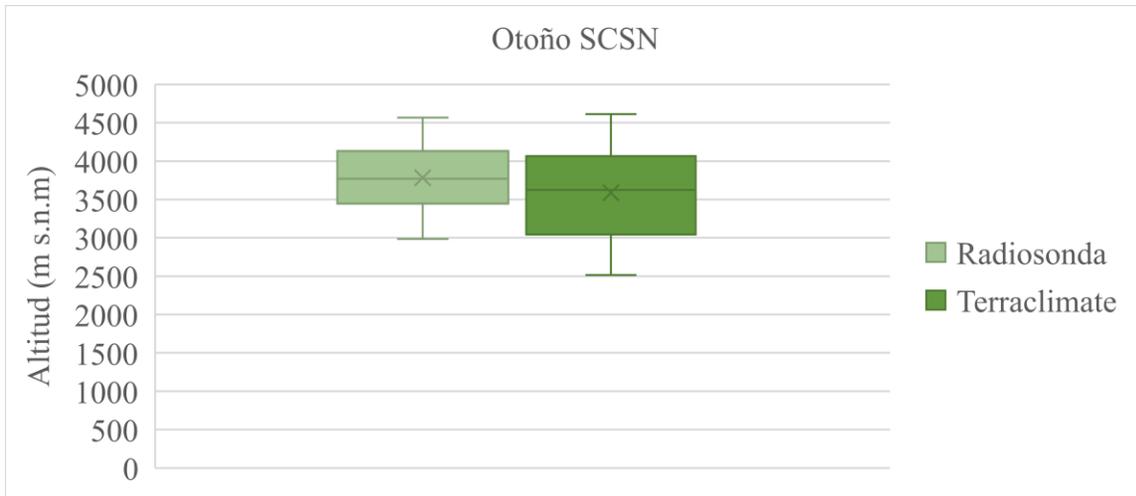


Figura 14. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en otoño (SCSN).

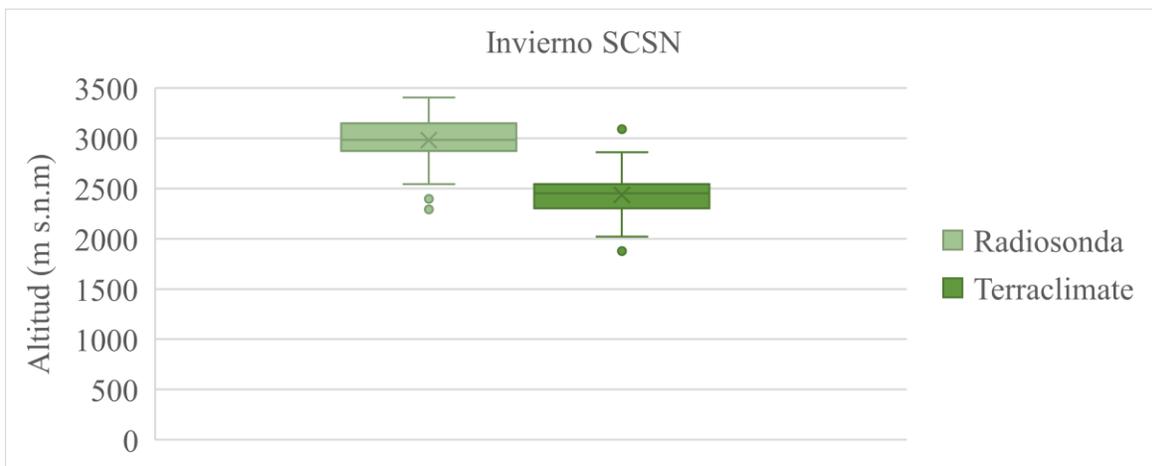


Figura 15. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en invierno (SCSN).

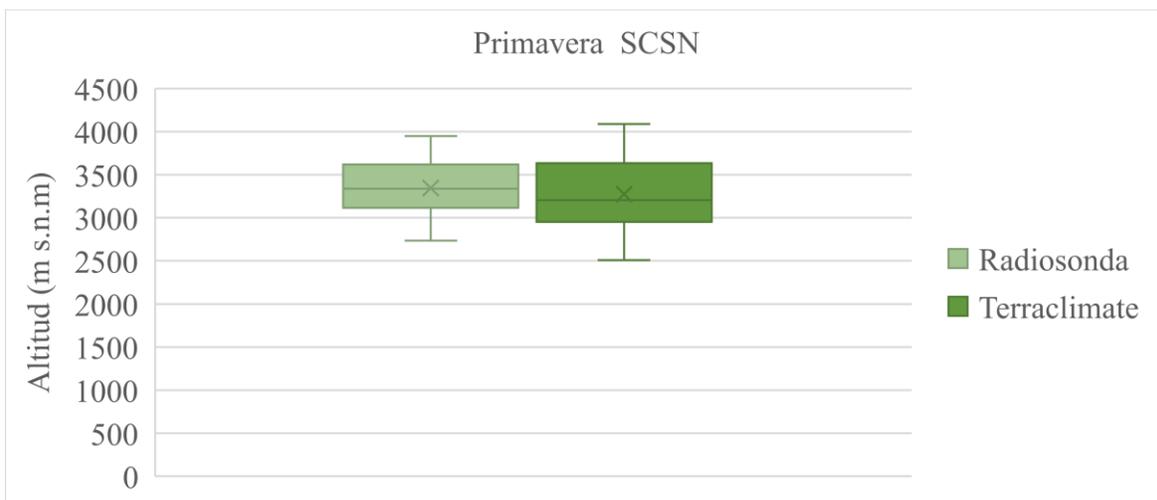


Figura 16. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en primavera (SCSN).

A partir de las 4 gráficas estacionales de Santo Domingo (SCSN), se distinguen diferentes comportamientos, otoño y primavera poseen similitud en los datos, esto demuestra sus diagramas ya que abarcan similares rangos. Sin embargo durante verano y especialmente invierno se ve una mayor diferencia de datos, así lo muestran las Figura 13 y 15, donde las medianas presentan diferencias de aproximadamente 500 metros, adicionalmente se encuentran valores atípicos, lo que demuestra una dispersión mayor de los datos. Sin embargo, en el conjunto total de datos este escenario se invisibiliza, ya que lo que predomina en el resto del año es una homogeneidad de las isotermas 0°C.

4.2.3 Puerto Montt (SCTE)

Los puntos escogidos para este sitio de lanzamiento se ubican entre las cuencas e islas del río Bueno y río Puelo (Ver Anexo N°4). Sin embargo, las temperaturas máximas de la zona presentaban incongruencias, como inversiones térmicas durante meses de verano, se probó cambiando los puntos de muestreo, sin obtener resultados positivos ya que el problema persistía.

4.2.4 Punta Arenas (SCCI)

Para la validación de resultados en el sitio de lanzamiento de Punta Arenas se escogieron 5 puntos de muestreo (Ver Anexo N°4), los que se localizaban en la cuenca de Tierra del Fuego; Fiordos (1338), Cerro Punta Arenas (447), Porvenir (33) y carretera Porvenir (116), estos son elegidos arbitrariamente con la finalidad de medir la temperatura superficial a diferentes alturas.

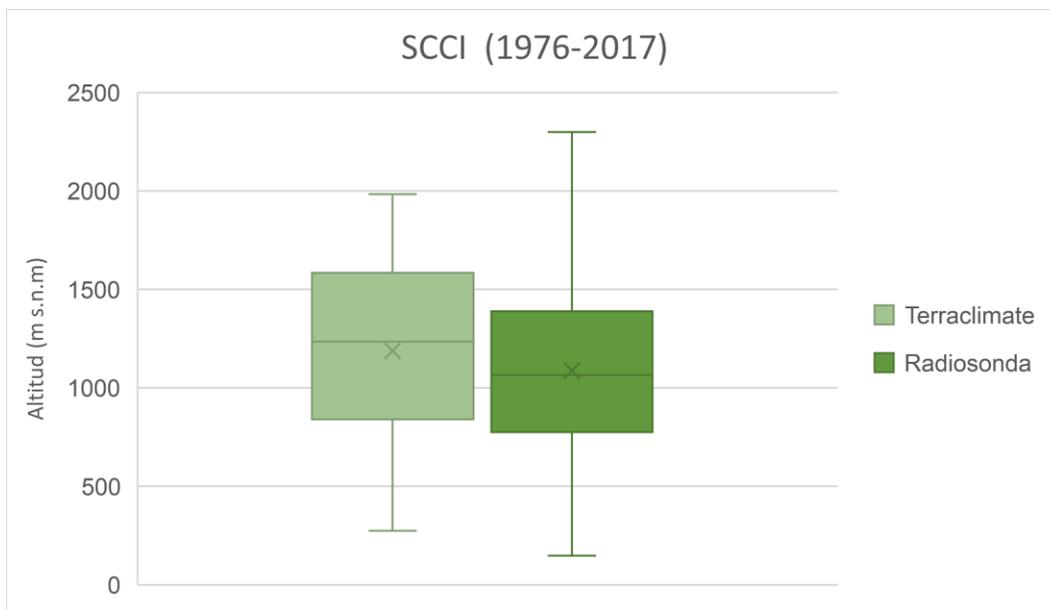


Figura 17. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate (SCCI).

La serie de datos de radiosonda de Punta Arenas presenta una aproximación con la serie de Terraclimate en cuanto a la distribución de datos estadísticos. Las medianas se ubican entre los 1000 y 1300 m s.n.m, mientras que las máximas inferiores se encuentran cercanas a los 300 m s.n.m. Por otro lado, las máximas superiores no superan los 2500 m s.n.m. Se observa una ligera oscilación mayor en los datos provenientes de Terraclimate.

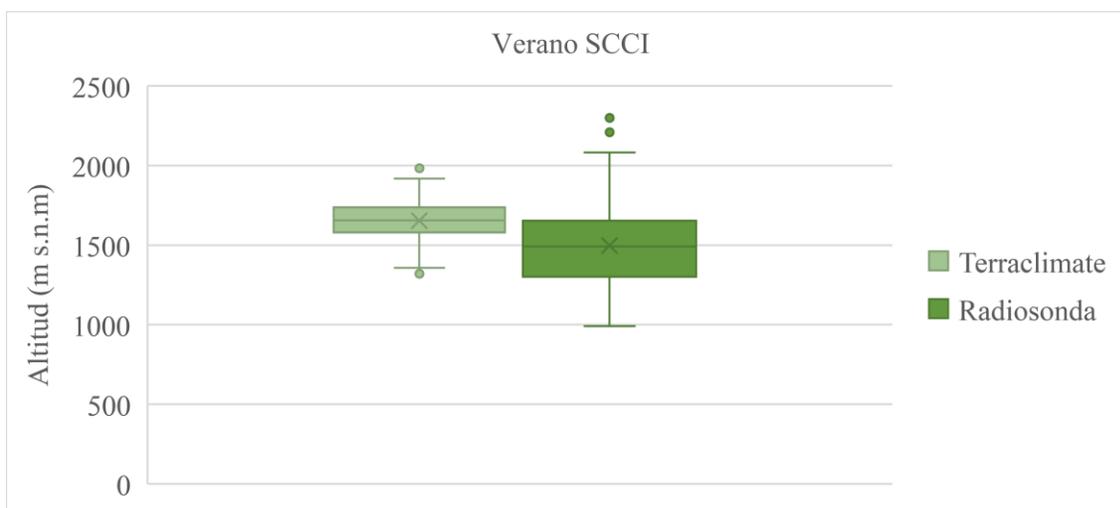


Figura 18. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en verano (SCCI).

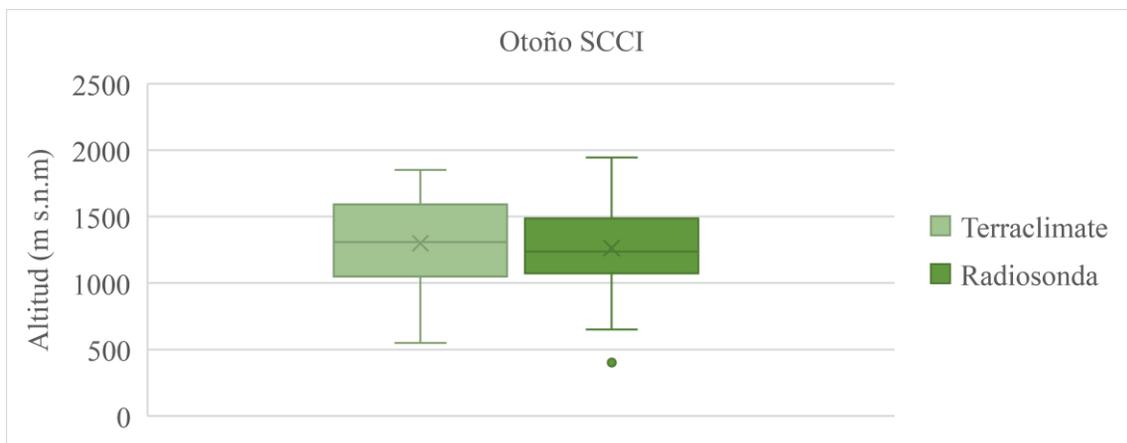


Figura 19. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en otoño (SCCI).

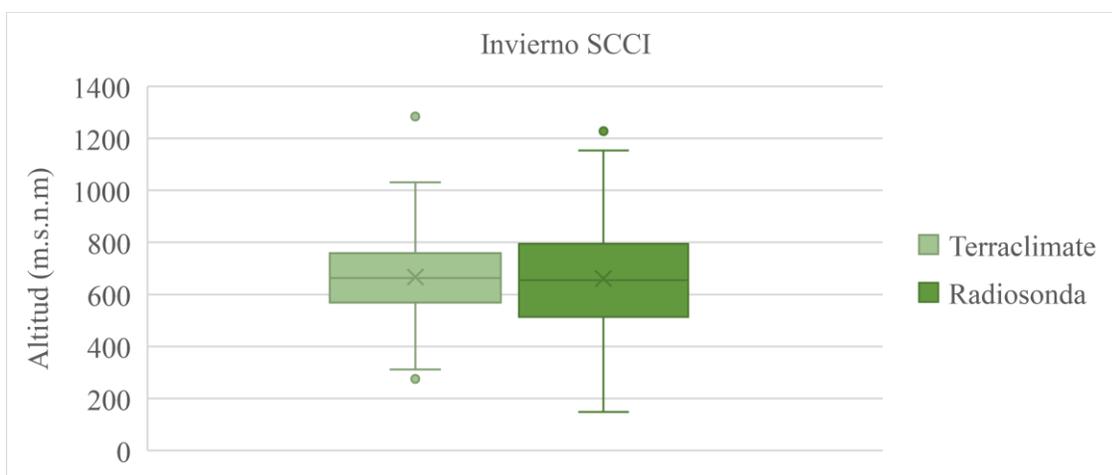


Figura 20. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en invierno (SCCI).

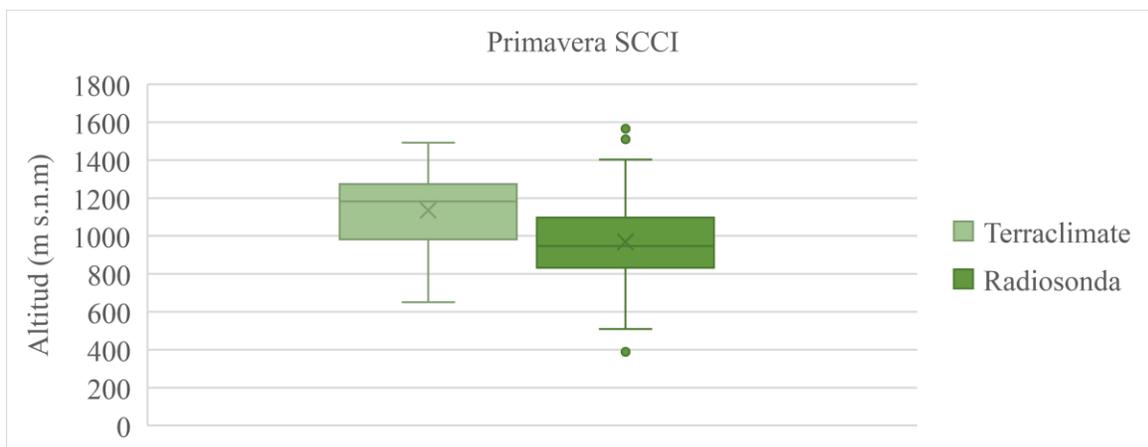


Figura 21. Gráfico comparativo de datos Radiosonda y Terraclimate en primavera (SCCI).

A partir de las gráficas estacionales de Punta Arenas se logra apreciar un comportamiento semejante entre ambos modelos. Verano y primavera presentan una diferencia algo más

apreciable en cuantos a los máximos superiores e inferiores. Por otro lado, los datos de Radiosonda presentan una mayor oscilación en los datos en casi la totalidad de las estaciones, así como también la ocurrencia a de valores únicos, lo que indicaría una mayor heterogeneidad de estos datos.

4.3 Tendencias de isoterma 0°C

4.3.1 Tendencias temporales

A partir de Makesens, se realiza una serie de cálculos estadísticos para determinar la tendencia. Cabe destacar que aquí se trabaja a nivel de promedios mensuales por año. A continuación, se presentan las tablas de significancia por cada sitio de los datos de radiosonda y los derivados de los puntos seleccionados en la base de Terraclimate.

4.3.1.1 Antofagasta (SCFA)

A primera instancia se puede distinguir una clara tendencia positiva en todos los meses del año, con tendencias que comprenden entre los 1.6 hasta los 9 metros anuales. Se puede observar una similitud de las tendencias entre ambos modelos, lo que indica una buena coherencia en los resultados en el caso de Antofagasta. Sin embargo, en los niveles de significancia existen mayores variaciones, ya que si bien, ambos modelos presentan un predominio de significancia claras, en el modelo de Terraclimate se observan mayor cantidad de meses con significancias bajas (+), en cambio los datos de radiosonda sus significancias son principalmente altas (***).

Antofagasta	Radiosonda		Terraclimate	
	Signific.	Q (m.s.n.m/año)	Signific.	Q (m.s.n.m/año)
Enero	**	6.5		3.5
Febrero	*	4.9	*	5.6
Marzo	**	4.8	+	5.5
Abril	+	3.4	**	6.3
Mayo		1.6		2.2
Junio	***	6.7	+	6.3
Julio	*	5.1		3.4

Agosto	***	7.5	+	7.0
Septiembre	***	9.0	**	8.8
Octubre	*	4.6	*	4.3
Noviembre		2.8	*	5.2
Diciembre	***	6.2	+	4.8
+ es sig $\geq 90\%$; * es sig $\geq 95\%$, ** es sig $\geq 99\%$, *** es sig $\geq 99,9\%$				

Tabla 12. Tendencias mensuales anuales según Makesens (SCFA).

4.3.1.2 Santo Domingo (SCSN)

A partir de las estadísticas proporcionadas por Makesens, se observan más diferencias que similitudes entre ambos modelos. Terraclimate entrega tendencias positivas en todos los meses del año, de ellos sólo tres meses muestran una significancia mayor (enero, mayo y diciembre), en cambio a partir de los datos de radiosonda se distinguen tres meses con tendencias negativas (marzo, agosto y octubre). De los datos de Santo Domingo se puede destacar un aspecto importante, en el mes de enero se presenta una tendencia positiva en ambos modelos y en estos dos se muestra una significancia importante. Un alza de 18 metros por año según datos de radiosonda y de 23 metros de alza anual de la isoterma 0°C según Terraclimate.

Santo Domingo	Radiosonda		Terraclimate	
	Signific.	Q (m.s.n.m/año)	Signific.	Q (m.s.n.m/año)
Enero	**	18.04	***	23.33
Febrero		1.17		13.97
Marzo		-1.29		13.45
Abril		8.89		14.19
Mayo		5.72	*	18.64
Junio		4.43		6.14
Julio		7.44		7.51
Agosto		-0.79		7.85
Septiembre		6.40		9.72
Octubre	*	-15.41		2.59
Noviembre		5.16		16.05
Diciembre		3.26	+	14.14
+ es sig $\geq 90\%$; * es sig $\geq 95\%$, ** es sig $\geq 99\%$, *** es sig $\geq 99,9\%$				

Tabla 13. Tendencias mensuales anuales según Makesens (SCSN).

4.3.1.3 Puerto Montt (SCTE)

A partir de los promedios mensuales de la serie de datos de radiosonda de Puerto Montt, es posible apreciar tendencias tanto positivas como negativas, estas últimas en meses de invierno y primavera, durante meses de verano y parte de otoño se observan tendencias positivas y de una significancia importante, sobre el 90% (+). De esta manera, evidenciando una isoterma 0°C que sube entre los 5 y 6 metros por año durante esos meses. El sitio de lanzamiento de Puerto Montt no fue posible compararlo con datos de Terraclimate, debido a problemas técnicos explicados en el subcapítulo 4.2.3.

Puerto Montt	Radiosonda	
	Signific.	Q (m.s.n.m/año)
Enero	+	6.31
Febrero	+	6.05
Marzo	+	5.05
Abril		1.80
Mayo		1.87
Junio		-1.98
Julio		-2.43
Agosto		-0.83
Septiembre		-3.71
Octubre		-0.64
Noviembre		0.67
Diciembre		-1.37
+ es sig $\geq 90\%$; * es sig. $\geq 95\%$, ** es sig $\geq 99\%$, *** es sig $\geq 99,9\%$		

Tabla 14. Tendencia mensual anual según Makesens (SCTE).

4.3.1.4 Punta Arenas (SCCI)

Las tendencias de isoterma 0°C en Punta Arenas no muestran tendencias significativas. Al menos en datos de radiosonda, se observa un predominio de tendencias negativas durante los diferentes meses del año, por otro, los datos de Terraclimate son igual de variados en cuanto al signo de la tendencia, sin embargo, aquí se observan significancias en los meses marzo, mayo, julio y agosto, meses pertenecientes a otoño e invierno, dichos meses con tendencias significativas poseen un gradiente positivo lo que indicaría un aumento en la altura de la isoterma 0°C.

Punta Arenas	Radiosonda		Terraclimate	
Time series	Signific.	Q (m.s.n.m/año)	Signific.	Q (m.s.n.m/año)
Enero		-1.2		0.5
Febrero		-2.1		-0.7
Marzo		-4.9	*	2.7
Abril		-2.4		0.9
Mayo		0.4	*	3.3
Junio		3.2		3.2
Julio		-1.3	*	6.6
Agosto		1.0	+	2.4
Septiembre		2.4		1.6
Octubre		-3.7		0.3
Noviembre		-1.0		-0.6
Diciembre		-6.0		-2.3
+ es sig $\geq 90\%$; * es sig $\geq 95\%$, ** es sig $\geq 99\%$, *** es sig $\geq 99,9\%$				

Tabla 15. Tendencias mensuales anuales según Makesens (SCCI).

4.3.2 Vinculo precipitación/isoterma 0°C

A continuación, se presentan las tendencias de isoterma 0°C, pero en esta ocasión exclusivamente, en días de precipitación (<0.5mm). Dicho análisis se realiza en estaciones meteorológicas de precordillera, se utilizan los días con precipitación y su respectiva isoterma 0°C.

4.3.2.1 Socaire (DGA)

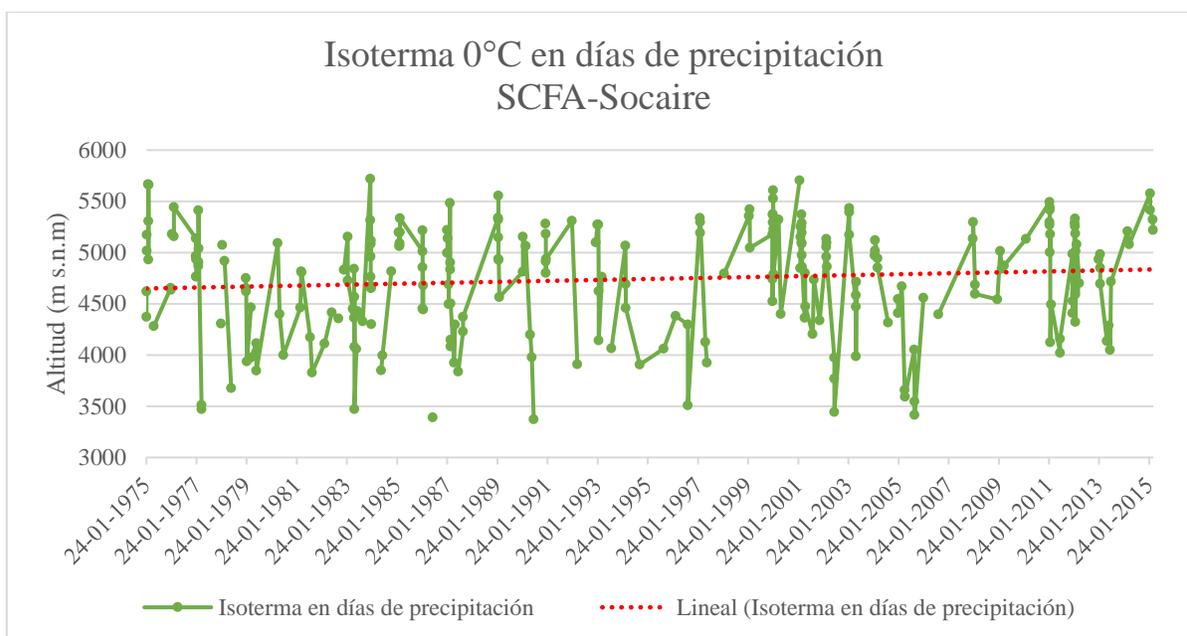


Figura 22. Gráfico de isoterma 0°C en días de precipitación, periodo 1975-2015 (Socaire)

Se escoge la estación de Socaire ya que esta se encuentra dentro de la cuenca del río Loa, misma cuenca del sitio de lanzamiento, esta es una de las estaciones precordilleranas con más registros pluviométricos. Los registros son óptimos para un buen análisis, sin embargo, pueden darse complicaciones como cuando se desea observar el comportamiento estacional de primavera, por ejemplo, ya que posee registros muy escasos en la serie de datos (Ver anexo N°8).

Con el compilado de datos totales se evidencia una tendencia positiva, así lo demuestra la ecuación de la línea de tendencia, a nivel estacional solo se observa una tendencia negativa, la que ocurre durante la primavera, no es un resultado sustancial, ya que es la estación que presenta baja cantidad de registros, lo que da un grado de falta de veracidad de la tendencia de primavera. Cabe destacar que durante el otoño, primavera y verano son tendencias positivas, y de alta fiabilidad. El anexo N°8 muestra el comportamiento estacional de isoterma 0°C en eventos de precipitación de Socaire.

Estación	Tendencia	Días con precipitación*
Otoño	+	76
Invierno	+	22
Primavera	-	12
Verano	+	174

Tabla 16. Tendencias estacionales de isoterma 0°C en días de precipitación de Socaire.

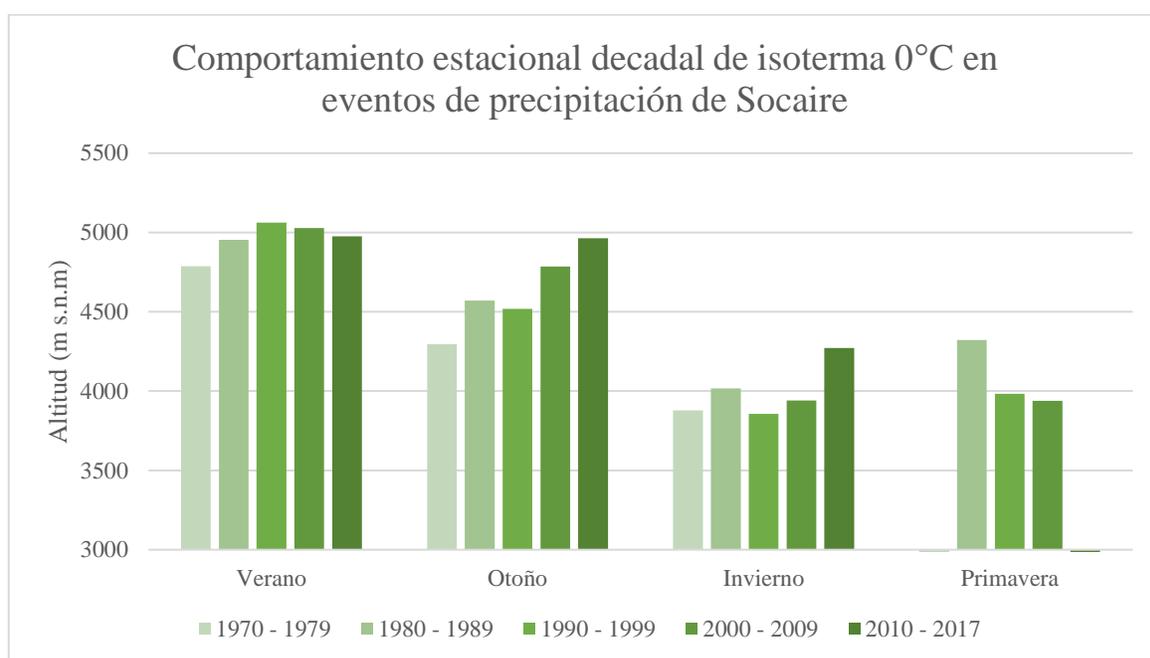


Figura 23. Comportamiento estacional decadal de isoterma 0°C en eventos de precipitación de Socaire

Por lo tanto, mediante la Figura 23 y Tabla 16, se podría determinar que en general los eventos de precipitación en la zona altiplánica de la cuenca de El Loa, específicamente en Socaire se están registrando con una tendencia al alza en la isoterma 0°C, exceptuando la estación de primavera. Este escenario conlleva una serie de riesgos asociados para la población.

4.3.2.2 El Yeso (DGA)

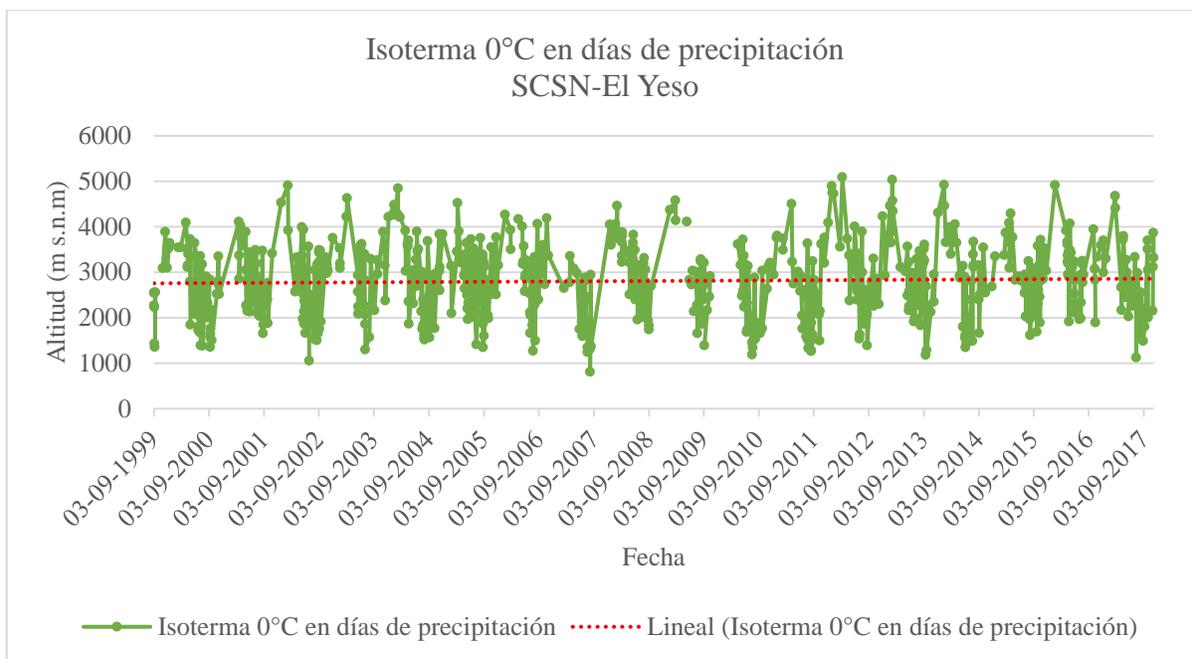


Figura 24. Gráfico de isoterma 0°C en días de precipitación, periodo 1999-2017 (El Yeso Embalse).

Se trabaja con la estación El Yeso Embalse perteneciente a la DGA, debido a que es una de las únicas estaciones ubicadas en cordillera con un registro histórico de datos, a partir del año 1962, ella es parte de la cuenca alta del río Maipo. Un análisis en esta zona es necesario debido que allí se encuentra un embalse de agua, del cual depende gran parte de la población de Santiago. Y cambios en el tipo de precipitación repercutirían en la demanda del recurso hídrico por parte de la población.

El análisis se realiza a partir de septiembre del año 1999, ya que desde esa fecha la radiosonda de Santo Domingo comenzó en operación y por lo tanto fue posible el cálculo de isoterma 0°C. La Figura 24 señala que a lo largo de la serie de datos se observa una ligera tendencia positiva, en cuanto a la altitud de la isoterma 0°C. A nivel estacional, la Tabla 17 indica tendencias positivas durante, otoño, primavera y verano, mientras que en invierno se da una ligera tendencia negativa. Los datos de isoterma 0°C en días de precipitación en invierno son bastantes, lo que indicaría una mayor certeza en los resultados (gráficos estacionales ver anexo N°9).

Estación	Tendencia	Días con precipitación*
Otoño	+	194
Invierno	-	349
Primavera	+	171
Verano	+	69

Tabla 17. Tendencias estacionales de isoterma 0°C en días de precipitación de El Yeso Embalse.

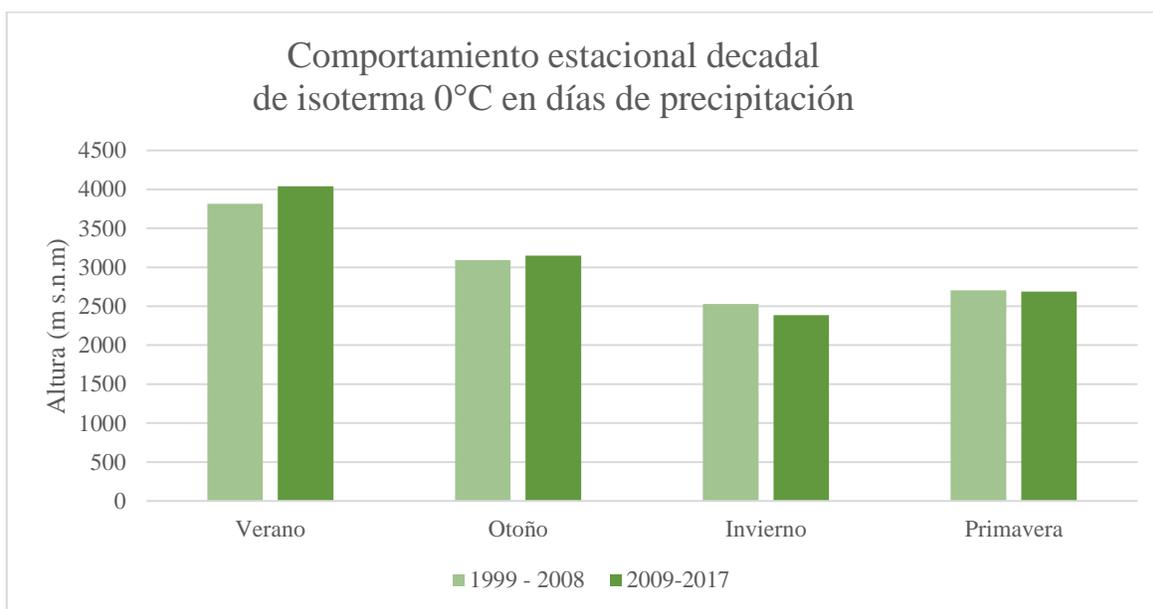


Figura 25. Comportamiento estacional decadal de isoterma 0°C en eventos de precipitación de El Yeso Embalse.

Tanto en el análisis estacional como decadal hacen evidente un ascenso de la altitud de isoterma 0°C en los eventos de precipitación en las estaciones de verano y otoño, mientras que en primavera se observa un comportamiento similar durante el periodo analizado, así lo señala la Figura 25. El aspecto a destacar sería la altitud de la isoterma 0°C en invierno, la cual, muestra una tendencia negativa lo que implicaría precipitaciones con nieve a menor altura. Cabe señalar que el periodo analizado es más acotado que el resto de las estaciones, por lo que los resultados tendenciales pudiesen no ser representativos.

4.3.2.3 Futaleufú (DMC)

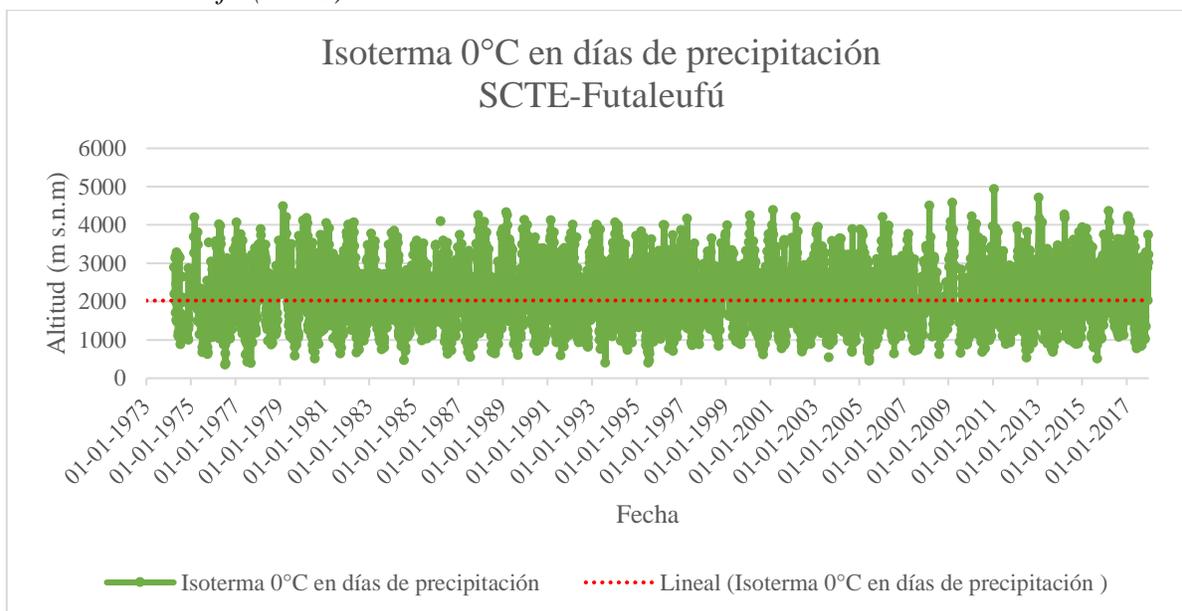


Figura 26. Gráfico de isoterma 0°C en días de precipitación, periodo 1973-2017 (Futaleufú).

Se escoge la estación de Futaleufú debido a que es una de las estaciones de la precordillera de la región de Los Lagos con mayor data, específicamente esta se encuentra dentro de la cuenca del río Yelcho. En la Figura 26 se aprecia que es una estación que presenta un gran cantidad de días con precipitación, esto se justificaría por su ubicación geográfica que se encuentra y el clima asociado. A partir de los datos obtenidos, se distingue una tendencia sutilmente positiva e incluso pudiera considerarse sin tendencia, lo que significaría que el comportamiento de la isoterma en días de precipitación se ha mantenido similar con el transcurso de los años. La Tabla 18 demuestra que a nivel estacional, se observan tendencias positivas en las estaciones de otoño e invierno, por otro lado, los comportamientos negativos están presentes en las estaciones de primavera y verano, cabe destacar que dichas tendencias son muy débiles, tal como ocurre con la serie completa de datos de la estación de Futaleufú (gráficos estacionales ver anexo N°10).

Estación	Tendencia	Días con precipitación*
Otoño	+	1371
Invierno	+	1815
Primavera	-	1257
Verano	-	818

Tabla 18. Tendencias estacionales de isoterma 0°C en días de precipitación de Futaleufú.

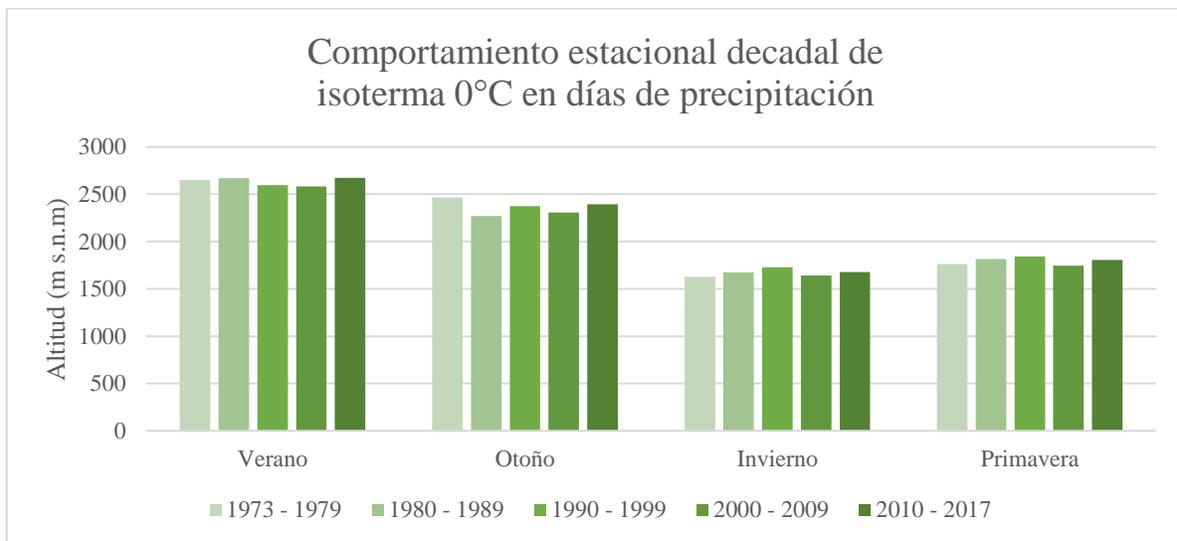


Figura 27. Comportamiento estacional decadal de isoterma 0°C en eventos de precipitación de Futaleufú.

Al analizar el comportamiento decadal de la isoterma 0°C, la Figura 27 señala que en eventos de precipitación en cada estación en Futaleufú se corrobora la conducta señalada anteriormente, no presenta tendencias claras en ninguna estación del año. Adicionalmente, en cada temporada se mueve dentro de un rango de altitudes similares, lo que indica una tendencia casi nula o imperceptible.

4.3.2.4 Punta Arenas (DMC)

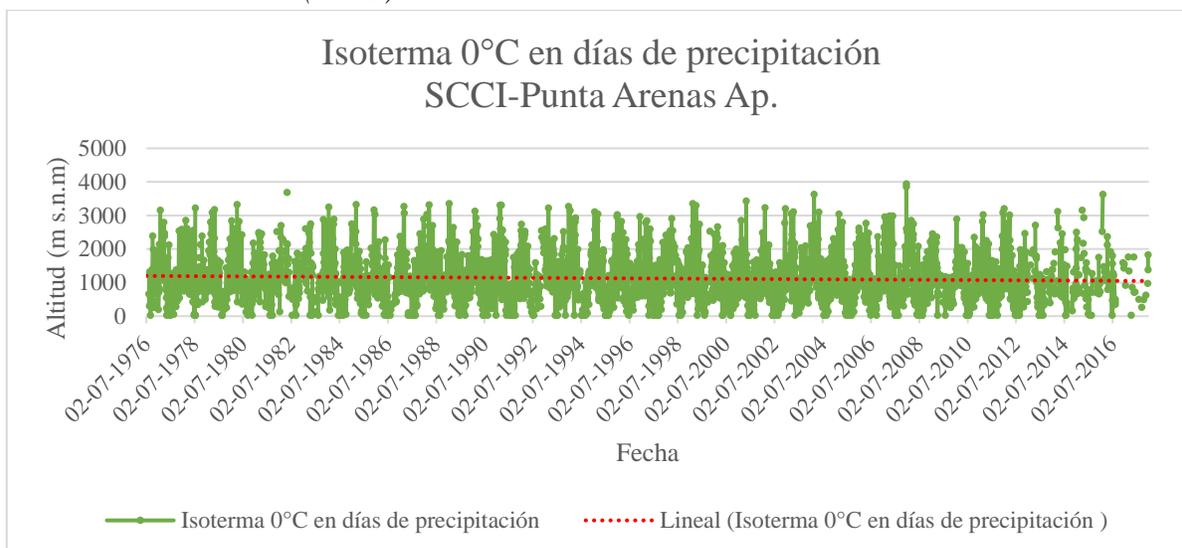


Figura 28. Gráfico de isoterma 0°C en días de precipitación, periodo 1976-2017 (Punta Arenas)

La estación pluviométrica seleccionada fue la misma donde se realiza el lanzamiento de radiosonda, debido a que la mayoría de las estaciones se encuentra en planicies o islas, por lo que una estación cordillerana o precordillerana no se encuentra en esa zona. Como señala la Figura 28 se distingue una gran cantidad de días con eventos de precipitación, lo que permite un análisis más robusto. A lo largo de la serie datos, fue posible distinguir una tendencia ligeramente negativa, es decir una pequeña disminución en la altitud de la isoterma 0°C en días de precipitación. Ya en un análisis estacional se logra reafirmar la tendencia a la disminución ya que esta está presente en otoño, primavera y verano, durante el invierno se demuestra una tendencia positiva, pero de baja importancia, así lo resume la Tabla 19 (gráficos estacionales ver anexo N°11).

Estación	Tendencia	Días con precipitación*
Otoño	-	986
Invierno	+	765
Primavera	-	750
Verano	-	944

Tabla 19. Tendencias estacionales de isoterma 0°C en días de precipitación de Punta Arenas.

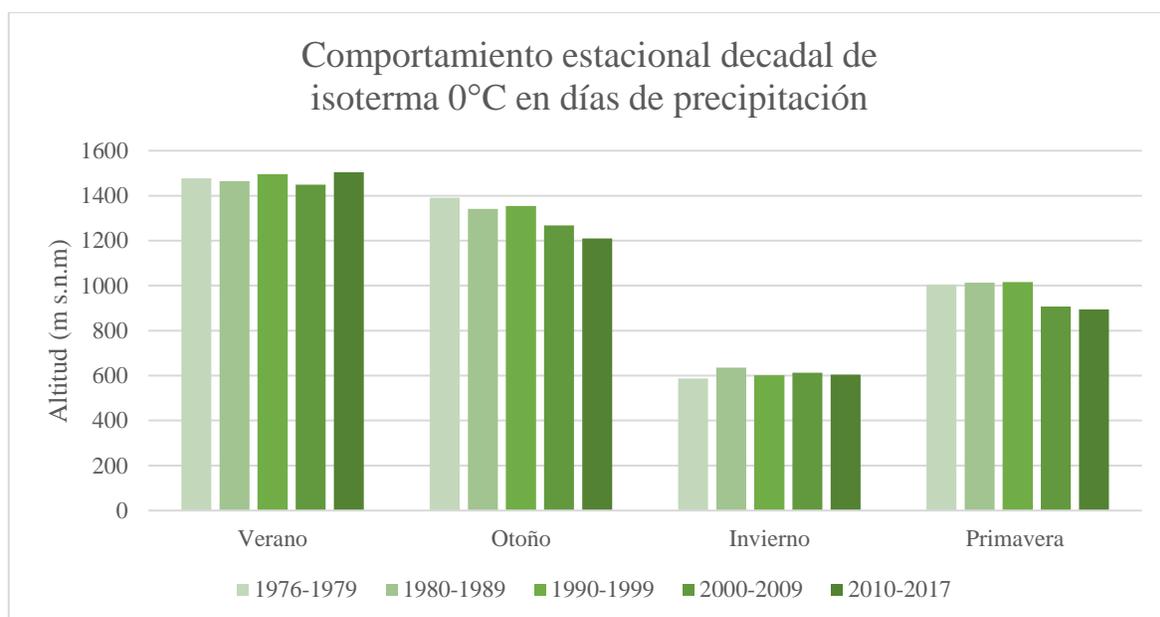


Figura 29. Comportamiento estacional decadal de isoterma 0°C en eventos de precipitación de Punta Arenas.

El comportamiento de la isoterma 0°C en Punta Arenas muestra un comportamiento diferente y más marcado respecto a los sitios de lanzamientos anteriores. Aquí existe un predominio de tendencias negativas así lo muestran sus tendencias y la evolución decadal de isoterma 0°C en días de precipitación. La Figura 29 vislumbra una ligera tendencia positiva, la cual se presenta únicamente en la temporada de invierno, estación donde la nieve y aguanieve es frecuente en el tipo de precipitación.

5 Discusión

En primer lugar, precisar un método de determinación de isoterma 0°C fue posible, en esta memoria se utilizó la alternativa del radiosondeo, es decir datos de parámetros atmosféricos medidos en la atmosfera libre, los cuales son lanzados en diferentes puntos del país. Temperatura y altitud de un sitio de lanzamiento de radiosonda bastaron para construir un código de programación. El cual mediante procesos estadísticos permitieron el cálculo de la altitud de la isoterma 0°C a nivel diario. Gracias a ello fue posible llevarlo a la dimensión espacial y su vez un análisis temporal. Los datos de temperatura superficial de Terraclimate permitieron realizar una validación de los resultados arrojados por radiosonda, destacando la similitud de datos, aun cuando uno fuera medido en atmosfera libre y otro a la altitud de la superficie. No obstante, también dejando en evidencia problemas técnicos en sus fuentes de información como lo ocurrido con las temperaturas máximas de Puerto Montt.

5.1 Comportamiento espacial en Chile

A lo largo del año la isoterma 0°C se ubica principalmente en la cordillera de Los Andes y altas cumbres, durante meses de invierno y algunos de primavera ella incursiona a altitudes más bajas, evidenciándose en los eventos de precipitación sólida y/o la conservación de nieves y masas de hielo. Es por ello, que en Los Andes meridionales es común registrar nieve durante meses de invierno y a partir de primavera con el aumento de las temperaturas permita la gradual fusión, siendo aprovechado como recurso hídrico en el territorio (Casassa et al, 2011). Así también, permiten ser el soporte de la mayor parte de glaciares en Chile (Sepúlveda, 2016). El cálculo de superficie corrobora el producto espacial, ya que demuestra la preponderancia de esta variable en el territorio. Alcanzando la quinta parte del territorio en la zona norte, e inclusive casi el 30% en las regiones australes del país.

5.2 Comportamiento temporal de Isoterma 0°C

De acuerdo a las isotermas 0°C calculadas por radiosonda y Terraclimate, se observa un aumento significativo de la isoterma 0°C en la zona norte, centro y sur del país a partir de las fechas que comienza el análisis, es decir en la década del 70' en Antofagasta y Puerto Montt y desde los 2000' en Santo Domingo. El comportamiento descrito se asemeja a lo

postulado por Carrasco, (2008), quien señala que en las últimas décadas se ha observado una tendencia positiva de la isoterma 0°C en todo el territorio chileno, exceptuando la zona austral.

Punta Arenas sería la estación que no sigue aquella tendencia, ya que allí la altitud ha presentado una inclinación a la disminución en la altitud que se ubica la isoterma 0°C. Sepúlveda, (2016) mediante un reanálisis NCEP-CFSR de los datos de radiosonda también determinó una tendencia negativa en la estación de Punta Arenas, principalmente en primavera. Mientras que la DMC, (2015) sostuvo que los promedios mensuales se han mantenido en rangos normales, exceptuando en la estación de verano, donde aquí la tendencia fue negativa.

Durante meses de invierno fue posible observar mayores diferencias entre los datos de radiosonda y los calculados por Terraclimate, según Sepúlveda, (2006) los radiosonda tienden a presentar menor exactitud en sus datos durante el periodo invernal debido a la acumulación de frío en aire producido por los depósitos de nieve en cordillera. Por lo tanto, la altitud de la isoterma 0°C en invierno puede variar de la acumulación de nieve que se haya dado en un año determinado.

Santo Domingo (SCSN) y Puerto Montt (SCTE) presentan tendencias positivas principalmente en meses de verano, aumentos de 180 m s.n.m y 60 m s.n.m por década respectivamente. Panorama coherente con lo que indican proyecciones para el siglo XXI, las cuales apoyan la idea de un cambio en la isoterma cero, presentando una tendencia al alza en todas las estaciones del año principalmente en las latitudes comprendidas entre los 30° y 40°, sin embargo, se hace hincapié en los cuatro primeros meses del año, los cuales sostendrían un alza más significativa (CONAMA, 2006). Otra proyección es la que expone Carrasco (2011) quien señala que en Los Andes meridionales la nieve estacional también se vería afectada por el aumento de la temperatura y la tendencia negativa de las precipitaciones. Como consecuencia una mayor altitud de la isoterma cero conlleva a una reducción del área andina, es decir la que permite la conservación de nieves y glaciares. Según señala Lemke et al, (2007) en el hemisferio norte ya es evidente la reducción de las áreas montañosas, debido a que ha disminuido la capa de nieve estacional.

Si bien las tendencias durante verano dejaron evidente un cierto patrón al aumento de la isoterma 0° en todo Chile, el resto del año fue algo más disperso, sin embargo, los meses que presentan tendencias con más significancia ($\leq 90\%$) estas fueron positivas, lo que respondería al comportamiento generalizado de ascenso de la isoterma 0°C en gran parte del territorio chileno en las últimas décadas. De acuerdo a Carrasco, Casassa & Quintana (2005) el aumento de la isoterma 0°C es una tendencia en Chile, sin embargo, estaría presente principalmente en días sin precipitación.

El comportamiento de la isoterma 0°C en Chile es heterogéneo, sin embargo, sí se analiza las tendencias a nivel general, gran parte del país muestra un aumento de la isoterma, excluyendo la zona austral del país. Situación que respondería al nuevo escenario del cambio climático. De acuerdo a Falvey & Garreaud (2009) el comportamiento observado en Chile en cuanto a temperaturas entre los años 1979 y 2005 se distingue un calentamiento en la Cordillera de Los Andes tanto en la zona norte, como la zona centro del país, mientras que desde la región del Biobío al sur las tendencias ya no son significativas e incluso se observa un ligero enfriamiento.

El descenso de la isoterma en Punta Arenas es algo que ya ha sido descubierto o deducible a través de otros autores, según Santana, Butorovic & Olave (2009) esta zona del país registra una inclinación al enfriamiento en los últimos 120 años, destacando que en la media de las temperaturas mínimas ha sido más reconocible. Mientras que las precipitaciones en el periodo invernal presentan un incremento significativo desde el 1990 a la fecha, contrarrestando el descenso en el resto del año (González et al, 2017).

5.3 Comportamiento de isoterma 0°C en las precipitaciones

Por un lado, existe la tendencia que ha presentado la isoterma 0°C diaria a lo largo del periodo estudiado, pero también era interesante conocer el valor de ellas en días cuando hay precipitación líquida o sólida en precordillera, ya que como se ha mencionado anteriormente es un factor detonante para ciertos riesgos socio naturales. Bajo un escenario de cambio climático las temperaturas superficiales experimentan un alza entre la cordillera de la zona norte y valles del centro sur, mientras que las precipitaciones van a la

disminución especialmente en la zona central y sur, la zona austral destaca con una tendencia positiva (Garreaud, 2011).

En esta investigación, queda en evidencia la tendencia positiva en la zona norte (Socaire) durante todas las estaciones del año, Mientras que en el centro (El Yeso Embalse) la situación es semejante, un alza en la isoterma 0°C gran parte del año, exceptuando meses de invierno donde se registra una ligera disminución en su altitud. La zona sur no presenta tendencias claras, por lo que podría afirmar que ha presentado un comportamiento similar durante el periodo. Sin descartar periodos o eventos con isoterma elevada debido a la variabilidad interanual en Chile (Garreaud, 2011). Punta Arenas experimenta una disminución en la isoterma 0°C en días de precipitación gran parte del año, exceptuando invierno, donde se observa una ligera tendencia positiva. Es sabido que los eventos de precipitación en Chile están vinculados a la Oscilación del Sur (ENOS), en su fase cálida es conocida por El Niño, generando un aumento en la temperatura y una tendencia al alza en las precipitaciones, principalmente en la zona centro norte del país, mientras que la fase opuesta sería La Niña, generando un enfriamiento en la costa y tendiendo a una disminución de lluvias en Chile central (Maturana, Bello & Manley, 1997). Por lo tanto, las fluctuaciones de la isoterma 0°C en eventos de precipitación se verían influenciada en gran parte por esta variabilidad interanual, así como también otras oscilaciones como la antártica (OAA) o la oscilación decadal del Pacífico (PDO) escenarios que serían muy interesante analizar en una nueva investigación a partir de los datos obtenidos en esta memoria.

6 Conclusiones

La metodológica propuesta tuvo resultados exitosos, se logró definir un procedimiento para la descarga y estandarización de datos proporcionados por Wyoming, así como también el cálculo de la isoterma diaria en más del 95% de los registros. Si bien se dieron inconvenientes y desafíos, estos pudieron ser resueltos. Así fue el caso de las doble isotermas (dos inversiones térmicas en la vertical en un mismo registro horario), donde a través de una automatización de macros se definió un procedimiento para la elección de la inversión térmica correcta, de esta manera se logra recuperar un número importante de registros.

Dentro del territorio nacional chileno la isoterma 0°C está presente, y enseña comportamientos espaciales y temporales en las diferentes estaciones del año. Mediante el procedimiento de cálculo isoterma 0°C a partir de los datos de radiosondas permitió concluir que a grandes rasgos se observa un aumento en la altitud de isoterma 0°C en gran parte del territorio, exceptuando la zona austral de Chile, la cual presenta tendencias a la disminución de su altitud. Tendencias que fueron validadas con un método alternativo, temperaturas superficiales que fueron extraídas de la base de datos mundial; Terraclimate.

A la hora de una propuesta de un modelo de determinación de una variable climática es de suma importancia realizar una validación de los datos, es decir, investigar o analizar otras alternativas con las cuales se pueda llegar a los mismos resultados. San Isidro, (1998) señala que la verificación es parte de los cuatro procesos de un método estadístico (descripción, modelización, verificación y predicción). La finalidad de la verificación, con Terraclimate en este caso, se realiza con la función de que el modelo pase a la cuarta etapa, una fase donde los resultados ya estén verificados y listos para un uso predictivo. Ejemplo de ello serían un método probabilístico de aluviones o bien evaluaciones de riesgo de inundaciones, donde la isoterma 0°C juegue un rol desencadenante.

Se señaló tanto en la problemática, como en el estado del asunto, que la necesidad de este estudio de isoterma 0°C recae ante el escenario de cambio climático, evaluar el comportamiento de la variable en las últimas décadas. Como se observó en los resultados y discusión el aumento de la temperatura global no deja exento a Chile, gran parte del país experimenta un alza en la altura de la isoterma 0°C, durante todo el año, con mayores tasas

de aumento en meses de verano. Por ello, que al estudiar sus impactos en el territorio se vincula a desastres relacionados con el cambio climático, estos dos fenómenos tienen una relación directa, por lo que sí no toman las medidas necesarias para combatir el cambio climático y los gases de efecto invernadero continúan en aumento, la isoterma 0°C también responderá, continuando sus tendencias al alza.

Mediante la bibliografía recopilada se recalca la necesidad de mayores sitios de lanzamiento y a la vez mayor cantidad de lanzamientos, la actual estación de Santo Domingo (SCSN) es la única que realiza dos lanzamientos diarios (00Z y 12Z), de acuerdo a la DMC (2015) indica que un radiosonda tiene una representación horizontal de 150 Km alrededor de la estación, sin embargo, actualmente estas son vistas cómo representativas de cada zona geográfica de Chile. Contar con aquella información permitiría contar con pronósticos a corto plazo de mayor peso, así como también estudios e investigaciones con una mayor cantidad de registros.

Dentro de las variadas aplicaciones que se le pueden dar a estos resultados sería de gran interés trabajar con imágenes satelitales, llevar estos resultados empíricos al territorio, corroborar la aproximación de las isolíneas obtenidas, así como también evidenciar si las tendencias expuestas son visibles en los productos satelitales.

Un estudio de comportamiento de isoterma se hace relevante para los todos los sistemas socioeconómicos de un territorio definido, aún más cuando existen características geográficas que se vean dependiente de ellas. Como en el caso de Chile las actividades económicas de minería, turismo, agricultura entre otras. También hay que destacar las actividades socio residenciales que son vulnerables al comportamiento de la isoterma 0°C, en la historia reciente ya se ha evidenciado algunos impactos derivados de ella, ejemplo de ello el caso de la precordillera de Santiago en 1993, o Antofagasta en 1991 (Garreaud & Rutllant, 1996). Sin embargo, las medidas posteriores no han sido las suficientes o no han sido concientizadas por las autoridades y población, puesto que las catástrofes se repiten en el tiempo.

Los ecosistemas naturales tampoco quedan ajenos. Un número importante de publicaciones relacionadas a la isoterma 0°C están vinculadas al estudio de glaciares. Debido a que los datos de ELA son muy limitados en Chile (Rivera et al, 2000; Cassasa, 2005). Los datos de

isoterma 0°C se utilizan para derivar la altura de ELA y de esta manera analizar su comportamiento.

Es por ello, la necesidad e importancia que la isoterma 0°C sea contemplada tanto en las políticas públicas, como también en una planificación estratégicas a largo plazo, es una variable que lentamente está tomando mayor peso en estudios de riesgos, así como también una conciencia por parte de la población sobre los impactos derivados de ella. Es una tarea que va dirigida tanto a investigadores, autoridades políticas, ciudadanos y medios de comunicación.

7 Bibliografía

Aldunce Ide, P., Neri, C., & Szlafsztein, C. F. (2008). Hacia la evaluación de prácticas de adaptación ante la variabilidad y el cambio climático.

Azocar, G. (2018). Modelamiento de la Distribución del Permafrost de Montaña a través de inventario de Glaciares Rocosos en Los Andes semiáridos, Cuenca del Rio Huasco, Chile. (memoria para optar al título de geógrafo). Universidad de Chile. Santiago.

Barton, J. (2009). Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones. *Revista de Geografía Norte Grande*, 43, 5-30. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rgeong/n43/art01.pdf>

Barañaño, J. (2011). Efectos del cambio climático en la generación hidroeléctrica en Chile: Central Energía. Santiago, Chile. Disponible en: <http://normasapa.com/como-citar-referenciar-paginas-web-con-normas-apa/>

Biblioteca del Congreso nacional de Chile (BCN). (2018). Chile Nuestro País. Obtenido el 7 de noviembre de 2018 desde: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/regiones>

Burrough, P. A. & McDonell, R. A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford University Press.

Bustos, D. (2011). Cambio climático y eventos de emergencia en el suministro de agua potable en el gran Santiago. (Memoria para optar al título de ingeniero civil). Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Carrasco, J., Casassa, G. & Quintana, J. (2005) Changes of the 0°C isotherm and the equilibrium line altitude in central Chile during the last quarter of the 20th century / Changements de l'isotherme 0°C et de la ligne d'équilibre des neiges dans le Chili central durant le dernier quart du 20ème siècle, *Hydrological Sciences Journal*, 50:6, -948,

Carrasco, J., Osorio R & Casassa, G. (2008). Secular trend of the equilibrium-line altitude on the western side of the southern Andes, derived from radiosonde and surface observations. *Journal of Glaciology*. Vol. 54, 2008, 186 pp.

Carrasco, J., Cassasa, G., Pizarro, R & Saravia M. (2011). *Impactos del Cambio Climático, Adaptación y Desarrollo en las Regiones Montañosas de América Latina*

CNN. (2017). Los problemas provocados por la nieve en Santiago. 23 de mayo de 2017, de CNN Chile Sitio web: https://www.cnnchile.com/pais/los-problemas-provocados-por-la-nieve-en-santiago_20170715/

CONDESAN. (2011). 20 years of Sustainable Mountain Development in the Andes -from Rio 1992 to 2012 and beyond - Final Draft v3 September 2011.

Cuesta F., P. Muriel, S., Beck, R., I. Meneses, S., Halloy, S., Salgado, E., Ortiz & M.T. Becerra. (2012). Biodiversidad y Cambio Climático en los Andes Tropicales - Conformación de una red de investigación para monitorear sus impactos y delinear acciones de adaptación. Red Gloria-Andes, Lima-Quito. Pp 180 <http://www.comunidadandina.org/StaticFiles/201357161125gloria.pdf>

Cuffey & Paterson, (2010). The physics of glaciers. Academic Press, pp. 13-15

Di Castri, F., & Hajek, E. R. (1976). Bioclimatología de Chile. https://grn.cl/bioclimatologia_de_chile.pdf

Dirección Meteorológica de Chile (DMC). (2015). Comportamiento de la altura de la isoterma 0°C en Chile. Santiago, Chile

Donoso, L. (2007). Propuesta de intervención silvícola con fines de conservación para la formación boscosa de *Nothofagus macrocarpa* (Caleu, Prov. Chacabuco). Memoria Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Elizalde, A. (2003). Planificación estratégica territorial y políticas públicas para el desarrollo local. Santiago: Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES)

Ellena, S. (2013). Cambio climático: efectos en la generación hidroeléctrica en el mercado chileno (Memoria para optar al título de Ingeniero civil de Industrias, con diploma en Ingeniería eléctrica). Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile

Erazuriz, A. (1992). Manual de Geografía de Chile. Santiago, Chile: Editorial Andres Bello.

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(D4).

Ferrando, F. (2012). Prevención de desastres: El cambio climático global en el ordenamiento territorial. Fauopina. Universidad de Chile. Disponible en: <https://fauopina.uchilefau.cl/prevencion-de-desastres-el-cambio-climatico-global-en-el-ordenamiento-territorial/>

Ferraz, J. (1982). Manto nivoso. *Geographicalia* (13-16), 135-142.

Garreaud, R., & Rutllant, J. (1996). Análisis meteorológico de los aluviones de Antofagasta y Santiago de Chile en el periodo 1991-1993. *Atmósfera*, 9(4), 251-271.

Garreaud, R. (2011). Cambio Climático: Bases físicas e impactos en Chile. *Revista Tierra Adentro*, 93(2), 1-14.

Garreaud, R. (2013). Warm winter storms in Central Chile. *Journal of Hydrometeorology*, 14(5), 1515-1534.

Garreaud, R. (2013). Warm winter storms in Central Chile. *Journal of Hydrometeorology*, 14(5), 1515-1534.

Garreaud, R. (1993). Impacto de la variabilidad de la línea de nieves en crecidas invernales en cuencas pluvio-nivales de Chile central. XI congreso chileno. Sociedad chilena de ingeniería hidráulica.

González-Reyes, Á., Aravena, J. C., Muñoz, A. A., Soto-Rogel, P., Aguilera-Betti, I., & Toledo-Guerrero, I. (2017). Variabilidad de la precipitación en la ciudad de Punta Arenas, Chile, desde principios del siglo XX. In *Anales del Instituto de la Patagonia* (Vol. 45, No. 1, pp. 31-44). Universidad de Magallanes.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2017). Compendio estadístico. Publicación anual. Santiago de Chile. Obtenido el 6 de noviembre de 2018 desde: <http://www.ine.cl/docs/default-source/publicaciones/2017/compendio-estadistico-2017.pdf?sfvrsn=4>

Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2018). Síntesis de resultados Censo 2017. Junio/2018.

Jadue, D. (2009). Planificación y gestión estratégica: un camino hacia el desarrollo sustentable. *Revista INVI*, 12(30)

Kohler, T. Wehrli, A. & Jurek, M. (2014). Las montañas y el cambio climático: una preocupación mundial. Serie sobre el desarrollo sostenible de las regiones de montaña. Berna, Suiza, Centro para el Desarrollo y el Medio Ambiente (CDE), Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), y Geographica Bernensia. 136 pp.

Lemke, P., Ren, J., Alley, R. B., Allison, I., Carrasco, J., Flato, G., ... & Zhang, T. (2007). Observations: changes in snow, ice and frozen ground.

Lubert, F., & Pliscoff, P. (2006). Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Editorial Universitaria. Santiago.

Marzo, J. (2016). Análisis de la influencia del cambio climático en las necesidades de climatización en Andalucía a escala de detalle territorial (Tesis Doctoral para optar al doctorado de geografía en Procesos socioeconómicos, Recursos y Cambio Global). Universidad de Sevilla, España. Disponible en: https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/45211/tesis_Javier_Marzo_Artigas.pdf?sequence=1

Maturana, J., Bello, M., & Manley, M. (1997). Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur. *El Niño-La Niña*, 2000, 13-27.

Monge, C. Patzy, F. & Viale, C. (2013). Minería, Energía, Agua y Cambio Climático en América Latina.

Moreno, J & Ruiz, E. (2016). El vínculo biodiversidad-cambio climático: un elefante en la habitación. ¿Cómo podemos actuar las empresas y organizaciones? Madrid, España: Forética.

Muñoz, M & Moreira, A. (2004). La flora de Chile mediterráneo y su estado de conservación. [en línea] <<http://www.mnhn.cl/Botanica2/index.html>>

Observatorio Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2011). Los eventos meteorológicos extremos, San Salvador, El Salvador. Fundación Maquilishuatl.

Observatorio Latinoamericano de conflictos ambientales (OLCA). (2009). Expansión urbana y su implicancia en el cambio climático, desertificación y sequía. Obtenido el 4 de abril desde: <http://olca.cl/oca/desertificacion/informe045.htm>

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2010). Red de observación en altitud. Asociados en el tiempo, el clima y el agua para el desarrollo. 5ta versión. Ginebra, Suiza.

Organización Mundial del Turismo (OMT), (2013). Climate change and tourism. World Tourism Organization. Madrid

Organización Mundial del Turismo (OMT). (2008). Second International Conference on Climate Change and Tourism. En Climate Change and Tourism (3-9). Madrid, España: World Tourism Organization and United Nations Environment Programme.

Price, M. (1998). Las montañas: ecosistemas de importancia mundial. Depósito de Documentos de la FAO. Es Necesario Mover Montañas. Revista Unasylva N° 195. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/w9300s/w9300s00.htm>.

Proyecto Adaptación al Cambio Climático en Alta Montaña. (2018) Adaptación a los impactos climáticos en regulación y suministro de agua en el área de Chingaza-Sumpaz-Guerrero. Disponible en: <http://www.conservation.org.co/media/Adaptacio%CC%81n%20al%20cambio%20clima%CC%81tico.pdf>

Román, R. (2005). Cambio climático y Cajón de Maipo. Universidad de Chile.

Saavedra et al. (2018). Changes in Andes snow cover from MODIS data, 2000–2016. The Cryosphere (12), 1027-1046.

Sagredo, R. (2016), “Territorio y saber en disputa. La controversia limítrofe chilenoargentina sobre los Andes”, *Asclepio* 68 (2): p152.

Salmi, et al. (2002). Detecting Trends Of Annual Values Of Atmospheric Pollutants By The Mann-Kendall Test And Sen's Slope Estimates -The Excel Template Application Makesens. Finish Meteorologic Institute. Helsinki, Finlandia.

San Isidro, M. (1998). Procesos de validación de modelos de simulación. Ciemat.

Santana, A., Butorovic, N., & Olave, C. (2009). Variación de la temperatura en Punta Arenas (Chile) en los últimos 120 años. In *Anales del Instituto de la Patagonia* (Vol. 37, No. 1, pp. 85-96). Universidad de Magallanes.

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

Seguel, R. & L. Stowhas, (1985). Estimaciones de crecida de diseños en cuencas mixtas nivo-pluviales. VII congreso de ingeniería hidráulica.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2011). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático para la gestión y planificación local (manual). Buenos Aires: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Disponible en: <http://www.portalces.org/biblioteca/cambio-climatico/vulnerabilidad-adaptacion-al-cambio-climatico-para-gestion-planificacion>

Sepúlveda, N. (2016). Variación espacial y temporal de la isoterma 0°C en la atmósfera sobre la región Chile-pacífico suroriental (Habilitación profesional para optar al título de geofísico). Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

Sepúlveda, C., y Padilla, S. (2008). Rain-induced debris and mudflow triggering factors assessment in the Santiago cordilleran foothills Central Chile. *Nat Hazards*, 2008 (47), 201–215.

Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). (2018). Aluvión Villa Santa Lucia.

Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR). (2014). Informe Medición del Turismo de Nieve y Deportes de Invierno en la Región Metropolitana.

Torres, J. (2014). Adaptación al cambio climático en zonas de montaña. Evidencias y lecciones desde América Latina. Lima, Perú.

Trivelli, M. (2014). Reseña de la vegetación de Chile. Servicio Agrícola y Ganadero. Disponible en: http://www.sag.cl/sites/default/files/la_flora_de_chile_continental_5f_junio_2014_final2.pdf

Unidad de Pasos Fronterizos. (2018). Complejos Fronterizos.

Vaconi, P. (2008) Chile y el calentamiento global: Una mirada desde la política pública. Terram: sustentabilidad, ambiente y desarrollo. Disponible en: http://www.terram.cl/images/storiesrpp24-cambio_climatico_terram_final.pdf

Vinuesa, P. (2016). Regresión lineal simple y polinomial: teoría y práctica. Environmental and evolutionary microbiology (7). Disponible en: http://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/R4biosciences/docs/Tema9_regresion.html

8 Anexos

Anexo N°1. Código de Macros para cálculo de Isoterma 0°C a partir de datos de radiosonda.

```
Sub Macro4()  
'  
' Macro4 Macro  
  
Application.ScreenUpdating = False  
  
'Indicar nombre de archivo con datos de sonda (recuerde construir FLAG uqe  
indiquen cambio de medición)  
Dim est As String  
est = "scci.xlsx"  
  
'Se limpia hoja RESULT de MACRO  
Windows("MACRO_ISO0.xlsm").Activate  
Sheets("RESULT").Select  
Cells.Select  
Selection.ClearContents  
Range("A1").Select  
ActiveCell.Value = "A"  
Range("A2").Select  
ActiveCell.Value = "A"  
'Se busca posición de última fila y se guarda en obj row_1  
Windows(est).Activate  
Sheets("Hojal").Select  
Range("A1").Select  
Selection.End(xlDown).Select  
row_1 = ActiveCell.Rows.Row  
'Se busca altura de lanzamiento de sonda, se guarda en obj alt y se pega en hoja  
CALC de MACRO  
Range("H3").Select 'OJO..CHEQUEAR si rango seleccionado corresponde a la altura  
de la estación, de lo contrario cambiar  
alt = ActiveCell.Value  
Selection.Copy  
Windows("MACRO_ISO0.xlsm").Activate  
Sheets("CALC").Select  
Range("k17").Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False  
'Nos posicionamos sobre columna que contiene los FLAG  
Windows(est).Activate  
Range("T1").Select  
  
' Inicio Loop 1: Mientras posición de celda activa es menor a row_1 (última  
fila) repita las siguientes instrucciones  
  
Do While ActiveCell.Rows.Row < row_1  
  
    'Se guarda posición de primera (obj row_2) y ultima fila (obj row_3) de  
matriz hora/dia de sonda  
    Selection.End(xlDown).Select  
    row_2 = ActiveCell.Rows.Row  
    Selection.End(xlDown).Select  
    row_3 = ActiveCell.Rows.Row  
    Selection.End(xlUp).Select
```

```

'Inicio If 1. Si tamaño de matriz hora/dia sea mayor o igual a 10 continúe
con las siguientes instrucciones, en caso contrario
'salte a la siguiente matriz (Inicio Loop 1)
If ((row_3 - row_2) - 2) >= 10 Then
  'Se copian datos de matriz hora/día y se pegan en hoja RESULT de MACRO
  Range(ActiveCell.Offset(0, -19), ActiveCell.Offset(0, -14)).Select
  Selection.Copy
  Windows("MACRO_ISO0.xlsm").Activate
  Sheets("RESULT").Select
  Range("A1").Select
  Selection.End(xlDown).Select
  ActiveCell.Offset(1, 0).Activate
  Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks
-
  :=False, Transpose:=False
  'Se posiciona sobre columna con Temperatura
  Windows(est).Activate
  ActiveCell.Offset(0, 8).Activate

  'La siguiente secuencia de Loop 2, Loop 3 e If 2 busca la temperatura <=0
para guardar su posición en obj isol

  'Inicio Loop 2
  ' Dim isol As Integer
  Do While ActiveCell.Value = ""

  ActiveCell.Offset(1, 0).Activate

  Loop
  'Fin Loop 2

  'If 2
  If ActiveCell.Value = 0 Then

  isol = ActiveCell.Rows.Row

  Else
  'Loop 3
  Do While ActiveCell.Value > 0

  ActiveCell.Offset(1, 0).Activate

  Loop
  'Fin Loop 3

  isol = ActiveCell.Rows.Row
  'Fin If 2
  End If

  'Se vuelve a MACRO para borrar datos de hoja CALC
  Windows("MACRO_ISO0.xlsm").Activate
  Sheets("CALC").Select
  Range("B2:C500").Select
  Selection.ClearContents
  Range("B2").Select

  Windows(est).Activate

  'Inicio If 3: Si posición de fila isol es mayor a primera fila de matriz
hora/dia continúe seleccione 1 nivel superior y
  '10 nivel inferiores, en caso contrario sólo seleccione los 10 niveles
inferiores
  If isol > row_2 Then

```

```

Range(ActiveCell.Offset(-1, -1), Cells(row_3 - 1, 9)).Select
Selection.Copy

Windows("MACRO_ISO0.xlsm").Activate
Sheets("CALC").Select
Range("B2").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

Range("M2:P2").Select
Selection.Copy
Sheets("RESULT").Select
Range("A1").Select
Selection.End(xlDown).Select
ActiveCell.Offset(0, 6).Activate
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

Else

Range(ActiveCell.Offset(0, -1), Cells(row_3 - 1, 9)).Select
Selection.Copy

Windows("MACRO_ISO0.xlsm").Activate
Sheets("CALC").Select
Range("B3").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

Range("M2:P2").Select
Selection.Copy
Sheets("RESULT").Select
Range("A1").Select
Selection.End(xlDown).Select
ActiveCell.Offset(0, 6).Activate
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

'Fin If 3
End If

Windows(est).Activate
Sheets("Hojal").Select
Range("T" & (row_2 + 1)).Select

Else

Windows(est).Activate
Sheets("Hojal").Select
Range("T" & (row_2 + 1)).Select

'Fin If 1
End If

Loop
'Fin Loop 1
Application.ScreenUpdating = True
End Sub

```

Anexo N°2. Metodología de elección de isoterma en caso de doble inversión térmica.

1. Dada la siguiente configuración

DIA	Alt ISO-0(1)	Alt ISO-0(2)
Día -1	1018.5	--
Día 0	2285.8	4612.7
Día 1	1463.1	--

2. Se calculan las diferencias de altitud para ISO-0(1) e ISO-0(2) respecto a Día-1 y Día 1, donde se validan según las cotas dados por los valores atípicos (+-1.5 * Rango Inter cuartilico) superior e inferior de las diferencias de altitud históricas.

Por ejemplo:



3. En caso que ambas isotermas 0 (ISO-0(1) e ISO-0(2)) sean validadas se selecciona aquella que presente el menor valor dado por el promedio de sus diferencias de altitudes absolutas.

Por ejemplo:

Dif Altitud **ISO-0(1)** $1267.2 + 822.73 / 2 = 1678.5$ ✓

Dif Altitud **ISO-0(2)** $1281.5 + 836.9 / 2 = 1699.9$
 (2300)

Anexo N°3. Código de Google Engine para cálculo de isoterma 0°C a partir de datos Terraclimate

```
var tmin = ee.ImageCollection (imageCollection).filterDate('1973-01-01','2017-12-31')
    .select('tmmn') ;

//Map.addLayer(srtm)
//antofa
var regions = ee.FeatureCollection([
  ee.Feature( // Costa
    ee.Geometry.Point(-70.3879, -23.6636), {label: '106'}),
  ee.Feature( // Calama
    ee.Geometry.Point(-68.9102, -22.4709), {label: '2280'}),
  ee.Feature( // San Pedro
    ee.Geometry.Point(-68.1962, -22.9118), {label: '2539'}),
  ee.Feature( // Frontera 1
    ee.Geometry.Point(-67.7292, -22.9042), {label: '4764'}),
  ee.Feature( // Frontera 2
    ee.Geometry.Point(-67.103, -23.2353), {label: '4296'})
]);

var temp_Series = ui.Chart.image.seriesByRegion(
  tmin, regions, ee.Reducer.mean(), 'tmmn', 200, 'system:time_start', 'label')
  .setChartType('ScatterChart')
  .setOptions({
    title: 'Temperaturas minimas mensuales',
    vAxis: {title: 'Temperatura'},
    lineWidth: 1,
    pointSize: 4,
    series: {
      0: {color: 'FF0000'}, //
      1: {color: '00FF00'}, //
      2: {color: '0000FF'}, //
      3: {color: '7FB3D5'}, //
      4: {color: 'D35400'}, //
    }
  });

// Display.
print(temp_Series)

Map.addLayer(regions)

var tmax = ee.ImageCollection (imageCollection).filterDate('1973-01-01','2017-12-31')
    .select('tmmx') ;
//maximas de Antofagasta
var temp_Series2 = ui.Chart.image.seriesByRegion(
  tmax, regions, ee.Reducer.mean(), 'tmmx', 200, 'system:time_start', 'label')
  .setChartType('ScatterChart')
  .setOptions({
    title: 'Temperaturas maximas mensuales',
    vAxis: {title: 'Temperatura'},
    lineWidth: 1,
    pointSize: 4,
    series: {
      0: {color: 'FF0000'}, //
      1: {color: '00FF00'}, //
```

```

        2: {color: '0000FF'}, //
        3: {color: '7FB3D5'}, //
        4: {color: 'D35400'}, //
    });

// Display.
print(temp_Series2)

//http://colorbrewer2.org/ para buscar paletas de colores
Map.addLayer(srtm , {min:0,max:1500, palette: ['#469c32', '#669c22','#869c12',
'#a69c22','#c69c32'], opacity:0.8}, 'Relieve')

///rocas
var regions2 = ee.FeatureCollection([
  ee.Feature( // Rocas
    ee.Geometry.Point(-71.6229, -33.6571), {label: '87'}),
  ee.Feature( // Melipilla
    ee.Geometry.Point(-71.2315, -33.6765), {label: '166'}),
  ee.Feature( //Pirque
    ee.Geometry.Point(-70.571, -33.6788), {label: '675'}),
  ee.Feature( // Baños Morales
    ee.Geometry.Point(-70.0725, -33.7793), {label: '2409'}),
  ee.Feature( // Frontera
    ee.Geometry.Point(-69.8912, -33.809), {label: '4966'})
]);

var temp_Series3 = ui.Chart.image.seriesByRegion(
  tmin, regions2, ee.Reducer.mean(), 'tmmn', 200, 'system:time_start', 'label')
  .setChartType('ScatterChart')
  .setOptions({
    title: 'Temperaturas minimas mensuales',
    vAxis: {title: 'Temperatura'},
    lineWidth: 1,
    pointSize: 4,
    series: {
      0: {color: 'FF0000'}, //
      1: {color: '00FF00'}, //
      2: {color: '0000FF'}, //
      3: {color: '7FB3D5'}, //
      4: {color: 'D35400'}, //
    }
  });

// Display.
print(temp_Series3)

Map.addLayer(regions2)

var tmax = ee.ImageCollection (imageCollection).filterDate('1999-01-01','2017-12-
31')
  .select('tmmx') ;
///maximas de Santo Domingo
var temp_Series4 = ui.Chart.image.seriesByRegion(
  tmax, regions2, ee.Reducer.mean(), 'tmmx', 200, 'system:time_start', 'label')
  .setChartType('ScatterChart')
  .setOptions({
    title: 'Temperaturas maximas mensuales',
    vAxis: {title: 'Temperatura'},
    lineWidth: 1,
    pointSize: 4,
    series: {
      0: {color: 'FF0000'}, //

```

```

        1: {color: '00FF00'}, //
        2: {color: '0000FF'}, //
        3: {color: '7FB3D5'}, //
        4: {color: 'D35400'}, //
    });

// Display.
print(temp_Series4)

/// Puerto Montt
var regions3 = ee.FeatureCollection([
  ee.Feature( // Costa
    ee.Geometry.Point(-73.5941, -41.6159), {label: '6'}),
  ee.Feature( // Puerto Montt
    ee.Geometry.Point(-73.0725, -41.516), {label: '76'}),
  ee.Feature( //Chapo
    ee.Geometry.Point(-72.7292, -41.5088), {label: '269'}),
  ee.Feature( // Cochamo
    ee.Geometry.Point(-72.2732, -41.479), {label: '814'}),
  ee.Feature( // Frontera
    ee.Geometry.Point(-71.8599, -41.4615), {label: '1211'})
  ]);

var temp_Series5 = ui.Chart.image.seriesByRegion(
  tmin, regions3, ee.Reducer.mean(), 'tmmn', 200, 'system:time_start', 'label')
  .setChartType('ScatterChart')
  .setOptions({
    title: 'Temperaturas minimas mensuales',
    vAxis: {title: 'Temperatura'},
    lineWidth: 1,
    pointSize: 4,
    series: {
      0: {color: 'FF0000'}, //
      1: {color: '00FF00'}, //
      2: {color: '0000FF'}, //
      3: {color: '7FB3D5'}, //
      4: {color: 'D35400'}, //
    }
  });

// Display.
print(temp_Series5)

Map.addLayer(regions3)

var tmax = ee.ImageCollection (imageCollection).filterDate('1973-01-01','2017-12-
31')
  .select('tmmx') ;
///maximas de Puerto montt
var temp_Series6 = ui.Chart.image.seriesByRegion(
  tmax, regions3, ee.Reducer.mean(), 'tmmx', 200, 'system:time_start', 'label')
  .setChartType('ScatterChart')
  .setOptions({
    title: 'Temperaturas maximas mensuales',
    vAxis: {title: 'Temperatura'},
    lineWidth: 1,
    pointSize: 4,
    series: {
      0: {color: 'FF0000'}, //
      1: {color: '00FF00'}, //
      2: {color: '0000FF'}, //
      3: {color: '7FB3D5'}, //
      4: {color: 'D35400'}, //
    }
  });

```

```

    });

// Display.
print(temp_Series6)

///Punta Arenas
var regions4 = ee.FeatureCollection([
  ee.Feature( // Fiordos
    ee.Geometry.Point(-73.0765, -52.821), {label: '1338'}),
  ee.Feature( // Cerro Punta Arenas
    ee.Geometry.Point(-71.1236, -53.1895), {label: '447'}),
  ee.Feature( //Punta Arenas
    ee.Geometry.Point(-70.9286, -53.1616), {label: '50'}),
  ee.Feature( // Porvenir
    ee.Geometry.Point(-70.3573, -53.2947), {label: '33'}),
  ee.Feature( // Carretera
    ee.Geometry.Point(-69.304, -53.1616), {label: '116'})
  ]);

var temp_Series7 = ui.Chart.image.seriesByRegion(
  tmin, regions4, ee.Reducer.mean(), 'tmmn', 200, 'system:time_start', 'label')
  .setChartType('ScatterChart')
  .setOptions({
    title: 'Temperaturas minimas mensuales',
    vAxis: {title: 'Temperatura'},
    lineWidth: 1,
    pointSize: 4,
    series: {
      0: {color: 'FF0000'}, //
      1: {color: '00FF00'}, //
      2: {color: '0000FF'}, //
      3: {color: '7FB3D5'}, //
      4: {color: 'D35400'}, //
    }
  });

// Display.
print(temp_Series7)

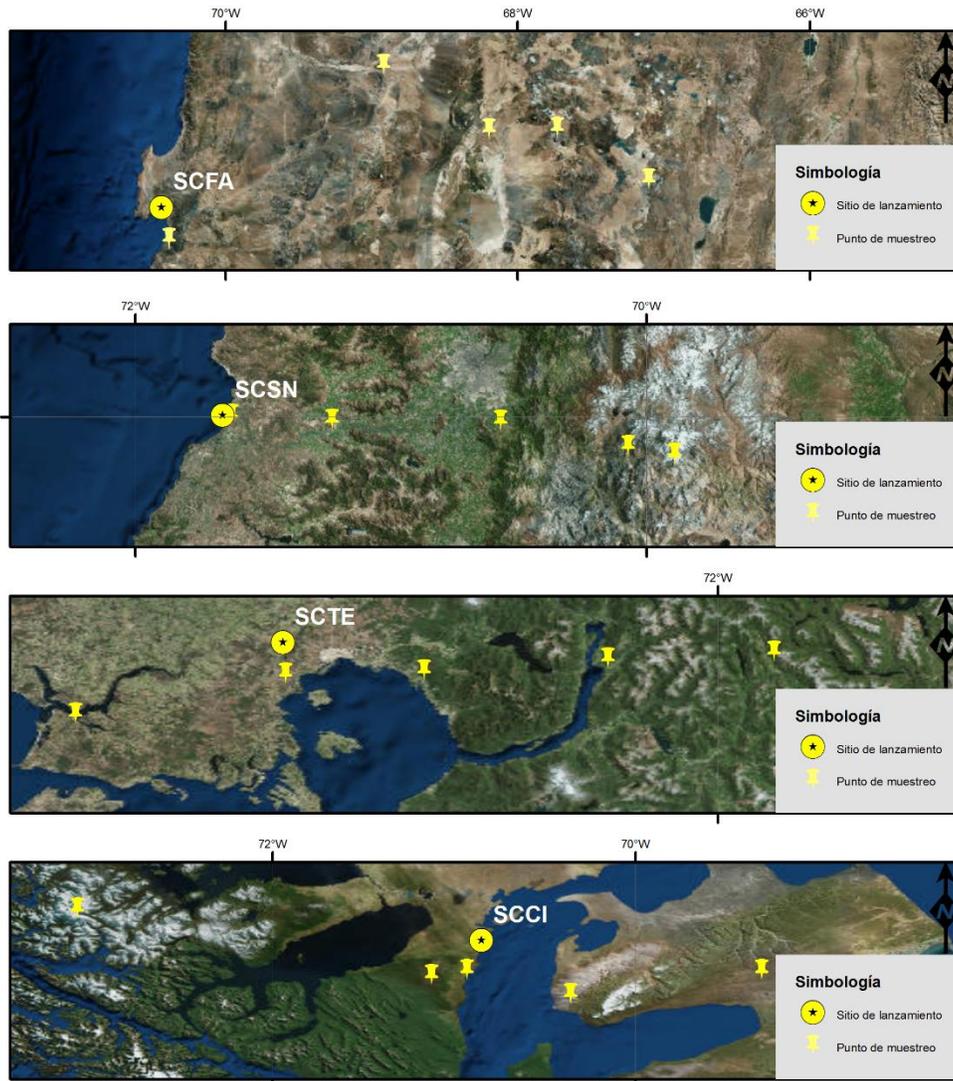
Map.addLayer(regions4)

var tmax = ee.ImageCollection (imageCollection).filterDate('1976-01-01','2017-12-31')
  .select('tmmx') ;
///maximas de Punta Arenas
var temp_Series8 = ui.Chart.image.seriesByRegion(
  tmax, regions4, ee.Reducer.mean(), 'tmmx', 200, 'system:time_start', 'label')
  .setChartType('ScatterChart')
  .setOptions({
    title: 'Temperaturas maximas mensuales',
    vAxis: {title: 'Temperatura'},
    lineWidth: 1,
    pointSize: 4,
    series: {
      0: {color: 'FF0000'}, //
      1: {color: '00FF00'}, //
      2: {color: '0000FF'}, //
      3: {color: '7FB3D5'}, //
      4: {color: 'D35400'}, //
    }
  });

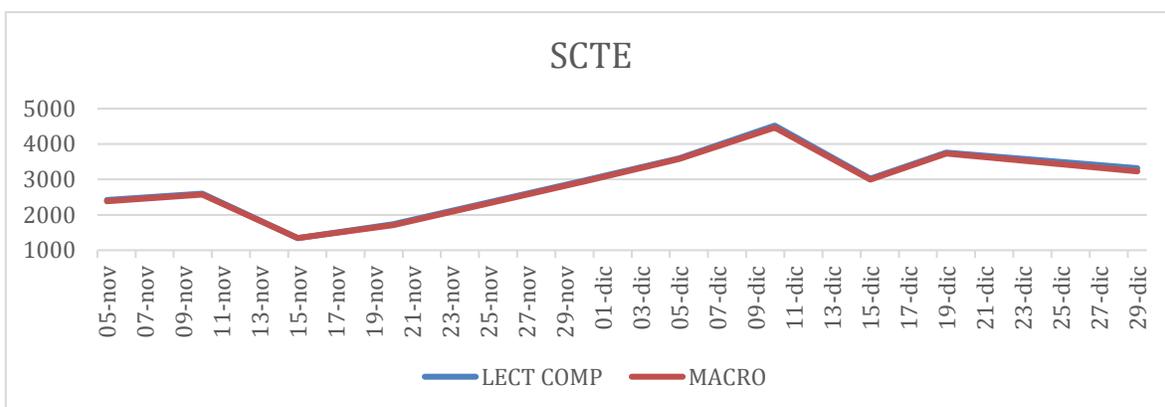
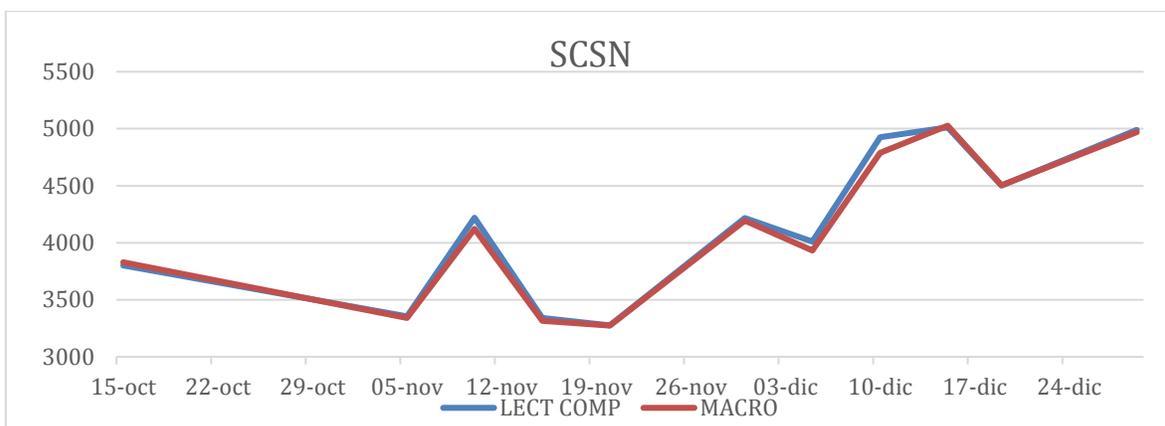
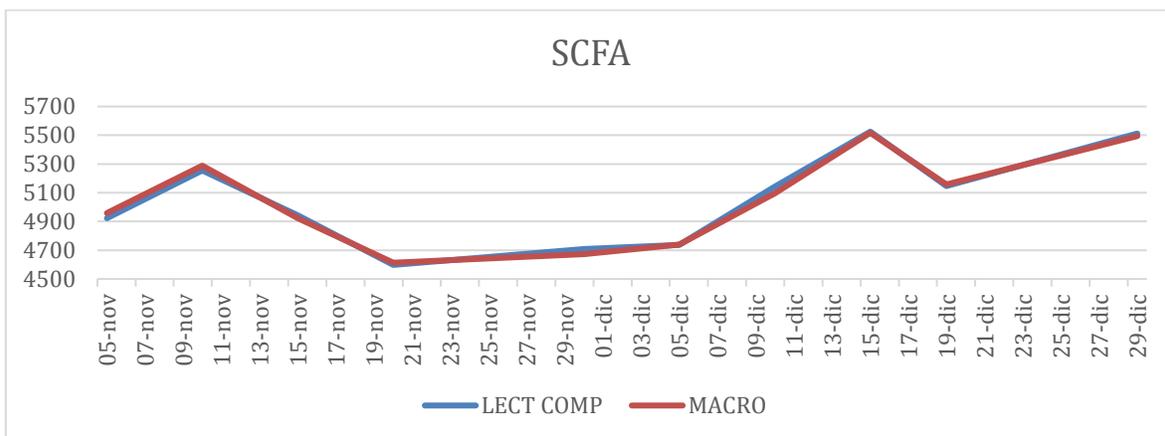
// Display.
print(temp_Series8)

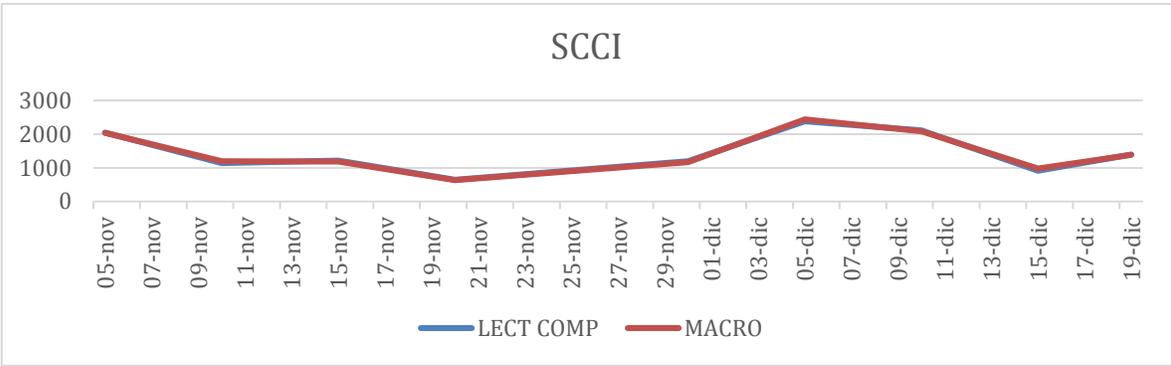
```

Anexo N°4. Especialización de puntos de muestreo en código de Google Engine.



Anexo N°5. Gráficos de corroboración de isotermas con vuelos completos.





Anexo N°6. Tablas con promedios mensuales/anuales de isoterma 0°C según datos de Radiosonda

- Antofagasta (SCFA)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1973		4948.3			4343.3	4312.5		3894.8	4325.5		4735.9	4639.7
1974	5203.2	4810.4	4888.5		3931.1	4061.6	4418.6	4074.5		4004.5	4905.6	4707.9
1975	4793.0	5138.8	4420.0	4648.2		4061.7	4076.5	4038.1			4325.5	4914.1
1976	4672.6	4742.3	4924.6	4825.9	4276.9	4183.1	3972.1	4113.9	4197.6	4383.7	4582.0	4854.0
1977	4874.6	5080.2	5020.1	4848.9	4625.6	4406.5	4122.6	4185.4	4456.6	4614.1	4847.7	4767.1
1978	4741.3	4888.6	4880.8	4580.0	4706.6	4219.5	4243.0	4250.3	4047.0	4400.9	4779.0	4793.3
1979	4839.9	4866.3	4587.2	4538.4	4506.1	4251.7	4223.8	4534.8	4213.8	4245.1	4745.5	4868.8
1980	4979.4	4631.8	5184.8	4586.6	4433.7	4216.6	4343.9	4418.4	3894.8	4607.9	4361.4	4631.0
1981		5023.2	4843.8	4308.3	4590.4	4277.3	4168.7	4159.8	4429.8	4497.6	4806.7	5131.9
1982	4941.1	4982.3	4832.0	4493.9	4295.7	4032.4	4386.1	4381.8	4507.2	4241.3	4705.4	4894.7
1983	5100.4	5145.7	5244.6	4909.9	4451.5	4099.6	3995.9	4323.3	4087.6	4706.1	4668.7	5038.6
1984	4810.0	5010.7	4740.6	4887.4	4548.0	4111.0	4235.3	4020.7	4242.1	4662.8	4675.1	4769.1
1985	4289.0	4874.6	5075.8	4775.2	4710.5	4312.4	4173.7	4131.3	4314.7	4635.4	4742.5	4742.5
1986	5214.1	4811.8	4845.6	4713.6	4234.0	4393.8	4318.0	4286.9	4353.2	4400.8	4583.4	4971.5
1987	5094.3	4995.9	4808.9	4885.4	4265.8	4425.2	4059.9	4436.8	4335.8	4591.6	4993.5	4990.6
1988	5275.2	4845.2	5096.3	4972.4	4440.2	4436.5	4353.4	4451.3	4238.4	4494.4	4730.8	4778.5
1989	4716.0	5071.9	4918.8	4597.4	4568.3	4297.2	4210.3	4383.6	4391.5	4766.7	4595.9	4665.6
1990	5042.2	4735.1	4894.4	4656.4	4437.5	4312.7	4132.3	4309.5	4524.6	4589.2	4988.4	5022.9
1991	5065.7	5053.6	5112.6	4874.7	4688.3	4317.3	4309.1	4491.8	4532.2	4673.7	4507.3	4499.4
1992	5000.0	4949.8	4905.4	4613.0	4465.5	4226.7	4002.8	4172.8	4180.0	4553.7	4557.5	4895.8
1993	5090.2	4829.5	4944.2	4909.0	4479.9	4753.8	4347.4	4422.6	4370.9	4541.2	4886.9	5061.7
1994	5040.6	5110.3	4998.6	4917.4	4674.8	4596.5	4454.5	4533.2	4751.7	4496.9	4733.4	5095.5
1995	5236.8	4863.3	5045.6	4847.6	4825.6	4595.8	4245.0	4650.3	4585.4	4697.3	4889.0	4796.6
1996	4847.9	5154.2	4846.5	4836.8	4491.6	4266.7	4401.7	4419.1	4419.7	4712.9	4680.0	4992.2
1997	5081.1	5041.5	4664.4	4780.9	4496.6	4184.2	4591.5	4317.5	4542.0	4505.8	4869.7	5060.9
1998	5465.6	5056.6	5195.9	4785.5	4657.7	4380.0	4282.9	4319.6	4241.4	4545.6	4743.8	4895.5
1999	4863.1	5154.6	4961.8	4707.0	4663.1	4271.3	4112.3	4384.7	4358.4	4499.0	4534.4	4872.2
2000	5005.7	4995.1	5034.2	4843.6	4551.7	4131.8	4106.4	4259.3	4397.4	4649.5	4605.9	4986.9
2001	4969.6	5178.9	4943.1	4835.2	4384.6	4372.4	4231.3	4398.7	4334.2	4669.6	4944.4	4794.3
2002	5051.9	5073.9	5125.1	4804.2	4442.6	4392.1	3966.5	4431.8	4552.1	4715.2	4896.6	4922.1
2003	5182.6	5200.5	5152.0	4757.8	4673.3	4765.9	4284.7	4350.7	4394.3	4744.6	4811.0	5005.9
2004		5016.6	5103.8	4912.1	4353.0	4470.2	4257.4	4269.4	4669.1	4546.9	4667.8	5048.8
2005	5008.6	4963.4	5035.2	4769.7	4431.7	4457.6	4484.1	4638.7	4089.2	4363.8	4584.3	5137.8
2006	5107.6		5239.4	5070.5	4670.0	4559.5	4618.9	4425.3	4623.1	4711.7	4912.0	5103.2
2007	5080.6	4934.2	4952.0	4781.7	4405.3	4525.5	4240.9	4229.5	4721.3	4737.4	4737.4	4933.4
2008	5159.0	4801.9	4872.0	4632.1	4437.2	4397.4	4430.0	4424.5	4484.0	4696.9	4780.1	4828.8
2009	4907.3	4979.2	4942.9			4617.1	4070.4	4563.2	4362.9	4758.3	5123.9	5118.0
2010	5243.7	5260.9	5230.5	4788.2	4477.2	4301.8	4154.4	4586.6	4484.7	4483.1	4679.5	5093.6
2011	5165.3	4868.5	4929.5	4991.6	4632.6	4376.6	4127.1	4337.8	4570.7	4381.5	5033.6	5048.3
2012	4874.7	4951.9	5030.2	4751.2	4604.7	4406.2	4457.3	4539.0	4833.1	4624.4	4916.2	5122.3
2013	5078.9	5059.0	4929.2	4733.9	4513.4	4314.9	4377.8	4420.5	4445.3	4542.4	4760.9	5127.4
2014	5186.7	5142.5	4919.3	4851.9	4408.1	4441.5	4338.0	4540.7	4464.3	4928.6	4847.1	5085.8
2015	5195.3	5253.5	5244.2	4877.7	4502.0	4854.1	4406.3	4470.1	4514.6	4597.7	4695.6	4920.8
2016	5172.2	5365.1	5240.8	4891.6	4550.2	4217.1	4455.6	4471.0	4888.7	4545.9	4637.7	4954.4
2017	5189.4	5033.1	4985.3	4784.3	4432.9	4443.4	4773.0	4455.9	4552.5	4676.1	4879.7	4983.5
X	5020.4	4997.6	4972.5	4775.6	4494.9	4356.6	4271.8	4353.8	4416.8	4568.4	4748.6	4923.7

- Santo Domingo (SCSN)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1999									3002.1	3381.3	3628.2	3927.5
2000	4164.7	4076.2	4008.0	3754.5	3092.8	2633.5	2938.5	2925.7	2879.9	3470.4	3478.9	4119.0
2001	4266.1	4819.5	4224.9	3667.0	3025.0	3156.7	2835.6	2982.2	2872.2	3482.0	3544.8	4347.5
2002	4175.2	4376.1	4174.4	3428.3	3157.9	2975.7	2896.8	2757.7	2986.4	3300.3	3619.7	3802.8
2003	4333.2	4358.4	4390.5	3794.1	3513.9	3366.3	2905.7	3135.9	3236.7	3726.1	3860.3	3936.2
2004	4426.9	4288.0	4201.2	3564.3	3478.8	3261.1	2986.8	2960.6	3374.9	3182.0	3487.6	4065.6
2005	4135.7	4450.8	4154.4	3573.3	2983.6	3185.4	3105.0	3037.4	2761.2	3252.5	3631.1	4247.9
2006	4365.5		4188.3	4164.2	3695.4	3327.9	3038.7	3129.0	3136.5	3395.4	3776.9	4047.8
2007	4149.6	4057.9	3980.2	3769.8	3207.6	2920.7	2893.6	2292.2	3053.3	3338.9	3645.5	3974.9
2008	4372.5	4169.8	4035.7	3833.5	3416.6	3111.3	3072.9	2736.7	2996.1	3299.5	3946.3	4131.1
2009	4387.4	4238.8	4456.2	4425.8		3404.0	2656.2	3092.9	2732.7	3430.4	3496.1	3938.5
2010	4419.1	4278.7	4423.8	3756.3	3427.5	2930.8	2395.6	2851.3	2929.2	3332.5	3601.8	3816.5
2011	4176.5	4290.2	3993.8	3865.2	3725.3	2905.4	2600.5	2543.3	3316.6	3224.4	3850.4	4347.7
2012	4379.6	4357.1	4566.7	3742.1	3687.4	3216.4	3027.7	2736.9	3465.1	3091.5	3752.3	3920.1
2013	4462.7	4365.0	3946.7	3849.9	3276.3	3257.2	3168.2	3089.9	2837.3	3297.1	3654.9	4386.6
2014	4490.6	4151.6	3977.0	3802.3	3325.9	2977.8	3008.9		2818.7	3706.5	3614.1	3957.2
2015	4518.3	4287.1	4421.1	4040.6	3436.0	3317.8	2939.7	2964.1	2859.2	2909.4	3312.6	4076.5
2016	4312.8	4566.1	4320.7	3451.8	3203.8	3159.7	2832.1	3366.8	3613.6	3203.5	3714.5	4067.7
2017	4723.9	4333.8	4105.5	3686.5	3029.3	3045.7	3211.7	2745.1	3189.8	3181.2	3738.6	4231.8
X	4347.8	4321.5	4198.3	3787.2	3334.3	3119.6	2917.5	2902.8	3055.9	3326.6	3650.2	4070.7

- Puerto Montt (SCTE)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1973					2274.8				1827.9	1904.5	2380.5	3040.4
1974	2425.4	2889.9	2946.1	2766.0	2335.5	1812.5	1647.1				1906.2	
1975	3353.4	2849.2	2967.4		2065.4	1936.5	1505.1	1084.1	1721.9	1735.1	1908.2	2338.5
1976	2947.1	3119.6	2553.7	2542.8	2497.1	1609.0	1389.2	1540.9	1991.9	1935.8	2332.7	2456.0
1977	2856.3	3079.3	2920.4	2576.0	2328.5	1834.5	1340.9	1591.6	2111.8	2059.1	2091.3	3000.1
1978	3004.8	3391.5	3076.8	3283.8	2274.2	1749.3		1503.5	1874.6	1673.6	2218.5	3254.9
1979	3486.9	3338.3	3236.8	3311.6	2316.5	2049.8	2179.8	1782.0	1533.3	1951.0	2357.3	2941.0
1980	3569.3	3162.7	3127.9	1857.1	2024.0	1808.8	1571.2	1721.2	1896.6	2079.7	2557.7	2852.2
1981		3560.1	3155.0	2593.7	2067.9	2080.9	2007.1	1698.8	1435.0	2010.9	2315.9	2856.8
1982	3364.2	3099.4	2923.8	3106.2	2135.9	1557.3	1366.0	1658.6	1964.0	1561.8	1861.4	3151.8
1983	3374.7	2869.9	2974.2	2371.5	1894.6	1419.2	1282.2	1660.9	1355.9	2140.9	2680.0	3224.3
1984		3036.0	3340.0	2348.8	1356.9	1214.9	1492.7	1696.5	1978.6	1665.3	2668.9	2554.1
1985	2999.0	3103.1	2821.4	2083.1	1889.1	2544.1	2018.9	1724.0	1689.6	1690.7	2810.4	2936.2
1986	2805.5	3310.1	2854.6	2432.8	1925.1	1436.2	2142.1	1628.6	1611.4	2368.9	2033.0	2922.4
1987	3504.0	3428.9	3131.5	2517.2	2099.5	1905.1	1763.0	1611.9	1442.9	2022.6	2663.9	2623.9
1988	3109.1	3716.9	2958.5	3128.6	2273.1	1817.0	1723.6	1393.6	1777.9	1821.1	2604.7	3107.8
1989	3306.8	3630.2	3203.1	2561.8	2474.6	2143.8	1651.5	1533.0	1928.0	2343.2	2634.5	2547.9
1990	3001.1	3479.2	3002.7	2296.5	1889.6	1949.9	1677.8	1847.5	1818.2	2115.5	2427.5	2488.2
1991	2858.4	3164.4	3212.2	2690.7	2200.2	2127.8	1399.6	1621.3	1805.8	1977.4	2321.0	1956.3
1992	3692.7	2992.0	3303.4	2079.2	1648.4	1275.6	1406.0	1664.7	1932.2	1708.4	2602.4	2187.6

1993	3073.4	3682.5	3220.9	2336.9	1703.5	1629.2	1594.5	1963.6	1911.2	2268.3	2067.1	2869.2
1994	3525.1	3194.1	3342.3	2347.7	2066.9	1835.6	1761.6	1489.6	1756.9	1893.1	2179.1	2597.2
1995	2907.6	3293.5	3027.0	2690.4	2412.7	1667.1	1144.4	1318.9	1669.9	1890.3	2568.9	3778.3
1996	2906.2	3096.2	3190.1	2334.5	2289.2	1823.1	2246.1	1921.9	1997.9	2088.6	2151.9	2612.7
1997	3165.6	3056.9	3406.1	2663.5	2423.0	1561.9	1662.8	1835.9	1610.9	1557.1	2084.9	2632.1
1998	3051.2	3312.5	3060.0	2654.0	2505.9	2044.3	1930.1	1656.8	1683.8	2154.2	2198.6	2949.9
1999	3347.0	3253.4	2643.8	2613.8	2167.1	1462.0	1558.5	1706.3	1643.1	2014.5	2466.9	2803.8
2000	2804.1	2818.1	2582.5	2705.7	2333.4	1556.9	1457.1	1417.3	1364.6	2310.2	2123.8	2606.9
2001	2906.2	3344.6	3028.1	2515.5	1927.6	1990.4	1570.8	1856.6	1716.9	2410.9	1994.1	3175.2
2002	3245.8	3512.3	2492.0	2137.9	2077.4	1228.7	1882.3	1626.9	1449.0	1586.5	2107.0	2741.0
2003	3108.2	3362.5	3620.4	2573.6	2332.0	1920.0		1797.1	1586.2	1848.0	2235.2	2104.2
2004		3635.4	3085.6	2326.5	2760.1	1811.0	1653.8	1858.9	1748.3	1799.3	2390.2	2468.9
2005	2828.2	3827.1	2716.2	2542.3	1634.1	1355.9	1909.7	1402.9	1705.9	1854.4	2185.9	3060.7
2006	3101.8		2960.9	2826.3	2835.2	1887.1	1591.4	1936.0	1734.5	1710.1	2206.4	2446.8
2007	3277.1	3079.6	3174.4	2488.5	1947.3	1623.0	1242.6	1102.1	1778.1	1679.2	2371.3	2876.4
2008	3367.4	3663.3	3228.6	2679.0			1644.1	1291.9	2106.8	2075.0	2582.4	3176.4
2009	3358.3	3248.4	3274.2	3292.5	2996.4	1442.2	1263.0	1500.7	1604.7	1589.6	1406.5	2408.5
2010	3102.1	2960.7	3339.9	2599.6	2362.3	1815.8	1194.7	1426.8	1537.7	2083.2	2331.7	2592.7
2011	3223.1	3642.2	2662.3	2568.2	2267.6	1823.5	1714.5	1287.6	1740.4	1895.8	2303.7	3344.9
2012	3582.3	3082.5	3310.8	2533.2	2052.1	1569.6	1211.4	1815.4	2143.3	1760.7	2546.3	2273.4
2013	3936.9	3259.5	2851.5	2938.5	2174.0	1919.0	1733.2	1382.9	1461.5	2166.4	2222.9	3114.5
2014	3219.0	3211.4	3032.3	2540.1	2116.8	1664.4	1634.8	1943.9	1590.3	2026.2	2218.7	2817.7
2015	3532.5	3487.5	3427.3	2916.8	2158.2	1682.2	1501.5	1601.4	1616.7	1732.6	2314.1	2847.6
2016	3398.4	3182.7	3596.5	2291.4	2433.8	2219.1	1683.7	1823.9	2181.7	2071.9	2652.5	2677.9
2017	3236.3	3536.8	3040.8	2752.9	2049.4	1652.3	1495.0	1364.1	1609.3	1670.3	2524.8	3294.0
X	3191.8	3278.2	3068.7	2591.1	2181.8	1754.8	1615.4	1611.4	1742.0	1929.6	2306.9	2788.9

- Punta Arenas (SCCI)

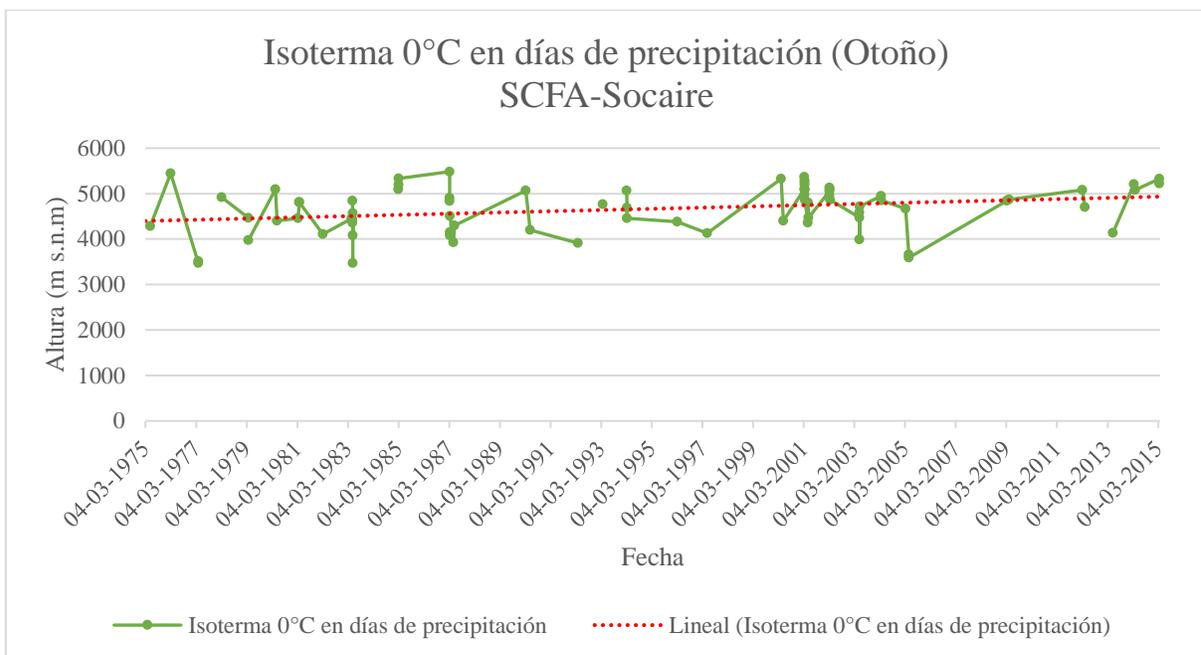
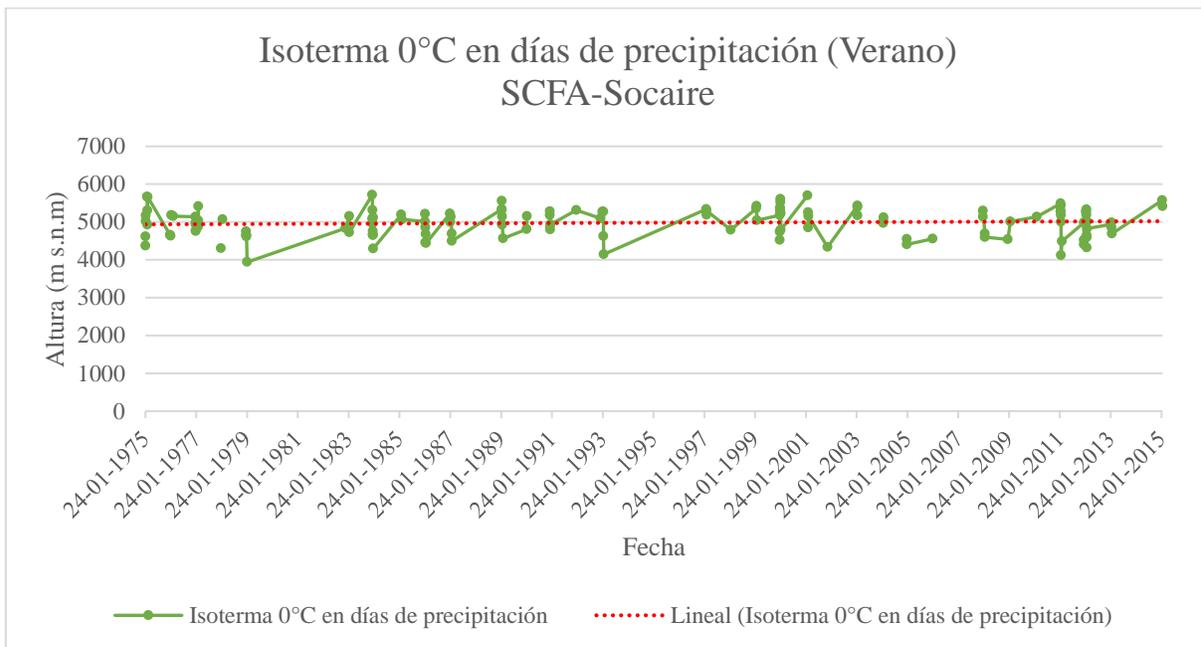
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1976								671.3	508.9	1021.9	1009.3	990.5
1977	1395.4	1553.9	1753.5	1098.3	992.7	378.4	301.5	408.0	544.2	905.7	1122.4	1622.0
1978	1360.7	2081.8	1658.9			664.4		561.0	1004.3	1037.1	1230.7	
1979	1769.2	1692.7	1849.9	1619.8	913.9	1041.7	916.2	357.4	573.5	868.8	923.6	1619.0
1980	1453.4	1591.9	1431.5	776.0	1137.5	790.5	435.5	705.0	908.7	1013.3	861.3	1423.0
1981		1633.0	1445.1	1361.0	1151.5	802.7	889.8	642.1	675.2	1315.6	1081.1	1539.1
1982	1685.3	1545.4			1297.7		588.4	589.9	965.6	896.7		1561.7
1983	1463.6	1490.3	1944.8	1479.5	1136.0		608.3		729.9	941.1	1310.8	1510.2
1984	1352.9	1538.7	1872.4	1123.9	402.2	443.6	330.3	853.9	1035.6	892.1	1233.4	1653.2
1985	1895.5	1780.8	1321.1	1197.5	754.5	690.0	976.8	672.7	867.3	1215.7	1510.2	1372.8
1986	1291.7	1221.9	1148.7	881.7	787.1	358.7	561.3	629.8	902.7	1033.2	995.4	1307.4
1987	1358.0	1608.4	1753.4	1101.2	1313.1	840.2	489.7	644.4	781.6	1217.8	1300.2	1388.9
1988	1306.9	1585.9	1676.8	1513.3	1191.5	720.1	794.9	346.9	832.5	843.1	1037.7	1239.3
1989	1558.5	1710.8	1519.2	1133.5	1017.2	731.5	807.0	652.7	751.1	1078.0	1214.8	1227.2
1990	1435.2	2298.9	1518.2	852.9	1053.0	629.1	792.0	815.2	796.5	998.2	888.1	1254.2
1991	1544.6	1596.1	1501.0	1132.1	1047.6	592.6	612.4	404.9	713.8	946.4	1038.9	1058.2
1992	1975.8	1295.2	1517.7	1304.8	789.8	406.1	504.8	768.2		855.3	1564.6	1692.3
1993	1440.1	1791.4	1546.2	1249.5	1223.0	598.8	919.0	893.0	903.6	1324.0	1154.5	1265.8
1994	1771.2	1519.5	1494.8	1462.7	790.8	954.9	855.1	844.5	634.9	890.9	1383.6	1344.0
1995	1652.9	1689.8	1212.3	1456.5	1112.2	508.9	148.4	336.1	706.4	1118.0	1287.2	1539.0
1996	1224.0	1490.3	1375.1	1121.4	1361.2	743.0	1240.9	624.7	1157.3	829.8	1005.3	1396.0

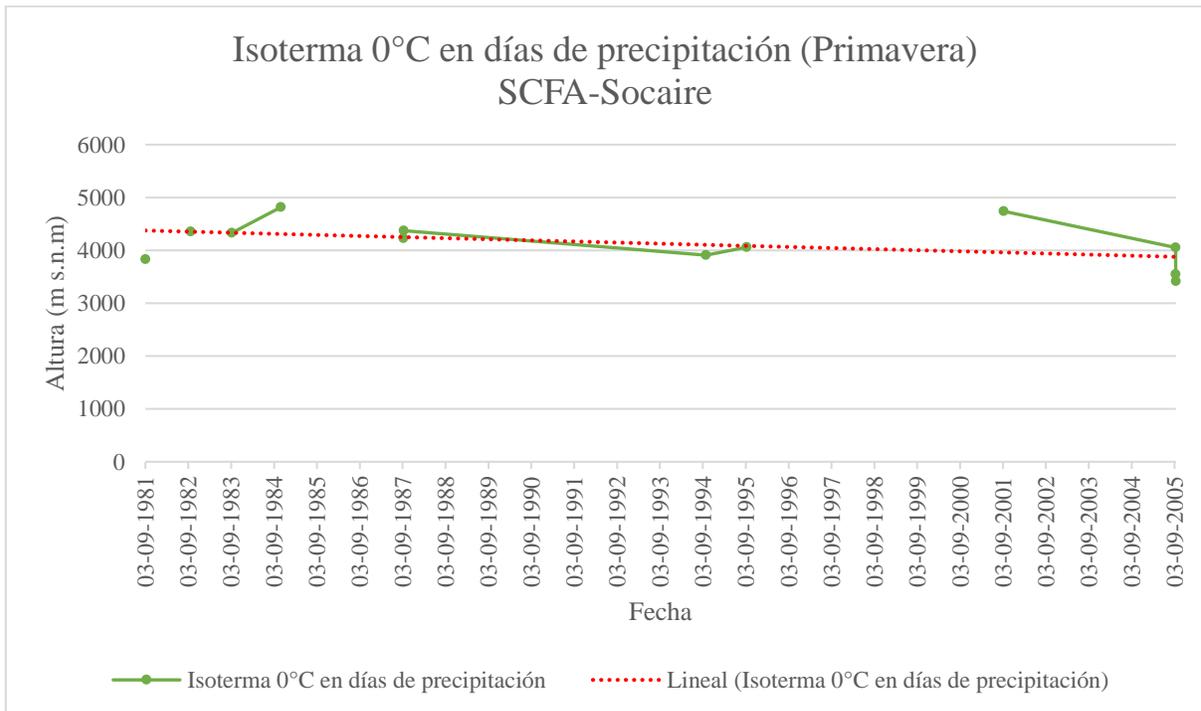
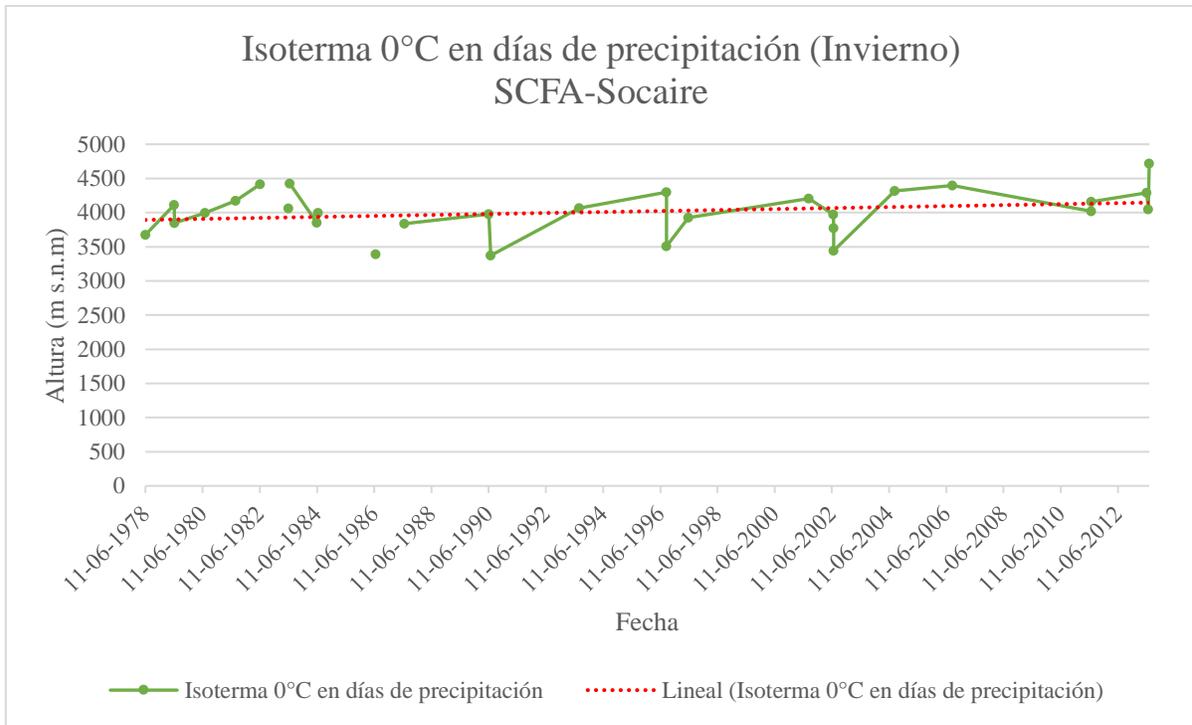
1997	1304.7	1267.8	1654.4	1181.0	1070.7	693.3	424.2	685.9	684.7	881.1	1213.0	1223.7
1998	1324.2	2209.5	1683.2	1860.2	1367.6	1153.9	859.2	598.4	715.7	862.5	1308.8	1181.8
1999	1506.0	1493.2	1483.7	1561.6	1140.4	758.5	767.2	697.7	646.9	1304.3	1229.1	1039.6
2000	1306.0	1641.0	1407.7	1359.3	1091.0	527.4	607.6	752.2	388.5	940.0	1148.4	1027.6
2001	1273.4	1316.7	1144.8	1121.9	954.9	751.6	354.0	748.4	982.0	1059.5	918.1	1425.5
2002	1548.1	1968.0	1027.0	1211.9	649.4	409.6	775.5	479.9	855.6	656.4	939.1	1468.6
2003	1241.7	1478.2	1697.3	1487.0	1155.9	570.8	888.3	886.7	774.1	921.0	1032.3	1132.9
2004		2621.1	1676.5	1265.4	1324.6	1032.4	618.9	657.1	774.3	1036.5	1403.2	1389.2
2005	1229.9	2222.6	1419.2	1305.2	859.6	394.2	705.1	520.4	890.4	763.9	1223.8	1511.6
2006	1683.4		1446.8	1224.3	1406.5	772.0	601.2	727.5	775.7	1076.7	1013.4	1071.9
2007	1669.3	1449.1	1550.2	1006.6	854.6	801.5	511.5	602.7	733.1	732.8	878.9	1508.6
2008	1686.6	1836.9	1705.8	1044.3	830.5	867.7	481.5	402.8	1229.1	1079.3	1065.9	1831.0
2009	1549.8	1487.4	1391.9	898.4			498.2	592.1	948.6	658.5	576.6	1290.4
2010	1419.5	1218.2	1695.6	1258.8	1108.2	643.0	449.9	715.1	753.8	1006.8	1056.2	1067.8
2011	1278.1	1969.2	1337.6	1084.6	1147.6	588.0	710.7	520.5	703.3	937.2	1051.2	1775.2
2012	1814.7	1127.3	1644.1	961.4	818.3	433.1	544.3	944.3	1088.4	853.1	1295.2	1132.4
2013		1833.9			921.8	790.0		346.1				
2014						907.1	721.6	830.1				
2015											1121.4	
2016						1227.4	822.3	609.3				
X	1493.3	1662.7	1528.8	1226.4	1033.5	700.5	651.7	634.3	803.8	973.3	1125.1	1363.4

Anexo N°7. Tabla con superficies en Km² bajo isoterma 0°C estacional por región.

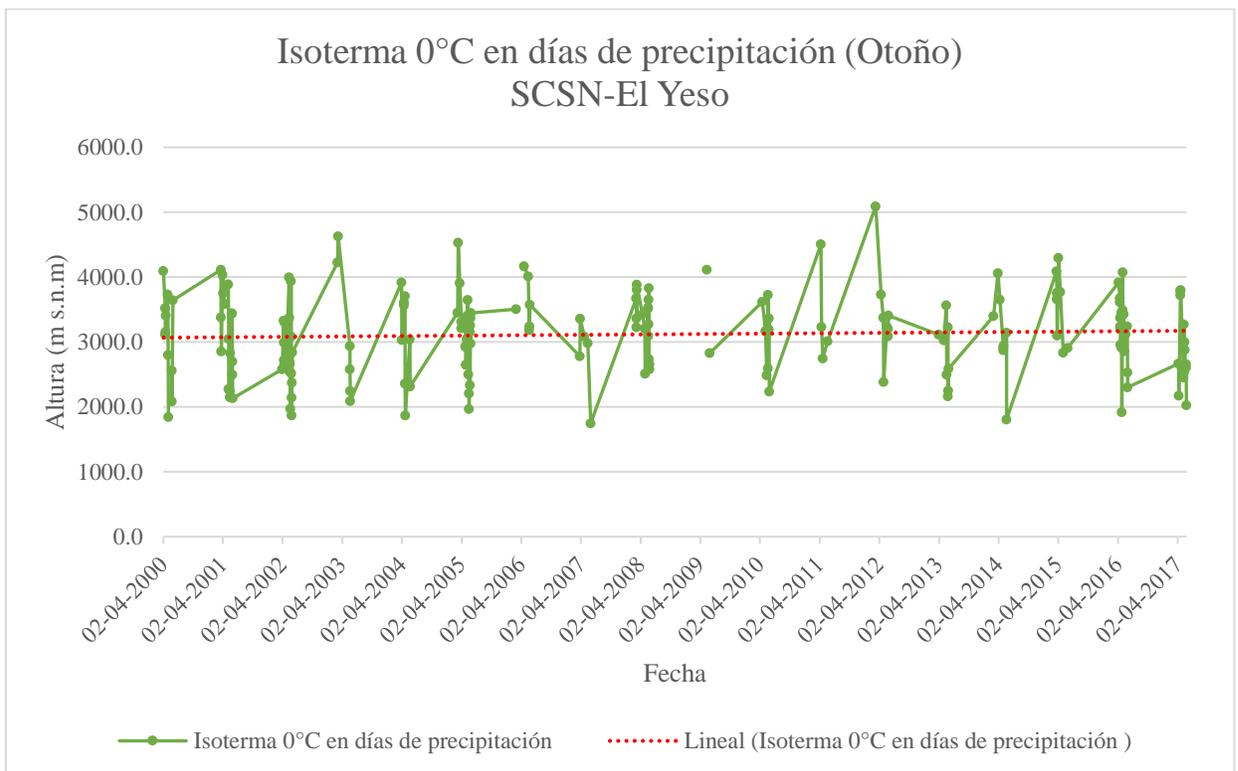
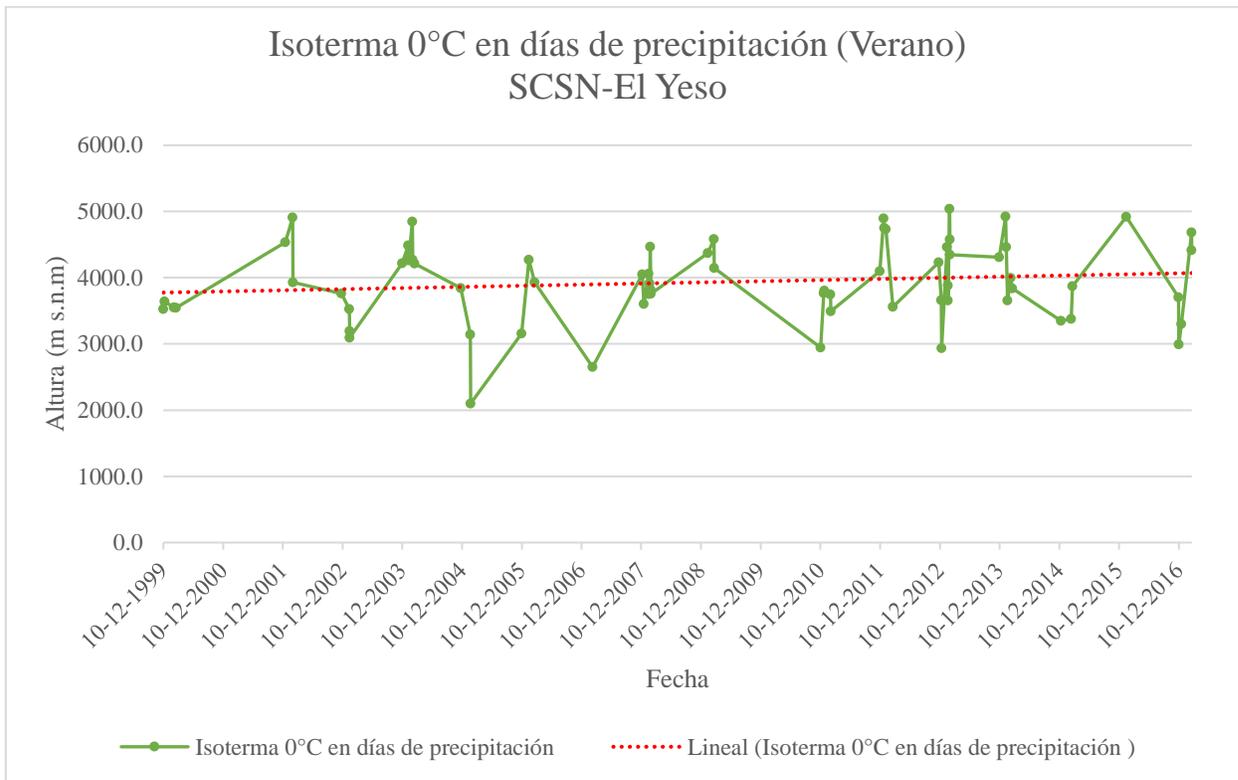
Región	Superficie regional	Isoterma de Verano	Isoterma de Otoño	Isoterma de Invierno	Isoterma de Primavera
Arica y Parinacota	16873.30	1257.80	1177.10	3125.00	2630.50
Tarapacá	42255.80	406.70	546.80	2055.60	1212.20
Antofagasta	126049.10	1795.10	3748.80	13888.80	6507.20
Atacama	75176.20	2720.10	6915.50	17075.80	11150.10
Coquimbo	40575.90	389.20	1480.30	6376.80	3501.20
Valparaíso	16396.10	107.24	435.70	1845.10	1141.90
Metropolitana	15403.20	534.20	1289.70	3362.78	2409.60
O'Higgins	16387.00	85.02	404.70	1801.50	1087.90
Maule	30296.10	0.02	14.45	1469.80	226.50
Biobío	37068.70	0.00	0.63	212.17	39.04
Araucanía	31842.30	0.10	1.07	128.60	18.06
Los Ríos	18429.50	0.04	0.04	48.90	2.70
Los Lagos	48583.60	0.70	6.41	1807.80	275.50
Aysén	108494.40	436.82	2014.09	31870.80	13806.68
Magallanes	132291.10	1216.75	7186.95	19830.92	11257.43

Anexo N°8. Gráficas de isoterma estacionales en días de precipitación de Socaire.

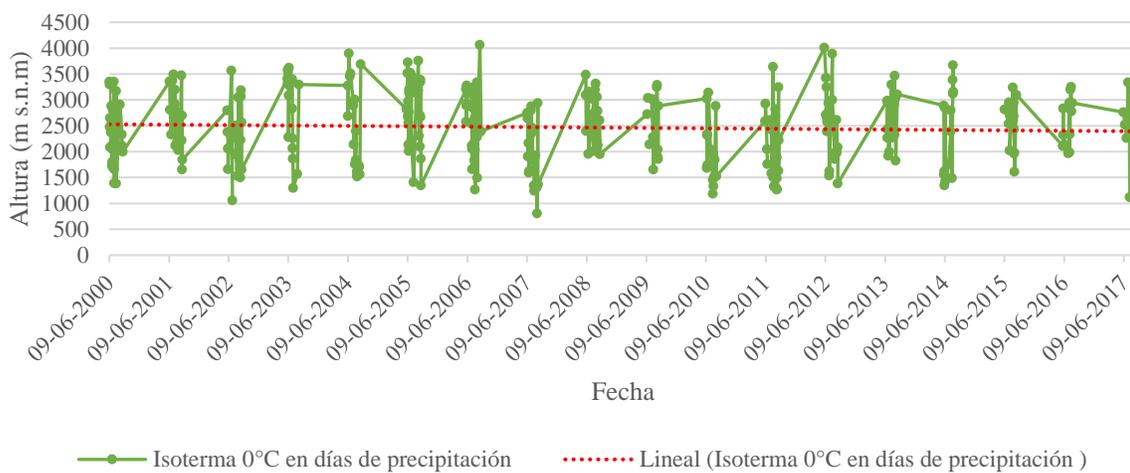




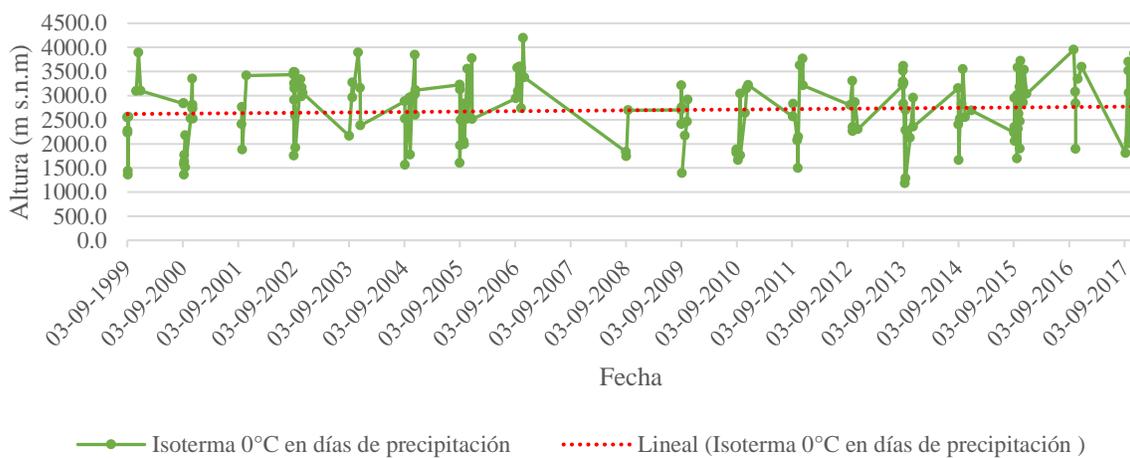
Anexo N°9. Gráficas de isotermas estacionales en días de precipitación de El Yeso Embalse.



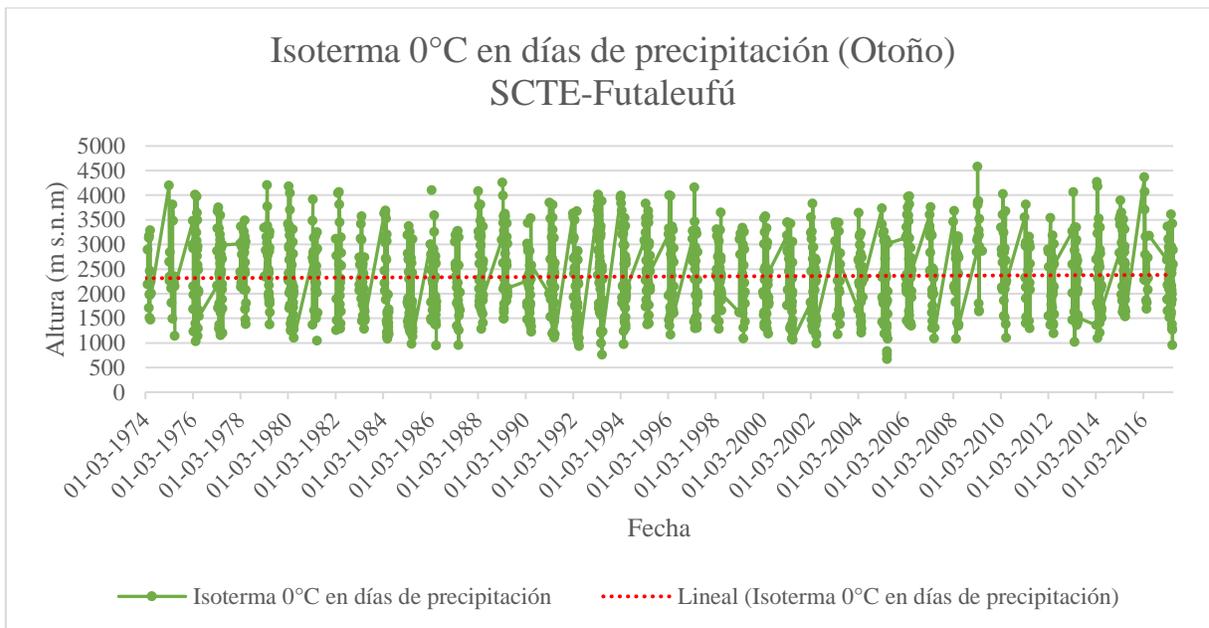
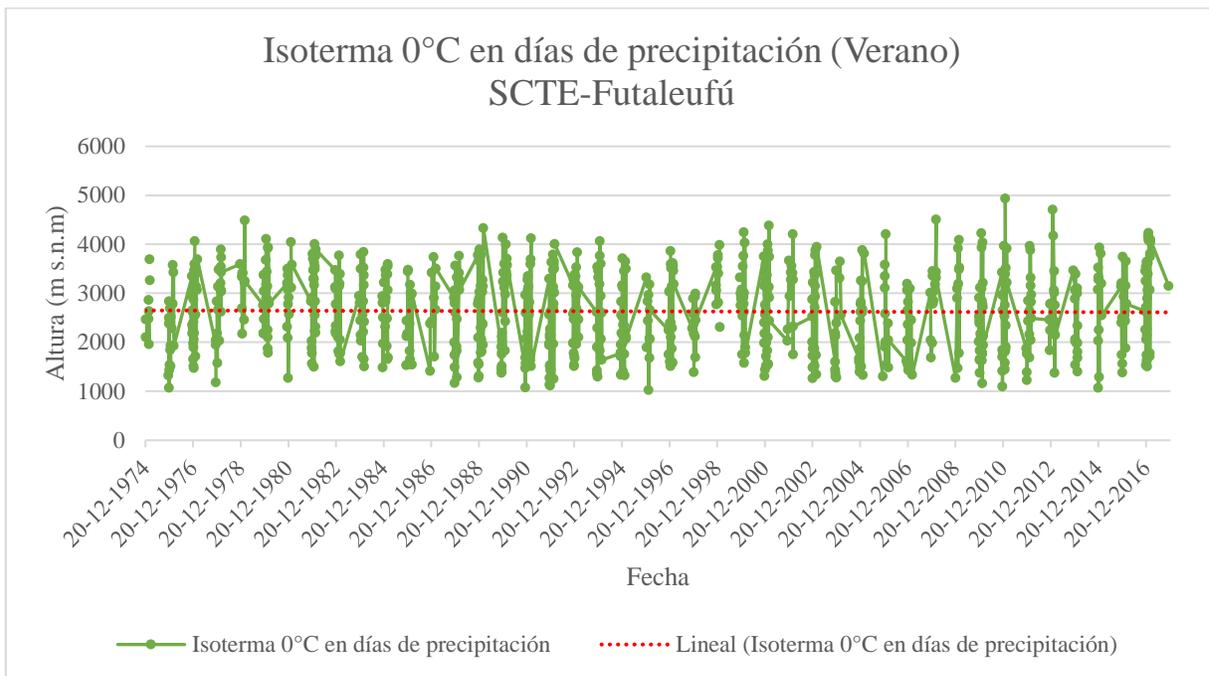
Isoterma 0°C en días de precipitación (Invierno) SCSN-El Yeso



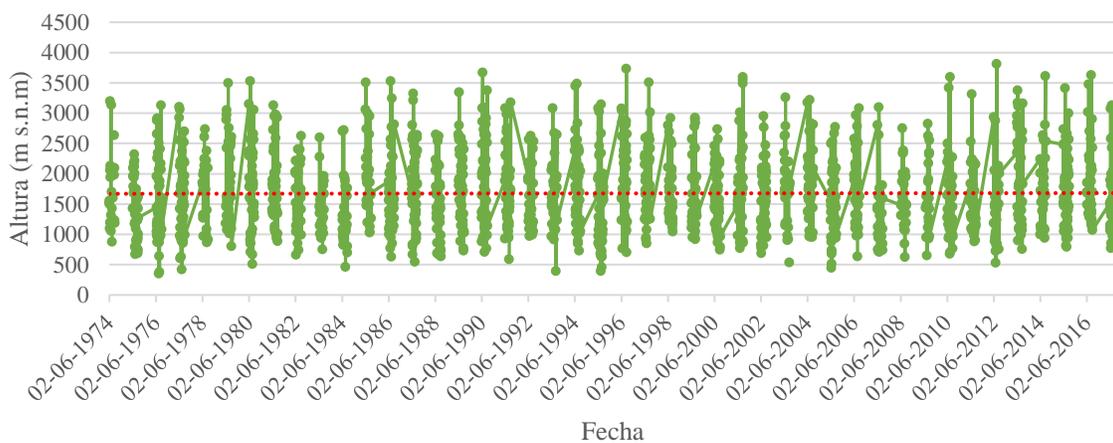
Isoterma 0°C en días de precipitación (Primavera) SCSN-El Yeso



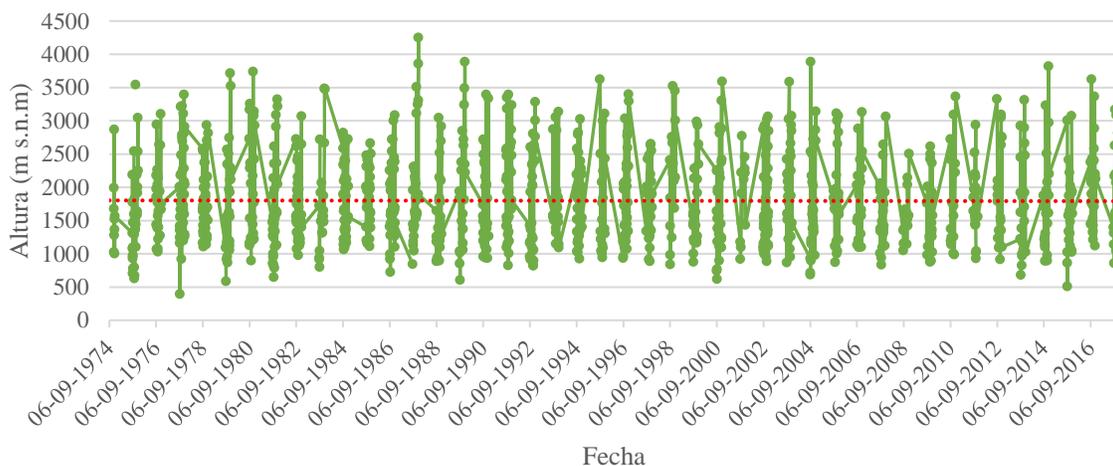
Anexo N°10 Gráficas de isotermas estacionales en días de precipitación de Futaleufú.



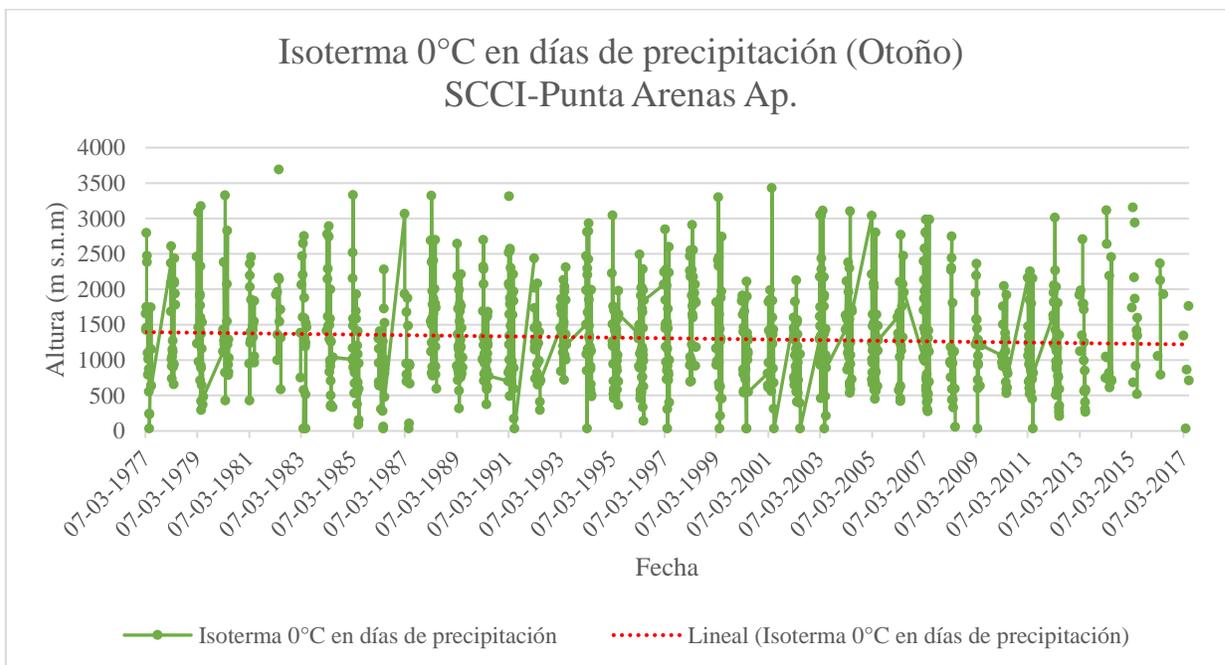
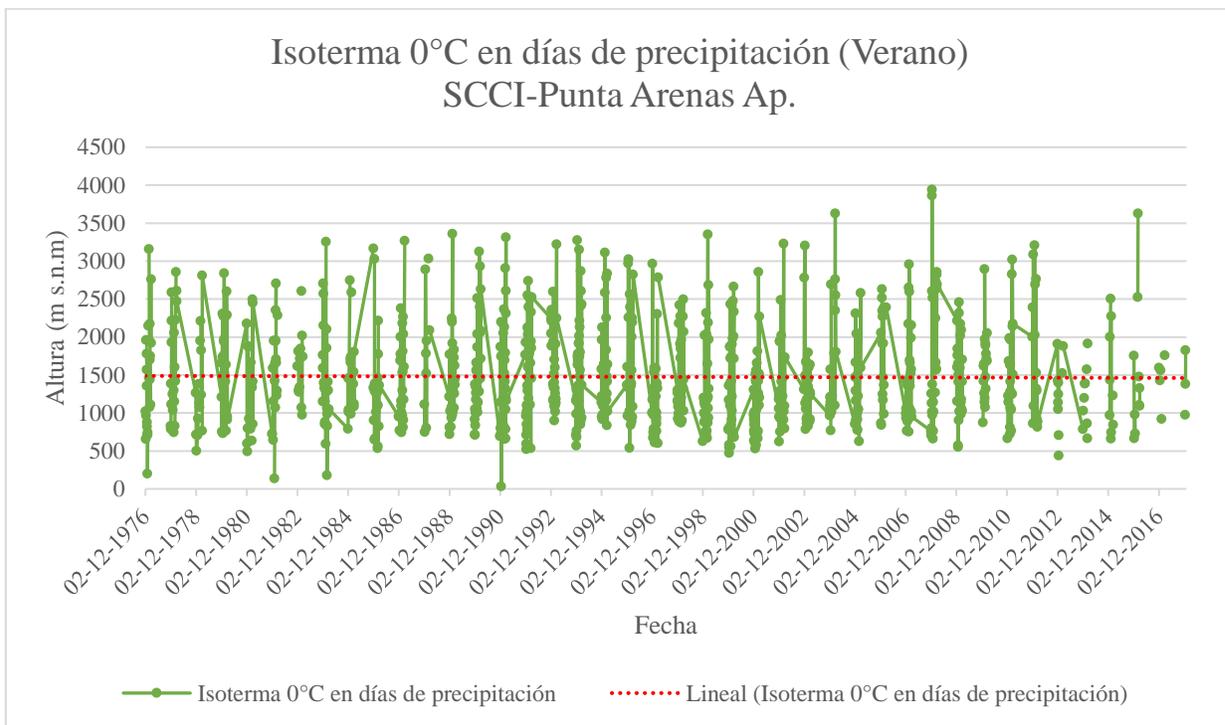
Isoterma 0°C en días de precipitación (Invierno) SCTE-Futaleufú



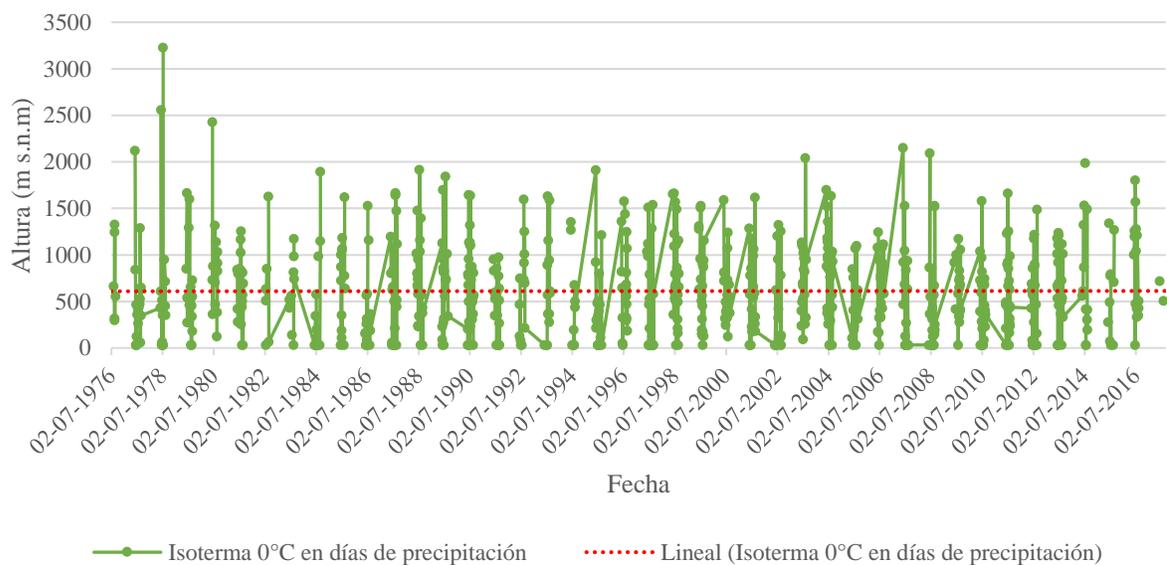
Isoterma 0°C en días de precipitación (Primavera) SCTE-Futaleufú



Anexo N°11 Gráficas de isotermas estacionales en días de precipitación de Punta Arenas Ap.



Isoterma 0°C en días de precipitación (Invierno) SCCI-Punta Arenas Ap.



Isoterma 0°C en días de precipitación (Primavera) SCCI-Punta Arenas Ap.

