



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Pregrado
Carrera de Geografía

**TENDENCIAS CLIMÁTICAS Y SUS EFECTOS EN EL GOLFO DE ANCUD POR
MEDIO DE LAS SERIES DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA MÁS
LARGAS**

Memoria para optar a título profesional de Geógrafa

PAMELA CRISTINA SALAZAR CARRIÓN

Profesor guía: Pablo Sarricolea Espinoza

SANTIAGO - CHILE

2017

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

**TENDENCIAS CLIMÁTICAS Y SUS EFECTOS EN EL GOLFO DE ANCUD POR
MEDIO DE LAS SERIES DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA MÁS
LARGAS**

Esta memoria forma parte del proyecto FONDECYT N° 1151087 “Reconocimiento de hotspot en el ambiente periglacial de fiordos y mar interior: Hacia una evaluación integrada de conductores de geoamenazas, riesgos e impacto en los recursos territoriales del Golfo de Ancud”

El que habita al abrigo del Altísimo
se acoge a la sombra del Todopoderoso.
Yo le digo al SEÑOR: «Tú eres mi refugio,
mi fortaleza, el Dios en quien confío».

SALMO 91

AGRADECIMIENTOS

A lo largo de estos cinco años siempre me imaginé lo que escribiría en este apartado, sin embargo, llegado este momento, aun no sé con certeza si estas líneas logren expresar, en su totalidad, la gratitud que siento por aquellas personas que permanecieron a mi lado durante este periodo, los que siempre han estado y aquellos que se fueron incorporando en el camino.

En primer lugar, agradecer a Dios por haber preparado este camino para mí, porque siempre ha sabido colocarme en el lugar correcto, por regalarme la sabiduría y las fuerzas necesarias en cada reto que he enfrentado.

Por supuesto, quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a quien fuera mi profesor guía y quien me ha acompañado a lo largo de estos últimos cuatro años, estimado Pablo, gracias por creer en mí desde el inicio e incorporarme en tus proyectos cuando yo apenas cursaba segundo año.

A mis padres, Herman y Cristina, por haber enfrentado todas las circunstancias que representa el tener a una hija estudiando en otra región, el esfuerzo, dedicación y amor dispuesto en criar y sacarnos adelante a mí y a mis hermanos, Vanessa y Cristian, a quienes dedico esta memoria. Espero que les sirva como ejemplo de constancia, responsabilidad y superación.

Finalmente, quiero agradecerte a ti, Yanko, por todo tu apoyo y el amor incondicional que me demuestras todos los días. Llegaste a mi vida en un momento complejo, sin embargo, tuviste la valentía suficiente para permanecer conmigo a pesar de todo lo que nos ha tocado vivir. Gracias por creer en esto, por sacar lo mejor de mí. Te amo.

RESUMEN

A partir de la construcción de series de precipitación y temperatura mensual lo más largas posibles, se analizan las tendencias climáticas, las correlaciones con teleconexiones y los escenarios de cambio climático para la zona sur de Chile, específicamente, la comprendida en torno al Golfo de Ancud. Por medio del método de regresiones múltiples se rellenaron 12 estaciones pluviométricas entre 1907-2016, y 8 con datos de temperatura, con algunas lagunas, entre 1916-2016. Se identificó una estacionalidad de las precipitaciones desde la década de los '70, y una progresiva disminución de estas en años actuales, mientras que la temperatura enfrentó una disminución entre 1940-1970 y una estacionalidad entre 1970-2000, aunque con un leve aumento. En ambos casos, el modulador de tendencia más importante resultó ser el cambio de fase de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) alrededor de 1976, aunque el área de estudio responde a una zona de transición entre los forzantes El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y la Oscilación Antártica (AAO) donde esta última expresó mayor influencia en la variabilidad interdecadal climática del golfo estudiado. Finalmente, Minetti (2007) menciona que los ciclos estacionales del Anticiclón del Pacífico Sur (APS) y su eventual migración hacia mayores latitudes, al igual que la expansión de la célula tropical Hadley denominada por Seidel, *et al.*, (2007); Hoerling *et al.*, (2001); Lau *et al.*, (2005); Hu & Fu (2007) podrían ser causantes de las crecientes condiciones de aridez y sequedad en el área de estudio, en desmedro de un clima templado lluvioso y marítimo, tan característico de esta zona.

Palabras clave: Series climáticas largas, Golfo de Ancud, Tendencias climáticas, Teleconexiones, Cambio climático.

ABSTRACT

From the construction of monthly series of precipitation and temperature longer possible, we analyze the climate trends, the correlations with teleconnections and the scenarios of climate change for the southern zone of Chile, specifically the one around the Gulf of Ancud. From the multiple regression method, 12 complete rainfall stations were obtained between 1907-2016, and 8 with incomplete temperature data between 1916-2016. From these, a seasonality of precipitation was identified from the 1970s, and a progressive decline in current seasons, while temperature fell between 1940-1970 and seasonally between 1970-2000, Although with a slight increase. In both cases, the most important trend modulator turned out to be the phase change of the Pacific Decadal Oscillation (PDO) around 1976, although the study area responds to a transition zone between the El Niño-Southern Oscillation (ENSO), Pacific Decadal Oscillation (PDO) and AAO (Antarctic Oscillation) forcing, where the latter expressed greater influence in the climatic interdecadal variability of the studied Gulf. Finally, Minetti (2007) mentions that the seasonal cycles of the South Pacific High, and its eventual migration to higher latitudes, as well as the expansion of the tropical cell called Hadley, by Seidel, *et al.*, (2007); Hoerling *et al.*, (2001); Lau *et al.*, (2005); Hu & Fu (2007) was useful for the conditions of life and dryness in the study area, in detriment of a temperate rainy and maritime climate, so characteristic of this area.

Keywords: Long climatic series, Gulf of Ancud, Climate trends, Teleconnections, Climate change.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I. PRESENTACIÓN.....	16
I.1. Introducción.....	16
I.2. Planteamiento del problema.....	17
I.3. Área de estudio.....	20
I.4. Objetivos.....	24
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	25
II.1. Sistema climático.....	25
II.2. Cambio climático.....	26
II.3 Tendencias y variabilidad climática.....	30
II.4. Teleconexiones.....	31
II.4.a. El Niño, Oscilación del Sur (ENSO).....	32
II.4.b. Oscilación Decadal del Pacífico (PDO).....	35
II.5.c. Oscilación Antártica (AAO).....	37
II.5. Ciclos solares.....	38
II.6. Célula de Hadley y su expansión.....	43
II.7. Anticiclón del Pacífico (APS).....	46
II.8. Megasequía y vientos del oeste.....	49
II.9. Caracterización climática de la región de Los Lagos.....	51
II.9.a. Principales factores del clima.....	51
II.9.c. Clasificación climática según método de Köppen.....	53
CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	57
III.1. Materiales.....	57
III.2. Métodos.....	60
III.2.a. Obtención de datos y construcción de series largas.....	61
III.2.a.1. Precipitación acumulada mensual.....	61
- Datos provenientes del Centro de Ciencia del Clima Resiliencia (CR2).....	61
- Datos provenientes del Anexo N°1 de Pluviometría de Chile del Departamento de Recursos Hidráulicos de la Universidad de Chile y la CORFO.....	61
- Datos provenientes de Agromet, Instituto de Investigaciones Agropecuarias del Ministerio de Agricultura.....	61
- Datos provenientes de la estación meteorológica de la Fundación Huinay: ..	62
III.2.a.2. Temperatura media mensual.....	62

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

- Datos provenientes del Centro de Ciencia del Clima Resiliencia (CR2)	62
- Datos provenientes de los Anuarios climatológicos de la Dirección Meteorológica de Chile.....	63
- Datos provenientes de la estación meteorológica de la Fundación Huinay ...	63
III.2.a.3 Relleno de series	63
- Correlaciones bivariadas.....	64
- Regresiones lineales	66
- Relleno de precipitación	67
Caso de Puerto Montt.....	67
Caso de Huinay, Ancud, Castro, Quemchi, Chaitén, Achao, Hornopirén, Chonchi, Tres Cruces, Huyar Alto y Butalcura	69
- Relleno de temperatura.....	71
Caso de Puerto Montt.....	71
Caso de Huinay, Maullín, Ancud, Castro, Morro Lobos, Punta Corona y Chaitén	73
III.2.b. Análisis de tendencias	74
III.2.b.1. Comparación de las tendencias con escenarios de cambio climático en Chile	74
III.2.b.2. Aplicación de matriz MAKESENS	76
- Espacialización de resultados de tendencias anuales, decadales y 100 años..	78
III.2.c. Análisis de teleconexiones	80
III.2.c.1. Clasificación semestral de índices SOI, PDO y AAO	80
III.2.c.2. Correlaciones estadísticas entre índices semestrales de las teleconexiones y registros de precipitación y temperatura del área de estudio	81
III.2.c.3. Espacialización de correlaciones	82
III.2.d. Métodos complementarios al análisis	83
III.2.d.1. Homogeneidad de series climáticas.....	83
- Test no paramétrico de Thom (1966)	83
- Test de homogeneidad absoluta de Von Neumann (1941).....	84
III.2.d. Cálculo de índices.....	84
- Coeficiente de variación (CV).....	84
- Índice de Irregularidad Temporal (S_1).....	86
- Índice de Concentración de Precipitaciones (PCI)	88
CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	90
IV.1. Obtención de series datos pluviométricos y térmicos más largas posibles para el área de estudio.....	90
IV.1.a. Precipitación.....	90
IV.1.b. Temperatura	93

IV.2. Comparación de resultados de tendencias de precipitación con los escenarios de cambio climático en Chile y sus efectos en el área de estudio	96
IV.2.a. Escenarios de cambio climático para Chile.....	96
IV.2.b. Análisis de tendencias mensuales	105
IV.2.c Análisis de tendencias trimestrales	113
IV. 3. Identificación de las teleconexiones que afectan la precipitación y temperatura del sur de Chile.....	124
IV.3.a. Índice de Oscilación del Sur (SOI)	124
IV.3.b. Oscilación Decadal del Pacífico (PDO).....	131
IV.3.c. Oscilación Antártica (AAO).....	138
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	145
V.1. Discusión	145
V.2. Conclusiones	159
BIBLIOGRAFÍA	161
ANEXOS.....	173
ANEXO DIGITAL	188

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura N°1: Área de estudio, golfo de Ancud y fiordo Comau, Región de los Lagos.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura N°4: Diagrama de Walter y Lieth para la estación de San Ignacio de Huinay</i>	<i>23</i>
<i>Figura N°4: Hietograma de estación San Ignacio de Huinay.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura N°4: Balance hídrico de Huinay.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura N°5: El sistema climático</i>	<i>25</i>
<i>Figura N°6: Cambios observados en la superficie de la tierra entre 1901-2012.</i>	<i>27</i>
<i>Figura N°7: Cambios observados en la precipitación anual sobre la tierra.</i>	<i>27</i>
<i>Figura N°8: Variación de temperatura media en distintos escenarios futuros para diferentes estaciones del año.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura N°9: Variación de la precipitación estacional en distintos escenarios futuros para distintas estaciones del año</i>	<i>29</i>
<i>Figura N°10: Escalas de variabilidad climática.</i>	<i>30</i>
<i>Figura N°11: Índice de Oscilación del Sur anual entre los años 1866-2016</i>	<i>32</i>
<i>Figura N°12: Condición de los vientos alisios durante fase cálida del ENSO</i>	<i>33</i>
<i>Figura N°13: Condición de los vientos alisios durante fase fría del ENSO</i>	<i>33</i>
<i>Figura N°14: Circulación normal de la célula de Walker y su alteración durante El Niño.</i>	<i>34</i>

Figura N°15: Variaciones del índice de la Oscilación Decadal del Pacífico entre 1900-2016.	36
Figura N°16: Variación del índice de Oscilación Antártida entre los años 1979-2015.	38
Figura N°17: Promedio anual de manchas solares (PAMS) y precipitación anual para Azul (PBA) en los últimos 100 años (1913-2012).	39
Figura N°18: Número de manchas solares entre los años 1600-2000.	40
Figura N°19: Longitud del ciclo de manchas solares en años y la variación de la temperatura superficial de la tierra entre los años 1860-2000.	40
Figura N°20: Precipitación promedio de Santiago (1826-1990) en años El Niño-Anti El Niño para desfases del máximo solar.	42
Figura N°21: Diagrama del transporte de calor en la atmósfera y océano.	43
Figura N°22: Circulación teórica de la atmósfera de la tierra inmóvil.	44
Figura N°23: Esquema de la circulación atmosférica global.	45
Figura N°24: Presión a nivel del mar de Sudamérica.	47
Figura N°25: Ciclo estacional del Anticiclón del Pacífico	48
Figura N°26: Déficit o superávit pluviométrico promedio para los períodos 1966-1969 y 2010-2014.	50
Figura N°27: Distribución de la precipitación promedio anual (izquierda) y la temperatura media anual (derecha).	52
Figura N°28: Regiones fuentes de masas de aire y circulación del aire Polar Marítimo en Sudamérica durante el verano e invierno.	53
Figura N°29: Clasificación climática de Köppen para la región de Los Lagos	54
Figura N°30: Extensión y vacíos de las estaciones pluviométricas (a) y de temperatura utilizadas (b).	58
Figura N°31: Distribución de las estaciones meteorológicas utilizadas.	59
Figura N°32: Diagrama metodológico general.	60
Figura N°33: Diagrama de construcción de base de datos de precipitación acumulada mensual.	162
Figura N°34: Diagrama de construcción de base de datos de temperatura media mensual.	63
Figura N°35: Diagramas de dispersión expresando distintos tipos de relación	64
Figura N°36: Ventana de regresión lineal en SPSS	67
Figura N°37: Pasos para rellenar la serie p de Puerto Montt.	68
Figura N°38: Diagrama de relleno para series p de precipitación con significancia <0,05.	70
Figura N°39: Diagramas de relleno para series p de precipitación acumulada mensual con mejor significancia posible.	71
Figura N°40: Pasos para rellenar la serie t de Puerto Montt.	72
Figura N°41: Diagrama de relleno para series t con significancia <0,05	73
Figura N°42: Diagramas de relleno para series de temperatura media mensual con mejor significancia posible	74

Figura N°43: Ejemplo de gráfico lineal creado para la comparación de peak de precipitación acumulada antes y después de 1970	75
Figura N°44: Pestaña de figuras. Fuente: Plantilla Makesens 1.0.....	76
Figura N°45: Porcentaje de datos originales y rellenados de las 12 series pluviométricas trabajadas.....	90
Figura N°46: Porcentaje de meses con datos originales y rellenados de las estaciones pluviométricas trabajadas	92
Figura N°47: Años con datos originales y rellenados de las estaciones pluviométricas....	92
Figura N°48: Porcentaje de meses con datos originales, rellenados y lagunas de las estaciones de temperatura trabajadas.....	93
Figura N°49: Porcentaje de datos originales y rellenados de las 8 series de temperatura trabajadas.....	95
Figura N°50: Años con datos originales y rellenados de las estaciones térmicas.	96
Figura N°51: Precipitación estacional en la región sur de Chile (36-45°S).....	96
Figura N°52: Precipitación acumulada mensual (mm) de Puerto Montt entre 1907-2016.	97
Figura N°53: Precipitación acumulada mensual (mm) de Tres Cruces entre 1907-2016..	98
Figura N°54: Precipitación acumulada mensual (mm) de Ancud entre 1907-2016.....	98
Figura N°55: Precipitación acumulada mensual (mm) de Hornopirén entre 1907-2016. .	99
Figura N°56: Precipitación acumulada mensual (mm) de Quemchi entre 1907-2016.....	99
Figura N°57: Precipitación acumulada mensual (mm) de Butalcura entre 1907-2016 ...	100
Figura N°58: Precipitación acumulada mensual (mm) de Huinay entre 1907-2016	100
Figura N°59: Precipitación acumulada mensual (mm) de Huyar Alto entre 1907-2016 .	101
Figura N°60: Precipitación acumulada mensual (mm) de Castro entre 1907-2016	101
Figura N°61: Precipitación acumulada mensual (mm) de Achao entre 1907-2016.....	102
Figura N°62: Precipitación acumulada mensual (mm) de Chonchi entre 1907-2016.....	102
Figura N°63: Precipitación acumulada mensual (mm) de Chaitén entre 1907-2016.....	103
Figura N°64: Tendencia de precipitación acumulada mensual entre los periodos de 1923-1969 y 1970-2016, para todas las estaciones pluviométricas.....	103
Figura N°65: Precipitación acumulada media estacional de la zona sur de Chile (36-45°S) esperable para el siglo XXI.	104
Figura N°66: Diagrama de variables creadas para análisis de tendencias MK.	106
Figura N°67: Tendencia anual de las estaciones pluviométricas	108
Figura N°68: Tendencia decadal y últimos 100 años de las estaciones pluviométricas .	108
Figura N°69: Comportamiento espacial de la variable Q mensual.....	109
Figura N°70: Diferencia del Q mensual entre la primera (1907-1916) y última década (2007-2016) de las series pluviométricas sometidas a MK.....	111
Figura N°71: Espacialización del Q mensual decadal entre 1907-1916 y 2007-2016. ...	111
Figura N°72: Comportamiento espacial del Q mensual siglo.....	112
Figura N°73: Categorías de significancia estadística según trimestre.....	113

Figura N°74: Tendencias de precipitación acumulada trimestral entre 1907-2016 (Q trimestral).....	115
Figura N°75: Comportamiento espacial de Q trimestral.....	116
Figura N°76: Promedio de reducción de precipitaciones del Q mensual decadal.....	117
Figura N°77: Comportamiento espacial del Q trimestral decadal 1917-1926 (I) y 2007-2016(II).....	120
Figura N°78: Comportamiento espacial del Q trimestral siglo	122
Figura N°79: Porcentaje de pérdidas totales de precipitación por trimestre entre 1917-2016	123
Figura N°80: Porcentaje de ocurrencias semestrales del SOI entre 1907-2016	124
Figura N°81: Porcentaje de ocurrencias totales del SOI semestral entre 1907-2016.	125
Figura N°82: Porcentaje de ocurrencias semestrales del SOI-1 entre 1907-2016.	125
Figura N°83: Porcentaje de ocurrencias totales del SOI-1 semestral entre 1907-2016. .	125
Figura N°84: Porcentaje de ocurrencias totales de correlaciones estadísticas entre el SOI y la precipitación mensual, entre 1985-2015.....	126
Figura N°85: Porcentaje de ocurrencias semestrales de correlaciones estadísticas entre el SOI y la precipitación mensual, entre 1985-2015.....	126
Figura N°86: Porcentaje de ocurrencias totales de correlaciones estadísticas entre el SOI y la temperatura mensual, entre 1916-2014.	127
Figura N°87: Porcentaje de ocurrencias semestrales de correlaciones estadísticas entre el SOI y la temperatura mensual, entre 1916-2014	128
Figura N°88: Coeficiente de correlación entre el SOI semestral y las precipitaciones y temperaturas mensuales del área de estudio.....	130
Figura N°89: Porcentaje de ocurrencias semestrales del PDO entre 1907-2016.....	131
Figura N°90: Porcentaje de ocurrencias totales del PDO semestral entre 1907-2016....	132
Figura N°91: Porcentaje de ocurrencias semestrales del PDO-1 entre 1907-2016.....	132
Figura N°92: Porcentaje de ocurrencias totales del PDO-1 semestral entre 1907-2016	132
Figura N°93: Porcentaje de ocurrencias totales de correlaciones estadísticas entre la PDO y la precipitación mensual, entre 1985-2015	133
Figura N°94: Porcentaje de ocurrencias semestrales de correlaciones estadísticas entre la PDO y la precipitación mensual, entre 1985-2015.....	133
Figura N°95: Porcentaje de ocurrencias totales de correlaciones estadísticas entre el SOI y la temperatura mensual, entre 1916-2014.	135
Figura N°96: Porcentaje de ocurrencias semestrales de correlaciones estadísticas entre el PDO y la temperatura mensual, entre 1916-2014	135
Figura N°97: Coeficiente de correlación entre la PDO semestral y las precipitaciones y temperaturas mensuales del área de estudio.....	137
Figura N°98: Porcentaje de ocurrencias semestrales del AAO entre 1907-2016.....	138
Figura N°99: Porcentaje de ocurrencias totales del AAO semestral entre 1907-2016....	139
Figura N°100: Porcentaje de ocurrencias semestrales del AAO-1 entre 1907-2016.....	139

Figura N°101: Porcentaje de ocurrencias totales del AAO-1 semestral entre 1907-2016.	139
Figura N°102: Porcentaje de ocurrencias totales de correlaciones estadísticas entre la AAO y la precipitación mensual, entre 1985-2015	140
Figura N°103: Porcentaje de ocurrencias totales de correlaciones estadísticas entre el AAO y la temperatura mensual, entre 1916-2014.....	142
Figura N°104: Porcentaje de ocurrencias semestrales de correlaciones estadísticas entre el AAO y la temperatura mensual, entre 1916-2014.....	142
Figura N°105: Coeficiente de correlación entre la AAO semestral y las precipitaciones y temperaturas mensuales del área de estudio.....	144
Figura N°106: Precipitación acumulada mensual entre 1907-2016..	146
Figura N°107: Temperatura media mensual entre 1917-2016.	147
Figura N°108: Variación anual del índice AAO y la temperatura media y precipitación acumulada anual del área de estudio, entre 1979 y 2016.....	150
Figura N°109: Correlación latitud-índice AAO en el semestre ONDEFM.	151
Figura N°110: Temperatura media mensual del área de estudio entre 1916 y 2016	152
Figura N°111: Tendencia lineal de temperatura media mensual del área de estudio.....	152
Figura N°112: Variación anual del índice PDO y la temperatura media anual del área de estudio, entre 1916 y 2016.....	153
Figura N°113: Precipitación en Chile central y fases de la PDO a partir de 1940.	154
Figura N°114: Variación anual del índice PDO y la precipitación acumulada anual en Chile central, entre 1940 y 2010.....	154
Figura N°115: Número de manchas solares anuales y la temperatura media anual del área de estudio, 1916-2016.....	156
Figura N°116: Número de manchas solares anuales y la precipitación acumulada anual del área de estudio, 1907-2016.....	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Años El Niño (EN) y La Niña (a-EN) asociados a máximos solares magnéticos	41
Tabla N°2: Clasificación de los climas de la región de Los Lagos, según método de Köppen	56
Tabla N°3: Estaciones meteorológicas, su respectiva localización geográfica, fuente	57
Tabla N°4: Ejemplo de matriz resumen del coeficiente de correlación de Pearson.	65
Tabla N°5: Clasificación de la significancia.	66
Tabla N°6: Resultado de regresión lineal.....	67
Tabla N°7: Pestaña de datos anuales.	76
Tabla N°8: Pestaña de estadísticas de tendencia	76
Tabla N°9: Clasificación de la significancia.....	77

Tabla N°11: Rangos, clasificación y simbología utilizada para espacializar tendencias de Q mensual decadal y siglo.....	79
Tabla N°10: Rangos, clasificación y simbología utilizada para espacializar tendencias de Q mensual.....	79
Tabla N°12: Rangos, clasificación y simbología utilizada para espacializar las tendencias del Q trimestral.....	79
Tabla N°13: Rangos, clasificación y simbología utilizada para espacializar las tendencias del Q trimestral decadal y siglo	79
Tabla N°14: Ejemplo de cálculo de SOI-1 semestral sin desfase (arriba) y con mes de septiembre (abajo).....	81
Tabla N°15: Clasificación de índices semestrales de SOI, PDO y AAO	81
Tabla N°16: Clasificación de las correlaciones estadísticas entre los índices de teleconexiones, la precipitación y temperatura mensual del área de estudio.....	82
Tabla N°17: Clasificación para correlaciones estadísticas entre el SOI, PDO y AAO y la precipitación y temperatura del área de estudio.....	83
Tabla N°18: Ejemplo de cálculo de CV entre los años 1916-1926 de las series p y t de Puerto Montt.....	85
Tabla N°19: Clasificación del CV	85
Tabla N°20: Propiedades del índice de irregularidad temporal S_1	86
Tabla N°21: Ejemplo de cálculo de S_1 para los primeros 20 años de la serie p de Puerto Montt.....	87
Tabla N°22: Clasificación del S_1	87
Tabla N°23: Clasificación del PCI.....	88
Tabla N°24: Ejemplo de cálculo de PCI para el año 1907 de la serie p de Puerto Montt .	89
Tabla N°25: Detalle de vacíos de datos de precipitación rellenados por estación pluviométrica.....	91
Tabla N°26: Detalle de vacíos de datos de temperatura rellenados por estación	94
Tabla N°27: Resultados de aplicación de matriz MAKESENS a registros de precipitación entre 1917-2016 (Q mensual).....	106
Tabla N°28: Tendencias climáticas obtenidas mediante pendiente de Sen.....	107
Tabla N°29: Resultados del Q mensual a escala decadal y del último siglo.....	110
Tabla N°30: Resultado del Q trimestral (Q tri), entre 1917-2016	114
Tabla N°31: Q trimestral decadal entre 1917-1926 y 2007-2016.....	118
Tabla N°32: Q trimestral siglo	121
Tabla N°33: Ocurrencias y su equivalencia en porcentaje de SOI y SOI-1 de acuerdo a la clasificación propuesta, entre 1907-2016	124
Tabla N°34: Correlaciones estadísticas (entre el SOI semestral y las precipitaciones mensuales 1907-2016) asociado a las ubicaciones geográficas de las estaciones.....	127
Tabla N°35: Coeficientes y valores P entre correlaciones estadísticas (SOI-precipitación) y latitud de las estaciones.....	128

Tabla N°36: Correlaciones estadísticas (entre el SOI semestral y las temperaturas mensuales 1907-2016) asociado a las ubicaciones geográficas de las estaciones.....	129
Tabla N°37: Coeficientes y valores P entre correlaciones estadísticas (SOI-temperatura) y latitud de las estaciones.....	129
Tabla N°38: Ocurrencias y su equivalencia en porcentaje de PDO y PDO-1 de acuerdo a la clasificación propuesta, entre 1907-2016.....	131
Tabla N°39: Correlaciones estadísticas (entre la PDO semestral y las precipitaciones mensuales 1907-2016) asociado a las ubicaciones geográficas de las estaciones.....	134
Tabla N°40: Coeficientes y valores P entre correlaciones estadísticas (PDO-precipitación) y latitud de las estaciones.....	134
Tabla N°41: Correlaciones estadísticas (entre la PDO semestral y las temperaturas mensuales 1907-2016) asociado a las ubicaciones geográficas de las estaciones.....	136
Tabla N°42: Coeficientes y valores P entre correlaciones estadísticas (PDO-temperatura) y latitud de las estaciones.....	136
Tabla N°43: Ocurrencias y su equivalencia en porcentaje de AAO y AAO-1 de acuerdo a la clasificación propuesta, entre 1907-2016.....	138
Tabla N°44: Correlaciones estadísticas (entre la AAO semestral y las precipitaciones mensuales 1907-2016) asociado a las ubicaciones geográficas de las estaciones.....	141
Tabla N°45: Coeficientes y valores P entre correlaciones estadísticas (AAO-precipitaciones) y latitud de las estaciones.....	141
Tabla N°46: Correlaciones estadísticas (entre la AAO semestral y las precipitaciones mensuales 1907-2016) asociado a las ubicaciones geográficas de las estaciones.....	143
Tabla N°47: Coeficientes y valores P entre correlaciones estadísticas (AAO-temperaturas) y latitud de las estaciones.....	143
Tabla N°48: Años de máximas solares y cambios de polaridad de la PDO entre 1900 y 2016	157

CAPÍTULO I. PRESENTACIÓN

I.1. Introducción

El clima actual enfrenta una alta variabilidad como resultado de la actividad humana, que ha intensificado su influencia desde la Revolución Industrial: antes de ello, los cambios del clima debieron haberse originado por causas naturales, pero hoy, excluir el Subsistema Antrópico del Sistema Climático sería incorrecto (Fuenzalida, *et al.*, 1989).

Las variaciones y cambios climáticos cada vez adquieren mayor interés entre los estudiosos de diferentes disciplinas, quienes buscan prevenir los impactos que traerá a la sociedad humana, flora y fauna, un cambio drástico de las condiciones atmosféricas prevalecientes. Las series de datos climáticos ofrecen la posibilidad de conocer las tendencias de determinadas variables meteorológicas, a nivel estadístico, las que son esenciales en el comportamiento del sistema climático. La variabilidad del clima es mucho más que un concepto estadístico y convencional, el que se hace más complejo al considerar la intervención antrópica, es decir, la variabilidad no natural o inducida (Ojeda, *et al.*, 1993; Martín-Vide, 2003).

En Chile, la estimación regional de las variaciones climáticas es un ejercicio difícil: la información disponible es escasa, lo que representa una fuente de error e incertidumbre importante. Sin embargo, los distintos escenarios modelados señalan que para 2030 ocurriría un calentamiento de 2 a 4°C entre las latitudes de Arica (18°S) y Chiloé (42-43°S). Al extrapolar para el año 2050 se sugieren cifras de 4°C para la zona sur del país. Las precipitaciones en tanto son aún más inciertas: la zona central y sur de Chile presenta precipitaciones con origen en los frentes asociados a las depresiones migratorias en la región de los vientos del oeste, las que derivan su energía del contraste térmico entre las latitudes subtropicales y las regiones frías de la periferia antártica, contraste que disminuiría a consecuencia del calentamiento preferencial, lo que además generaría un deterioro en la actividad meteorológica y la disminución de precipitaciones en esta zona del país. Los impactos a los recursos son obvios, en específicos a los hídricos: en áreas húmedas, como la correspondiente al área de estudio de esta memoria, un aumento de 3°C podría significar un menor rendimiento hídrico de 10% a 15% (Fuenzalida, *et al.*, 1989; Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2006a).

La comprensión de cómo han afectado, afectan y afectarán estas nuevas condiciones atmosféricas suponen un diagnóstico básico, el que se hace aún más imperante al tratarse de la zona sur de Chile, en específico el Golfo de Ancud, debido a la presencia de glaciares y el interés social por estos debido a la irrefutable fuente de agua dulce que representan. Por ello, la presente memoria de título es parte del FONDECYT N°1151087, que pretende aportar un reconocimiento y análisis de tendencias climáticas a partir de series de datos pluviométricos

y de temperatura más largos posibles disponibles para la zona del Golfo de Ancud, los que son indicadores de condiciones de riesgo de los recursos territoriales, contrastando con escenarios de cambio climático y teleconexiones, identificando además valores extremos y variabilidad.

I.2. Planteamiento del problema

El cambio climático se ha convertido en un tema de agenda mundial en los últimos 15 años, siendo de particular importancia en política internacional y nacional. Representa un problema de características únicas debido a la extensión y temporalidad de sus consecuencias (largo plazo y escala global) y porque arrastra consigo afectaciones en procesos naturales, sociales, económicos y políticos (Barton, 2009; Fernández & Martínez, 2004).

La variabilidad climática, referida a fluctuaciones en las propiedades estadísticas sobre períodos de semanas, meses o años (que son mayores a nivel local o regional y menores a nivel hemisféricos o global) establece fronteras dentro de los cuales los valores medios, desvíos o frecuencias de valores entre estos límites establecidos son aceptados como normales, mientras que aquellos fuera de estos son vistos como anómalos, raros o poco probables (Bidegain, 2009; Martín-Vide, 2003; Centro Internacional para la investigación del fenómeno de El Niño (CIIFEN), s.f.). Cuando estas propiedades estadísticas de una secuencia de años, décadas, siglos, etc. difieren considerablemente respecto a otra secuencia, es posible hablar de un cambio sobre una escala de tiempo mayor, es decir, un cambio climático (Bidegain, 2009). Actualmente, el planeta posee las más altas concentraciones de CO₂ en los últimos 650.000 años, mientras que las temperaturas de superficie se han elevado unos 0,8°C durante los últimos 100 años, precisamente por el efecto invernadero producido. Este cambio climático aumenta los eventos extremos, episodios de alto contenido social, ya que representan escenarios de riesgo. Por ejemplo, el constante aumento de la temperatura terrestre está provocando alteraciones en el ciclo del agua, por lo que las inundaciones aparecen con mayor frecuencia y con una recurrencia nunca antes vista, o periodos de tiempo excesivamente cálidos en zonas donde dicha situación no es normal (olas de calor cada vez más repetitivas), así como la acidificación de los océanos y los impactos en ecosistemas de montaña, andino y páramos, solo por nombrar algunos (CIIFEN, s.f.). En estadística es posible determinar periodos de retorno para estos eventos climáticos raros, extremos o poco probables, que no son más que la probabilidad de la ocurrencia del mismo fenómeno y que es muy útil para poner en marcha una correcta gestión del riesgo asociado al evento, sobre todo en Chile, país de escenario multiamenaza. Así, el término no solo se utiliza en estudios climáticos, sino además en términos sísmicos, hidrológicos, entre otros (Universidad Tecnológica de Pereira, 2010).

Para el caso de Chile, las proyecciones nacionales sobre cambio climático muestran un aumento de las temperaturas entre 2° a 4°C en casi todas las regiones, siendo más acentuado

en las áreas andinas, manifestándose en gradiente de norte a sur (CONAMA, 2007 en Cifuentes & Meza, 2008). Hasta 1970 se apreció un régimen térmico relativamente estacionario con excepción de la región centro-sur donde se observó un marcado descenso de la temperatura media (Aceituno, *et al.*, 1992 y Rosenbluth *et al.*, 1997 citado en CONAMA, 2006), mientras que a mediados de la década del '70 ocurrió un aumento de temperatura asociado al cambio de fase de la Oscilación Decadal del Pacífico. El régimen térmico superficial se ha mantenido estacionario, relativamente, a partir de 1960, exceptuando las regiones entre Santiago y Concepción donde se observa un aumento entre $+0,05^{\circ}\text{C}/\text{década}$ y de $+0,18^{\circ}\text{C}/\text{década}$ en los promedios anuales de temperatura máxima y mínima, respectivamente. Además, lo anterior queda claro al observar las estaciones de las regiones norte y central del país, como Arica, Iquique, Antofagasta, Copiapó, Vallenar y La Serena, que representan una clara evolución de los valores medios anuales de temperaturas extremas diarias de tipo “peldaño” (*ibid*). Con respecto a las precipitaciones, en el altiplano se prevé un aumento de estas en primavera; En el Norte Chico en cambio se espera un aumento de las mismas entre los 22 y 30°S, afectando solo a las regiones andinas en invierno; En la Zona Centro ocurrirían disminuciones de precipitaciones de hasta un 40% en tierras bajas; En el Sur, tienden a mantenerse en invierno y otoño pero bajan considerablemente (40-25%) en verano y primavera respectivamente; Y la Zona Austral, tienden a disminuir en un 25% la cantidad de precipitaciones de verano (*ibid*).

Por otro lado, las teleconexiones que afectan al territorio nacional aumentan la variabilidad climática, generando sequías y lluvias torrenciales indistintamente a lo largo del país. Barry & Chorley (1985) definen las teleconexiones como vínculos existentes entre variables atmosféricas y oceánicas a grandes distancias. Las grandes distancias en el espacio y las diferencias de tiempo entre estos eventos anómalos dificultan la creencia que uno podría, posiblemente, influenciar al otro, pero tales conexiones sí existen (SINPAD, 2002). Martín-Vide (2003) habla de patrones de variabilidad de baja frecuencia en la búsqueda de conexiones en el subsistema atmosférico en diferentes regiones distantes. De esta manera es posible descubrir comportamientos sincrónicos entre los grandes centros de acción, anticiclones y depresiones, en escalas temporales que van desde meses a décadas. Así, la Oscilación del Sur (ENSO), comúnmente conocido como *El Niño* y *La Niña*, es sus fases de alternancia cálida y fría respectivamente, se expresan en años especialmente secos-lluviosos y cálidos-fríos. Considerando, por ejemplo, la pluviometría de Santiago (Quinta Normal), que normalmente acumula 312,5 mm anuales en promedio, un año *El Niño* puede significar un aumento de estas precipitaciones en hasta 700 mm como lo que ocurrió en 1914, o 709,3 mm en 1997. Por otro lado, las teleconexiones que afectan al territorio nacional aumentan la variabilidad climática, generando sequías y lluvias torrenciales indistintamente a lo largo del país. Barry & Chorley (1985) definen las teleconexiones como vínculos existentes entre variables atmosféricas y oceánicas a grandes distancias. Las grandes distancias en el espacio y las diferencias de tiempo entre estos eventos anómalos dificultan la creencia que uno podría, posiblemente, influenciar al otro, pero tales conexiones sí existen (SINPAD, 2002).

Martín-Vide (2003) habla de patrones de variabilidad de baja frecuencia en la búsqueda de conexiones en el subsistema atmosférico en diferentes regiones distantes. De esta manera es posible descubrir comportamientos sincrónicos entre los grandes centros de acción, anticiclones y depresiones, en escalas temporales que van desde meses a décadas. Así, la Oscilación del Sur (ENSO), comúnmente conocido como El Niño y La Niña, en sus fases de alternancia cálida y fría respectivamente, se expresan en años especialmente secos-lluviosos y cálidos-fríos. Considerando, por ejemplo, la pluviometría de Santiago (Quinta Normal), que normalmente acumula 312,5 mm anuales en promedio, un año El Niño puede significar un aumento de estas precipitaciones en hasta 700 mm como lo que ocurrió en 1914, o 709,3 mm en 1997. Por el contrario, siguiendo el mismo ejemplo, un año La Niña, en Santiago, puede significar precipitaciones menores a los 100 mm como lo que ocurrió en 1924 (66,3 mm) o 1998 (89,3 mm). En los últimos 14 años, ha habido más episodios de La Niña (2005-2006, 2007-2008, 2010-2011) en contraste con El Niño (2002, 2009-2010, 2016), y teniendo en cuenta el último siglo, de los 18 eventos cálidos del ENSO, en 13 de ellos la precipitación fue mayor que la normal, solo en 2 de ellos hubo déficit y en 3 años la situación fue promedio. Para el caso de la fase fría se ha presentado en 16 ocasiones, en 13 de ellas provocó déficit pluviométrico en Santiago y solamente en tres ocasiones superó el promedio (DMC, s.f.).

El sur de Chile, comprendido entre los 37 y 42°S, es decir, desde la región del Biobío hasta la de Los Lagos, posee un clima templado con gradiente latitudinal de temperaturas y precipitación. En general, desde la cuenca hidrográfica del Biobío hasta el norte de Puerto Montt adopta la clasificación de Templado Cálido Lluvioso, donde la temperatura media anual es baja, mientras que la pluviosidad es alta y homogénea durante todo el año, aunque descendiendo levemente en verano (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2014). Desde Puerto Montt al sur, hasta la Península del Taitao, el clima es Templado Marítimo Lluvioso, con una evidente baja de temperaturas en concordancia con el tipo anterior, pero un aumento de precipitaciones, las que son existentes durante todo el año, con una débil amplitud térmica anual (*ibid*). A modo más específico, la región de Los Lagos se caracteriza por ser un área muy húmeda, mientras que las temperaturas promedio bordean los 10,7°C en Castro, muy influenciadas por la acción oceánica que mantiene la uniformidad térmica, impidiendo que los promedios mensuales descendan de los 6°C en gran parte de la región (INE, 2007). A pesar que lo anterior hace que la región se presente como un espacio climáticamente homogéneo, la orografía favorece la gestación de diversas variedades climáticas pudiendo diferenciarse: Templado Lluvioso con Influencia Mediterránea, Templado Cálido Lluvioso con Descenso Estival de las Precipitaciones, Templado Cálido Lluvioso, Templado Frío Lluvioso o de Montaña y Clima de Hielo de Altura (*ibid*).

Finalmente, el objetivo de esta memoria de título busca responder a cuál es la tendencia de precipitación y temperatura en el sur de Chile con el fin de comprender sus efectos en el Golfo de Ancud. Para ello se recopilarán series pluviométricas más largas posibles disponibles para el área de estudio, y series de temperatura de al menos 1915 en adelante, las que serán sometidas a análisis de regímenes, el contraste con los escenarios de cambio

climático para esta área y la identificación de correlaciones con las teleconexiones de El Niño-La Niña, Oscilación Decadal del Pacífico y Oscilación Antártica.

I.3. Área de estudio

El Golfo de Ancud se encuentra entre los $-41^{\circ}30'S$ y los $-42^{\circ}15'S$ centrado en la latitud $-73^{\circ}O$, extendiéndose entre la isla de Chiloé y el continente (Andrade, 1985). Se trata de un sistema de tipo estuarino desde, específicamente, los pasos Nao y Queullín (seno de Reloncaví) por el norte, el canal de Chacao por el noroeste y los pasos Apiao y Desertores (golfo Corcovado) por el sur (González-Carrasco & Díaz-Naveaz, 2012) (figura N°1). De forma más o menos rectangular, y con un gran número de islas, este golfo posee profundidades mayores que superan los 300 m, mientras que la circulación general de la zona es dominada por factores como la distribución de densidad, el efecto de las mareas, viento y presencia de constricciones topográficas (Silva, *et al.*, 1995). Silva, *et al.*, realizaron, en 1995, una caracterización oceanográfica para algunos canales, senos, golfos y esteros australes de Chile, destacando la sección seno de Reloncaví – golfo de Ancud – golfo Corcovado. Los autores encontraron una temperatura superficial del agua que osciló, en marzo de ese año, entre los $11,2$ y $14,2^{\circ}C$, existiendo un gradiente térmico en disminución de norte a sur. Lo mismo ocurrió con la termoclina estacional, la que se debilitó muy por debajo de los $1^{\circ}/10$ m en el golfo de Ancud.

En específico, el fiordo Comau ($-42^{\circ}30'S$ $-73^{\circ}50'O$) se ubica frente al Golfo de Ancud (figura N°1) y es producto de una falla que se extiende a través de 68 km en sentido norte-sur, alcanzando 500 m de profundidad con fuertes pendientes laterales (Hromic, 2009). Posee una orientación inicial sur-norte, pero cambia de dirección hacia el oeste al conectarse con el golfo de Ancud a través del canal Comau (Silva, *et al.*, 1995). La costa es predominantemente de tipo rocosa, aunque también están presentes marismas de lodo, playas de arena, ripio y bolones. Además, en el fiordo, desembocan varios cursos de agua, recibiendo un aporte anual superior a los 6.000 mm de aguas lluvias (Hromic, 2009). Siguiendo el trabajo de Silva, *et al.*, (1995), la temperatura superficial fluctuó entre los $14,4$ y $15,2^{\circ}C$, con valores más altos hacia el interior del fiordo, mientras que bajo la superficie hasta los 20 m se formó una termoclina estacional con un gradiente vertical de $1,5^{\circ}C/10$ m, disminuyendo a valores inferiores a $11^{\circ}C$. Bajo los 300, los autores observaron un leve aumento de la temperatura ($0,2^{\circ}C$), causando una inversión térmica menor.

Esta zona del país entra en la clasificación climática de Templado Marítimo Lluvioso (desde Puerto Montt hasta la Península del Taitao), que se caracteriza por temperaturas más bajas que el Templado Cálido Lluvioso, descendiendo hacia el sur, y un aumento de precipitaciones con respecto a esta, las que en muchos casos supera los 3.000 mm, además de la escasa amplitud térmica anual. En específico, el área de estudio entra en la clasificación climática

de Templado Cálido Lluvioso con Influencia Mediterránea (Cfsb) hacia la Isla de Chiloé, mientras que hacia el fiordo Comau la clasificación es de Templado Cálido Lluvioso sin Estación Seca (Cfb) (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2014). En el primer caso, carece de una estación seca y el monto de precipitación del mes más lluvioso está comprendido entre tres y diez veces la precipitación del mes más seco, con máximos invernales entre mayo y agosto (Soto, 2009 en Fitzek, 2014), mientras que en el segundo caso la temperatura media del mes más cálido es inferior a los 22°C y, al menos, cuatro meses con temperaturas medias que superan los 10°C (Rioseco & Tesser, 2005).

La estación meteorológica del centro científico Huinay, y su recopilación desde 2005, indican una precipitación media anual de 5.332 mm y una temperatura media de 10,3°C (figura N°2) (Fitzek, 2014). Las mayores precipitaciones y menores temperaturas ocurren durante los meses de julio y agosto, mientras que las precipitaciones decaen y aumentan las temperaturas en verano (figura N°3). En específico, la distribución estacional de las precipitaciones alcanza el máximo de 33,27% en invierno, seguido por el 29,33% en otoño, disminuyendo a 21,53% en primavera y solo 15,87% en verano. El balance hídrico, en tanto, presenta características de saturado durante todo el año (figura N°4).

Sobre los 800 msnm, los cerros suelen estar nevados en invierno, aunque la nieve cae generalmente hasta los 300 msnm, la humedad relativa posee un valor promedio anual de 88,9% y la radiación solar total anual promedio suma 3.600 MJ/m². El índice de Rivas-Martínez (2005) indica un bioclima templado hiperoceánico del ombrotipo utrahiperhúmedo, mientras que las condiciones locales se enmarcan principalmente por la protección orográfica de la Cordillera de los Andes y la intensa radiación en días soleados de verano, además de la entrada de viento sur desde la boca de la cabecera del fiordo y la “virazón” (briza marina), los que generan rachas máximas durante temporales invernales inferiores a 60 km/h (*ibid*). Finalmente, el tipo de continentalidad observado por Fitzek (2014) se sitúa en el rango de la subhiperoceanidad (8,68), generándose efloración de hielo durante las noches de buen tiempo (escarcha) producto de la influencia de la inercia térmica del cuerpo de agua del fiordo, el que provoca que la temperatura del aire no descienda los 0°C, pero sí la temperatura del suelo.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

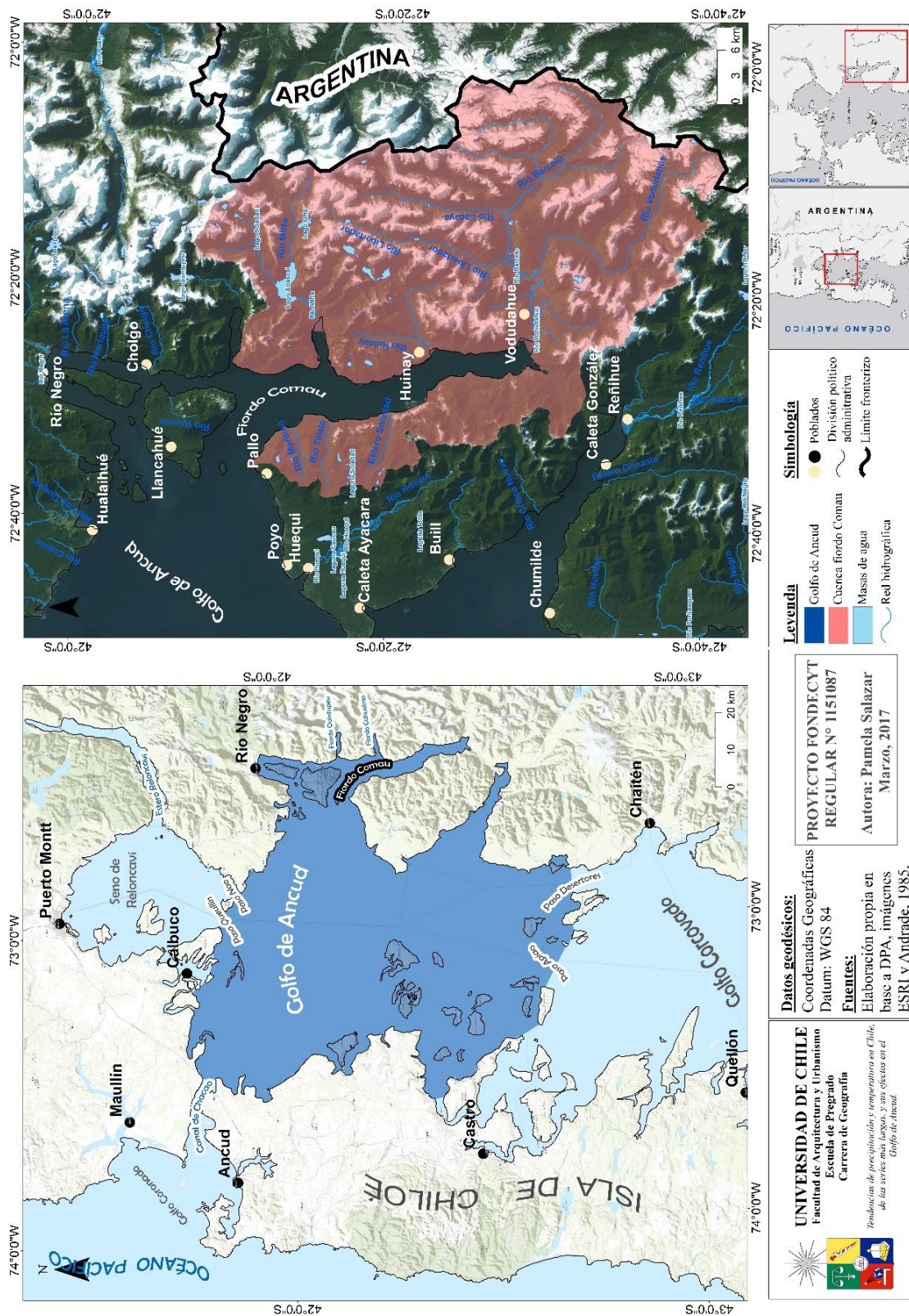


Figura N°1: Área de estudio, golfo de Ancud y fiordo Comau, Región de los Lagos. Fuente: Elaboración propia.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

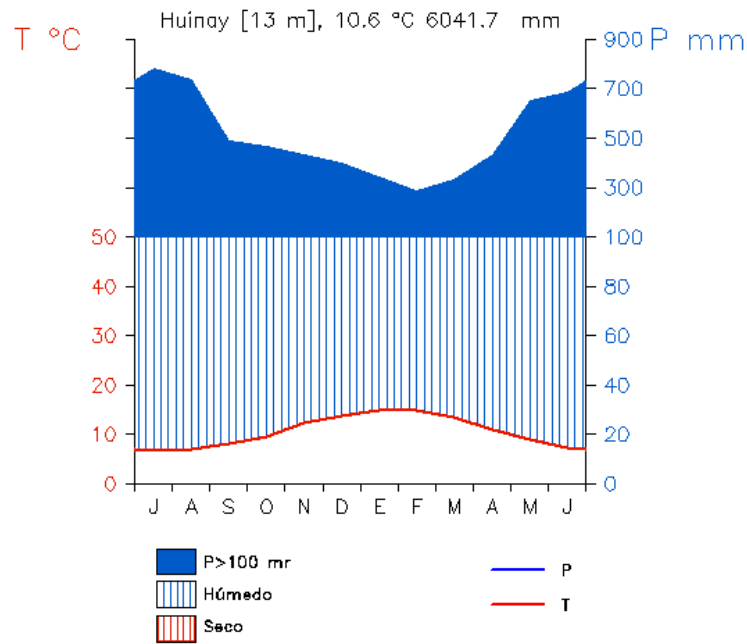


Figura N°4: Diagrama de Walter y Lieth para la estación de San Ignacio de Huinay. **Fuente:** Elaboración propia.

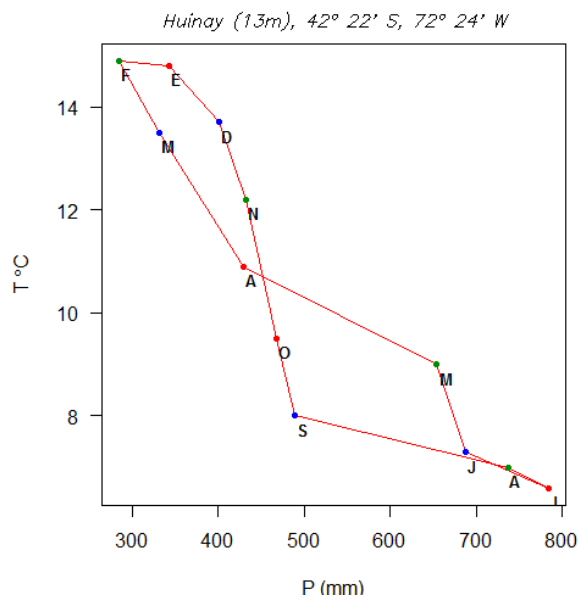


Figura N°4: Hietograma de estación San Ignacio de Huinay. **Fuente:** Elaboración propia.

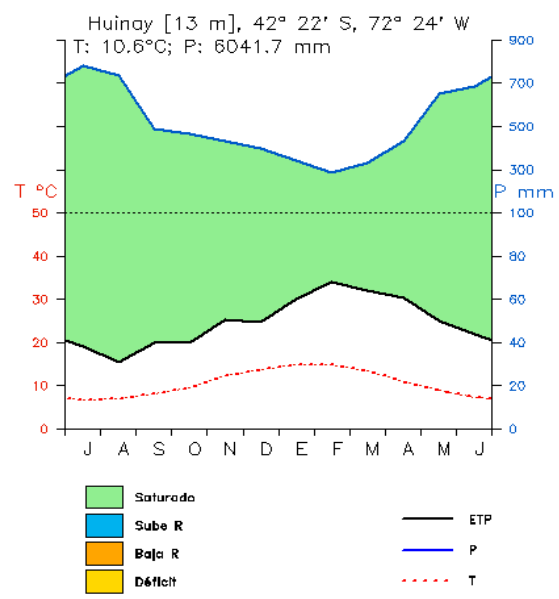


Figura N°4: Balance hídrico de Huinay. **Fuente:** Elaboración propia.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

I.4. Objetivos

Objetivo general:

Describir la tendencia de la precipitación y temperatura en el sur de Chile, de las series más largas, con el fin de comprender sus efectos en El Golfo de Ancud

Objetivos específicos:

1. Obtener datos pluviométricos, de series más largas posibles, y térmicos, desde 1915 al 2016, a nivel mensual, disponibles para el área de estudio.
2. Comparar los resultados de tendencias de precipitación con los escenarios de cambio climático en Chile y sus efectos en el área de estudio.
3. Identificar las teleconexiones que afectan la precipitación y temperatura del sur de Chile.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

II.1. Sistema climático

El sistema climático es un entramado complejo que ya, desde hace años, ha dejado de incluir únicamente a la atmósfera y todos los elementos que la componen como única consideración (Martín-Vide, 2003). Por el contrario, hoy se plantea que está constituido por 3 subsistemas principales: la atmósfera, la hidrósfera y la litósfera, más dos subsidiarios: biósfera y la criósfera, incluyendo, en el marco actual de un cambio climático de agravantes antrópicas, a un sexto subsistema, el socioeconómico (figura N°5). Todos estos subsistemas están conectados de alguna manera, interna (dentro de cada subsistema) o externamente (entre subsistemas), de tal forma que la modificación de uno afecta marcadamente a los restantes. Estas interacciones terminan por definir, finalmente, los climas de la superficie terrestre (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 1997).

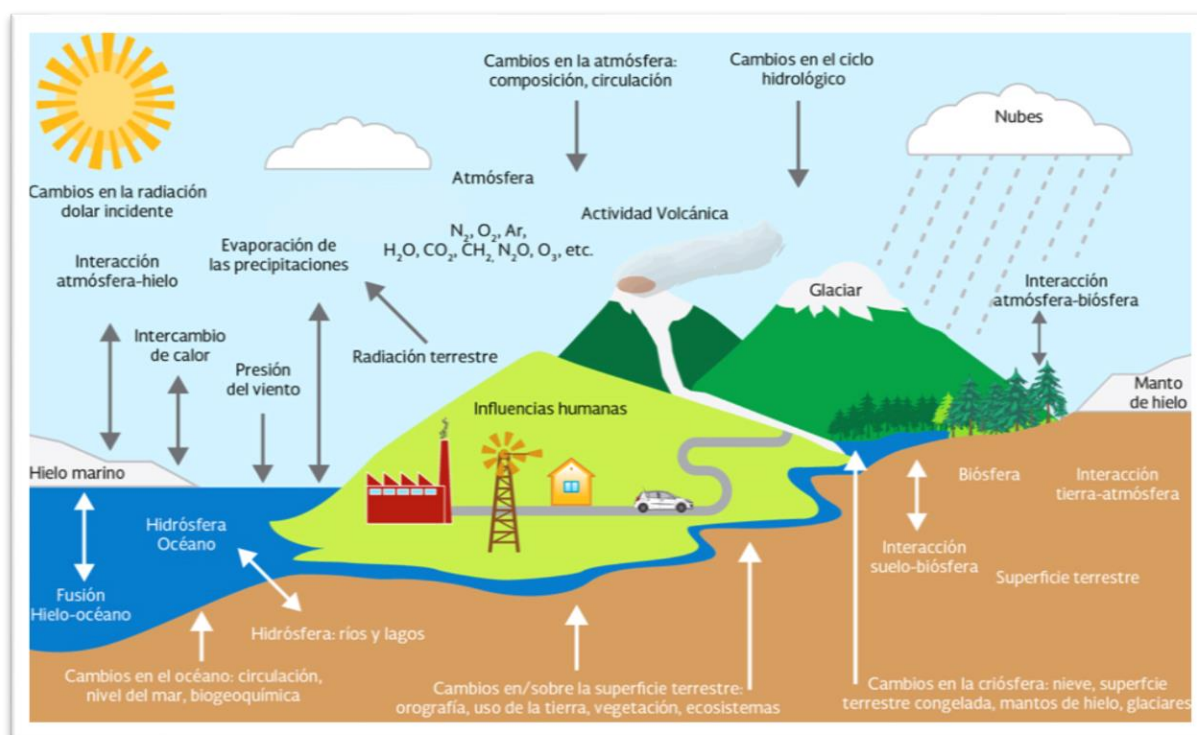


Figura N°5: El sistema climático. **Fuente:** Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2016.

Estas interacciones ocurren a través del flujo de energía de diferentes formas, intercambios de agua, flujos de gases (como el dióxido de carbono (CO₂) o el metano (CH₄)) y el ciclo de los nutrientes. El sol, y la entrada de energía solar al sistema, representan un verdadero motor del sistema climático, ya que es la fuente de energía principal que pone en marcha los movimientos de la atmósfera, el océano, los flujos de calor, agua y la actividad biológica. Aunque el sistema está en búsqueda constante del equilibrio, entre periodos de tiempo diversos pueden ocurrir desequilibrios de signo fluctuante propios de la variabilidad natural del clima, situación que se agrava con el actuar de la humanidad y las modificaciones que produce en el entorno, generando una perturbación que, sin interrupción y a escalas regional y mundial, afecta el desenvolvimiento de los procesos climáticos, la composición de la atmósfera de la Tierra y las propiedades de la superficie terrestre (IPCC, 1997).

La climatología, definida simplemente como la ciencia que estudia la composición de la atmósfera de la Tierra y las propiedades de la superficie terrestre, basada en el estudio de datos meteorológicos (Andrades & Múñez, 2012), ha tenido que evolucionar e incorporar nuevos conocimientos y técnicas que llevan consigo la complejidad terminológica (Albentosa, 1976) propia de su objeto de estudio y por ende, de los marcados cambios temporales y espaciales, es decir, la alta variabilidad del clima.

II.2. Cambio climático

El cambio climático es una modificación de las condiciones meteorológicas a largo plazo determinada por los cambios de temperatura, precipitación, vientos y otros factores del clima, los que a su vez implican cambios en las condiciones medias y la variabilidad (Casanova, 2014).

Desde la década de 1950, los cambios observados en el sistema climático no han tenido precedentes en los últimos decenios y milenios, siendo el aumento de la temperatura atmosférica y oceánica, la disminución de los niveles de hielo y nieve, el aumento del nivel del mar y el incremento de la concentración de gases de efecto invernadero las consecuencias más evidentes (IPCC, 2013). El incremento de temperatura de la superficie oceánica y terrestre calculados a partir de una tendencia lineal, denotan un calentamiento de 0,72°C entre los años 1850-1900, mientras que entre 2003-2015 este valor sube a los 0,85°C, dando como incremento total entre el promedio de ambos periodos 0,78°C (*ibid*).

La figura N°6 muestra que casi la totalidad de la tierra experimenta un aumento de temperatura de superficie, mientras que la figura N°7 muestra una evidente disminución de precipitaciones.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

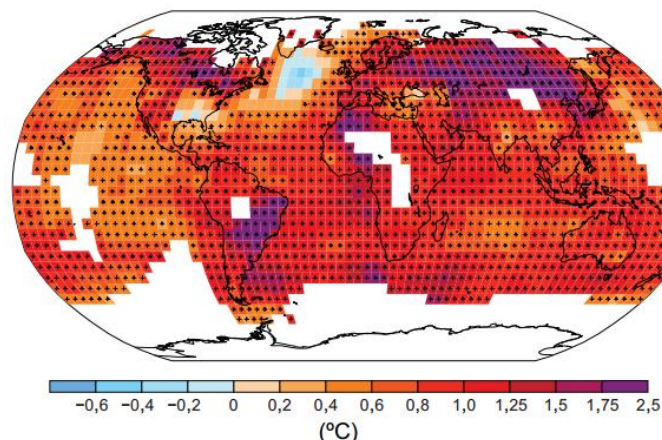


Figura N°6: Cambios observados en la superficie de la tierra entre 1901-2012. **Fuente:** IPCC, 2013.

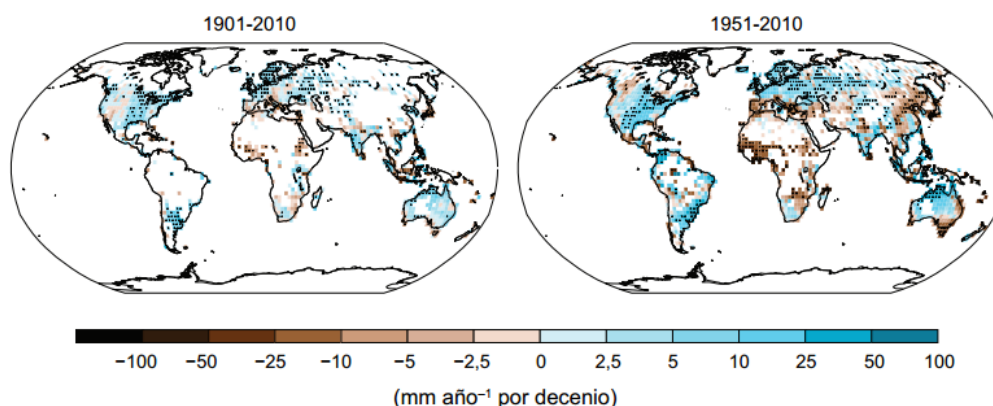


Figura N°7: Cambios observados en la precipitación anual sobre la tierra. **Fuente:** IPCC, 2013.

En Chile, el escenario es único debido a las características orográficas, la gran cantidad de climas presentes en el territorio (diferencias de regímenes entre el norte y el sur), la distintiva estacionalidad interanual, decadal y secular de la variabilidad atmosférica y el rápido crecimiento económico y urbano (Casanova, 2014). Si ya es complejo estudiar el cambio climático debido a la pobre resolución espacial de los estudios globales, el caso de Chile es aún más difícil debido a que las distancias de un par de cientos de kilómetros, equivalentes al tamaño de celda en los estudios antes mencionados, cambian las características climáticas drásticamente (Abdón & Meza, 2008).

Debido a la carga social, política y económica que representa el cambio climático, en 2006, la extinta Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), encargó al Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile el “Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI”, con la finalidad de estimar escenarios climáticos para diferentes regiones de Chile durante el siglo XXI, concretamente

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

en el periodo 2071-2100, asociados a un cambio climático global resultante de un incremento sostenido de los gases de efecto invernadero. Dichos escenarios fueron realizados mediante simulaciones regionales de HadCM3, que es un modelo acoplado de atmósfera y océano y cuyas salidas fueron tratadas con el modelo regional PRECIS.

De acuerdo a la figura N°8, domina un cambio positivo en la temperatura, en todas las regiones, siendo más acentuado en el escenario A2, existiendo una variación entre 2° y 4°C según la temperatura actual, acrecentado en las regiones andinas y la ladera oriental de la cordillera de los Andes con gradiente norte-sur (CONAMA, 2006). Bajo el escenario B2 y únicamente en la zona austral hay áreas pequeñas con incremento menor a 1°C, mientras que estacionalmente las mayores diferencias se observan en verano, superando los 5°C en algunos sectores de la cordillera de los Andes (*ibid*). En síntesis, las mayores diferencias entre lo actual y lo proyectado ocurren en la cordillera de la zona norte, y las menores en la zona austral durante invierno (Pliscoff, 2014a).

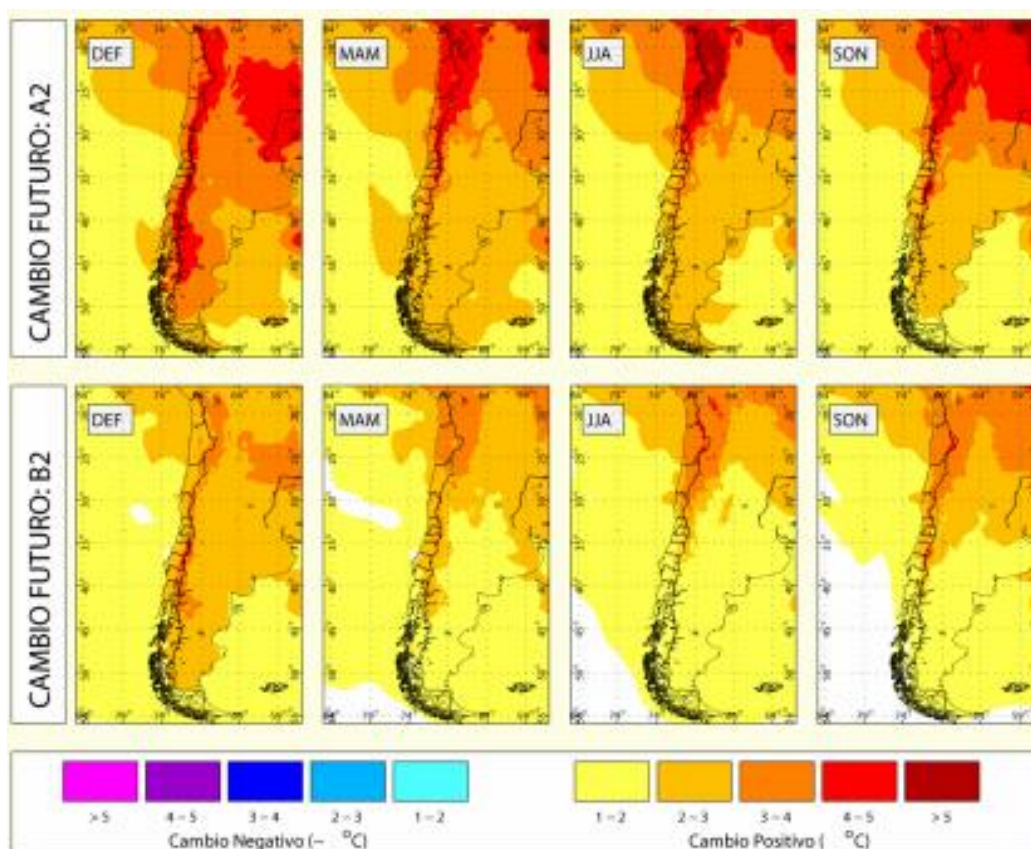


Figura N°8: Variación de temperatura media en distintos escenarios futuros para diferentes estaciones del año. **Fuente:** CONAMA, 2006.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

Por otro lado, y de acuerdo a la figura N°9, la cordillera de los Andes presenta una marcada diferencia entre laderas, con un aumento de precipitaciones en el oriente (Argentina) en contraste con una tendencia a la disminución por el occidente (Chile), sobre todo en latitudes medias durante verano y otoño (CONAMA, 2006). Tal como se menciona en el estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI del 2006, a nivel regional:

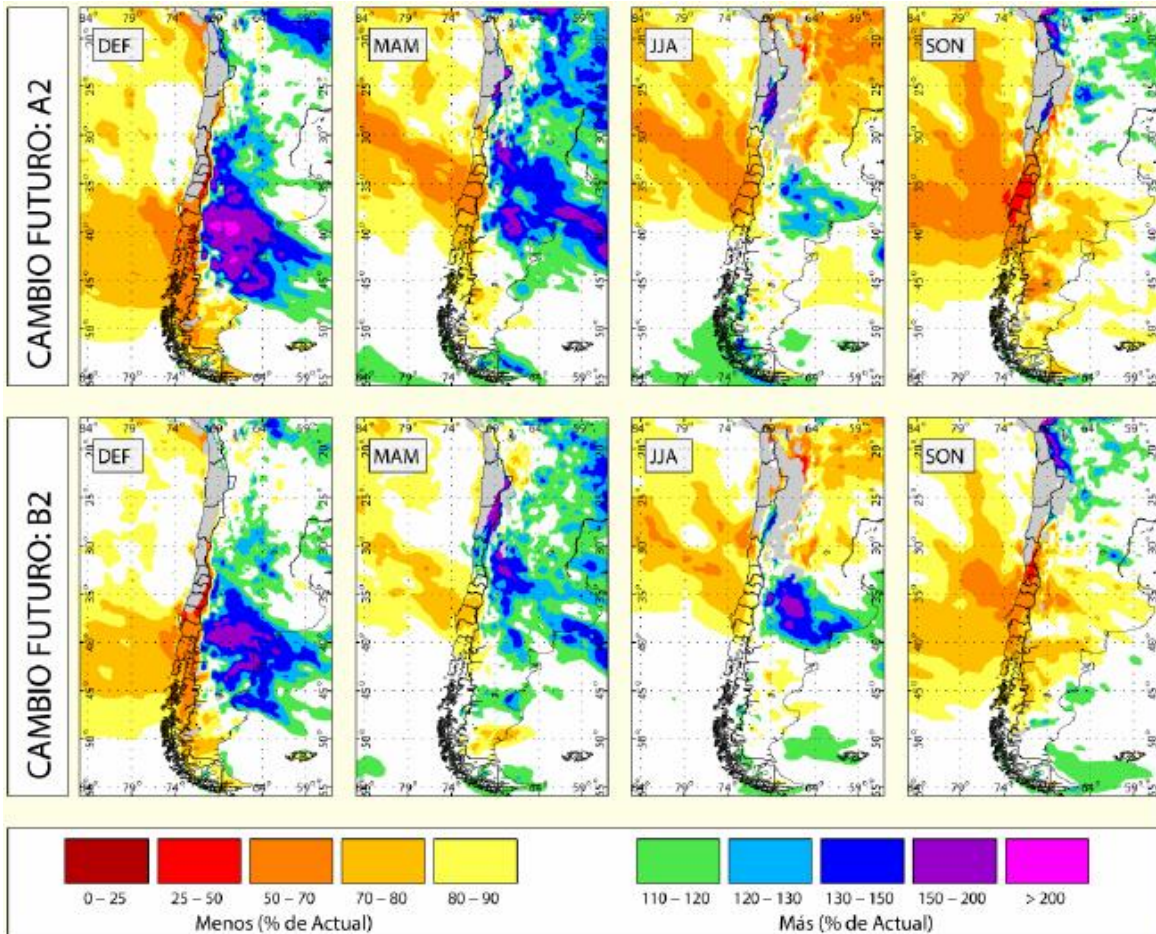


Figura N°9: Variación de la precipitación estacional en distintos escenarios futuros para distintas estaciones del año. **Fuente:** CONAMA, 2006.

- Sobre el sector altiplánico chileno aparece un aumento de precipitaciones en primavera y verano, siendo más significativo el de primavera en el sector de la región de Tarapacá bajo el escenario A2 y más extendido hacia la región de Antofagasta bajo el escenario B2.
- En el Norte Chico, el incremento de las precipitaciones extiende su dominio bajo el escenario B2 abarcando toda la faja del territorio chileno entre los 20 y 33°S en otoño, pero, en invierno, afecta solo a la región andina con mayor incremento en la mitad norte.

- En la región de Chile central hay una pérdida generalizada de precipitación bajo el escenario A2, condición que se mantiene en el escenario B2 con la excepción de la estación de otoño para latitudes inferiores a 33°S. La pérdida es del orden del 40% en las tierras bajas ganando en magnitud hacia la ladera andina durante el verano, pero reduciéndose durante el otoño y el invierno bajo el escenario B2.
- La región sur exhibe una transición hacia los montos del clima actual durante otoño e invierno, la cual es más rápida en el caso B2. Durante el verano las pérdidas de pluviosidad son del orden de 40% reduciéndose en primavera a un 25%.
- La región austral presenta pérdidas estivales de un 25%, pero se normaliza hacia el invierno, y existe un leve aumento en el extremo sur que prevalece todo el año.

(CONAMA, 2006:45)

II.3 Tendencias y variabilidad climática

El clima de una determinada área está directamente relacionado con la interacción de una serie de elementos los que son resultado, a su vez, de fenómenos físicos que ocurren en las capas inferiores de la atmósfera y que son modificados por patrones geográficos. Dichas modificaciones pueden ser conocidas y estudiadas mediante el análisis de la temperatura y la precipitación, variables que son, quizás, las más fáciles de trabajar y abundantes en registros históricos (Oñate-Valdivieso & Bosque, 2011). Al analizar dichos registros, mejor conocidos como series temporales de datos, es posible identificar patrones climáticos. Dichos patrones o tendencias pueden identificarse mediante múltiples métodos, los que a su vez definen la existencia o no de un cambio climático (*ibid*). Un concepto asociado a tendencia climática es el de variabilidad, que responde a las fluctuaciones del clima en periodos relativamente cortos (Montealegre & Pabón, 2000). Como el clima es extremadamente sensible a cambios espaciales y temporales, la variabilidad define diferentes escalas (figura N°10).

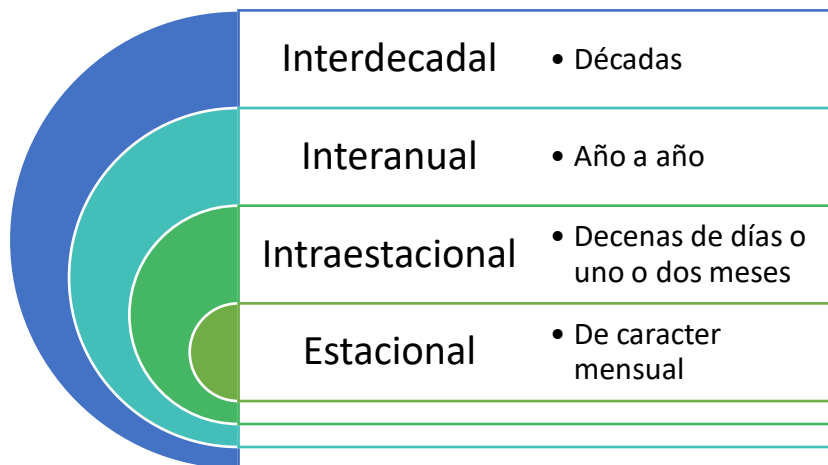


Figura N°10: Escalas de variabilidad climática.

Fuente: Montealegre & Pabón, 2000.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, en su cuarto informe de evaluación (2007), acuña el término:

El concepto de variabilidad climática hace referencia a las variaciones del estado medio y a otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo antropógeno o natural (variabilidad externa) (Palutikof, *et al.*, 2007:180-181).

Chile se encuentra en un punto de transición entre condiciones oceanográficas frías y condiciones continentales más cálidas y húmedas (Garreaud, 2011). Según CONAMA (2006), entre los 30°S y 39°S se aprecia una tendencia negativa de precipitaciones hasta 1970, la que fue contrarrestada por un aumento de la frecuencia de inviernos relativamente lluviosos en las décadas posteriores la que alcanzó su mayor intensidad entre 1955-1985. Se observó una marcada diferencia entre lo que ocurre en la región centro-sur austral y la subtropical, donde la primera experimentó una significativa tendencia positiva hasta mediados de la década de los 70 para dar pasos a décadas posteriores con tendencia decreciente hasta la actualidad.

Por otro lado, la temperatura media superficial a lo largo de la costa extratropical de Sudamérica se caracterizó por un régimen térmico relativamente estacionario con excepción de la zona centro-sur, entre la década del 1940 y 1950, donde se observó un marcado descenso de la temperatura media. Sin embargo, también ocurrió un aumento abrupto a mediados de la década de los '70. Analizando las temperaturas diarias a partir de 1960 sugieren que el régimen térmico superficial se ha mantenido relativamente estacionario durante las décadas más recientes, con excepción de la región comprendida entre Santiago y Concepción, donde se aprecian aumentos de +0,05°C/década y de +0,18°C/década en los promedios anuales de temperatura máxima y mínima, respectivamente (CONAMA, 2006:2-3).

II.4. Teleconexiones

Barry & Chorley (1985) definen las teleconexiones como vínculos existentes entre variables atmosféricas y oceánicas a grandes distancias. Estas grandes distancias en el espacio y las diferencias de tiempo entre estos eventos anómalos dificultan la creencia que uno podría, posiblemente, influenciar al otro, pero tales conexiones sí existen (SINPAD, 2002).

Martín-Vide (2003) habla de patrones de variabilidad de baja frecuencia en la búsqueda de conexiones en el subsistema atmosférico en diferentes regiones distantes. De esta manera es posible descubrir comportamientos sincrónicos entre los grandes centros de acción,

anticiclones y depresiones, en escalas temporales que van desde meses a décadas. Un patrón de variabilidad de baja frecuencia está conformado por un dipolo constituido a su vez por un anticiclón y un ciclón localizados en áreas determinadas, separados por miles de kilómetros. El primero suele presentar una fase positiva o modo normal en donde se muestra potente, al tiempo que la baja es profunda en sus respectivas localizaciones (*ibid*).

II.4.a. El Niño, Oscilación del Sur (ENSO)

Uno de los mejores ejemplos de la íntima relación entre los componentes del sistema climático y la conexión a distancia, o teleconexión, de mayor afectación planetaria es el fenómeno ENSO (Martín-Vide, 2003:106; Méndez, *et al.*, 2010). Este es un evento climático natural que se desarrolla en el océano Pacífico ecuatorial central que presenta alternancias de fase cálida (El Niño) y fría (La Niña) (Maturana, *et al.*, 2004). Ambos son representados por el índice de la Oscilación del Sur (SOI), que describe la diferencia normalizada entre la presión a nivel del mar entre Tahití y Darwin, en Australia (Díaz & Markgraf, 2000). En los últimos 14 años, ha habido más episodios de La Niña (2005-2006, 2007-2008, 2010-2011) en contraste con El Niño (2002, 2009-2010, 2016). Mientras que durante el último siglo se han identificado fases positivas y negativas del SOI en los años especificados en el figura N°11.

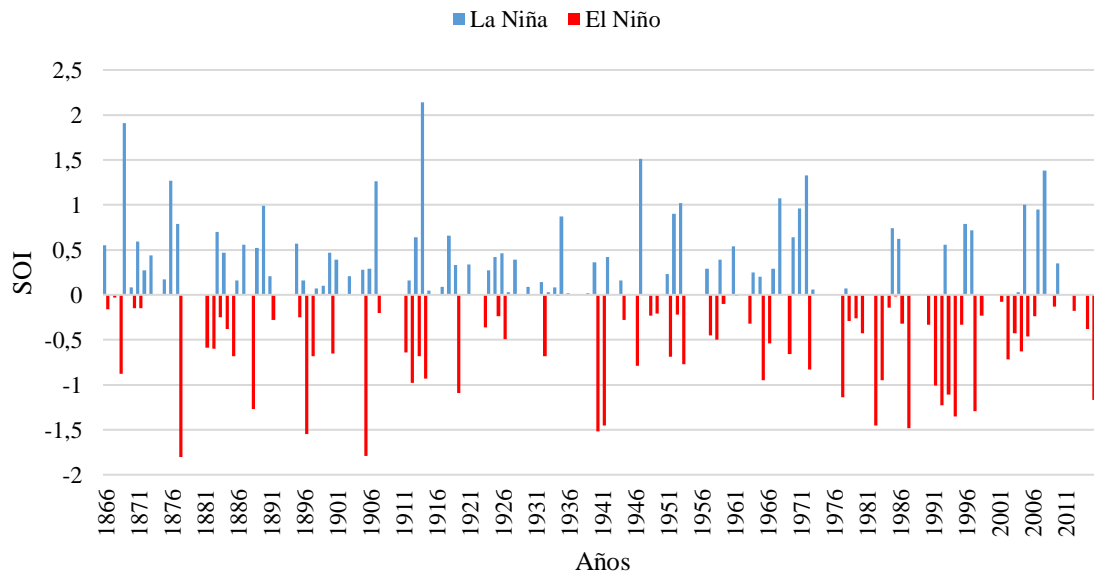


Figura N°11: Índice de Oscilación del Sur anual entre los años 1866-2016. **Fuente:** Elaboración propia según datos de University of East Anglia, 2017.

Las fases cálidas y frías del ENSO se manifiestan principalmente mediante un calentamiento y enfriamiento anormal de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el océano Pacífico ecuatorial central y oriental (Maturana, *et al.*, 2004). Estas variaciones traen consigo alteraciones significativas en los patrones climáticos incluso en regiones muy apartadas de la zona en la que se desarrolla. No es conocido la causa que gatilla el inicio de un ciclo ENSO, sin embargo, es sabido que estos poseen una componente oceánica y atmosférica: fuertes anomalías positivas (El Niño: hundimiento de la termoclina y reducción de surgencia costera) o negativas (La Niña: elevación de la termoclina y fortalecimiento de la surgencia) de la TSM en regiones específicas de la cuenca del Pacífico tropical y la costa Sudamericana, las que se prolongan por varios meses (*ibid*).

La fase cálida del ENSO se caracteriza por un debilitamiento de los vientos alisios y un calentamiento anormal de la superficie del mar en el océano Pacífico ecuatorial del este y central, con presiones atmosféricas a nivel del mar mucho más altas que lo normal en el lado oeste del Pacífico tropical y en algunas regiones del océano Índico, y, por el contrario, presiones atmosféricas a nivel del mar inusualmente bajas hacia el sureste del Pacífico tropical (Maturana, *et al.*, 2004). Los alisios cambian su intensidad y muchas veces su dirección bajo una condición cálida (El Niño), se relajan o debilitan en el oeste y centro del océano Pacífico o invierten completamente su dirección, soplando al oeste (figura N°12).

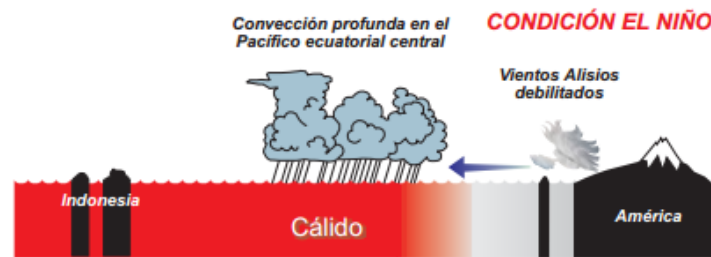


Figura N°12: Condición de los vientos alisios durante fase cálida del ENSO. **Fuente:** Maturana, *et al.*, 2004.

Por el contrario, durante la fase fría del ciclo ENSO (La Niña), estos vientos se refuerzan (figura N°13).

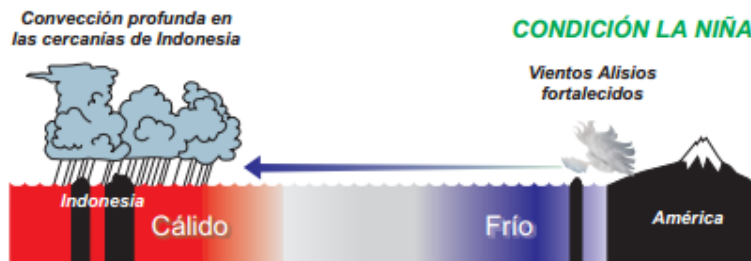


Figura N°13: Condición de los vientos alisios durante fase fría del ENSO. **Fuente:** Maturana, *et al.*, 2004.

Con respecto a la presión atmosférica, esta manifiesta un cambio significativo a nivel del mar expresado en la denominada Oscilación del Sur (SO) y su índice (SOI). Este índice suele utilizar las series de presión atmosférica en superficie de Tahiti que representa el área dominada por el anticiclón del Pacífico sur, y Darwin, en el norte de Australia, afectado por bajas presiones (Martín-Vide, 2003). Los valores bajos de índice suponen el fenómeno de El Niño, lo que sugiere que las aguas de la costa pacífica de Sudamérica son más cálidas de lo habitual y el anticiclón del Pacífico sur se encuentra debilitado. Por el contrario, los altos niveles en el índice sugieren que ocurre el fenómeno de La Niña, que da lugar a una estabilidad atmosférica absoluta en el ámbito regional (*ibid*).

Con respecto a las precipitaciones, la situación normal apunta que en el lado oeste del Pacífico tropical el agua del mar posee una temperatura cercana a los 30°C, lo que normalmente se conoce como “poza cálida” (Maturana, *et al.*, 2004). El flujo aéreo superficial entre el anticiclón y áreas de bajas presiones son los alisios del Pacífico austral, en donde la convergencia y el ascenso del aire hacia el centro de las bajas presiones se continuaría en altura con un retorno del mismo hacia Sudamérica para alimentar el movimiento descendente en el seno del anticiclón dibujando una célula conocida como “célula de Walker” (Martín-Vide, 2003). Durante la fase cálida del ENSO, cuando se debilitan o cambian su dirección los vientos alisios, es posible que esta poza cálida se traslade hacia el centro y este del Pacífico causando que la circulación normal de Walker se modifique (figura N°14).

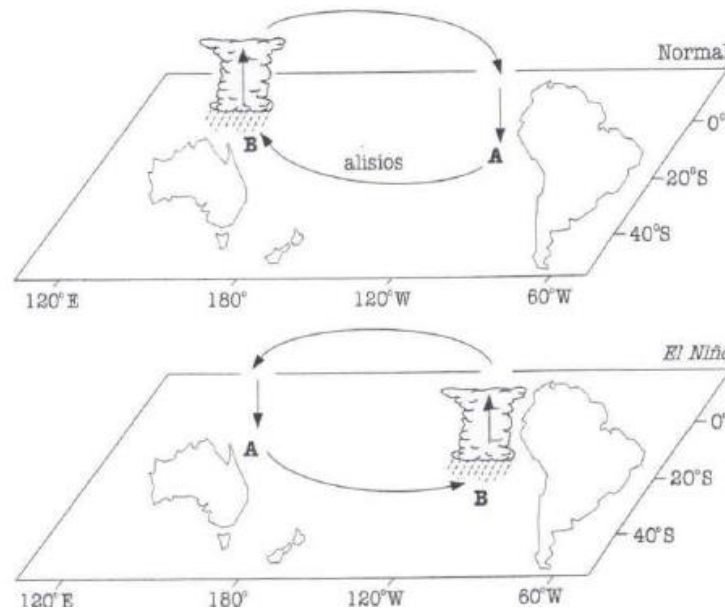


Figura N°14: Circulación normal de la célula de Walker y su alteración durante El Niño. **Fuente:** Martín-Vide, 2003.

De esta forma, la costa de Ecuador, Perú y el norte de Chile, de condiciones áridas y escasas precipitaciones, pueden recibir lluvias incluso de forma torrencial, rompiendo así largos periodos casi totalmente secos (Martín-Vide, 2003).

En Chile, el aumento de temperatura del aire en 1-2°C sobre lo normal, como consecuencia de las condiciones cálidas del mar, son sensible en la costa norte de Chile, a diferencia de las áreas central, sur y austral del país que no experimentan variaciones térmicas importantes, siendo el elemento climático más afectado la precipitación, las que experimentan un aumento en los totales y su intensidad entre la región de Atacama y el Maule (DMC, s.f.). En ocasiones, como las ocurridas durante el 2016 se generan situaciones catastróficas en la infraestructura vial, residencial, y sectores económicos como el agrícola, ganadero y minero. Esto se produce debido a que el aumento de la temperatura del mar aumenta la temperatura del aire próximo, generando mayor nubosidad e intensificando la frecuencia de bandas nubosas frontales, de allí que se produzcan la mayor cantidad de precipitaciones donde usualmente no existen. Además, el anticiclón subtropical del Pacífico se desplaza hacia el oeste facilitando la creación de capas atmosféricas cercanas a la superficie, las que también se asocian a precipitaciones. Por otro lado, La Niña provoca todo lo contrario: desde Los Ángeles al norte, específicamente la zona central del país, aparece un déficit de lluvias que predomina gran parte del año causando, igualmente, problemas en sectores socioeconómicos como el secano costero (agrícola), ganadero, disminución de recurso hidroeléctrico y sector minero (*ibid*).

II.4.b. Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)

Se trata de un patrón de temperatura en el océano Pacífico, en fase negativa y positiva (que generan climas similares a los de El Niño/La Niña respectivamente) alternadamente, entre 20 a 30 años. Es un fenómeno que actúa fundamentalmente en el Pacífico norte y suroeste de Norteamérica, a diferencia del ENSO que actúa en el Pacífico tropical, cuya fase fría está asociada a La Niña, es decir, temperaturas anormalmente frías del agua y viento alisios fortalecidos, mientras que la fase cálida va asociada a El Niño (aguas más cálidas y alisios débiles) (Skeptical science, 2010; Figueroa, 2014; Méndez, *et al.*, 2010).

Méndez, *et al.*, (2010) mencionan que la PDO se manifiesta durante el periodo invernal principalmente, y que existe una correspondencia entre eventos ENSO y respuestas climáticas “tipo-ENSO” de la PDO, siendo el ejemplo más claro El Niño del ‘98, donde cambios en la circulación atmosférica modificaron las anomalías de temperatura superficial de océano Pacífico. Citando a Trenberth (1990), Miller et al. (1994), Hare y Mantua (2000), D’Arrigo et al. (2001), Biondi et al. (2001) y MacDonald & Case (2005), Méndez, *et al.*, (2010) mencionan que por más de 25 años, el clima del Pacífico norte mantuvo un estado “normal” aún con la ausencia de eventos Niño en el Pacífico tropical, pero que ocurrió un

cambio de régimen originado por anomalías invernales en 1976-1977, las que fueron notadas por los autores antes mencionados, los que destacaron la fase negativa de la PDO entre 993 a.C. y 1300 d.C. mediante métodos dendrocronológicos.

Debido a que las anomalías pluviométricas suelen ser más intensas durante El Niño y La Niña cuando ocurre una fase cálida y fría de la PDO, respectivamente, se dice que la PDO actúa como modulador de baja frecuencia de la variabilidad asociada del ENSO (Andreoli & Kayano, 2005).

Por otro lado, el índice de la Oscilación Decadal del Pacífico consiste en la estandarización de los valores derivados de un análisis de componentes principales de las anomalías de la TMS en el Pacífico Norte (20°N hasta el polo) (Ancapichún, 2012). La base de datos de este índice es de autoría del Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (JISAO de la University of Washington). El figura N°15 visualiza las variaciones del índice entre los años 1900-2015 en el que es posible observar un predominio casi absoluto de una base negativa desde mediados de la década de los '40, seguido por un dominio de fase positiva desde principios de los '70.

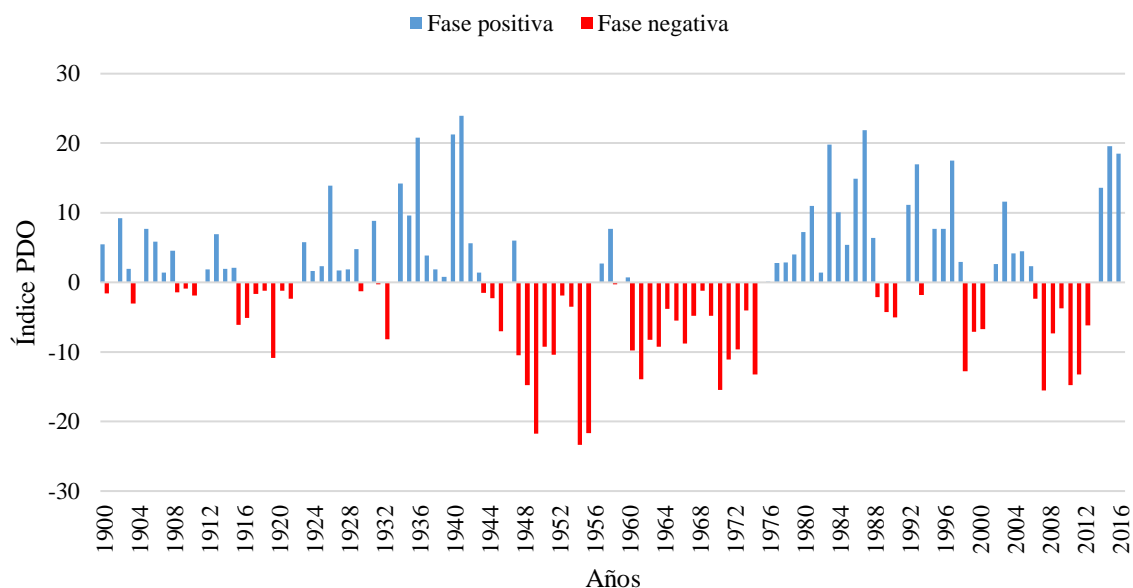


Figura N°15: Variaciones del índice de la Oscilación Decadal del Pacífico entre 1900-2016. **Fuente:** Elaboración propia en base a Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (JISAO), 2017.

II.5.c. Oscilación Antártica (AAO)

La Oscilación Antártica (AAO) es un patrón guiador de la variabilidad en la circulación troposférica al sur de los 20°S, una oscilación que, al igual que las otras dos teleconexiones anteriores, varía entre fases positivas y negativas de presión atmosférica en la Antártica y la banda latitudinal de los 40°-50°S (Kidson, 1988; Figueroa, 2014). Esta oscilación se caracteriza por presentar anomalías de presión de un signo en la Antártica, mientras que las anomalías de signo opuesto aparecen centradas en latitudes medias, por ello también se le denomina Modo Anular Sur (SAM, sus siglas en inglés) (Muñoz, 2009). Se le vincula con la variabilidad de precipitación en Nueva Zelanda, Australia, incluso Sudáfrica en invierno, mientras que su análogo en el hemisferio norte es denominado Oscilación Ártica (AO).

En otras palabras, la AAO se entiende como un intercambio de masas de aire entre latitudes medias y altas, el que puede ser parametrizado de distintas maneras, siendo el índice más utilizado el que emplea la primera componente principal de los campos de anomalías extratropicales de la presión a nivel del mar, altura geopotencial en niveles 850 o 500 hPa (*ibid*).

Cuando en las regiones polares se producen valores más altos que la presión normal y más bajos que lo normal en latitudes medias se habla de una fase negativa de la AAO. Esta produce un aumento de presión y altura geopotencial sobre latitudes medias, debilitando y desplazando hacia el continente los vientos, mientras que la fase positiva se caracteriza por una disminución de la presión superficial y la altura geopotencial sobre la Antártica y un fortalecimiento y desplazamiento hacia los polos de los vientos del oeste (Garreaud, *et al.*, 2007; Figueroa, 2014). Cuando el índice de AAO es alto, se producen importantes anomalías de los vientos zonales (oestes), que aumentan sus velocidades alrededor de los 55°S y se alejan de la Antártica, reduciendo el intercambio de calor con los trópicos y provocando un enfriamiento de este continente y los mares que lo rodean, formando masas de aire responsables de ondas de frío. Además, se generan condiciones anormales secas en el sur de Sudamérica, Australia y Sudáfrica (Romero & Mendonça, 2011).

La figura N°16 muestra las variaciones del índice de la AAO en los últimos 40 años. Si a finales de los '80 se observaba una fase negativa acentuada, actualmente la AAO se encuentra en una fase positiva, una de las 3 más altas en los últimos 40 años

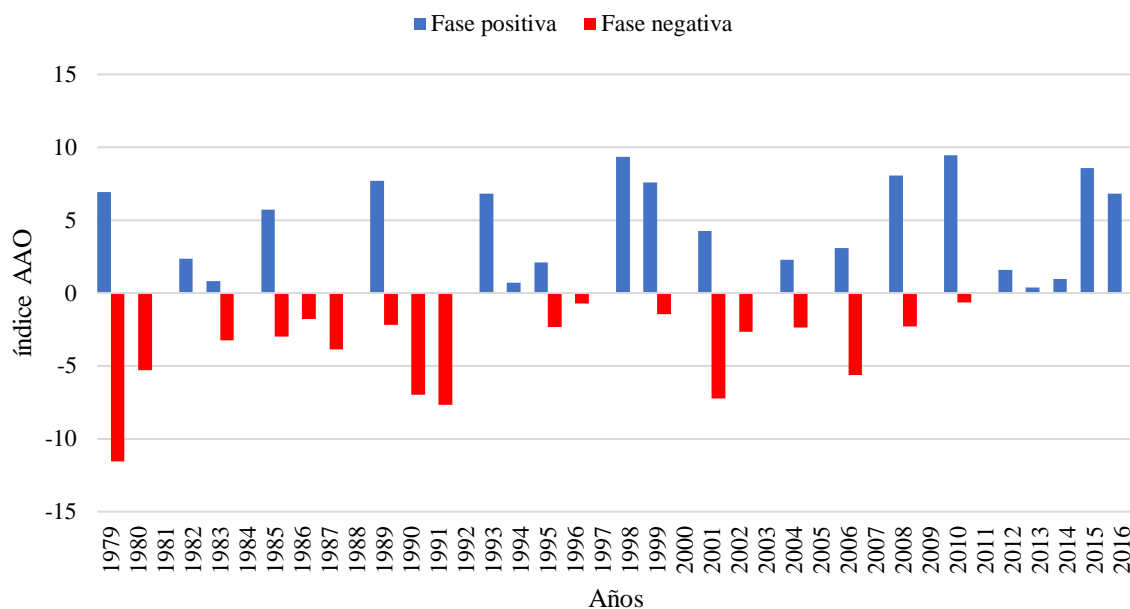


Figura N°16: Variación del índice de Oscilación Antártida entre los años 1979-2015. **Fuente:** Elaboración propia en base a datos de NOAA, 2017.

II.5. Ciclos solares

La interrogante sobre si el sol, sus ciclos y cambios de energía, influyen en los estados del tiempo y en el clima global ha estado presente en la comunidad científica por más de 100 años (Bergman, 2008). La respuesta podría ser esperablemente positiva, si se considera que la energía solar es el principal motor del sistema climático, como fue mencionado con anterioridad, sin embargo, hoy se manifiesta que los ciclos solares no afectan a los estados del tiempo, pero sí al clima global, aunque levemente (*ibid*).

Dos de los ciclos más conocidos del sol son el “día-noche” y el “anual” combinado con la inclinación de 23,5° del eje polar de la tierra respecto a la perpendicular al plano de la órbita y que es responsable de los cambios climáticos estacionales, altamente visibles en Chile (Pedreros, s.f.). Según Bergman (2008) el ciclo solar se define como el aumento y disminución de las manchas solares en la superficie del sol, la que se correlaciona directamente con la actividad solar. A mayor número de manchas solares, mayor actividad de la estrella y por ende mayor irradiación, la que varía en 0,1% sobre un ciclo de manchas solares de 11 años. Esta diferenciación significa un aumento de la temperatura troposférica en 0,5-1°C.

Pedreros (s.f.) define el concepto como un conjunto de fenómenos visibles en la atmósfera solar producidos en ciclos de máxima y mínima ocurrencia, destacando no solo las manchas

solares, sino, además las explosiones solares y las prominencias. Aquellas zonas de la fotosfera más oscuras son las manchas solares, las que tienen su origen, posiblemente, en el afloramiento del campo magnético del sol desde el interior a la superficie causado por la rotación diferencial del sol. Asociado a las manchas están las explosiones, que consisten en la expulsión de grandes cantidades de material fuera de la superficie del sol, los que forman parte de los vientos solares que, al alcanzar la tierra, generan tormentas magnéticas, auroras boreales y australes. El mismo autor señala que, si bien la evidencia de la modificación del clima global producto de la actividad solar todavía no está clara, esta podría alterar, por ejemplo, la cantidad de lluvia caída en la tierra, así como el aumento de la temperatura superficial promedio. En 2014, Vilatte, *et al.*, (2014) encontraron una relación entre los máximos de la actividad solar y las lluvias caídas en la localidad de Azul, provincia de Buenos Aires. Mediante el análisis de regresión y correlación de las variables de precipitaciones de los últimos 100 años y el número de manchas solares, mostraron que los últimos cuatro máximos de actividad solar coinciden con los años de mayores precipitaciones (figura N°17). Otras evidencias asocian la parte más fría de la pequeña edad de hielo, donde el mar Báltico se congeló en invierno de 1422-23, con la inexistencia de manchas solares durante los dos periodos conocidos como mínimos de Sporer (1400-1510) y de Maunder (1645-1715) (figura N°18), o la asombrosa correlación existente entre la temperatura superficial de la tierra y la actividad magnética del sol desde 1860 (figura N°19).

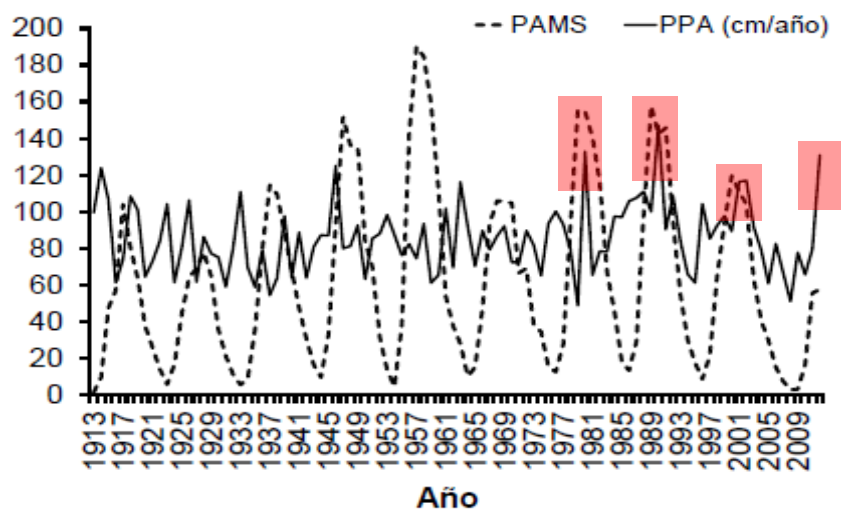


Figura N°17: Promedio anual de manchas solares (PAMS) y precipitación anual para Azul (PBA) en los últimos 100 años (1913-2012). **Fuente:** Vilatte, *et al.*, 2014. **Comentario:** en rojo los años de máxima actividad solar y precipitaciones anuales de la provincia de Azul (1980, 1990, 2001 y 2012).

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

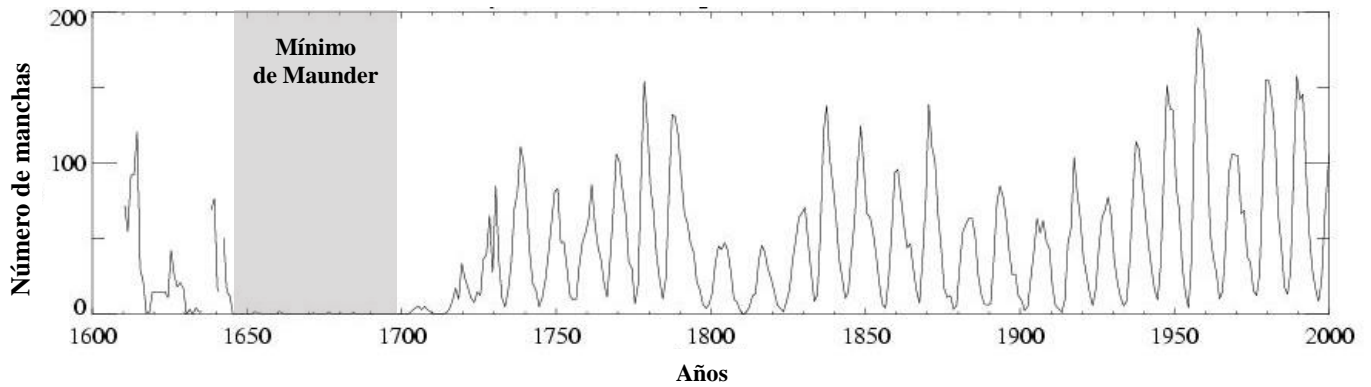


Figura N°18: Número de manchas solares entre los años 1600-2000. Fuente: Pedrero, s.f.

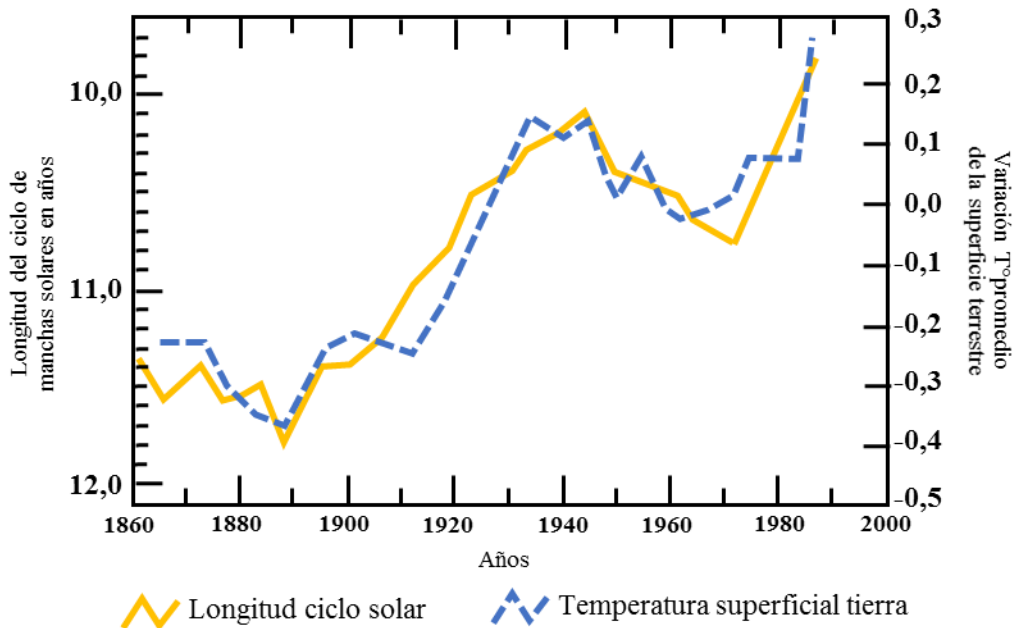


Figura N°19: Longitud del ciclo de manchas solares en años y la variación de la temperatura superficial de la tierra entre los años 1860-2000. Fuente: Pedreros, s.f.

En Chile, Araya (1990 y 1991) evaluó las correlaciones entre los periodos secos y húmedos de Chile central con fenómenos de El Niño y la actividad del sol, mediante los registros pluviométricos de Santiago (Quinta Normal), desde la fundación de la ciudad. En específico, observando las precipitaciones anuales de Santiago, estableció el hecho que uno o dos años antes de producirse las sequías coincidentes con el periodo de máxima actividad solar se registraron años con una gran precipitación, los que luego serían sucedidos por la ocurrencia de fenómeno de El Niño (y el periodo húmedo que este produciría). La razón que esboza el autor se debe a que al acrecentarse la actividad solar se gatillarían fenómenos del tipo El Niño, los que, debido a que generan una transferencia de calor hacia los polos, después serían

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

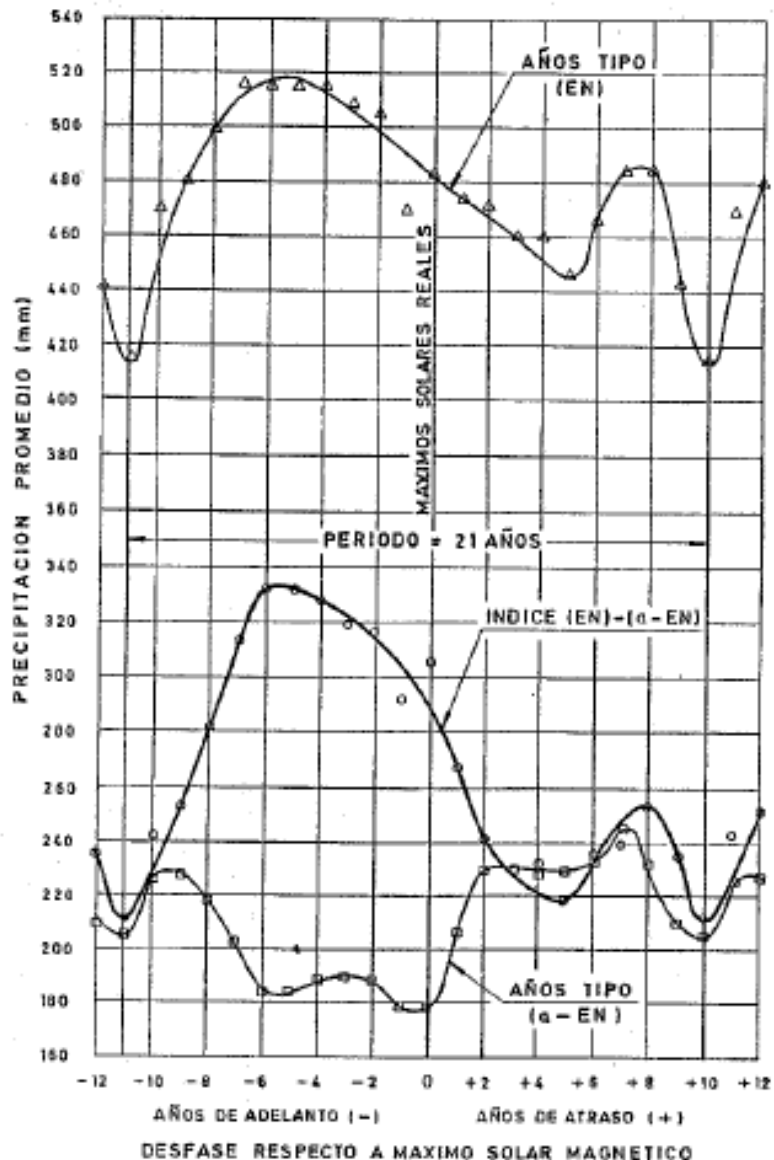
seguidos por uno o más años en que imperaría una situación anti-El Niño (La Niña) (Araya, 1991). La tabla N°1, deja en claro el hecho que se producen ciclos de años lluviosos (El Niño) y de años secos (La Niña) en torno a la fecha coincidente con el máximo solar magnético.

Año máximo actividad solar	Años (s) EN	Precipitación (mm)	Año(s) a-EN	Precipitación (mm)	Año(s) EN	Precipitación (mm)	Período (años)
1549	1547	450	1548/49	200/200	1550	500	3
1571	1570	500	1571	250	1572/73/74	360/360/650	2
1593	1590/91	355/410	1592/93	275/275	1594/95	355/420	4
1612	1610/11	500/250	1612	220	1613/14	320/320	3
1637	1638/36	360/300	1637/38/39/40	120/150/180/250	1641	300	6
1660	1657/58/59	460/370/290	1660	210	1661	300	4
1683	1679/80	350/280	1681/82	250/150	1683	380	4
1705	1703	370	1704/05	200/150	1706	320	3
1727	1723	450	1724/25	160/120	1726	470	3
1750	1746/47/48	590/325/700	1749/50	300/200	1751	420	5
1770	1768	500	1969/70/71	250/155/235	1772	300	4
1788	1788/89/90	300/280/400	1791/92	70/280	1793	500	5
1816	1813	460	1814/15/16	280/200/180	1817	380	4
1837	1837	450	1838/39/40	215/173/211	1841	433	4
1860	1860/61/62	513/365/420	1863	87	1864	550	4
1884	1883/84/85	365/387/398	1886	126	1887/88	564/693	4
1906	1902	506	1903	195	1904/1905	686/616	2
1927	1923	307	1924/25	66/259	1926/27	761/406	3
1948	1944	494	1945/46/47	147/127/253	1948	368	4
1969	1965/66	414/364	1967/68/69	173/69/177	1970	327	5
1989	1987	712	1988/89/90	140/302/206	1991?	?	4?

Tabla N°1: Años El Niño (EN) y La Niña (a-EN) asociados a máximos solares magnéticos. **Fuente:** Araya, 1991.

Comentario: Primera columna: años en que se alcanzó el máximo solar del ciclo magnético de 22 años; Segunda columna: años en que se produjo un fenómeno de tipo El Niño antes o coincidentemente con el máximo de actividad solar; Tercera columna: precipitación de años El Niño; Cuarta columna: años de sequía o de un fenómeno del tipo anti-El Niño que siguieron al fenómeno de El Niño; Quinta columna: precipitación de años anti-El Niño; Sexta columna: los años del tipo El Niño posteriores al periodo de sequía; Séptima columna: la precipitación de esos años de El Niño; Octava columna: periodo de recurrencia del fenómeno.

Por otro lado, para poder establecer que efectivamente los ciclos de años lluvioso y seco suceden sólo durante época de máxima actividad solar, Araya (1991) ideó un índice (EN) – (a-EN), definido por la precipitación promedio de los años lluviosos (EN), menos la precipitación promedio de los años secos (años a-EN) en milímetros. De los resultados que obtuvo concluyó que existe una evidente correlación entre el índice definido y el ciclo solar, debido principalmente a que la precipitación promedio de los años (EN) muestra una buena correlación con el ciclo magnético, mientras que la precipitación promedio de años tipo (a-EN) se mantiene más estable frente a la actividad solar. La figura N°20 muestra una ligera tendencia que en los años más secos se producen conjuntamente con uno de los máximos de actividad solar cada 22 años, la que no se manifiesta totalmente claro debido a que la ocurrencia de máximos solares muchas veces no es distinguible ya que los años vecinos tienen un nivel de actividad similar, no pudiendo asociarse claramente la precipitación de un año en particular con el máximo solar (*ibid.*). Finalmente, Araya, 1991, concluye que no parece existir, en términos globales, alguna relación entre la actividad solar y las precipitaciones de Chile central, pero que sí existe correlación débil entre el ciclo solar y el índice (EN)-(a-EN).



4

Figura N°20: Precipitación promedio de Santiago (1826-1990) en años El Niño-Anti El Niño para desfases del máximo solar. **Fuente:** Araya, 1991.

II.6. Célula de Hadley y su expansión

La circulación general de la atmósfera está influenciada por la inclinación de la tierra en unos $23,5^\circ$, actualmente, que genera una irradiación solar desigual a lo largo de la superficie terrestre. En el Ecuador, donde la irradiación es mayor, la superficie adquiere mayor temperatura, a diferencia de lo que ocurre en los polos. El aire próximo a esta superficie adquirirá mayor temperatura en latitudes bajas, y descenderá gradualmente a medida que las latitudes aumenten, de esta forma, el aire tropical será más caliente y menos denso que el aire polar, más frío y más denso. Esta diferenciación genera una circulación teórica en forma de células como resultado de la compensación natural que la atmósfera busca frente al exceso de calor recibido en el Ecuador, trasladándolo hacia los polos (figura N°21). Así, el aire caliente alrededor del Ecuador provocará su menor densidad y por ende su ascenso convectivo, generando una zona de bajas presiones (borrascas), mientras que el aire frío de los polos se verá obligado a descender por su mayor densidad, generando una zona de altas presiones (anticiclón) (Garreaud, 2005; Simarro, 2015).

Este modelo de célula convectiva única por hemisferio corresponde a la circulación teórica de la tierra inmóvil, sin embargo, su rotación genera un efecto de desviación de los vientos que no permite a estas células únicas llegar a completarse desde el Ecuador a los polos (figura N°22) (*ibid*).

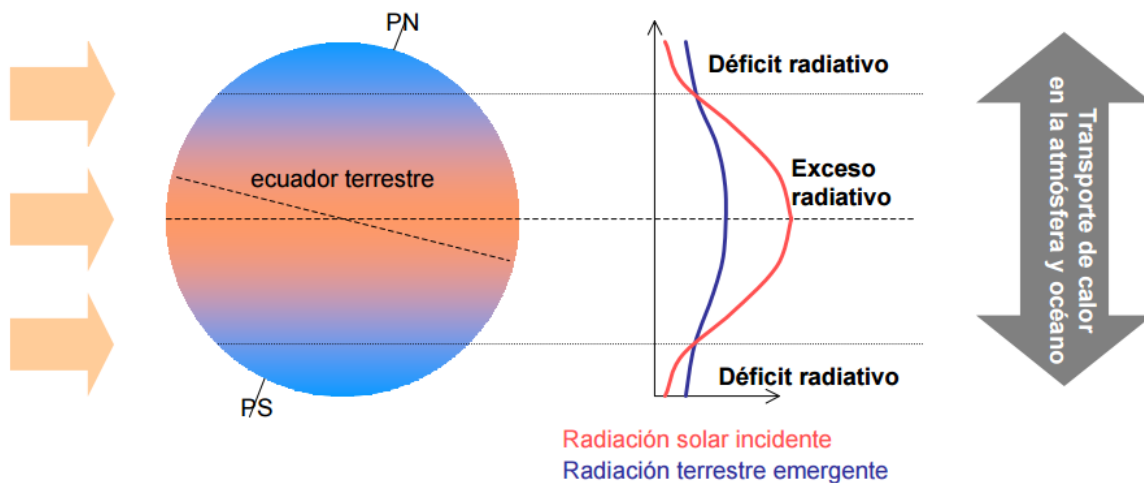


Figura N°21: Diagrama del transporte de calor en la atmósfera y océano. **Fuente:** Garreaud, 2005.
Comentario: la atmósfera y el océano distribuyen el exceso de calor acumulado en las zonas tropicales, redistribuyéndolo hacia los polos, manteniendo así el equilibrio térmico del planeta.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

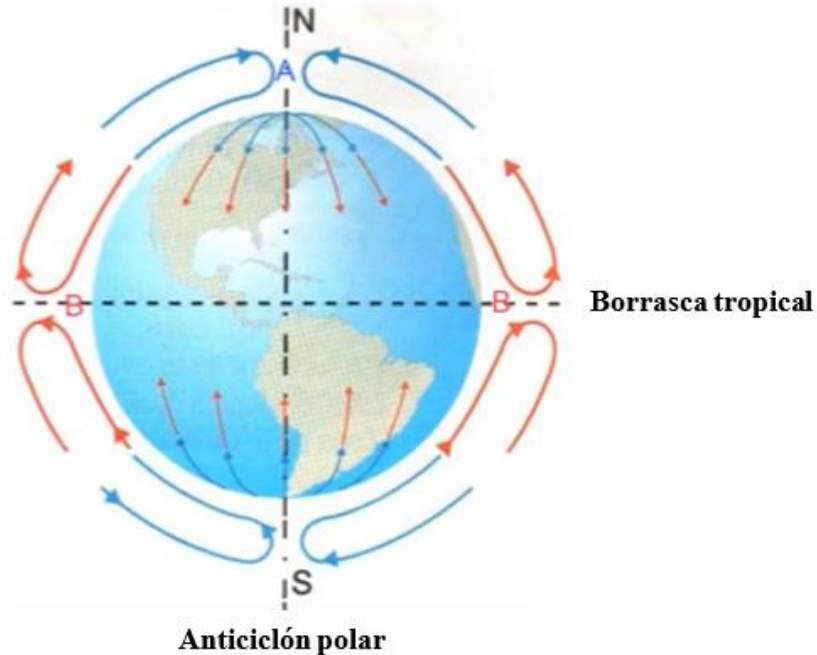


Figura N°22: Circulación teórica de la atmósfera de la tierra inmóvil. **Fuente:** Simarro, 2015, etiquetas de Elaboración propia.

El efecto Coriolis, generado por la rotación de la tierra, influye en los vientos, desviándolos en sentido horario en el hemisferio norte y antihorario en el hemisferio sur: 1) El aire caliente se eleva en el Ecuador hasta la tropopausa y avanza hacia los polos, pero, alrededor de los 30° se desvía lo suficiente hasta quedar paralelo a su dirección de ascenso original. Los vientos descienden, conformando una zona de altas presiones. Luego retornan al Ecuador, una vez alcanzan la superficie; 2) Los vientos que provienen de los polos también se desvían en su camino hacia el Ecuador, quedando paralelos a la dirección original alrededor de los 60° , regresando a los polos cuando son obligados a ascender, generando una zona de bajas presiones; 3) Finalmente, entre el anticiclón de los 30° y la borrasca de los 60° se forma otra célula convectiva (Garreaud, 2005; Simarro, 2015).

De esta forma, el modelo de circulación de vientos queda conformado por tres células convectivas por hemisferio: la célula polar, la de Ferrel y la de Hadley (Figura N°23). En las zonas donde confluyen las células se forman corrientes de chorro, que son vientos en dirección oeste-este. Así, entre la célula polar y la de Ferrel ocurre la corriente de chorro polar (Polar Jet), y entre la de Ferrel y de Hadley, la corriente de chorro subtropical (Subtropical Jet). En la confluencia de las dos células tropicales, la del norte y sur, se genera un viento de dirección opuesta, este-oeste, denominada chorro tropical (Simarro, 2015).

Nuevamente, la rotación de la tierra hace efecto en las células, moviendo las zonas de bajas ya altas presiones unos 23° hacia los polos en verano, y hacia el Ecuador en invierno (*ibid*).

Con respecto a la célula tropical de Hadley, existe evidencia que manifiesta cambios multi-decadales con respecto a la intensidad de la misma (Hu & Fu, 2007). Chen, *et al.*, (2002) y Wielicki, *et al.*, (2002) sugirieron que la circulación de Hadley se intensificó a partir de los '90, mientras que Quan, *et al.*, (2002), Hu, *et al.*, (2005) y Mitas y Clement (2005), citados en Hu & Fu (2007), mencionaron que la actividad de la célula se ha incrementado durante los inviernos de las últimas décadas. Otros trabajos estudian el límite de la Subtropical Jet, por ejemplo, Fu, *et al.*, (2006) mostraron un calentamiento mayor de la troposfera en latitudes medias, lo que sería indicativo de un desplazamiento hacia los polos del máximo del gradiente de temperatura horizontal, mientras que Hudson, *et al.*, (2006), mediante el estudio de las tendencias de ozono en las latitudes medias del hemisferio norte, encontraron que el frente troposférico superior subtropical se desplazó hacia el polo aproximadamente unos 2,75° entre 1979-2003, por lo tanto, un desplazamiento hacia los polos de la Subtropical Jet que marca el borde de la célula de tropical, indicaría la ampliación de la circulación de Hadley.

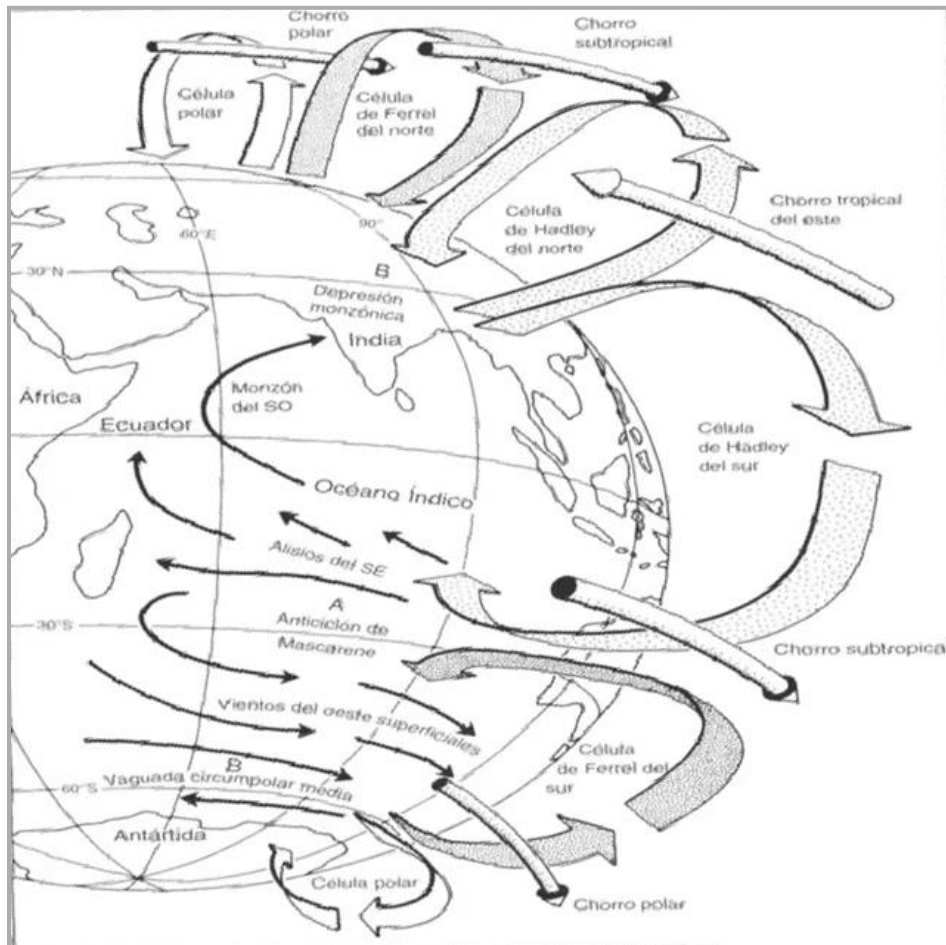


Figura N°23: Esquema de la circulación atmosférica global. **Fuente:** Simarro, 2015.

Hu & Fu, (2007) llegaron a la conclusión, en 2007, que la célula de Hadley se ha estado expandiendo entre 2-4,5° hacia los polos desde 1979. Los mismos autores se preguntan “¿Qué causa la expansión de esta célula?”, señalando que, con el conocimiento actual, no es posible tener claridad de la respuesta, sin embargo, se arriesgan y mencionan que podría deberse a las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero. Lu, *et al.*, (2007) encontraron un robusto ensanchamiento de circulación de Hadley en las simulaciones con escenarios de cambio climático (aumento de gases de efecto invernadero) del cuarto informe de evaluación del IPCC, pero, estas simulaciones resultaron ser menores que las observaciones. Otra causa posible podría deberse al agotamiento de la capa de ozono desde 1979, mencionan Hu & Fu en 2007. No solo eso, la célula de Hadley también se ve alterada por condiciones regionales, como la acumulación de aerosol de carbono negro en los ‘90, en el norte de China, lo que también podría expandir la célula hacia los polos (Menon, *et al.*, 2002 en Hu & Fu, 2007).

Otra interrogante que plantean los autores es “¿Qué consecuencias ocasionaría la expansión de la célula?”, la que tendría relación con:

El cinturón de los movimientos de las subsidencias subtropicales se extiende hacia latitudes más altas a medida que la célula de Hadley se expande hacia el polo, independiente de la causa. Debido a que la subsidencia provoca calentamiento adiabático y suprime la convección, esta extensión hacia el polo conduciría al calentamiento troposférico en latitudes medias, y a una extensión hacia el polo de las zonas secas subtropicales. Esto contribuiría a una mayor frecuencia de sequías en ambos hemisferios (Hoerling *et al.*, 2001, Lau *et al.*, 2005) (Hu & Fu, 2007:9376, traducido al español).

Seidel, *et al.*, (2007) señalan que, durante el siglo XXI, el calentamiento global desplazaría los límites de la circulación Hadley y la zona seca subtropical hacia el polo, disminuyendo la precipitación y la humedad del suelo en los subtrópicos

II.7. Anticiclón del Pacífico (APS)

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS), es un centro de acción cuyo núcleo se ubica frente a las costas del sur de Perú y el norte de Chile (figura N°24). Es un sistema semipermanente de altas presiones que controla la circulación atmosférica y el clima del Pacífico Suroriental, produciendo condiciones muy estables en la tropósfera baja, temperaturas del mar relativamente bajas debido a los procesos de afloramiento, vientos predominantes del sur y una extensa cubierta de estratocúmulos (Saavedra, *et al.*, 2014). Además, es el responsable

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

dominante del sistema de corrientes de la cuenca del Pacífico sur: corriente de Humboldt, de la deriva del oeste, la ecuatorial del sur y la australiana oriental (Ancapichún, 2012).

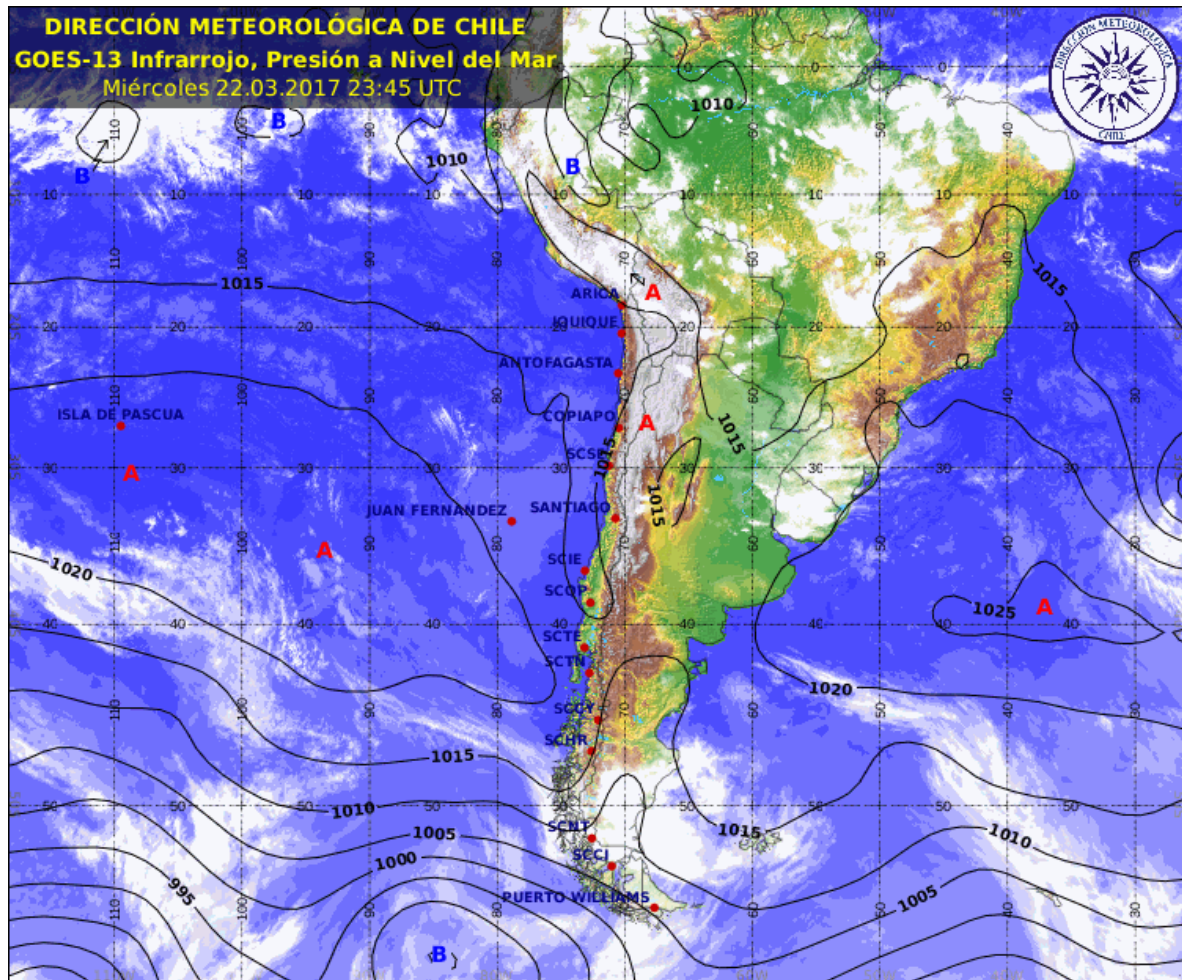


Figura N°24: Presión a nivel del mar de Sudamérica. **Fuente:** Dirección Meteorológica de Chile (DMC), 2016.

Comentario: las mayores isobaras se concentran frente a las costas de Chile y Argentina, en el Pacífico y el Atlántico, conformando los Anticiclones del Pacífico Sur y del Atlántico Sur respectivamente. El primero posee presiones sobre los 1020 milibares en promedio al 22 de marzo del presente año.

El APS posee ciclos estacionales, interanuales e interdecadales. El primero alcanza su posición más cercana al Ecuador (polo) en invierno (verano), ubicándose entre los 25°-36°S aproximadamente. El segundo se asocia a la fuente de variabilidad ENSO y el tercero a la PDO y el modo anular del hemisferio sur (Ancapichún, 2012).

Taljaard (1972) menciona que, a escala estacional, durante el verano, el anticiclón es más intenso aproximadamente en los 35°S, es decir, en las costas centro-sur de Chile, mientras que en invierno su intensidad se traslada en las costas de Perú (figura N°25). La intensificación del APS genera el mismo efecto en las condiciones meteorológicas, pues disminuye las precipitaciones y aumenta la radiación solar en superficie a lo largo de las

costas chilenas (Falvey & Garreaud, 2007). Además, el debilitamiento y fortalecimiento del anticiclón, en verano e invierno para el caso de Chile, respectivamente, genera mayor y menor intensidad de los vientos favorables a la surgencia (provenientes de los polos que viajan hacia el Ecuador), lo que repercute directamente en el afloramiento fitoplanctónico (Ancapichún, 2012).

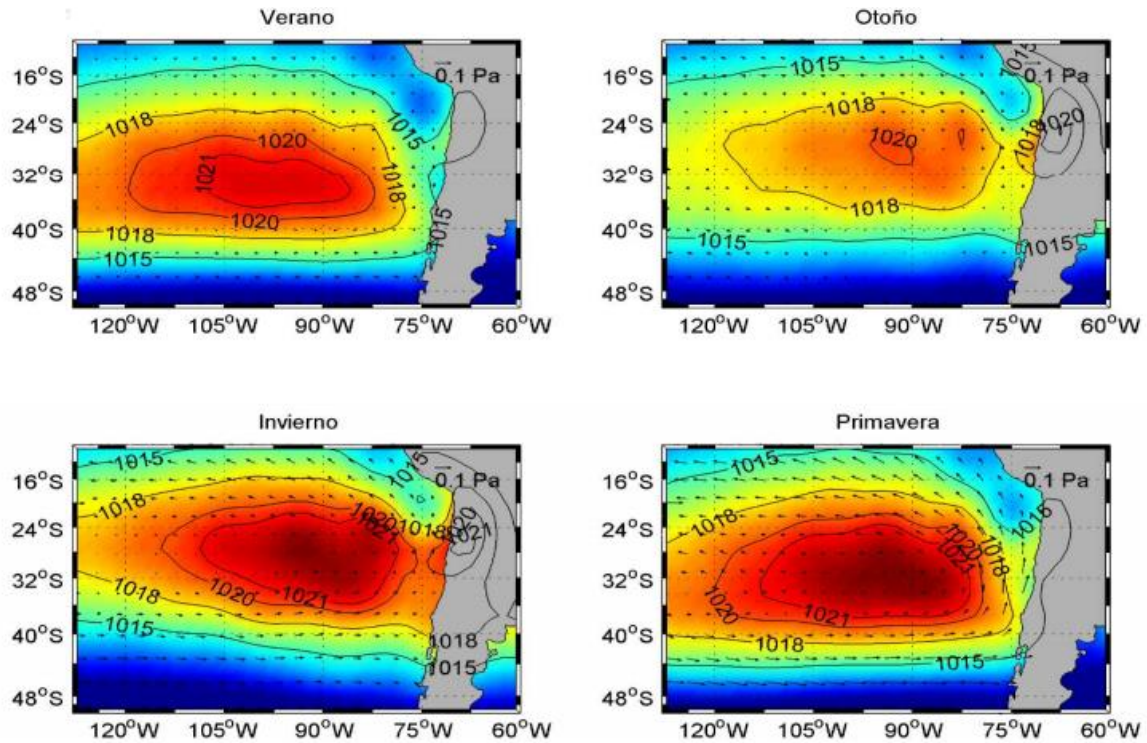


Figura N°25: Ciclo estacional del Anticiclón del Pacífico. **Fuente:** Ancapichún, 2012.

La variabilidad interanual del APS tiene que ver con el ENSO, oscilación del sur, que se presenta cada 3 a 8 años y que debilita su actuar hacia los polos (Thiel, *et al.*, 2007). Durante sus fases cálidas (El Niño) y frías (La Niña), modifica los vientos y las corrientes del Pacífico central y las temperaturas e intensidades de las aguas adyacentes de las costas de América sub-occidental. Durante El Niño, la intensidad del anticiclón disminuye, aumentando la TSM de las aguas costeras, generando mayor nubosidad y precipitaciones en el norte-centro de Chile. La Niña es responsable de la situación contraria, cuando el anticiclón se fortalece, facilitando la advección de las aguas frías de latitudes medias, disminuyendo la TSM, generando menores precipitaciones que los valores normales (*ibid*).

Finalmente, la PDO, posee un periodo entre 20-30 años y afecta a las aguas y vientos del Pacífico norte y sur, incrementando su acción hacia zonas subtropicales y latitudes medias (Ancapichún, 2012). También posee una fase fría y otra cálida: en la primera ocurre un aumento de la termoclina en el Pacífico oriental, el anticiclón del hemisferio norte intensifica sus vientos generando una advección de aguas frías originarias desde el polo hacia latitudes

medias, en el este del Pacífico norte, mientras que en el oeste ocurre una advección de aguas calientes provenientes del Ecuador hacia latitudes medias; La fase cálida, en tanto, debilita los vientos anticiclónicos ocasionando un descenso de la termoclina (*ibid*).

II.8. Megasequía y vientos del oeste

En términos generales, la sequía es la ausencia prolongada o insuficiencia acentuada de la precipitación, una insuficiencia que origina escasez de agua para alguna actividad o grupo de personas, o también un período de condiciones meteorológicas anormalmente secas suficientemente prolongado para que la ausencia de precipitación ocasione un serio desequilibrio hidrológico (Heim, 2002; Palutikof, *et al.*, 2007). Las megasequías, en consecuencia, son sequías prolongadas y extensas que duran mucho más de lo normal, generalmente un decenio o más (Palutikof, *et al.*, 2007).

La macropresiones del medio ambiente, a nivel global y nacional, condicionan, en parte, el estado de este último, englobando una serie de modificaciones que se enmarcan en el cambio climático actual del planeta. En Chile, estas presiones se han robustecido cuantitativa y cualitativamente en los últimos años, en comparación con la situación enfrentada en los últimos años de la década de los '90 (Universidad de Chile, Instituto de Asuntos Públicos (INAP); Centro de Análisis de Políticas Públicas (CAPP), 2016). Lo anterior como resultado del crecimiento económico del país y la cada vez mayor dependencia de esta a los recursos naturales, en especial el agua y la energía, además de la generación de residuos, el transporte, etc. (*ibid*).

Los episodios de sequías, en Chile, no son situaciones nuevas. Ya en 1925, 1968 y 1989 el déficit hídrico nacional superó el 50%. Desde el 2010, las regiones comprendidas entre Coquimbo y La Araucanía experimentaron déficit cercano al 30%, situación que se ha visto ininterrumpida hasta la actualidad. En efecto, esta pérdida creciente de lluvias posee una persistencia temporal y espacial tan extraordinaria que no posee registro histórico comparable, ni análogos en el último milenio, ocurriendo en la década más cálida de los últimos 100 años, agravado además por la evaporación de lagos, embalses y cultivos (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2), 2015).

Sin embargo, más al sur la situación parece ser la misma (figura N°26): Alejandro Vergés, director de la ONEMI de la Región de Los Lagos, aclaró el mes de junio del 2016 que la región presentaba un déficit hídrico del 68%, afectando en la disminución de los reservorios de agua y niveles de nieve (en marzo del 2016 se advirtió del derretimiento de hielos milenarios del volcán Osorno, pudiendo observarse una gran mancha café desde la ciudad de Puerto Montt (Galindo, 2016)). De hecho, el lago Llanquihue ha bajado su nivel un metro y medio más de lo normal, nivel más bajo en los últimos 20 años (Cooperativa, 2016).

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

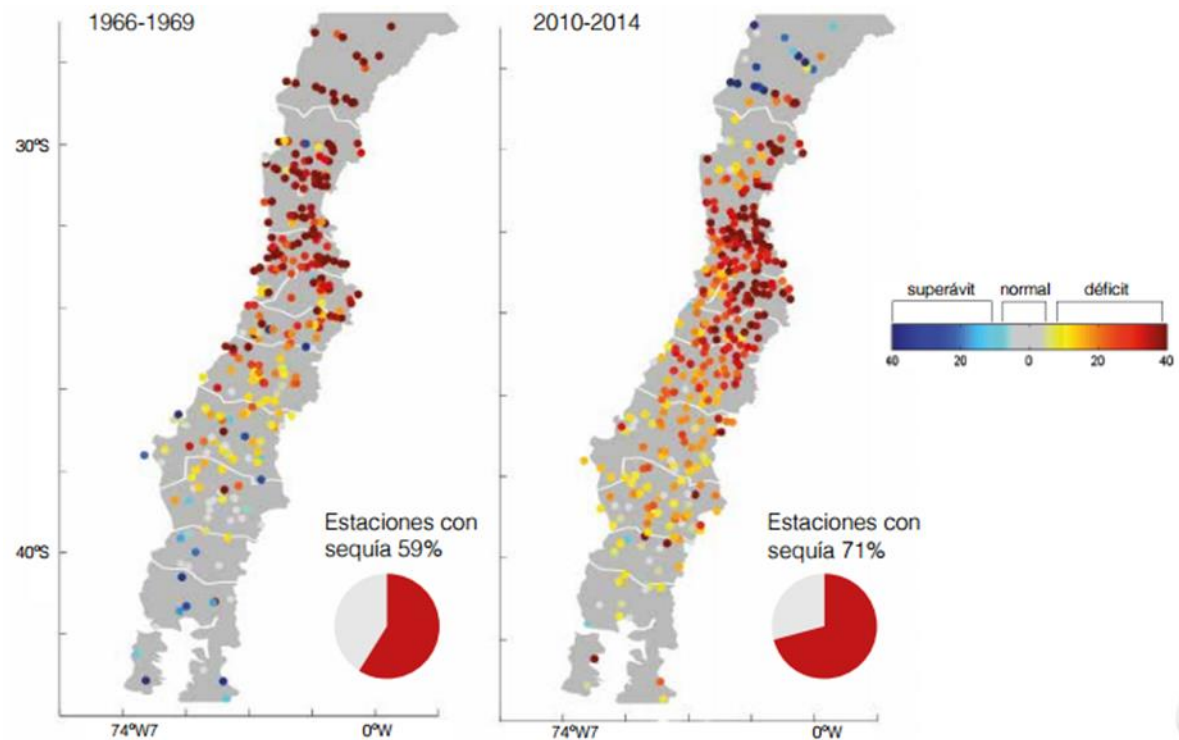


Figura N°26: Déficit o superávit pluviométrico promedio para los períodos 1966-1969 y 2010-2014. Fuente: (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2), 2015).

Por otro lado, aunque La Niña tiende a producir déficit hídrico en Chile central, su contribución al actual evento ha sido menor, e incluso El Niño del 2015 no ha logrado revertir la situación (CR2, 2015). El debilitamiento de los vientos del oeste sobre Sudamérica y la intensificación del APS en años La Niña, son situaciones que tienden a contribuir a un escenario de sequía en Chile central, sin embargo, en los años que conforman la megasequía han ocurrido situaciones neutras en el Pacífico Ecuatorial, sin observaciones de disminución de la TSM, exceptuando el 2010. Aunque el 2015 fue un año de intensas tormentas en el norte de Chile (por efecto de El Niño), el déficit se mantuvo. Otro factor que debilita los vientos del Oeste e intensifica la acción del APS, son las fases frías de la PDO, que también modula la precipitación en Chile central. La situación anterior genera un escenario de sequía, sin embargo, considerando el índice PDO 2007-2014, este arroja un promedio de -0,5, el que, en teoría, debería producir un déficit hídrico cercano al 15% en Chile central, valor que no concuerda con el 30% observado (*ibid*).

Lo anterior genera la necesidad de buscar respuestas a los orígenes de esta megasequía en el sistema antrópico, de hecho, el CR2 afirma que “cerca de un cuarto del déficit de precipitación durante la megasequía es atribuible al cambio climático antrópico” (2015:10). En específico, durante las últimas 4 décadas ha venido ocurriendo un desplazamiento de la corriente de chorro del oeste y del cinturón subtropical de altas presiones, lo que generaría

menos precipitaciones. El aumento de los gases de efecto invernadero (GEI), resultado de la actividad humana, han sido empleados en la fabricación de modelos climáticos que proyectan este desplazamiento continuado del chorro del oeste y el cinturón subtropical durante el siglo XXI. Lo anterior también proyecta, hacia fines del siglo actual, un déficit hídrico de las precipitaciones anuales de Chile central de hasta un 30% respecto al promedio actual (*ibid*).

II.9. Caracterización climática de la región de Los Lagos

La región se ubica entre los 40°14' y 44°04' de latitud Sur y desde los 71°35' de longitud Oeste hasta el Océano Pacífico (INE, 2007).

II.9.a. Principales factores del clima

Desde Chiloé hacia el sur, la distribución de las temperaturas (figura N°27) se modifica considerablemente, no solo a nivel regional, sino además a nivel país. En esta zona, las temperaturas medias experimentan influencias marítimas y de aguas subantárticas, donde las mayores temperaturas corresponden al sector costero (Gispert, 2007). En verano se manifiesta el carácter frío de las áreas litorales y el recalentamiento estacional de las áreas continentales, y durante el invierno, la influencia oceánica se hace notar en la región, aunque en áreas interiores se degrada bastante (*ibid*).

Con respecto a la distribución de las precipitaciones (figura N°27), si en el país es posible distinguir dos grandes áreas separadas aproximadamente por el paralelo 30°, la región experimenta las características pluviométricas contrarias al norte de Chile, es decir, alta humedad y la alternancia de periodos secos con cielos despejados y periodos de lluvia, con nubosidad y mal tiempo (Gispert, 2007). Por supuesto, la región se encuentra sometida a las mismas influencias de los factores climáticos que suceden a nivel nacional: las precipitaciones aumentan gradualmente a mayor latitud y a mayor altitud, acentuándose de oeste a este como consecuencia del relieve. Gispert (2007) identifica tres regímenes pluviométricos para Chile: el de precipitaciones acumuladas en verano, las acumuladas en invierno y las regulares todo el año. La región entraría en el segundo régimen, denominado “Mediterráneo”, desarrollado entre el área comprendida desde donde termina el desierto hasta el Golfo de Penas (27°-48°S). Sin embargo, esta afirmación es altamente cuestionable con lo que ocurre realmente, pues considerando que la principal condicionante para determinar un clima como “Mediterráneo” es presentar al menos dos meses consecutivos sin precipitaciones (Rivas-Martínez, 2008), esto no sucede en esta zona de Chile, donde llueve todos los meses, aunque algo más concentradas en invierno.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

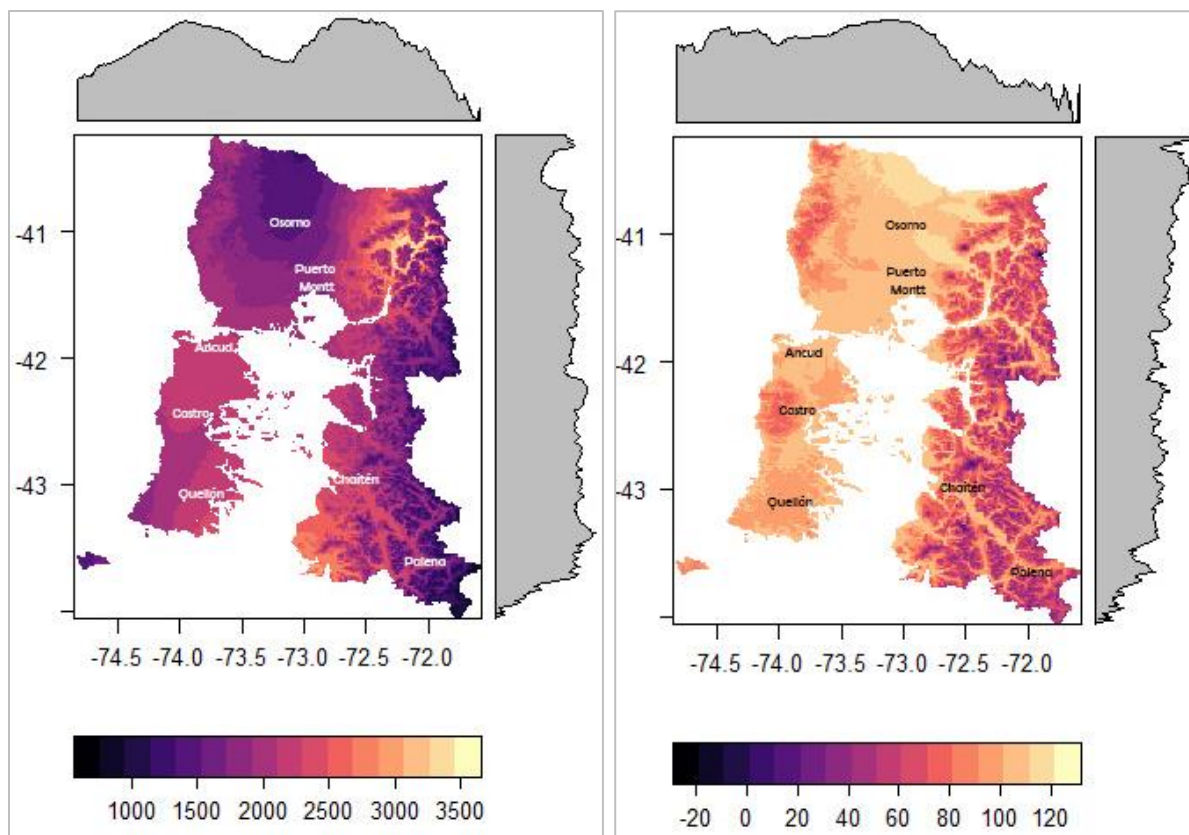


Figura N°27: Distribución de la precipitación promedio anual (izquierda) y la temperatura media anual (derecha). Fuente: Elaboración propia en base a datos de Ecospat - Spacial Ecology Group, s.f. **Comentario:** la temperatura media anual se encuentra multiplicada por 10 para obtener números enteros (VanDerWal, s.f.).

La circulación atmosférica de la región está regida principalmente por el aire Polar Marítimo (Pm o mP en inglés), originado entre la convergencia subtropical y el eje de los hielos (que la mayor parte del año coincide con la costa antártica, es decir, la zona subpolar) (figura N°28). Entre los 42°S y el paso Drake, las masas de aire se mueven preferentemente por la circulación del oeste, llevando las influencias marítimas hacia el interior. La trayectoria del Pm sobre el océano da lugar al aumento de la humedad, por lo que está formado por propiedades cálidas y frías, confiriéndole inestabilidad y propensión a la conformación de perturbaciones atmosféricas (Gispert, 2007). Con respecto a los vientos, y a modo general, la zona está dominada por aquellos procedentes del oeste y noroeste (*ibid*).

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

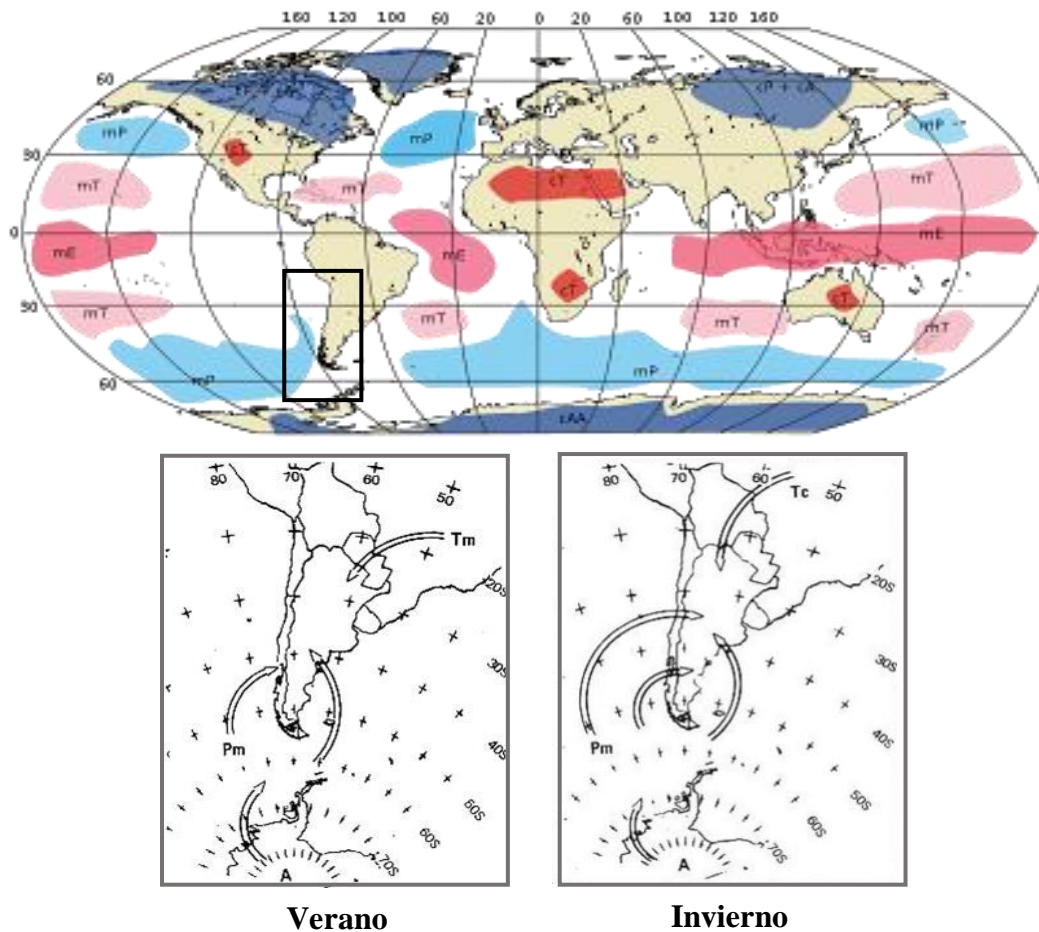


Figura N°28: Regiones fuentes de masas de aire y circulación del aire Polar Marítimo en Sudamérica durante el verano e invierno. **Fuente:** Elaboración propia en base a Insunza, 2006 y Meteorología fácil, 2009. **Comentario:** (Pm/mP: Polar Marítimo; Tm/mT: Tropical marítimo; mE: Ecuatorial Marítima; cA: Ártica Continental; cT: Tropical Continental); cP: Polar.

II.9.c. Clasificación climática según método de Köppen

El clima presenta características homogéneas, aunque experimenta alteraciones debidas a la orografía y la influencia oceánica y lacustre. De acuerdo a la clasificación climática de Wladimir Köppen (1918), la región presenta climas templados húmedos, con lluvias todo el año (Cf) en sus tres diferenciaciones: Templado cálido lluvioso con influencia mediterránea (Cfsb), Templado cálido lluvioso con estación seca (Cfb) y el templado frío lluvioso sin estación seca (Cfc). Además, en la Cordillera de los Andes se presenta el único clima de características polares (E), específicamente el de Tundra por efecto de la altura (ETH). La figura N°29 presenta la distribución de las categorías anteriormente mencionada y la tabla N°2 la descripción de las mismas (Gispert, 2007).

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

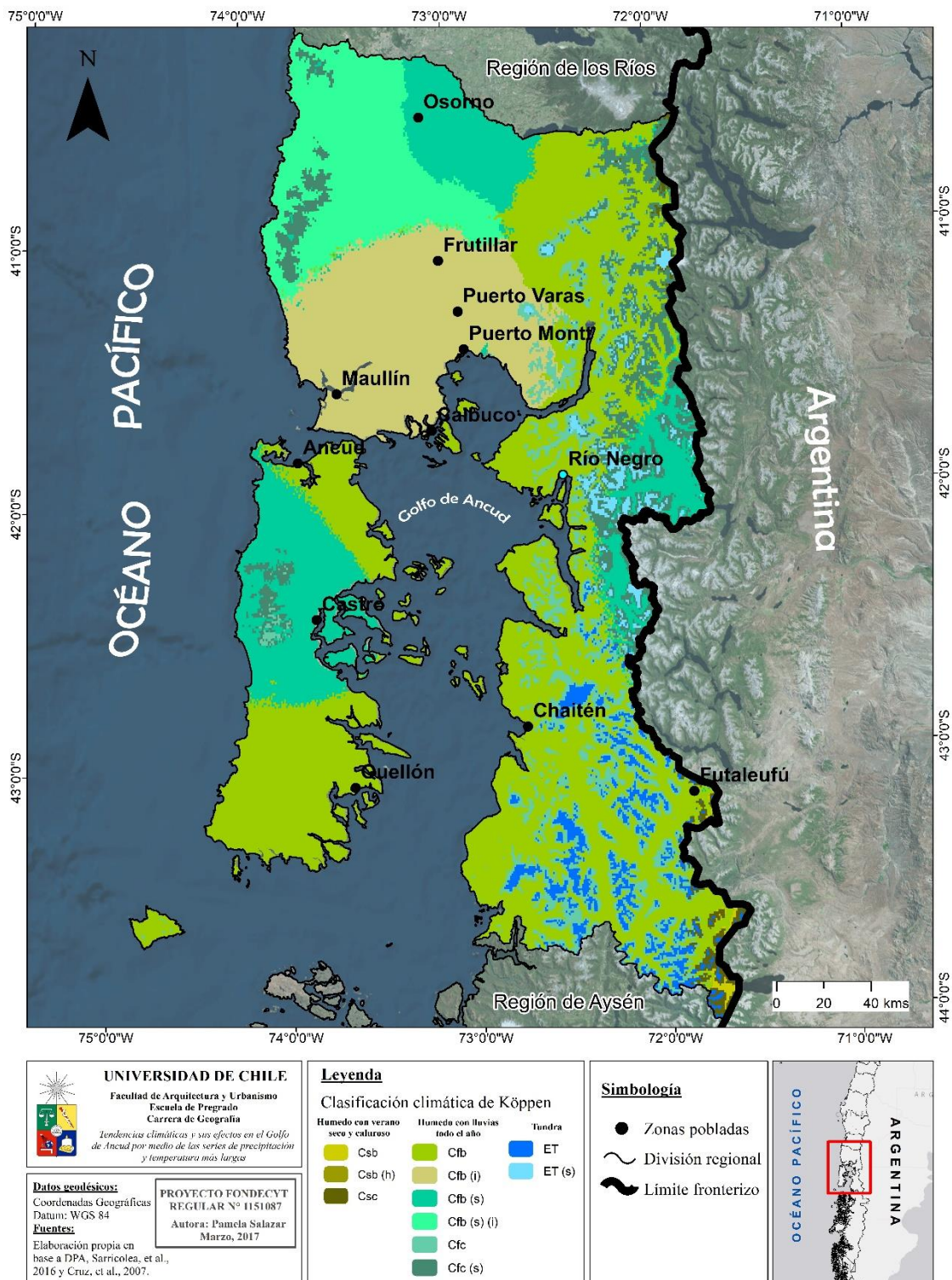


Figura N°29: Clasificación climática de Köppen para la región de Los Lagos. **Fuente:** Elaboración propia en base a Sarricolea, et al., 2017; Cruz, et al., 2007.

Grupo principal	Tipo climático	Tendencias
C. TEMPLADOS	Cs. Húmedo don verano seco y caluroso	<p><i>Csb. Templado cálido con lluvias invernales</i> (en la depresión intermedia). Corresponde al clima templado de tipo mediterráneo, donde las temperaturas disminuyen norte-sur y oeste-este, sometido a los efectos de continentalidad relativa debido a la disminución de la influencia marítima. Las precipitaciones se concentran en invierno, los vientos dominantes provienen del sudoeste con calmas prolongadas en invierno.</p>
		<p><i>Csb (h) Mediterráneo de lluvia invernal de altura</i> (límite fronterizo con Argentina cercano a Futaleufú). Es un clima seco y cálido, con temperatura media anual >18°C.</p>
		<p><i>Csc. Templado frío con lluvias invernales</i> (franja precordillerana). Bajas temperaturas invernales, las que superan los 4°C entre los meses de junio y agosto. El régimen de precipitaciones supera los 1.000 mm anuales, concentrados mayoritariamente en invierno y primavera en menor medida.</p>
	Cf. Húmedo con lluvias todo el año	<p><i>Cfb. Templado cálido lluvioso sin estación seca</i> (en la amplia zona insular entre Puerto Montt hasta los 50°S). La influencia marítima influye mucho en las temperaturas, disminuyendo la oscilación, aunque a medida que se gana latitud, esta desciende gradualmente. Las precipitaciones son abundantes y homogéneas todo el año, disminuyendo ligeramente en primavera.</p>
		<p><i>Cfb (i). Templado lluvioso e influencia costera</i> (comuna de Frutillar, Puerto Varas, Puerto Montt y Puerto Varas). La influencia costera, ya sea del mar o el lago Llanquihue, indica una oscilación de temperatura pequeña a lo largo de todo el año. Las precipitaciones que se hacen mayores a medida que se avanza hacia el sur, pudiendo alcanzar valores absolutos >2.000 mm anuales.</p>
		<p><i>Cfb (s). Templado lluvioso con leve sequedad estival</i> (franja precordillerana desde el límite norte de la región hasta los 43°S aproximadamente, área sureste de la comuna de Osorno, noreste de Puerto Octay, límite norte de Frutillar y entre la zona noroeste de la comuna de Ancud hasta los 43°S aprox.). A pesar de ser templado cálido lluvioso sin estación seca, durante el verano tiende a ser más seco, pero siempre con precipitaciones que superan los 40 mm.</p>

C. TEMPLADOS	Cf. Húmedo con lluvias todo el año	<p><i>Cfb (s) (i). Templado lluvioso con leve sequedad estival e influencia costera</i> (zona noroeste de la región, abarcando comunas de San Juan de la Costa, Río Negro y Purranque). Las condiciones climáticas son una mezcla entre los dos tipos anteriores: la influencia del océano Pacífico en esta área de la región acentúa las temperaturas, presentado oscilación térmica anual baja, mientras que las precipitaciones son constantes durante todo el año (40 mm) aunque disminuyen en verano.</p>
		<p><i>Cfc. Templado lluvioso frío sin estación seca</i> (en la Precordillera a partir de la latitud de la ciudad de Osorno). El régimen térmico está claramente diferenciado entre sectores oeste y este: temperaturas moderadas por el efecto del océano y con mayor oscilación térmica por la continentalidad, respectivamente. Las precipitaciones también experimentan esta diferenciación, pues en territorios marítimos pueden alcanzar los 3.000 mm anuales y en las zonas interiores, disminuyen considerablemente.</p>
		<p><i>Cfc (s) Templado lluvioso frío con leve sequedad estival</i> (zona costera de San Juan de la Costa, Río Bueno, Purranque, Fresia, Dalcahue, Castro, área noroeste de Chonchi, intercambiándose en la precordillera con la clasificación anterior, hasta los 39°S aprox.). Al contrario del anterior, tiende a ver una leve estación seca en verano.</p>
E. POLAR	ET. Tundra	<p><i>ET. Tundra</i> (zona sureste de la región, sobre la cordillera de los Andes). La temperatura media del mes más cálido es mayor a 0°C e inferior a 10°C. Inviernos extremadamente fríos, veranos cortos y frescos, escasas lluvias, aunque nunca nulas.</p>
		<p><i>ET (s) Tundra de lluvia invernal</i> (extremo fronterizo con Argentina, desde el límite norte de la región hasta los 41°C aprox.). Manteniendo las mismas características que la anterior, pero con concentración de precipitaciones en invierno.</p>

Tabla N°2: Clasificación de los climas de la región de Los Lagos, según método de Köppen. **Fuente:** Elaboración propia en base a Sarricolea, et al., 2017; Cruz, et al., 2007.

CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

III.1. Materiales

Para la realización de esta memoria se utilizaron 15 estaciones meteorológicas, seleccionadas a partir de su cercanía al área de estudio y de longitud de serie lo más extensas posibles, de las cuales se obtuvieron datos de precipitación acumulada mensual y temperatura media mensual. Las fuentes principales fueron la DMC (7), DGA (4), INIA (2), CORFO (1) y el centro científico Huinay (1) (tabla N°3).

N°	Estación	Latitud S	Longitud W	Fuente		Elemento	Longitud de serie	
				Precipitación	Temperatura		Precipitación	Temperatura
1	Puerto Montt	-41,43	-73,09	DMC	DMC	T/P	1861-2016	1916-2016
2	Maullín	-41,61	73,53	-	DMC	T	-	1921-1958
3	Punta Corona	-41,78	-33,86	-	DMC	T	-	1916-1970
4	Tres Cruces	-41,83	-73,48	CORFO	-	P	1913-1968	-
5	Ancud	-41,86	-73,81	DMC	-	T/P	1900-2016	1958-1985
6	Hornopirén	-41,93	-72,43	DGA	-	P	1997-2016	-
7	Morro Lobos	-42,06	-73,4	-	DMC	T	-	1916-1926
8	Quemchi	-42,14	-73,47	-	DGA	P	1999-2016	-
9	Butalcura	-42,26	-73,66	INIA	-	P	2009-2016	-
10	San Ignacio de Huinay	-42,37	-72,41	Ctro. Cien. Huinay	Ctro. Cien. Huinay	T/P	2002-2015	2005-2015
11	Huyar Alto	-42,4	-73,56	INIA	-	P	2009-2016	-
12	Castro	-42,45	-73,44	DMC	DMC	T/P	1912-2016	1958-1983
13	Achao	-42,47	-73,49	DMC	-	P	1980-2013	-
14	Chonchi	-42,62	-73,77	DGA	-	P	2010-2016	-
15	Chaitén	-42,93	-72,7	DMC	DMC	T/P	1965-2008	1976-2002

Tabla N°3: Estaciones meteorológicas, su respectiva localización geográfica, fuente. **Fuente:** Elaboración propia.

Las series originales presentaron varios vacíos de datos, siendo la serie más completa, tanto para precipitación como temperatura, Puerto Montt. La figura N°30 presenta la continuidad de cada serie de precipitación. A pesar que El Tepual, Puerto Montt es la serie más antigua, ya que inicia en 1861, entre 1883 y 1887 no existen datos para dicha estación, generando una gran laguna de datos. Las demás estaciones pueden dividirse en aquellas de serie corta, pero sin vacíos (Butalcura, Huyar Alto, Huinay, Chonchi y Quemchi) y las de serie algo más extensa, pero con discontinuidades varias (Tres Cruces, Castro, Ancud, Hornopirén, Achao, y Chaitén). En el caso de la temperatura media mensual, no existe un vacío tan extenso, sin embargo, existen 8 lagunas más pequeñas, la más importante de solo 2 años (1963-1964) (figura N°30). A diferencia de las series pluviométrica, no existe ninguna estación con continuidad total de datos. Con respecto a la extensión de cada una, todos los datos fueron recopilados a partir de 1916.

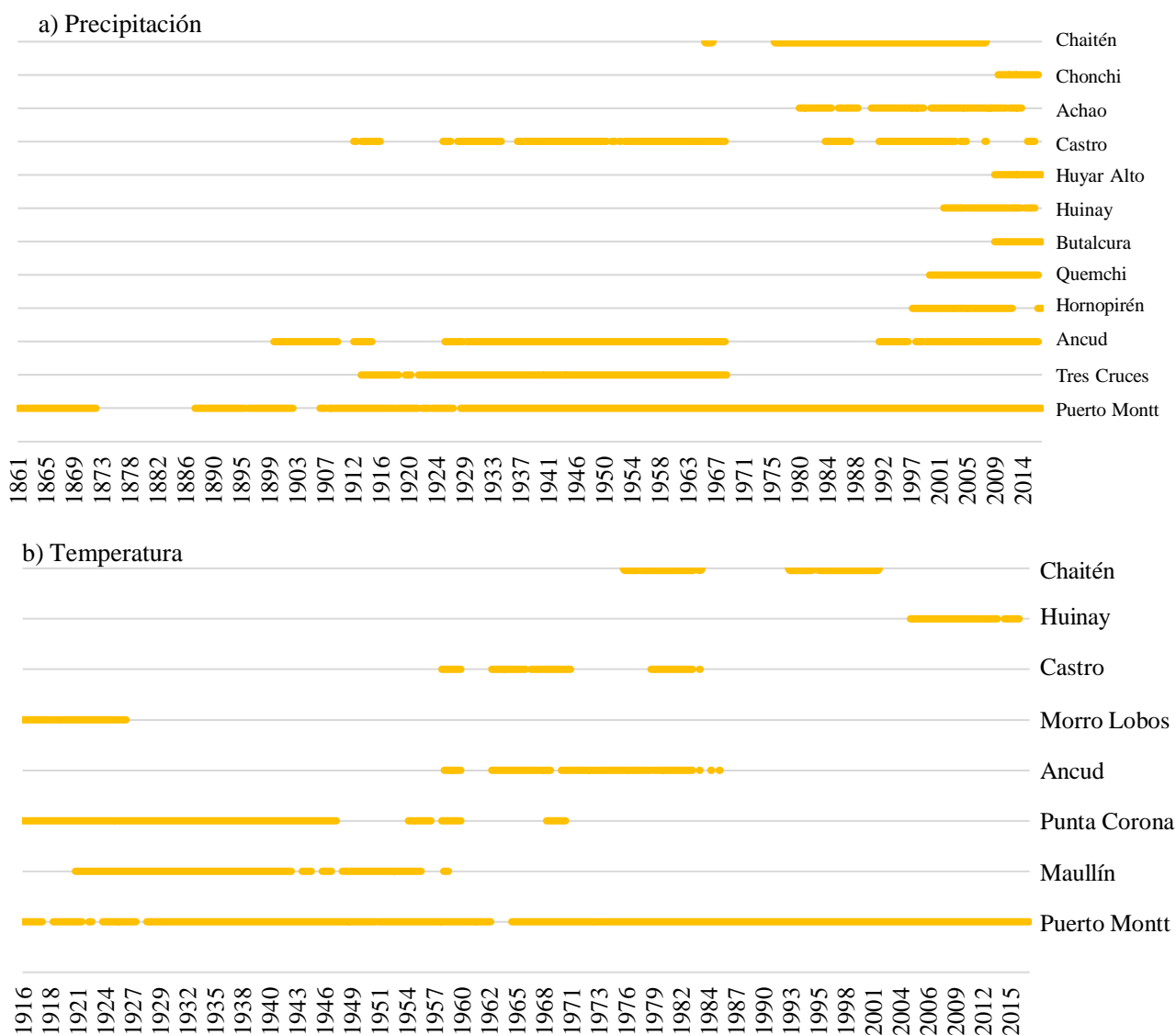


Figura N°30: Extensión y vacíos de las estaciones pluviométricas (a) y de temperatura utilizadas (b).

Fuente: Elaboración propia.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

Finalmente, en la figura N°31 se espacializan los respectivos puntos de estaciones detallados en la tabla N°3. Las 15 estaciones se encuentran en 8 comunas próximas al golfo de Ancud y el fiordo Comau.

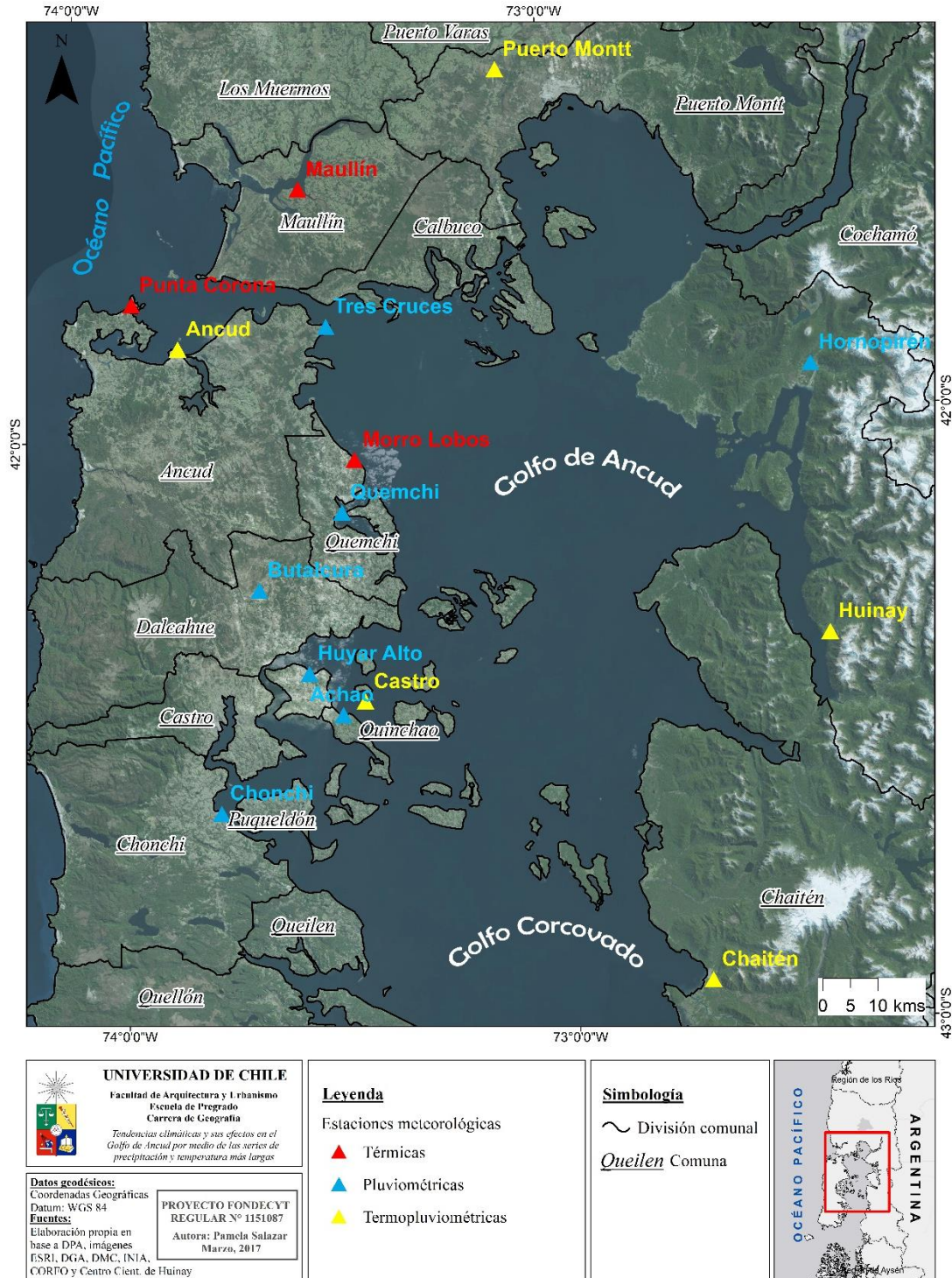


Figura N°31: Distribución de las estaciones meteorológicas utilizadas. **Fuente:** Elaboración propia.

III.2. Métodos

Para cada objetivo específico se han planteado una serie de pasos metodológicos derivados de la construcción de series térmicas y pluviométricas mensuales más largas posibles para el área de estudio. La figura N°32 esquematiza la metodología seguida en esta memoria.

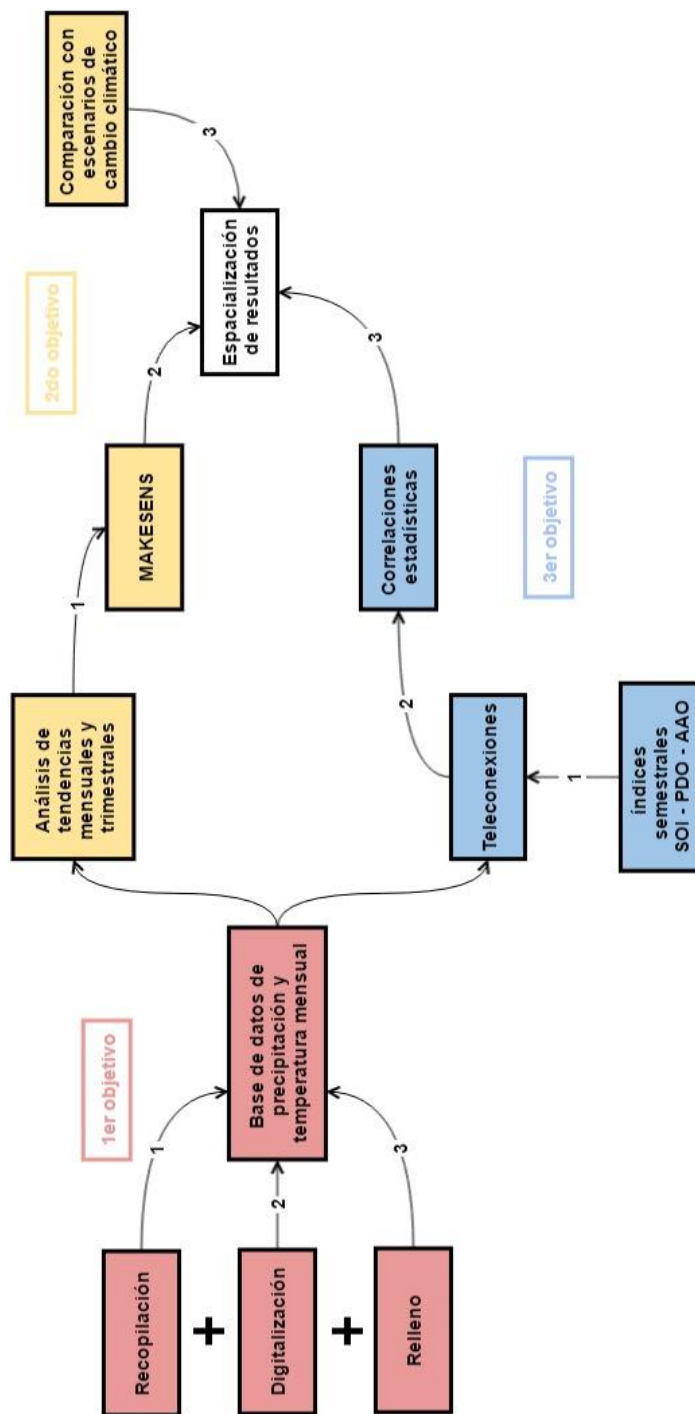


Figura N°32: Diagrama metodológico general. Fuente: Elaboración propia.

III.2.a. Obtención de datos y construcción de series largas

Los datos fueron obtenidos desde múltiples fuentes, tanto digitales como en papel, con el fin de construir series más largas posibles agotando todas las opciones de origen.

III.2.a.1. Precipitación acumulada mensual (figura N°33):

- Datos provenientes del Centro de Ciencia del Clima Resiliencia (CR2):

La base de datos de la CR2 reúne información de precipitación y temperatura de la DMC y la DGA, a nivel diario y mensual. Estos últimos fueron obtenidos mediante la página del Centro, <http://www.cr2.cl/> en su sección recursos y publicaciones, bases de datos y finalmente datos de precipitación y temperatura. El archivo resultante fue un documento de texto que reunían 1.150 estaciones para precipitación mensual acumulada, el nombre y código de la estación, sus coordenadas geográficas, la fuente de datos, el código y nombre de la cuenca y sub-cuenca, el año de inicio y término de las observaciones y la longitud de la serie. Se procedió a abrir dicho documento en Excel, ordenando los datos mediante la función “Delimitados” y el reemplazo de las comas por separadores de columnas. Luego se procedió a eliminar los valores -9999 que indican “sin observación” mediante la función de buscar y reemplazar. Como queda expresado en la figura N°33, el filtro de datos arrojó 8 estaciones, 5 de la DMC y 3 de la DGA: Achao, Ancud, Castro, Chaitén, Chonchi, Puerto Montt, Hornopirén y Quemchi.

- Datos provenientes del Anexo N°1 de Pluviometría de Chile del Departamento de Recursos Hidráulicos de la Universidad de Chile y la CORFO:

Corresponde a un libro extenso que reúne varias estaciones meteorológicas y sus respectivos registros solo de precipitaciones mensuales, cuya principal característica es que reúne datos anteriores a 1900. Se acudió a la biblioteca del Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile y, mediante préstamo excepcional, se procedió a sacar una copia. Posteriormente se separaron aquellas estaciones ubicadas en la región de Los Lagos, específicamente en alguna comuna cercana al golfo de Ancud. Luego, se procedió a digitalizar los datos mediante Microsoft Excel. Es importante destacar que esta fuente presenta algunos años y/o meses con datos desconocidos expresado como “-1.0”, los que quedaron en blanco. De esta fuente se obtuvo solo una estación: Tres Cruces.

- Datos provenientes de Agromet, Instituto de Investigaciones Agropecuarias del Ministerio de Agricultura:

Estos fueron obtenidos mediante la página de la red meteorológica del Instituto, <http://agromet.inia.cl/> el que permite ejecutar una búsqueda de estaciones por medio de Google Maps, por lo que simplemente se procedió a identificar el área de estudio y extraer

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

los datos de precipitación de las dos únicas estaciones cercanas al golfo: Huyar Alto y Butalcura. Luego se selecciona la variable, en este caso precipitación acumulada, el intervalo (mensual), la fecha de inicio y término y la opción de descarga (Excel).

- Datos provenientes de la estación meteorológica de la Fundación Huinay:

Se trata de una serie de archivos .xlsx anuales, desde el 2002 al 2015, con datos diarios y mensuales de múltiples variables, por lo que simplemente se procedió a filtrar la precipitación acumulada.

Finalmente, el conglomerado de todo lo anterior resulto en un libro Excel con una base de precipitación general mensual y una serie de pestañas para cada estación por separado.

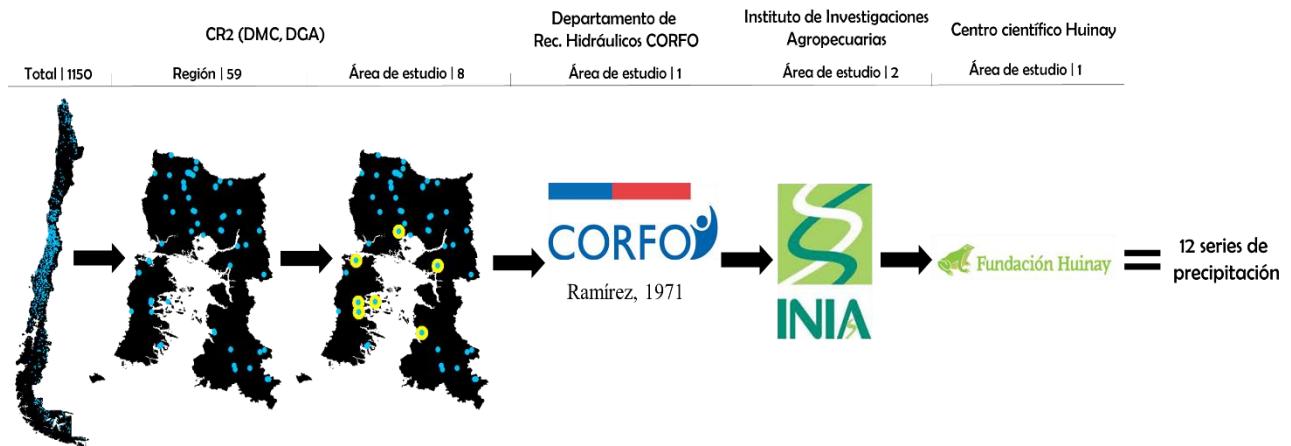


Figura N°33: Diagrama de construcción de base de datos de precipitación acumulada mensual. Fuente: Elaboración propia.

III.2.a.2. Temperatura media mensual (figura N°34):

- Datos provenientes del Centro de Ciencia del Clima Resiliencia (CR2):

El archivo resultante fue un documento de texto que reunían 229 estaciones para temperatura media mensual, el nombre y código de la estación, sus coordenadas geográficas, la fuente de datos, el código y nombre de la cuenca y sub-cuenca, el año de inicio y término de las observaciones y la longitud de la serie. Se procedió a abrir dicho documento en Excel, ordenando los datos mediante la función “Delimitados” y el reemplazo de las comas por separadores de columnas. Luego se procedió a eliminar los valores -9999 que indican “sin observación” mediante la función de buscar y reemplazar. Como queda expresado en la figura N°34, el filtro de datos arrojó solo 2 estaciones, ambas de la DMC: Puerto Montt y Chaitén.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

- Datos provenientes de los Anuarios climatológicos de la Dirección Meteorológica de Chile:

Estos datos fueron obtenidos mediante la página de la DMC <http://www.meteochile.gob.cl/inicio.php> en su sección climatología, datos y productos climatológicos y finalmente Anuarios climatológicos 1920-2014. Fueron revisados los anuarios desde 1915 en adelante, completándose algún vacío de las estaciones recopiladas de la CR2 o directamente digitalizando aquellas encontradas cercanas al área de estudio. En este caso se sumaron 5 estaciones con datos de temperatura: Maullín, Castro, Ancud, Punta Corona y Morro Lobos.

- Datos provenientes de la estación meteorológica de la Fundación Huinay:

Al igual que para la precipitación, simplemente se procedió a filtrar la temperatura AVG.

Finalmente, el conglomerado de todo lo anterior resultó en un libro Excel con una base de temperatura media mensual y una serie de pestañas para cada estación por separado.

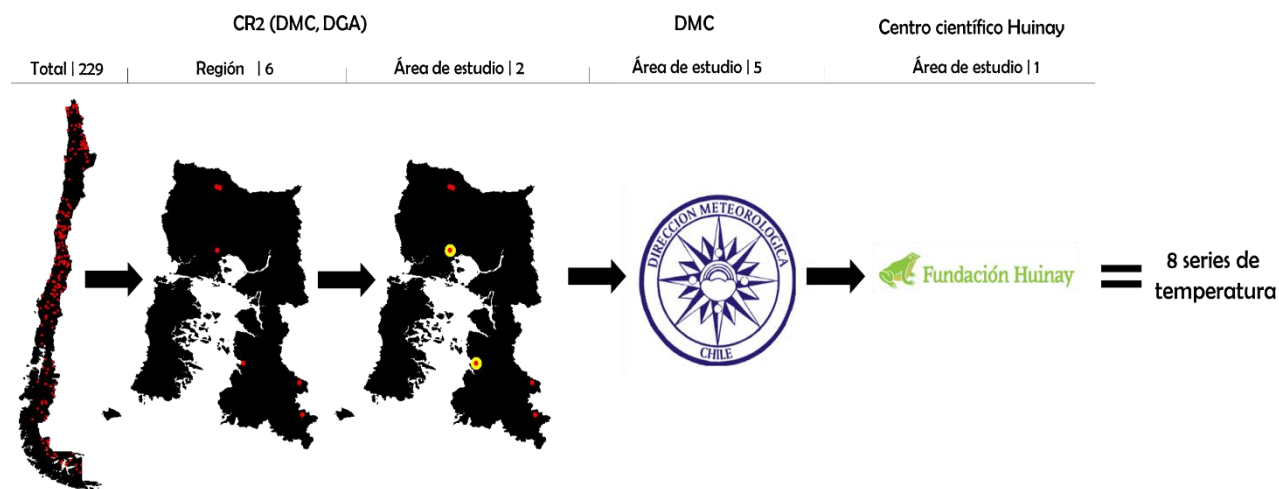


Figura N°34: Diagrama de construcción de base de datos de temperatura media mensual.

Fuente: Elaboración propia.

III.2.a.3 Relleno de series

Debido a que todas las series presentaron lagunas de datos, desde tan solo un mes hasta varios años, se procedió a ejecutar un relleno mediante el software SPSS, mediante la identificación de correlaciones cercanas a 1 o -1 y con significancia $>0,05$, en primera instancia, y la mejor significancia en segunda oportunidad, procediendo a someter las estaciones con mejor correlación a una regresión lineal.

- Correlaciones bivariadas

La relación o correlación es el grado de parecido o variación conjunta existente entre las mismas: existiendo dos variables, X e Y, estas tendrán una *relación lineal positiva* cuando los valores de ambas variables varían de forma parecida, es decir, cuando los valores de X tienden a puntuar alto o bajo, los de Y también lo hacen, mas, una *relación lineal negativa* significa que los valores de ambas variables varían justamente al revés. Además, puede que no existan pautas de variación lineales o derechamente no exista pauta alguna (Martín, 2008a). SPSS ofrece tres tipos de correlaciones: Bivariadas, Parciales y Distancias. En este caso se empleó la primera, que es útil para el estudio de la relación entre dos variables cuantitativas (*ibid*) (figura N°35).

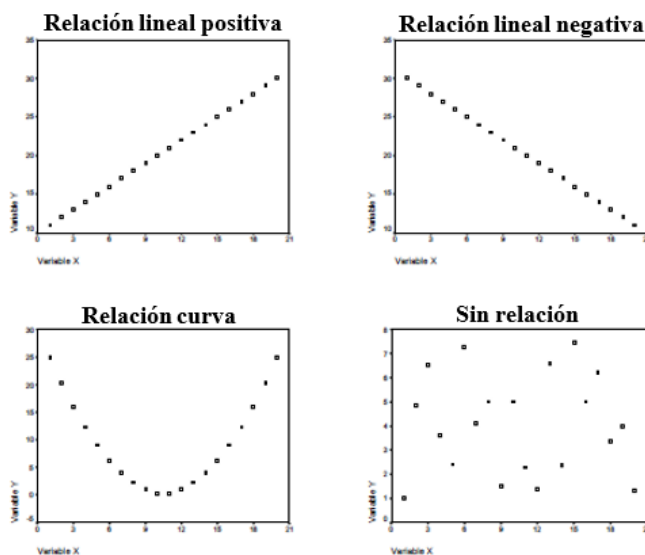


Figura N°35: Diagramas de dispersión expresando distintos tipos de relación. **Fuente:** (Pardo, 2000).

Los diagramas de dispersión de la figura N°35 también sirven para identificar el grado de correlación existente entre dos variables cuantitativas, simplemente basta con observar qué tanto se ajusta a una línea recta la nube de puntos (Pardo, 2000). Sin embargo, este procedimiento no es completamente fiable ya que no siempre la relación entre dos variables es perfecta o nula, es decir, hay nubes de puntos a las que es más o menos posible ajustar a una línea de recta, tratándose de una cuestión de grado (más o menos ajuste) y no del todo o nada (*ibid*).

Los *coeficientes de correlación* son índices numéricos que surgen como respuesta a la necesidad de cuantificar el grado de ajuste (relación lineal), a una línea recta, de dos variables cuantitativas. SPSS ofrece 3 coeficientes de correlación: Pearson, Tau-b-Kendall y Spearman (Martín, 2008a). En este caso, y debido a que es, quizás, el mejor coeficiente y el

más usado para detectar el grado de relación lineal (Pardo, 2000), se empleó el de Pearson (1) (1896):

$$r_{xy} = \frac{\sum x_i y_i}{n S_x S_y}$$

(1)

Este coeficiente suele representarse por r y se obtiene tipificando el promedio de los productos de las puntuaciones diferenciales de cada caso (desviaciones de la media) en las dos variables correlacionadas: x_i e y_i se refieren a dichas puntuaciones diferenciales de cada par, n al número de casos, S_x y S_y a las desviaciones típicas de cada variable (Pardo, 2000). Entre las propiedades de este coeficiente se encuentran el que carece de unidades de medida, es invariante para transformaciones lineales (cambio de origen y escala) de las variables y sólo toma valores comprendidos entre -1 y 1 : a) cuando r esté próximo a uno, existe una relación lineal muy fuerte entre las variables, b) cuando $r \approx 0$, puede afirmarse que no existe relación lineal entre ambas variables (las variables no se correlacionan) y, c) cuando r esté cercano a -1 , indica una relación lineal perfecta negativa (González, 2006; Pardo, 2000).

Como resultado del cálculo de este coeficiente en SPSS, el software ofrece una matriz de correlaciones cuadradas con más o menos valores (dependiendo de los productos que se quieren abordar), como resultado del cruce entre dos variables: el valor del coeficiente de correlación de Pearson, el nivel crítico bilateral (*Sig.*), la suma de cuadrados y la suma de productos cruzados, la covarianza y el número de casos válidos (N). Además, la matriz aparece con -1 en la diagonal, pues la correlación entre igual variables siempre es perfecta (Pardo, 2000) (tabla N°4)

		Pto. Montt	Huinay	Quemchi
Pto. Montt	Correlación de Pearson	1	,860**	,896**
	Sig. (bilateral)		,000	,000
	N	1606	155	200
Huinay	Correlación de Pearson	,860**	1	,883**
	Sig. (bilateral)	,000		,000
	N	155	155	155
Quemchi	Correlación de Pearson	,896**	,883**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	
	N	200	155	200

Tabla N°4: Ejemplo de matriz resumen del coeficiente de correlación de Pearson. **Fuente:** Elaboración propia.

Como quedo expresado en el párrafo anterior, cada coeficiente de correlación está acompañado de una prueba de significación, que corresponde a la información necesaria para

contrastar la hipótesis nula en que el valor poblacional del coeficiente es cero, la que se contrasta mediante un valor tipificado que, en el caso del coeficiente de Pearson, adopta la ecuación (2):

$$T = R_{xy} \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}}$$

(2)

Además, el SPSS permite seleccionar el valor crítico como bilateral y unilateral. En este caso se utilizó el primero, opción apropiada para cuando no existen expectativas sobre la dirección de la relación, indicando que la probabilidad de obtener coeficientes tan alejados de cero o más que el valor obtenido (Pardo, 2000). La significancia puede clasificarse en porcentaje de representación, que, en climatología, superior al 90% es considerado como aceptable (tabla N°5).

Símbolo	Valor	%	Clasificación
***	0,001	99,90%	Excelente
**	0,01	99,00%	Muy buena
*	0,05	95%	Buena
+	0,1	90%	Aceptable

Tabla N°5: Clasificación de la significancia. Fuente: Miró, et al., 2009.

- Regresiones lineales

Las técnicas de regresión permiten hacer predicciones de los valores de cierta variable dependiente (Y) a partir de otra independiente (X), entre las que previamente se comprobó una relación (González, 2006) (mediante el coeficiente de correlación de Pearson). El análisis de regresión lineal, tanto el simple (entre dos variables) o múltiple (más de dos variables), puede utilizarse para desarrollar una ecuación lineal con fines predictivos (Martín, 2008b)

El modelo general de regresión viene dado por (3)

$$Y = m (X_1, X_2, \dots, X_k) + \epsilon$$

(3)

donde m es función de regresión y ϵ los residuos del modelo (errores de observación, inadecuación del modelo) (Martínez, 2003). El desarrollo de la ecuación predictiva viene dado por la identificación de una correlación de Pearson lo más cercana a 1, siendo la serie

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

más completa la variable independiente, y la menos completa (a rellenar) la dependiente (figura N°36). El resto de las opciones se dejan por defecto.

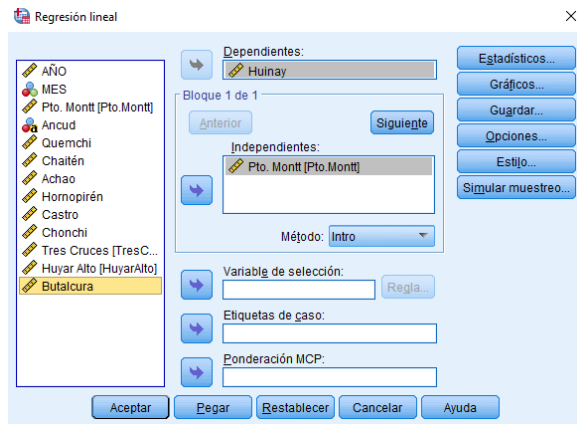


Figura N°36: Ventana de regresión lineal en SPSS.
Fuente: software SPSS.

Coefficientes^a

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error estándar	Beta		
1	α (Constante)	44,298	21,925		2,020	,045
	X Pto. Montt	3,041	,146	,860	20,890	,000

a. Variable dependiente: Huinay

Tabla N°6: Resultado de regresión lineal.
Fuente: Software SPSS.

Finalmente, el resultado arroja 4 tablas: variables de entradas eliminadas, resumen del modelo, ANOVA y los coeficientes. De esta última se construye la ecuación (4):

$$Y = a + bx$$

(4)

donde Y es la variable dependiente, a la constante, b la temperatura o precipitación de la variable dependiente y x el multiplicativo de la variable independiente (tabla N°6).

- Relleno de precipitación

Caso de Puerto Montt

Como la serie de Puerto Montt resultó ser la más extensa, primero se identificaron las lagunas de la *serie p* de esta estación, además de otra serie con datos originales que fuera capaz de rellenarla, que en este caso fueron Ancud y Tres Cruces. Luego, se separaron las bases de datos por meses con algún vacío (enero, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y diciembre) para someter cada mes al método de correlación de Pearson, comprobando o no que existiera relación y significancia $<0,05$ Tres Cruces-Puerto Montt y Ancud-Puerto Montt. Como en todos los casos resultó positiva, finalmente se aplicó una regresión lineal con Puerto Montt como variable dependiente, construyéndose la ecuación y aplicándose en los archivos de Excel (figura N°37).

Aunque la *serie p* de Puerto Montt comienza originalmente en 1861, el máximo relleno de datos solo inicia desde 1907. Antes de ese año fue imposible completar los vacíos, por lo que finalmente la serie quedó desde 1907 al 2016.

Meses faltantes	Relleno	Correlación de Pearson Significancia bivariada	Posibilidad de relleno	Ecuación de regresión lineal
Enero	Ancud	0,532 Sig = 0	✓	$48,153 + pp \text{ Ancud} * 0,406$
	Tres Cruces	0,754 Sig = 0		$48,509 + pp \text{ Tres Cruces} * 0,798$
Mayo	Ancud	0,653 Sig = 0	✓	$75,772 + pp \text{ Ancud} * 0,473$
	Tres Cruces	0,765 Sig = 0		$75,344 + pp \text{ Tres Cruces} * 0,57$
Junio	Ancud	0,532 Sig = 0	✓	$76,637 + pp \text{ Ancud} * 0,495$
	Tres Cruces	0,403 Sig = 0,003		$153,786 + pp \text{ Tres Cruces} * 0,312$
Julio	Ancud	0,628 Sig = 0	✓	$54,755 + pp \text{ Ancud} * 0,551$
	Tres Cruces	0,477 Sig = 0		$115,011 + pp \text{ Tres Cruces} * 0,453$
Agosto	Ancud	0,715 Sig = 0	✓	$56,329 + pp \text{ Ancud} * 0,523$
	Tres Cruces	0,586 Sig = 0		$77,436 + pp \text{ Tres Cruces} * 0,532$
Septiembre	Ancud	0,737 Sig = 0	✓	$42,537 + pp \text{ Ancud} * 0,564$
	Tres Cruces	0,622 Sig = 0		$77,784 + pp \text{ Tres Cruces} * 0,487$
Diciembre	Ancud	0,768 Sig = 0	✓	$10,515 + pp \text{ Ancud} * 0,797$
	Tres Cruces	0,712 Sig = 0		$18,498 + pp \text{ Tres Cruces} * 0,812$

Figura N°37: Pasos para rellenar la serie p de Puerto Montt. Fuente: Elaboración propia.

Caso de Huinay, Ancud, Castro, Quemchi, Chaitén, Achao, Hornopirén, Chonchi, Tres Cruces, Huyar Alto y Butalcura

Una vez rellena la *serie p* de Puerto Montt, quedando desde 1917 a 2016, se realizó el procedimiento inverso, identificando correlaciones positivas o negativas desde Puerto Montt hacia las demás estaciones y sometiéndolas a regresiones lineales, donde Puerto Montt actuó como variable independiente. En algunos casos, la ecuación arrojaba valores negativos, por lo que tuvo que identificarse nuevas correlaciones y someter a dicha estación a segunda e incluso tercera regresión con otras estaciones que actuaron como variables independientes. El proceso se repite hasta completar todas las series.

Primero, se rellenan las estaciones con significancia $<0,05$. La figura N°38 muestra el diagrama del este relleno. En cada caja, que representa un mes, existe la variable independiente principal (Puerto Montt) que rellena a todas o algunas estaciones. En algunos casos las estaciones representadas en azul resultaron completas inmediatamente, mientras que las verdes no arrojaron correlación con Puerto Montt, teniendo que ser rellenas con una variable dependiente (azul) que ahora se convirtió en independiente. En el mes de abril ocurrió que la variable dependiente verde (Huyar Alto) se transformó en independiente, relleno a Butalcura y Chonchi (amarillo). Tras este proceso no se logró completar en su totalidad las lagunas identificadas, por lo que, finalmente, para aquellas series que aun poseían vacíos, simplemente se rellenan con otra estación que tuviera la mejor correlación y significancia posible. Así, abril y junio en Huinay, junio y agosto en Chonchi y Huyar Alto y junio en Butalcura resultaron incompletos, por lo que se volvió a identificar la mejor correlación en la matriz de estos meses: 1) en Huinay, abril fue relleno por Puerto Montt y junio por Butalcura; 2) En Chonchi, junio por Puerto Montt y agosto por Huinay; 3) En Huyar Alto, junio por Puerto Montt y agosto por Quemchi; 4) En Butalcura, junio por Puerto Montt (figura N°39). Tras el segundo relleno, sí fue posible obtener una base de datos completa, desde 1907-2016 para las 12 estaciones pluviométricas utilizadas.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

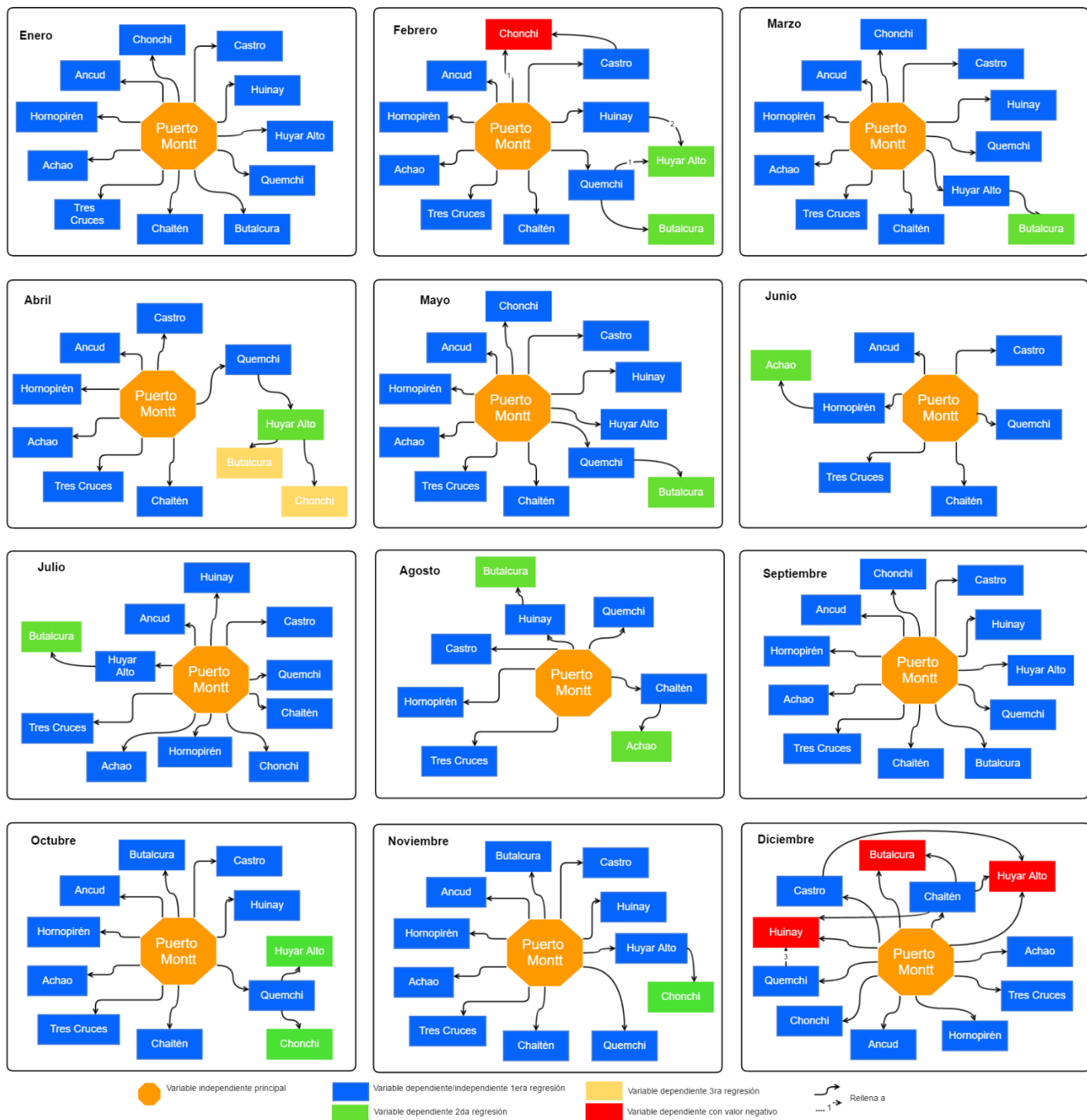


Figura N°38: Diagrama de relleno para series *p* de precipitación con significancia $<0,05$.
Fuente: Elaboración propia.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

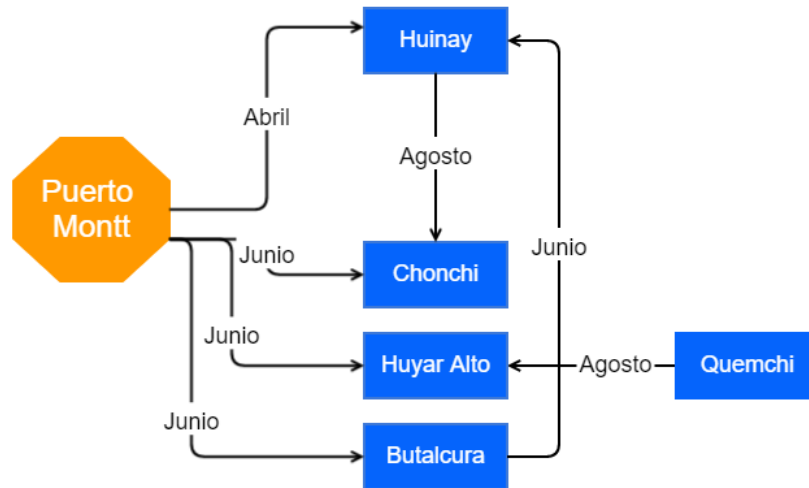


Figura N°39: Diagramas de relleno para series *p* de precipitación acumulada mensual con mejor significancia posible. **Fuente:** Elaboración propia.

- Relleno de temperatura

Caso de Puerto Montt

El caso de la *serie t* de Puerto Montt también resultó ser la más extensa, sin embargo, presentó 12 lagunas de datos, por lo que primero fue necesario completar dicha serie para usarla como variable independiente principal, igual que en el caso de la precipitación. La figura N°40 representa los extensos vacíos que abarcaban todos los meses, en distintos años, que fueron cubiertos por otras 2 y hasta 4 series con datos originales: Punta Corona, Morro Lobos, Maullín, Ancud y Castro. En septiembre y diciembre, debido a la inexistencia de datos por parte de estas estaciones, para los años 1918, 1957, 1963 y 1964, se recopilieron datos de temperatura media mensual de Osorno y Valdivia, extraídos desde las bases de datos del CR2, que sirvieron como variables independientes para rellenar dichos años.

Al finalizar este proceso, julio y agosto de 1918 y noviembre de 1963 y 1964 aun resultaron incompletos, por los que se rellenaron después de haber completado las otras estaciones. Junio de 1961 y diciembre de 1957 no tienen datos, por lo que fueron imposibles de rellenar.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

Meses y años faltantes	Reileno	Correlación de Pearson Significancia bivariada	Posibilidad de relleno	Ecuación de regresión lineal	
Enero	1918	Punta Corona	0,5 Sig = 0,003	✓	4,855+t Punta Corona*0,732
	1922				
	1923				
	1928				
	1963				
Febrero	1918	Morro Lobos	0,739 Sig = 0,036	✓	5,675+t Morro Lobos*0,682
	1922				
	1923				
	1928				
	1963				
Marzo	1918	Morro Lobos	0,829 Sig = 0,011	✓	5,252+t Morro Lobos*0,654
	1922				
	1923				
	1928				
	1963				
Abril	1918	Morro Lobos	0,83 Sig = 0,011	✓	-2,006+t Morro Lobos*1,292
	1922				
	1923				
	1928				
	1963				
Mayo	1918	Punta Corona	0,388 Sig = 0,026	✓	3,128+t Punta Corona*0,641
	1922				
	1923				
	1928				
	1963				
Junio	1918	Punta Corona	0,496 Sig = 0,003	✓	0,659+t Punta Corona*0,838
	1922				
	1923				
	1927				
	1963				
Julio	1918	Mauilin	0,712 Sig = 0	✓	4,056+t Mauilin*0,507
	1922				
	1923				
	1927				
	1951				
Agosto	1918	Mauilin	0,712 Sig = 0	✓	4,574+t Mauilin*0,454
	1923				
	1925				
	1927				
	1951				
Septiembre	1918	Valdivia	0,712 Sig = 0	✓	-1,182+t Valdivia*1,054
	1923				
	1927				
	1948				
	1951				
Octubre	1918	Morro Lobos	0,712 Sig = 0	✓	3,29+t Morro Lobos*0,791
	1923				
	1927				
	1963				
	1964				
Noviembre	1918	Punta Corona	0,712 Sig = 0	✓	5,684+t Punta Corona*0,608
	1923				
	1927				
	1963				
	1964				
Diciembre	1918	Punta Corona	0,712 Sig = 0	✓	6,445+t Punta Corona*0,591
	1923				
	1927				
	1957				
	1963				
Diciembre	1918	Valdivia	0,712 Sig = 0	✓	2,247+t Valdivia*0,756
	1923				
	1927				
	1963				
	1964				
Diciembre	1918	Ancud	0,712 Sig = 0	✓	-1,827+t Ancud*1,176
	1923				
	1927				
	1963				
	1964				

Figura N°40: Pasos para rellenar la serie t de Puerto Montt. **Fuente:** Elaboración propia.

Caso de Huinay, Maullín, Ancud, Castro, Morro Lobos, Punta Corona y Chaitén

En este caso se sometió al mismo procedimiento anterior, rellenando primero las estaciones cuyas correlaciones sean positivas o negativas y de significancia $<0,05$ (figura N°41). Al igual de las series p , estas aun presentaron vacíos, por lo que se sometió a la búsqueda de la mejor correlación y significancia posible para aquellas series con lagunas. Sin embargo, este procedimiento no fue efectivo para la totalidad de las estaciones, quedando vacíos en los meses de enero en Chaitén y junio de 1961 para todas las estaciones, los que fueron imposibles de rellenar. La figura N°42 ilustra las correlaciones y regresiones mensuales para este segundo relleno.

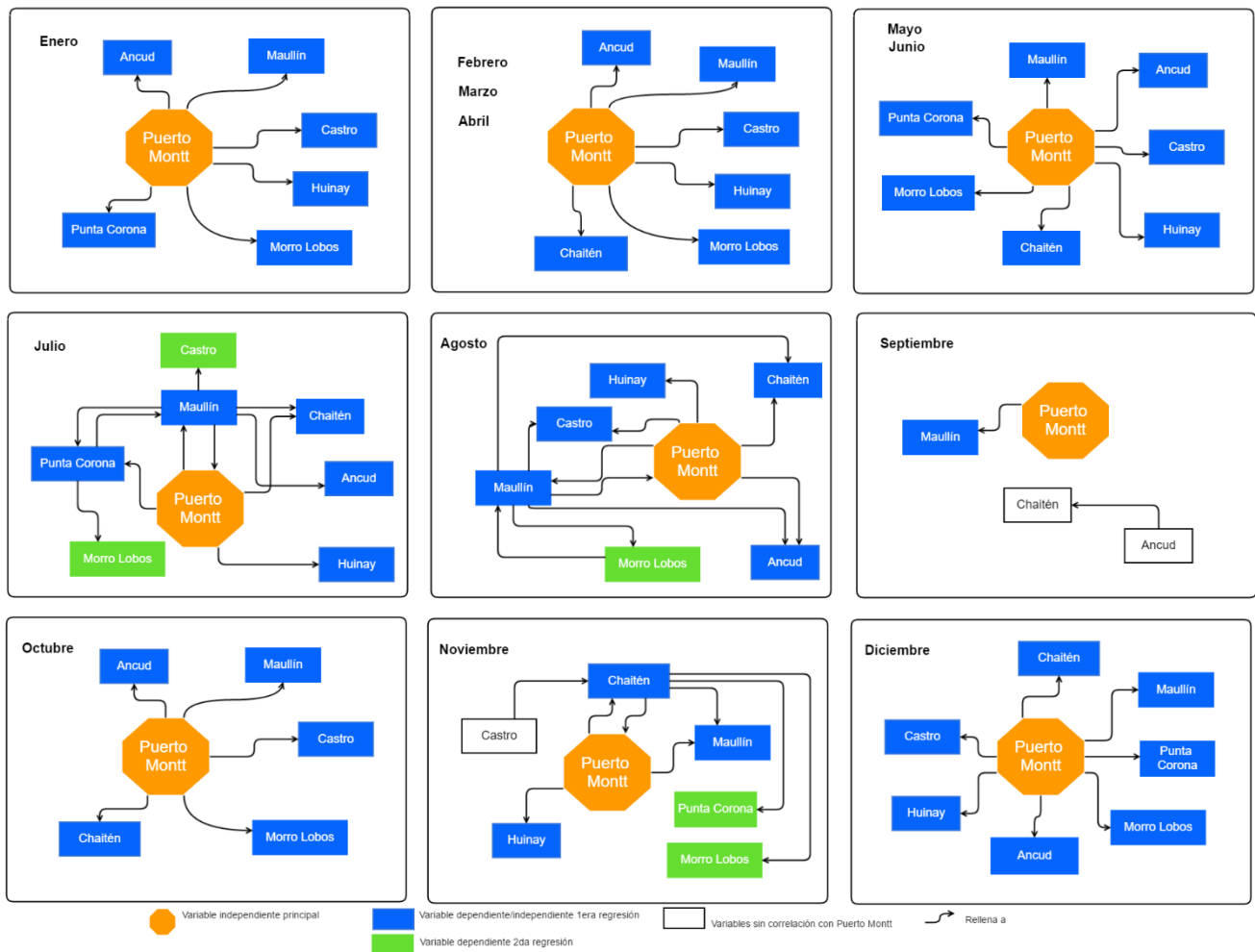


Figura N°41: Diagrama de relleno para series t con significancia $<0,05$. **Fuente:** Elaboración propia.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

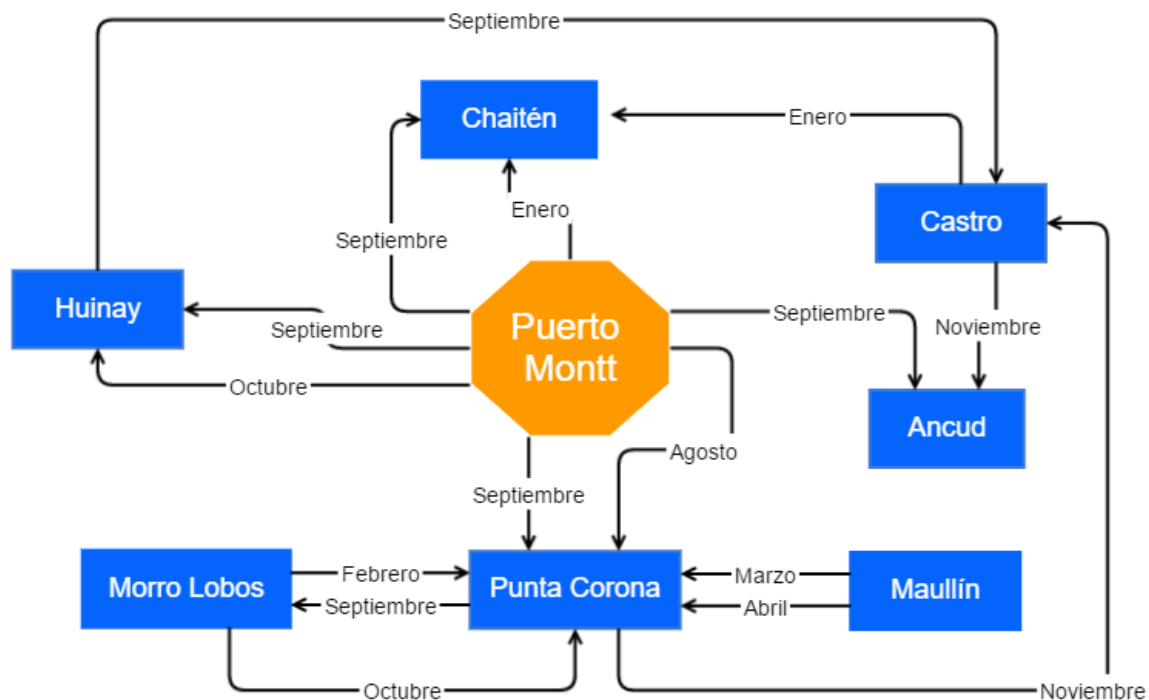


Figura N°42: Diagramas de relleno para series de temperatura media mensual con mejor significancia posible. **Fuente:** Elaboración propia.

III.2.b. Análisis de tendencias

Consta de tres pasos: (1) utilización de matriz de Microsoft Excel MAKESENS para el cálculo de tendencias anuales, decadales y del último siglo sobre montos de precipitación de las estaciones pluviométricas empleadas, (2) espacialización de dichos resultados (pérdida o ganancia de precipitaciones en los tiempos señalados) y (3) comparación de lo anterior con los escenarios de cambio climático propuestos en Chile.

III.2.b.1. Comparación de las tendencias con escenarios de cambio climático en Chile

Frente a las nuevas situaciones ambientales que provoca el cambio climático, en 2006, la extinta Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), encargó al Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile un informe que tuvo por objetivo la estimación de escenarios climáticos para diferentes regiones de Chile durante el siglo XXI, específicamente en el periodo 2071-2100, asociados al cambio climático global esperado como resultado de un incremento sostenido de los gases de efecto invernadero, además de evaluación de datos climáticos observados en décadas recientes, estimaciones de los cambios climáticos en periodos intermedios dentro del siglo XXI, entre

otros aspectos secundarios (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2006a). Dicho informe resulta un recurso muy importante para completar el objetivo, ya que incluye esencialmente dos partes: el análisis del clima observado durante la parte final del S XX y su proyección hacia finales del presente siglo (*ibid*). A dicho trabajo se suma un anexo de figuras, donde se expresan mapas con los cambios de precipitación y temperatura (porcentaje) en relación al clima actual, para distintas zonas de Chile.

Por otro lado, siguiendo la teoría expresada en el informe de la CONAMA, se evaluaron las series pluviométrica pre y post el año 1970, por medio de la creación de gráficos lineales de toda la serie, y dividiendo esta última en parte iguales teniendo como dicho año de salto climático. A los gráficos lineales creados en Microsoft Excel se les agregó la línea de tendencia, un separador vertical en el año 1970 y otro horizontal dibujado arbitrariamente (denominado como mm de comparación de peak) previo a un análisis visual de los peaks más evidentes del gráfico, para luego contar los peaks más altos antes y después de 1970. La figura N°43 muestra un ejemplo de lo mencionado anteriormente. Además, se crearon gráficos lineales siguiendo la lógica de dividir las series en partes iguales hacia atrás y delante de 1970, resultando en 2 gráficos lineales de precipitación mensual por estación pluviométrica, entre 1923-1969 y 1970-2016, a los que se agregó la línea de tendencia.

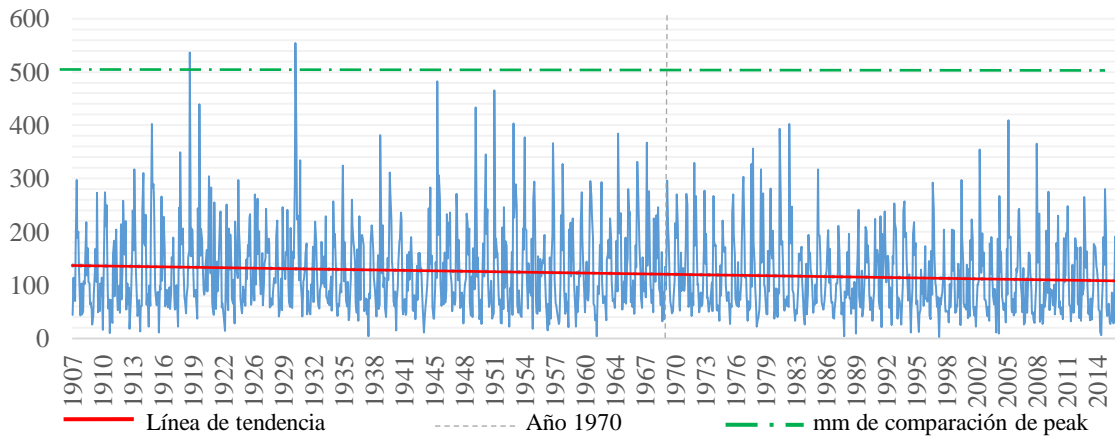


Figura N°43: Ejemplo de gráfico lineal creado para la comparación de peak de precipitación acumulada antes y después de 1970. **Fuente:** Elaboración propia.

El informe, además, diferencia el escenario de las precipitaciones a nivel trimestral, siguiendo las estaciones del año. Por ello se sometieron a MAKESENS las series mensuales y trimestrales de precipitación acumulada mensual de las 12 estaciones pluviométricas, metodología explicada en el siguiente apartado.

III.2.b.2. Aplicación de matriz MAKESENS

Corresponde a la búsqueda de un patrón de series históricas de datos de precipitación mediante la realización de figuras lineales por cada serie de cada estación. Para ello se utilizó la matriz Excel MAKESENS, desarrollado para detectar y estimar la evolución de series temporales de valores anuales de las concentraciones atmosféricas y precipitaciones. Este procedimiento se basa en la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall* para la tendencia y el método de la *Sen* no paramétrico 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 del *Sen*, en cambio, detecta un modelo lineal de la tendencia. La prueba de *Mann-Kendall* requiere al menos 4 valores para el cálculo de los intervalos de confianza, mientras que para estimar la pendiente de la *Sen* se requiere al menos 10 valores en una serie de tiempo. A lo anterior puede accederse mediante: <http://en.ilmatieteenlaitos.fi/makesens>. De allí es posible bajar el Excel que calcula la tendencia, así como el manual de uso.

Time series	First year	Last Year	n	Test S	Signific.	Q	Qmin95	Qmax95	Qmin05
SO4 mg S/l	1987	2000	14	-3.50	***	-0.063	-0.089	-0.034	-0.085
NH4 mg N/l	1987	2000	14	-2.47	**	-0.018	-0.040	0.000	-0.035
NO3 mg N/l	1987	2000	14	-2.47	**	-0.013	-0.020	0.002	-0.019
Ca mg/l	1987	2000	14	-3.78	***	-0.034	-0.053	-0.021	-0.046
K mg/l	1989	2000	12	-2.27	**	-0.010	-0.029	0.002	-0.023
SO2 ug S/m3	1989	2000	11	-3.11	**	-0.135	-0.231	-0.048	-0.187
SO4 ug S/m3	1987	2000	14	-4.05	***	-0.070	-0.098	-0.036	-0.092
HNO3+NO2 ug N/m3	1989	2000	12	-2.82	**	-0.011	-0.023	-0.002	-0.020
NH3+NH4 ug N/m3	1989	2000	12	-0.28	**	-0.005	-0.062	0.037	-0.047

Tabla N°8: Pestaña de datos anuales.
Fuente: Plantilla Makesens 1.0.

Year	SO4 mg S/l	NH4 mg N/l	NO3 mg N/l	Ca mg/l	K mg/l	SO2 ug S/m3	SO4 ug S/m3	HNO3+NO2 ug N/m3
1987	1.40	0.71	0.41	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00
1988	1.22	0.49	0.41	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00
1989	1.08	0.00	0.41	0.56	0.23	2.01	1.72	0.42
1990	0.76	0.17	0.34	0.44	0.11	1.74	1.46	0.36
1991	1.11	0.52	0.41	0.44	0.31	1.31	1.44	0.31
1992	0.71	0.21	0.34	0.44	0.10	1.04	1.10	0.32
1993	0.94	0.14	0.34	0.44	0.22	1.14	1.04	0.34
1994	0.71	0.47	0.34	0.44	0.46	1.07	1.07	0.34
1995	0.97	0.41	0.34	0.44	0.14	1.14	1.04	0.34
1996	0.44	0.31	0.34	0.44	0.13	0.71	0.71	0.36
1997	0.44	0.41	0.34	0.44	0.22	0.71	0.71	0.34
1998	0.81	0.41	0.41	0.44	0.52	0.52	0.52	0.34
1999	0.66	0.41	0.34	0.44	0.11	0.66	0.66	0.36

Tabla N°8: Pestaña de estadísticas de tendencia. Fuente: Plantilla Makesens 1.0.

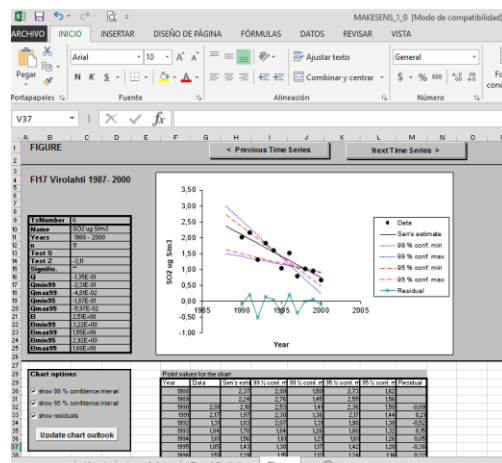


Figura N°44: Pestaña de figuras. Fuente: Plantilla Makesens 1.0

La parte funcional de la plantilla se compone de tres hojas de trabajo (Tabla N°7, N°8 y figura N°44): los datos anuales, de tendencia estadística y figuras. En la primera pestaña se ingresa los datos de series anuales y los períodos que serán incluidos en los cálculos para cada serie temporal. Luego se activa el botón *Calculate Trend Statistics* y los resultados serán calculados en la 3ª pestaña. Los datos originales y las estadísticas de cada serie de tiempo a la vez se pueden ver numérica y visualmente en la última pestaña.

Para el caso de esta memoria es muy importante el grado de significancia que arroje cada serie, ya que cuanto más alto el grado de significación, la tendencia será más confiable (tabla N°9).

Símbolo	Valor	%	Clasificación
***	0,001	0,999	Excelente
**	0,01	0,99	Muy buena
*	0,05	0,95	Buena
+	0,1	0,9	Aceptable

Tabla N°9: Clasificación de la significancia. **Fuente:** Miró, et al., 2009.

La pendiente de *Sen* (Q) refleja la tendencia anual, la que a su vez permite calcular tendencia decadal (Q*10) y del último siglo (Q*100).

Por otro lado, debido a problemas de programación propios de la matriz, fue imposible procesar series de más de 100 años, es decir, se produce un error de desbordamiento el que, a pesar de intentar solucionar modificando las líneas de programación, no hizo posible el procesar las series pluviométricas enteras. Por ello, el análisis de tendencia climática se realizó solo para los últimos 100 años en cada serie, es decir, entre los años 1917 y 2016. Entre dichos años, MAKESENS fue aplicado en dos ocasiones: la primera para la serie de precipitación mensual y la segunda para la serie de precipitación trimestral DEF-MAM-JJA-SON, de acuerdo a las estaciones del año.

El análisis se realizó al valor Q (*Sen*) en bruto y asociado a precipitaciones acumuladas, en cuyo caso se crearon 4 variables ficticias, solo para fines de facilitar la comprensión de los cálculos y la espacialización correspondiente:

- ❖ **Q mensual:** contempla solamente el resultado a nivel anual, decadal y últimos 100 años, obtenido como consecuencia de cargar las series mensuales de precipitación entre 1917-2016 a MAKESENS, sin el posterior cálculo de porcentaje de reducción de precipitaciones.
- ❖ **Q mensual decadal y siglo:** contempla el cruce de las tendencias obtenidas en el *Q mensual* y los montos de precipitaciones totales de los primeros y últimos 10 años (*Q mensual decadal*) y los 100 años de la serie (*Q mensual siglo*), con el fin de evaluar efectivamente qué estación reduce más sus precipitaciones en los tiempos señalados,

y, por ende, el área de estudio. Se expresa en porcentaje de pérdida de precipitaciones a nivel mensual.

- ❖ ***Q trimestral***: corresponde al resultado obtenido al someter a matriz MAKESENS las series de precipitación acumuladas trimestral (DEF-MAM-JJA-SON), entre 1917-2016. Esta variable complementa el análisis de tendencias semestrales.
- ❖ ***Q trimestral decadal y siglo***: corresponde al cálculo de reducción de precipitaciones, en porcentaje, tomando en cuenta el *Q trimestral* para la primera y última década (*Q trimestral decadal*) y los 100 años (*Q trimestral siglo*) de la serie y las precipitaciones acumuladas para cada trimestre. Se expresa en porcentaje de reducción de precipitaciones a nivel trimestral.

En el caso del análisis decadal se utilizó el valor $Q*10$, y en caso de los 100 años se empleó el $Q*100$. En ambas oportunidades se obtuvieron las precipitaciones acumuladas para cada estación pluviométrica (pp_{total}) y se calculó el porcentaje de reducción de precipitaciones ($-\%pp$) por medio de un promedio simple determinado por:

$$-\%pp = \frac{Q*100}{pp_{total}}$$

(5)

Los cálculos de las tendencias en las escalas ya mencionadas se realizaron posterior a la evaluación de las significancias resultantes, quedando excluidas de los siguientes métodos toda estación sin significancia igual o inferior al 90% de representatividad (tabla N°9). En el caso de la escala decadal, también se analizaron las diferencias entre los $-\%pp$ de ambos periodos mediante cálculo de diferencia y gráficos lineales, todo ello en Microsoft Excel.

- Espacialización de resultados de tendencias anuales, decadales y 100 años

Los resultados de tendencias anteriores se espacializaron en ArcMap 10.3 cargando al software una tabla en Microsoft Excel con los nombres de las estaciones, sus coordenadas geográficas y las tendencias obtenidas. En cada caso se crearon clasificaciones diferenciadas tanto en color como en rangos, manteniendo los nombres de las clasificaciones, puesto que cada variable posee escala temporal diferenciada no comparable entre ellas. Finalmente, cada estación indica más o menos pérdidas de precipitación, según sea el caso, lo que entrega una idea de las condiciones de las precipitaciones en cada zona en la que se ubica la estación, y por ende del área de estudio. Las tablas N°10, N°11, N°12, N°13 presentan los rangos, nombres y símbolos utilizados para representar las tendencias de precipitación en el área de estudio.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

Rangos	Clasificación	Símbolo
-12 -15	Muy fuerte	MF
-8 -11	Fuerte	F
-4 -7	Moderado	M
0 -3	Leve	L

Tabla N°13: Rangos, clasificación y simbología utilizada para espacializar tendencias de Q mensual. **Fuente:** Elaboración propia.

Rangos	Clasificación	Q mensual decadal		Q mensual siglo
		Primera década	Última década	Siglo
-30% -35%	Muy fuerte	MF	MF	MF
-25% -29%	Fuerte	F	F	F
-20% -24%	Moderado	M	M	M
-15% -19%	Leve	L	L	L

Tabla N°13: Rangos, clasificación y simbología utilizada para espacializar tendencias de Q mensual decadal y siglo. **Fuente:** Elaboración propia.

Rangos	Clasificación	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
-3,6 -1,5	Muy fuerte	MF	MF	MF	MF
-1,6 -2,5	Fuerte	F	F	F	F
-2,6 -3,5	Moderado	M	M	M	M
-3,6 -4	Leve	L	L	L	L

Tabla N°13: Rangos, clasificación y simbología utilizada para espacializar las tendencias del Q trimestral. **Fuente:** Elaboración propia.

Rangos	Clasificación	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
-48% -63%	Muy fuerte	MF	MF	MF	MF
-32% -47%	Fuerte	F	F	F	F
-16% -31%	Moderado	M	M	M	M
0 -15%	Leve	L	L	L	L

Tabla N°13: Rangos, clasificación y simbología utilizada para espacializar las tendencias del Q trimestral decadal y siglo. **Fuente:** Elaboración

III.2.c. Análisis de teleconexiones

La identificación de aquellas teleconexiones que afectan la precipitación y temperatura en el área de estudio se llevó a cabo mediante tres pasos metodológicos: (1) clasificación semestral de los índices SOI, PDO y AAO, (2) correlaciones estadísticas entre estos índices y registros de precipitación y temperatura para el área de estudio y (3) espacialización de dichas correlaciones.

III.2.c.1. Clasificación semestral de índices SOI, PDO y AAO

Los datos de los índices utilizados se encuentran disponibles en línea, a nivel mensual y son constantemente actualizados, aunque el año de inicio de los registros difiere entre ellos.

-El SOI se encuentra disponible en las páginas del *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/soi/> y el *Climatic Research Unit, University of East Anglia* <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/soi/>, a nivel mensual desde 1866.

-Sobre la PDO, los datos se encuentran disponibles en la página del *Join Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean* <http://research.jisao.washington.edu/pdo/>, a nivel mensual desde 1900.

-En tanto, la AAO también es calculada y difundida por la NOAA de EE.UU. en http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao/ao.shtml, iniciando los registros, a nivel diario desde 1979.

Los datos no se encuentran disponibles como archivos descargables, por lo que se procedió a copiar y pegar en un documento de texto, reemplazando los puntos por comas, para luego abrirlo en Microsoft Excel, tabulándolo mediante la función “De ancho fijo”. Posteriormente, se agruparon los datos por semestres entre dos años, con y sin un mes de desfase hacia atrás calculando un promedio simple entre los meses correspondientes y redondeándolo con 1 decimal (tabla N°14).

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

AÑO	SOIMENSUAL												SOI SEMESTRAL	
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	AMJJAS	ONDEFM
1907	0,56	-0,23	-0,32	-0,84	-0,57	0,45	-0,03	-1,05	-0,07	-0,43	-0,58	0,65	-0,4	-0,2
1908	-0,99	0,84	-0,41	1,02	0,18	-0,63	1,43	0,2	1,67	0,72	0,09	-0,71		

AÑO	SOIMENSUAL												SOI-1 SEMESTRAL	
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	MAMJJAS	SONDEFM
1907	0,56	-0,23	-0,32	-0,84	-0,57	0,45	-0,03	-1,05	-0,07	-0,43	-0,58	0,65	-0,3	-0,1
1908	-0,99	0,84	-0,41	1,02	0,18	-0,63	1,43	0,2	1,67	0,72	0,09	-0,71		

Tabla N°14: Ejemplo de cálculo de SOI-1 semestral sin desfase (arriba) y con mes de septiembre como desfase (abajo). **Fuente:** Elaboración propia. **Comentario:** arriba: año lluvioso= abril-mayo-junio-julio-agosto-septiembre; año seco= octubre del año 1-noviembre año 1-diciembre año 1-enero año 2-febrero año 2-marzo año 2. Abajo: año lluvioso= marzo-abril-mayo-junio-julio-agosto-septiembre; año seco= octubre del año 1-noviembre año 1-diciembre año 1-enero año 2-febrero año 2-marzo año 2-marzo año 2.

Posteriormente, estos índices semestrales fueron clasificados en 9 rangos, aplicando una escala de 3 colores (tabla N°15).

SOI	Rangos		PDO y AAO
El Niño Muy Fuerte	-3,00	-2,00	Muy fuerte (-)
El Niño Fuerte	-1,90	-1,50	Fuerte (-)
El Niño Moderado	-1,40	-1,00	Moderado (-)
El Niño Débil	-0,90	-0,60	Débil (-)
Neutro	-0,50	0,50	Neutro
La Niña Débil	0,60	0,90	Débil
La Niña Moderado	1,00	1,40	Moderado
La Niña Fuerte	1,50	1,90	Fuerte
La Niña Muy fuerte	2,00	3,00	Muy fuerte

Tabla N°15: Clasificación de índices semestrales de SOI, PDO y AAO. **Fuente:** Elaboración propia.

III.2.c.2. Correlaciones estadísticas entre índices semestrales de las teleconexiones y registros de precipitación y temperatura del área de estudio

En ambos casos se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson (ya explicado en la ecuación 1), pero esta vez desde Microsoft Excel y su función versión 2016 =COEF.DE.CORREL(matriz1;matriz2), que aplica la ecuación de Pearson a dos matrices de datos: la primera contiene la precipitación acumulada o la temperatura promedio, según sea el caso, a nivel semestral con 1 mes de desfase hacia atrás, y la segunda los índices, por

semestre, de teleconexiones calculados anteriormente. Los resultados fueron clasificados en nueve rangos de acuerdo a la clasificación propuesta por Vila, *et al.*, s.f. (tabla N°16).

Para la precipitación se correlacionaron los índices con los datos de precipitación acumulada de las series rellenadas entre 1985-2015. En cambio, en caso de la temperatura, se utilizaron las series originales desde 1916-2014.

Negativa perfecta	-1
Negativa fuerte	-0,75
Negativa moderada	-0,50
Negativa débil	-0,25
Ninguna	0
Positiva débil	0,25
Positiva moderada	0,50
Positiva fuerte	0,75
Positiva perfecta	1

Tabla N°16: Clasificación de las correlaciones estadísticas entre los índices de teleconexiones, la precipitación y temperatura mensual del área de estudio. **Fuente:** Elaboración propia en base a Vila, *et al.*, s.f.

III.2.c.3. Espacialización de correlaciones

Al igual que con las tendencias climáticas, mediante ArcMap 10.3 se espacializaron los puntos de cada estación por medio de la función *Display XY Data*, previo a la carga de un archivo .xls con 6 pestañas de datos según teleconexión, precipitación y temperatura. En cada pestaña se dispuso la información básica de la estación (nombre y coordenadas geográficas) y las correlaciones estadísticas semestrales. Se optó por una simbología de tipo gradual, modificada manualmente de acuerdo a los rangos creados por medio del método *Natural Break* proporcionado por el mismo software. De este modo, cada teleconexión obtuvo 5 rangos de correlaciones, algunos con datos netamente negativos y otros con valores positivos, igualmente indicativos de correlación entre los datos. La tabla N°17 presentan las clasificaciones creadas a partir de Vila, *et al.*, s.f.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas



















Valor	Clasificación	Precipitación	Temperatura
-1	Negativa perfecta		
-0,75	Negativa fuerte		
-0,5	Negativa moderada		
-0,25	Negativa débil		
0	Ninguna		
0,25	Positiva débil		
0,5	Positiva moderada		
0,75	Positiva fuerte		
1	Positiva perfecta		

Tabla N°17: Clasificación para correlaciones estadísticas entre el SOI, PDO y AAO y la precipitación y temperatura del área de estudio. **Fuente:** Elaboración propia en base a Vila, et al., s.f.

III.2.d. Métodos complementarios al análisis

III.2.d.1. Homogeneidad de series climáticas

Una vez construidas las series es necesario comprobar su homogeneidad ya que, si estas no cumplen tal requisito, puede dar lugar a resultados erróneos de presuntos cambios en el comportamiento temporal de variables climáticas, lo que obviamente no pueden ser considerados como tales (Martín-Vide & Moreno, 2013). Para ello se emplearon dos pruebas de homogeneidad: el Test de Rachas o de Alternativas de Thom (1966) y de Von Neumann (1941), ambos métodos absolutos.

- Test no paramétrico de Thom (1966)

Este test de homogeneidad absoluta fue escogido debido a que es especialmente aconsejado por la Organización Meteorológica Mundial para datos con distribución no conocida o no normales (Sneyers, 1992 en Martín-Vide, et al., 2006). Consiste en contar el número de rachas o tramos de la serie que quedan por encima o debajo de la mediana. A partir del número de rachas y del número de datos de la serie, simbolizados mediante R y n

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

respectivamente, se calcula el estadístico $|Z|$ (*ibid*), siendo n el número de datos de la serie (6)

$$Z = \frac{R - (n + 2)/2}{\sqrt{\frac{n(n - 2)}{4(n - 1)}}}$$

(6)

Si $|Z|$ es menor a 2,58 la serie puede considerarse homogénea (Pérez, *et al.*, 2009; Martín-Vide, *et al.*, 2006).

- Test de homogeneidad absoluta de Von Neumann (1941)

Este test exige que la serie analizada pueda ser considerada una muestra de una población normal o gaussiana lo que es asumible en la mayoría de las series anuales de temperatura y precipitación (Martín-Vide, 2003) se calcula según (7)

$$\delta^2 = \left(\frac{1}{n} - 1\right) \sum (X_{i+1} - x_i)^2$$

(7)

Es decir, el promedio del cuadrado de las diferencias de cada valor de las series menos el anterior para luego dividir este valor entre la varianza de la serie. Si el cociente es próximo a 2 la serie puede considerarse aleatoria, por ende, homogénea (*ibid*).

III.2.d. Cálculo de índices

- Coefficiente de variación (CV)

La variabilidad climática se corresponde con el concepto de dispersión estadística de los valores de las series climáticas, y la estadística ofrece distintos índices, específicamente, en pluviometría, se opta por una medida de dispersión relativa para comparar variabilidades: el coeficiente de variación (8) (Martín-Vide, 2003)

$$CV = (s / \bar{x}) * 100 (\%)$$

(8)

es decir, un cociente entre desviación tipo (s) y la media (\bar{x}) por 100, expresado en porcentaje. La primera se refiere a la medida de dispersión equivalente a la raíz cuadrada de la varianza, mientras que la segunda, al cociente de la suma de los datos y el número de ellos. Un elevado CV es sinónimo de heterogeneidad pluviométrica, por ende, mayor variabilidad. Por el contrario, un menor CV indica homogeneidad y menor variabilidad (Figuroa, 2014).

Este cociente se calcula anualmente (tabla N°18), mediante la suma de las precipitaciones acumuladas (PP TOTAL) o el promedio de las temperaturas mensuales medias (T° MEDIA) de los 12 meses del año, a los cuales se les aplica la función DESVEST.P (Desv std) y PROMEDIO (media) en Microsoft Excel, para luego dividirlos (CV), aplicando estilo porcentual.

Años	SERIE P	SERIE T
	PP TOTAL	T° MEDIA
1916	1883,0	10,97
1917	1362,0	11,74
1918	2107,4	10,58
1919	2448,9	10,47
1920	2352,3	10,18
1921	2498,3	9,98
1922	1623,1	11,11
1923	1793,0	10,77
1924	1862,3	10,26
1925	1994,2	10,28
1926	2437,6	10,61
Desv std	355,439414	0,47754632
Media	2032,9	10,6
CV	17%	4%

Tabla N°18: Ejemplo de cálculo de CV entre los años 1916-1926 de las series p y t de Puerto Montt.
Fuente: Elaboración propia.

Llasat, *et al.*, (2010), proponen 6 categorías de clasificación para el CV (%) (tabla N°19).

Muy alto	>35
Alto	30-34
Moderadamente alto	25-29
Moderado	20-24
Bajo	15-19
Muy bajo	<15

Tabla N°19: Clasificación del CV. *Fuente:* Llasat, *et al.*, 2010.

- Índice de Irregularidad Temporal (S_1)

El orden cronológico de los datos es una característica esencial del comportamiento temporal del elemento considerado, cualidad que no es considerada por el CV, de hecho, dispersión estadística e irregularidad temporal no son equivalentes, pues es este último considera la estructura temporal de la serie, y por ello, la variabilidad de la misma (Martín-Vide, 2003). En la construcción de estos índices, el elemento clave es cuantificar los “saltos” entre valores consecutivos, procedimiento que se vuelve complejo cuando intervienen series de longitudes distintas o de valores muy diferentes. Martín-Vide (2003) menciona que, al considerarse los cocientes entre los totales consecutivos, se genera un índice de disparidad consecutiva simbolizado por S_1 (9):

$$S_1 = (\sum |\ln (P_{(i+1)} / P_i)|) / (n - 1)$$

(9)

es decir, la sumatoria resultante de los cocientes de las diferencias absolutas de las precipitaciones de años sucesivos, dividido el valor por la longitud de la serie menos la unidad (Figuroa, 2014). En resumen, el S_1 cumple algunas propiedades representadas en la tabla N°20.

<p>1) $S_1 = 0 \leftrightarrow x_i = x_{i+1}, \forall_i$</p> <p>2) En una serie con media no nula $S_1 = 0 \leftrightarrow CV = 0$</p> <p>3) Para un conjunto dado de valores, S_1 es mínimo en los casos en que su sucesión cronológica coincide con una ordenación creciente o decreciente de cantidades.</p> <p>4) Si $x_{(i+1)} = \alpha \cdot x_i, \forall_i = 1, \dots, n - 1 \rightarrow S_1 = \ln \alpha$</p> <p>5) Si $x_{(i+1)} = x_i \cdot (1 \pm (\mu/100)), \mu < 100 \rightarrow S_1 = \sum ((\mu/100)^k / k), \mu < 100$</p>
--

Tabla N°20: Propiedades del índice de irregularidad temporal S_1 . **Fuente:** Martín-Vide, 2003.

La tabla N°21 muestra un ejemplo de cálculo de S_1 para los mismos 20 años de la *serie p* de Puerto Montt. Primero se calculan los cocientes de cada valor dividido por el anterior (cociente); Segundo, se hallan los logaritmos neperianos (ln) del cociente anterior; Tercero, se expresan los logaritmos anteriores en valor absoluto (abs); Cuarto, se suman dichos absolutos y finalmente, la suma se divide por el valor por la longitud de la serie menos la unidad (S_1).

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

PUERTO MONTT		S ₁		
Años	PP TOTAL	Cociente	ln	abs
1907	1785	-	-	-
1908	1649,3	0,92	-0,08	0,08
1909	1477	0,90	-0,11	0,11
1910	1863,7	1,26	0,23	0,23
1911	1613,8	0,87	-0,14	0,14
1912	2016,2	1,25	0,22	0,22
1913	1823,9	0,90	-0,10	0,10
1914	1928	1,06	0,06	0,06
1915	2412,2	1,25	0,22	0,22
1916	1883	0,78	-0,25	0,25
1917	1362	0,72	-0,32	0,32
1918	2107,3	1,55	0,44	0,44
1919	2448,9	1,16	0,15	0,15
1920	2352,3	0,96	-0,04	0,04
1921	2498,3	1,06	0,06	0,06
1922	1623	0,65	-0,43	0,43
1923	1792,9	1,10	0,10	0,10
1924	1862,3	1,04	0,04	0,04
1925	1994,1	1,07	0,07	0,07
1926	2437,6	1,22	0,20	0,20
1927	1937,1	0,79	-0,23	0,23
		Suma		3,49
		S₁		0,17

Tabla N°21: Ejemplo de cálculo de S₁ para los primeros 20 años de la serie p de Puerto Montt. **Fuente:** Elaboración propia.

Al igual que con el CV, Llasat, *et al.*, (2010), proponen 6 categorías del S₁ (tabla N°22).

Tabla N°22: Clasificación del S₁. **Fuente:** Llasat, *et al.*, 2010.

Muy alto	0,40
Alto	0,35-0,39
Moderadamente alto	0,30-0,34
Moderado	0,25-0,29
Bajo	0,20-0,24
Muy bajo	<0,20

- Índice de Concentración de Precipitaciones (PCI)

El comportamiento de las precipitaciones, ya sea en cantidad anual, variación estacional o la duración de la estación lluviosa de un año, es decir, si las precipitaciones se concentran en un periodo corto o no, es lo que define este índice (Schulze, 1997 en Pizarro, *et al.*, 2008). Oliver (1980), con el fin de estimar la agresividad de las precipitaciones a partir de la variabilidad temporal de las precipitaciones mensuales, propuso el Índice de Concentración de precipitaciones (10):

$$PCI = 100 \frac{\sum Pi^2}{Pa^2}$$

(10)

Es decir, el cociente entre la suma de las precipitaciones mensuales (Pi) al cuadrado y la precipitación anual (Pa) al cuadrado, expresado en porcentaje. Los mayores valores del PCI indican alta estacionalidad (grandes diferencias entre temporadas lluviosas y secas), valores pequeños son representativos de uniformidad en las precipitaciones durante todo el año (tabla N°23) (González , 2011).

Irregular	50-100
Altamente estacional	20-50
Estacional	15-20
Moderadamente estacional	10-15
Uniforme	8,3-10

Tabla N°23: Clasificación del PCI. **Fuente:** (Velasco & Cortés, 2009)

La tabla N°24 expresa un nuevo ejemplo de cálculo de PCI para el año 1907 de Puerto Montt. Primero, se replican las precipitaciones acumuladas mensuales elevadas al cuadrado (Pi²), y se suman (∑Pi²), luego, se calcula la precipitación anual elevada al cuadrado (Pa²). Ambas se dividen, se redondean con un decimal y se clasifican de acuerdo a la tabla N°23.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

1907	Pi	Pi²
ENE	57	3249
FEB	126	15876
MAR	83	6889
ABR	89	7921
MAY	191	36481
JUN	363	131769
JUL	212	44944
AGO	203	41209
SEP	181	32761
OCT	106	11236
NOV	39	1521
DIC	135	18225
Totales	3186225	352081

$\sum Pa^2$ $\sum Pi^2$

PCI	11,05009847
REDONDEO	11,1
CLASIFICACIÓN	Moderadamente estacional

Tabla N°24: Ejemplo de cálculo de PCI para el año 1907 de la serie p de Puerto Montt. **Fuente:** Elaboración propia.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

IV.1. Obtención de series datos pluviométricos y térmicos más largas posibles para el área de estudio

IV.1.a. Precipitación

Mediante la recopilación y relleno de montos de precipitación mensual, se obtuvo una base de datos con 12 series de 110 años, desde 1907 al 2016. La tabla N°25 especifica los meses rellenados para cada estación. Las series originales más el relleno equivalen a 15.840 meses, de los cuales un 32% es original, mientras que el 68% restante fue relleno (figura N°45).

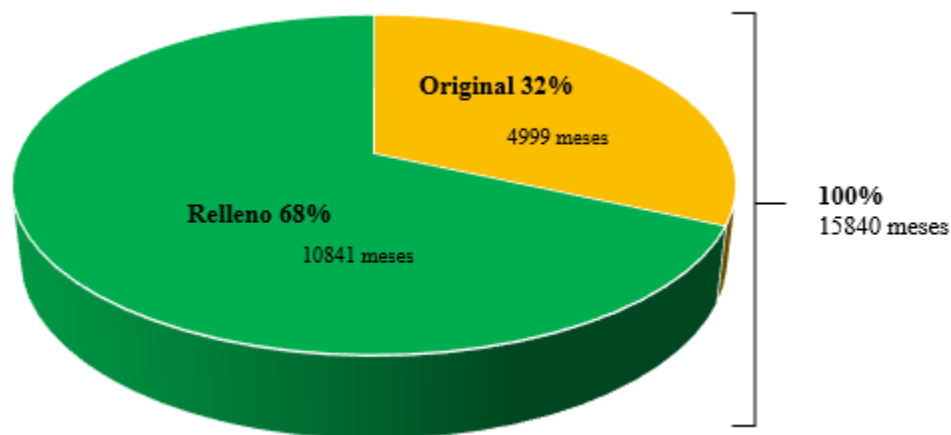


Figura N°45: Porcentaje de datos originales y rellenados de las 12 series pluviométricas trabajadas.

Fuente: Elaboración propia.

En específico, la serie de Puerto Montt fue la que mayor porcentaje de datos originales mantuvo, teniendo que rellenarse solo el 3% de la serie, seguida por Ancud con el 37% de meses completados, Castro con 46% y Tres Cruces con un 51%. Por el contrario, la estación de Chonchi mantuvo solo un 5% de meses originales, mientras que el 95% restante es producto del proceso del relleno, seguidas por las series de Butalcura y Huyar Alto que fueron rellenadas en un 93%, Huinay con un 88%, Hornopirén y Chonchi con el 86 y 85% respectivamente.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

N°	Estación	Lat S	Long W	Años de serie original	Relleno
1	Puerto Montt	-41,43	-73,09	1861-2016	1873-1887; ago-dic/1895; 1903-1906; ene-may y ago/1908; may-ago/1918; ene-jul/1922; sep-dic/1923; jun-dic/1927; ene-may/1928
2	Tres Cruces	-41,83	-73,48	1913-1968	Ene-mar/1913; 1919; 1921: ene/1941; jul/1944
3	Ancud	-41,86	-73,81	1900-2016	May-jul/1901; dic/1906; ene y feb/1907; oct-dic/1909; 1910; 1911; ene y feb/1912; 1915-1925; nov/1928; ene-abr/1929; abr y jul/1963; sep; nov y dic/1964; feb/1967; nov/1968; 1969-1991; ene y feb/1992; abr y may/1995; mar y sep-dic/1996; ene-sep/1997; dic/1998; ene-abr/1999; abr y may/2004; abr/2005; ene/2006; ene/2009; jul-dic/2016
4	Hornopirén	-41,93	-72,43	1997-2016	Ene-mar/1997; jul/2003; ago/2005; ago-dic/2012; ene-oct/2013; dic/2013; ene-abr/2016
5	Quemchi	-42,14	-73,47	1999-2016	Ene-oct/1999; jul-dic/2016
6	Butalcura	-42,26	-73,66	2009-2016	-
7	Huinay	-42,37	-72,41	2002-2015	Ago/2004; abr-jun/2005; nov y dic/2012; nov y dic/2013; ene-may/2014
8	Huyar Alto	-42,4	-73,56	2009-2016	-
9	Castro	-42,45	-73,44	1912-2016	Ene y feb, sep-dic/1912; ene-abr y oct-dic/1913; sep y nov/1915; abr-dic/1916; 1917-1924; ene-sep/1925; 1927; sep-dic/1934; 1935-1936; ene/1937; ene/1941; oct-dic/1950; ene-may/1951; ene-may, jul y dic-1952; ene-may, sep, oct y dic/1953; jul/1964; nov/1968; 1969-1982; ene-nov/1983; dic/1987; 1988-1991; ene y feb/1992; dic/2000; dic/2003; ene-abr, jun, jul y dic/2004; ene-mar y jul-dic/2005; ene-oct y dic/2006; 2007; ene-mar, ago, sep, nov y dic/2008; ene-mar y may-dic/2009; 2010-2014; ene-mar y may-dic/2016
10	Achao	-42,47	-73,49	1980-2013	Nov/1980; 1985; sep-nov/1986; 1989 y 1990; dic/1997; 1999; ene/2000; ene y feb/2005; sep y oct/2008; feb/2009; ago-dic/2011; mar/2013
11	Chonchi	-42,62	-73,77	2010-2016	Ene-abr/2010; dic/2011; feb/2013; jul-dic/2016
12	Chaitén	-42,93	-72,7	1965-2008	Ene-oct/1965; oct-dic/1966; 1967-1975; ene-may/1976; may-dic/2008

Tabla N°25: Detalle de vacíos de datos de precipitación rellenados por estación pluviométrica. **Fuente:** Elaboración propia.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

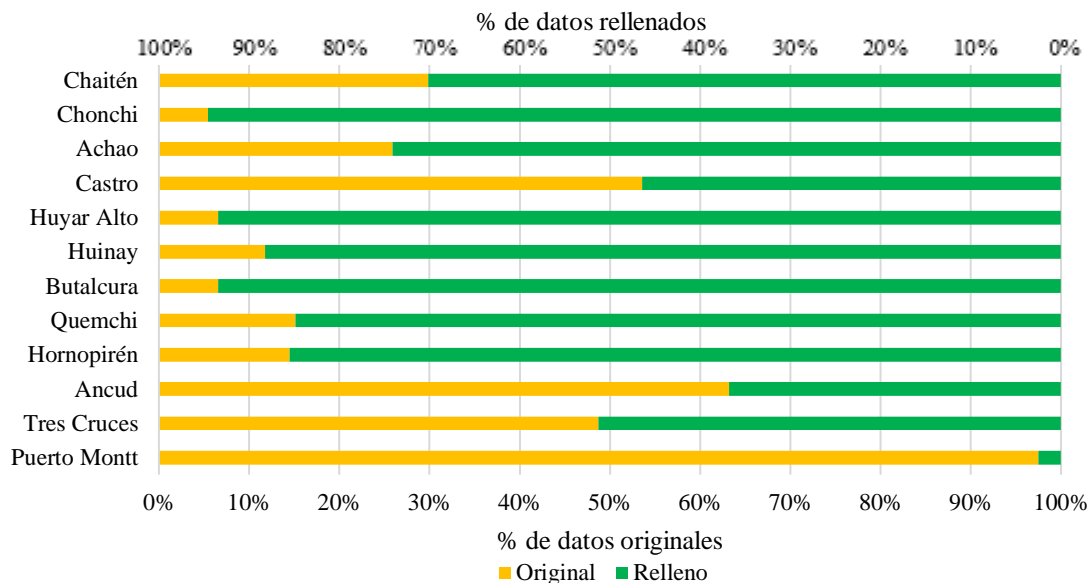


Figura N°46: Porcentaje de meses con datos originales y rellenos de las estaciones pluviométricas trabajadas. **Fuente:** Elaboración propia.

8 de las 12 estaciones (Hornopirén, Quemchi, Butalcura, Huinay, Huyar Alto, Achao, Chonchi y Chaitén) no presentaban datos originales antes de 1990 aproximadamente, por lo que gran parte del relleno se concentró en el inicio de la serie. Por el contrario, solo Tres Cruces, Ancud y Castro presentaba datos originales en los primeros años de la serie, teniendo que rellenar la sección más actual. Hornopirén, Quemchi, Butalcura, Huyar Alto, Chonchi y Chaitén fueron las estaciones que presentaron las menores lagunas entre años y meses, teniendo sus series originales más compactas en el tiempo. La figura N°47 emplaza temporalmente datos rellenos y originales.

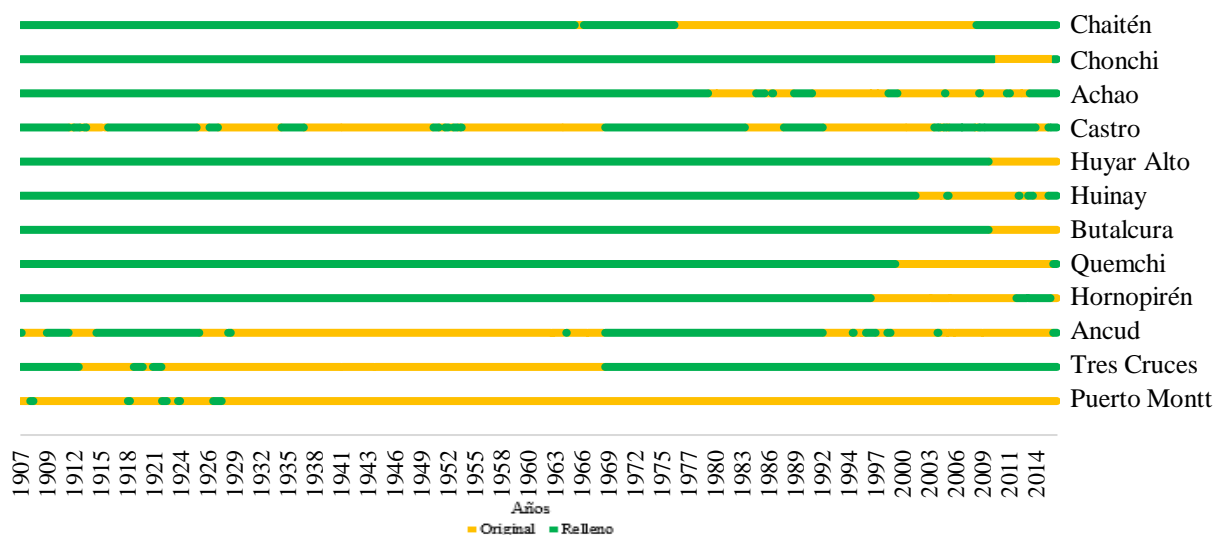


Figura N°47: Años con datos originales y rellenos de las estaciones pluviométricas. **Fuente:** Elaboración propia.

El anexo digital N°1 contiene la base de datos de precipitación acumulada mensual resultante.

IV.1.b. Temperatura

Aunque los datos de temperatura fueron sometidos al mismo procedimiento de relleno que la precipitación, la serie final aun presenta vacíos, los que fueron imposibles de rellenar, ya sea por la inexistencia de datos en la serie que sirvió como variable independiente principal (Puerto Montt) o por correlaciones estadísticas muy por encima del umbral estimado como estadísticamente aceptable ($<0,05$). De esta forma se logró una base de datos de temperatura mensual en °C para 8 estaciones. La tabla N°26 especifica los meses rellenados para cada estación.

El total ideal equivalente a 101 años (1916-2016) de cada serie de temperatura son 9.696 meses, sin embargo, el total real alcanzado fueron 9.602 meses con registro de temperatura. Es decir, el 29% de las series corresponde a datos originales, mientras que el 70% se obtuvo mediante técnicas de relleno, existiendo un 1% de datos faltantes (figura N°48).

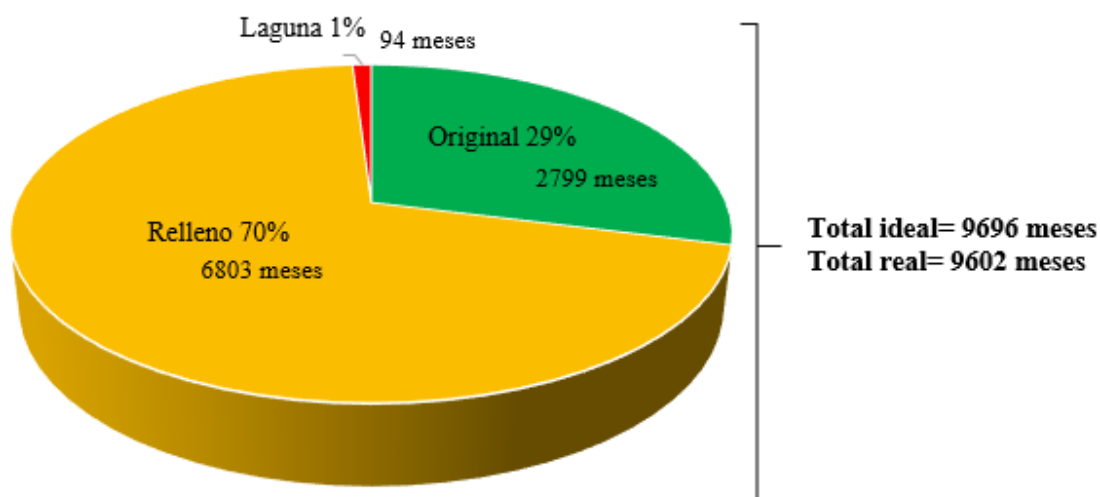


Figura N°48: Porcentaje de meses con datos originales, rellenados y lagunas de las estaciones de temperatura trabajadas. **Fuente:** Elaboración propia.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

N°	Estación	Lat S	Long W	Años de serie original	Relleno
1	Puerto Montt	-41,43	-73,09	1916-2016	1918; ene-jul/1922; 1923; ago/1925; jun-dic/1927; ene-may/1928; sep/1948; jul-sep/1951; dic/1957; jun/1961
2	Maullín	-41,61	-73,53	1921-1958	Ene-mar/1921; 1943; 1945; 1947; abr/1953; 1956-1957; ene y feb, oct-dic/1958
3	Punta Corona	-41,78	-33,86	1916-1970	Mar/1925; 1947-1953; ene-ago/1954; may/1955; 1957; 1960-1967; ene-jun/1968; jul-nov/1970
4	Ancud	-41,86	-73,81	1958-1985	Feb y mar/1958; ene/1959; 1960-1962; mar/1968; 1969; oct/1972; ene, feb, jul y ago/1973; sep/1976; feb-abr/1979; mar/1980; abr-oct/1983; 1984; mar-oct/1985
5	Morro Lobos	-42,06	-73,4	1916-1926	Sep/1919; ago y sep/1925; jun-dic/1926
6	Huinay	-42,37	-72,41	2005-2015	May/2005: nov y dic/2012: nov y dic/2013; ene-may/2014
7	Castro	-42,45	-73,44	1958-1983	1960-1962; abr/1964; jul-nov/1966; 1971-1978; abr-oct/1983
8	Chaitén	-42,93	-72,7	1976-2002	Ene-may/1976; ene y oct-dic/1977; ene y ago/1982; abr-oct/1983; 1984-1992; mar-oct/1995; oct-dic/2001; ene-mar y may-dic/2002

Tabla N°26: Detalle de vacíos de datos de temperatura rellenados por estación. **Fuente:** Elaboración propia.

Todas las series de temperatura presentan un vacío común en el mes de junio de 1961. Puerto Montt, Maullín Punta Corona, Ancud, Morro Lobos, Huinay y Castro poseen un 0,1% de faltas, equivalente a mes de junio de 1961. El caso de Chaitén es aún más desfavorecido ya que presenta lagunas en el mes de enero de todos los años de la serie, acumulando un 7% de faltas, equivalente a 87 meses sin datos (figura N°49).

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

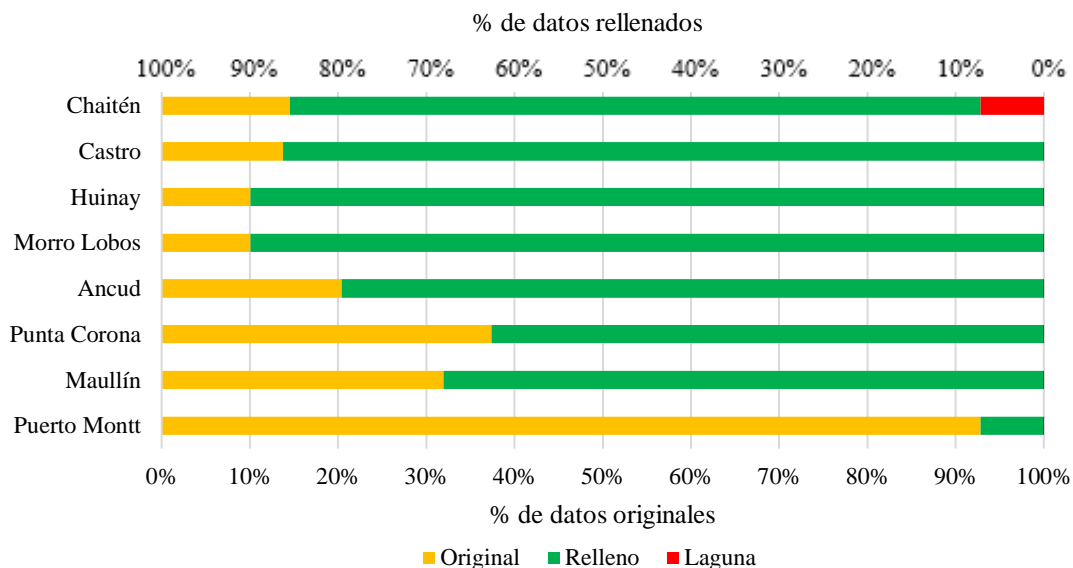


Figura N°49: Porcentaje de datos originales y rellenos de las 8 series de temperatura trabajadas.
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al porcentaje de datos originales, Puerto Montt presenta la mayoría, conservando un 92%, relleno solo el 7%. Le siguen las estaciones de Punta Corona con un 37% y Maullín con un 31%. Por el contrario, aquellas estaciones con mayor porcentaje de datos rellenos corresponden a Morro Lobos y Huinay con 89% cada una, seguido por Castro con 86%, Ancud (79%) y Chaitén (78%).

La figura N°50 presenta en detalle la temporalidad de los datos originales y rellenos de la serie de temperatura mensual. No es posible advertir los vacíos constantes que posee la serie debido a que la figura está a escala anual, sin embargo, estos existen. Maullín, Punta Corona, Morro Lobos y Huinay se presentan como las únicas estaciones con datos originales algo más compactos temporalmente, sin demasiado relleno entre datos propios, mientras que Ancud, Castro y Chaitén son series cortas y con varias lagunas en medio de la serie original.

El anexo digital N°1 contiene la base de datos de temperatura media mensual resultante.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

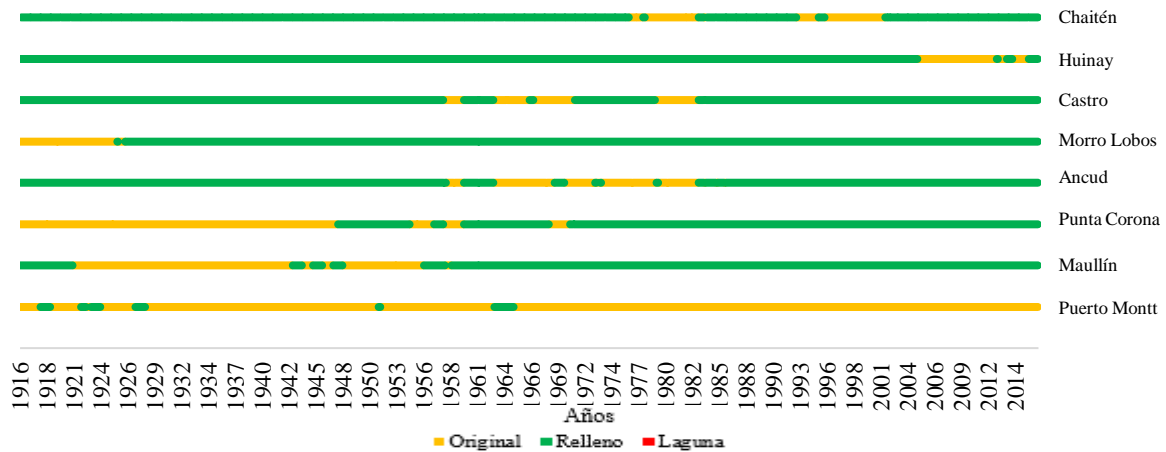


Figura N°50: Años con datos originales y rellenados de las estaciones térmicas. **Fuente:** Elaboración propia.

IV.2. Comparación de resultados de tendencias de precipitación con los escenarios de cambio climático en Chile y sus efectos en el área de estudio

IV.2.a. Escenarios de cambio climático para Chile

De acuerdo a las tendencias climáticas del S.XX presentadas por la Comisión Nacional de Medio Ambiente (2006b), la precipitación estacional dividida en trimestres presenta la típica diferenciación estival-invernal de precipitación acumulada para el área de estudio, con los menores valores en verano (DEF) y mayores en invierno (JJA). De acuerdo a la figura N°51, y tomando en cuenta la coloración morada que representa más de 150 cm de precipitación (1500 mm), en verano no existe ninguna zona coloreada con dicho tono, mientras que en las

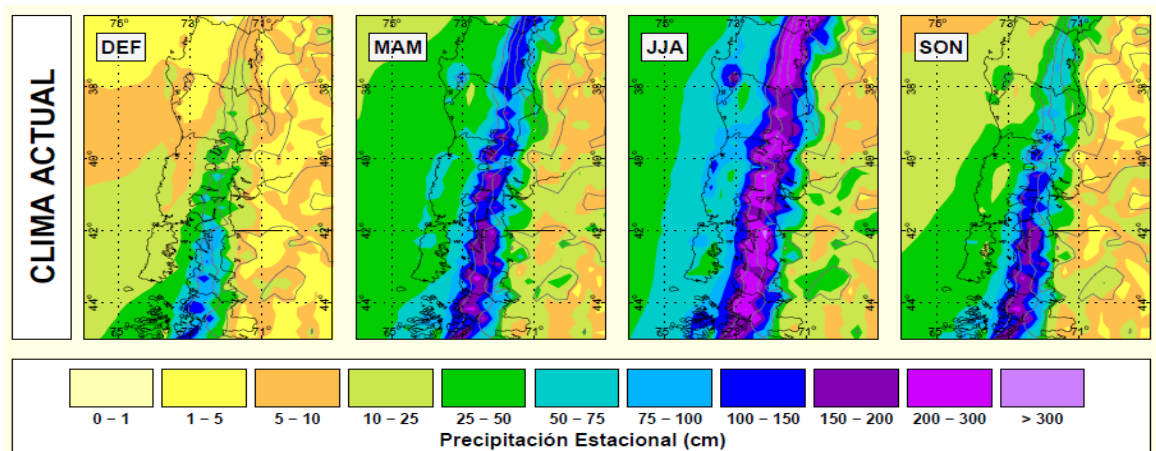


Figura N°51: Precipitación estacional en la región sur de Chile (36-45°S). **Fuente:** Comisión Nacional de Medio Ambiente, 2006b.

estaciones restantes la “mancha morada” se extiende cada vez más, haciéndose mayor en invierno, abarcando prácticamente toda la línea de la precordillera y cordillera. Específicamente en el golfo de Ancud, durante el verano alcanza precipitaciones entre los 25-50 cm (250-500 mm), mientras que en el fiordo Comau llueve entre 75-100 cm (750-1000 mm). En invierno, el golfo recibe entre 75-100 cm de precipitaciones, mientras que en el fiordo las precipitaciones superan los 100 cm, siendo mayores a 300 cm en las zonas altas (3.000 mm).

El informe también indica que entre los 30-39°S ocurrió una marcada tendencia negativa de las precipitaciones, revertida a partir de 1970 aproximadamente, con un máximo de invierno lluviosos entre 1955-1985, situación opuesta a lo que ocurrió en las regiones centro-sur y sur de Chile, donde a partir de 1970 ha ocurrido un descenso del régimen pluviométrico mantenido hasta la actualidad, muy definido entre los 39-45°S. Para el caso de las 12 estaciones pluviométricas empleadas en este análisis, todas presentaron una tendencia lineal negativa: Huinay, Hornopirén y Chaitén fueron las estaciones con mayores pendientes de recta (tendencia lineal) negativas. Por el contrario, Castro, Achao y Chonchi obtuvieron las menores pendientes, mostrando precipitaciones estacionarias.

Por otro lado, analizando cada estación por separado y comparando los peaks de precipitación antes y después del año 1970, se obtuvo que en:

Puerto Montt: (figura N°52) antes de 1970, 10 meses superaron los 400 mm, con un máximo de 684 mm en junio de 1930 y un mínimo de 2 mm en enero de 1941. Después de dicho año, solo un mes superó esta cifra (jul/1978=423,6 mm) y en diciembre del '95 se registró la menor precipitación con 9 mm.

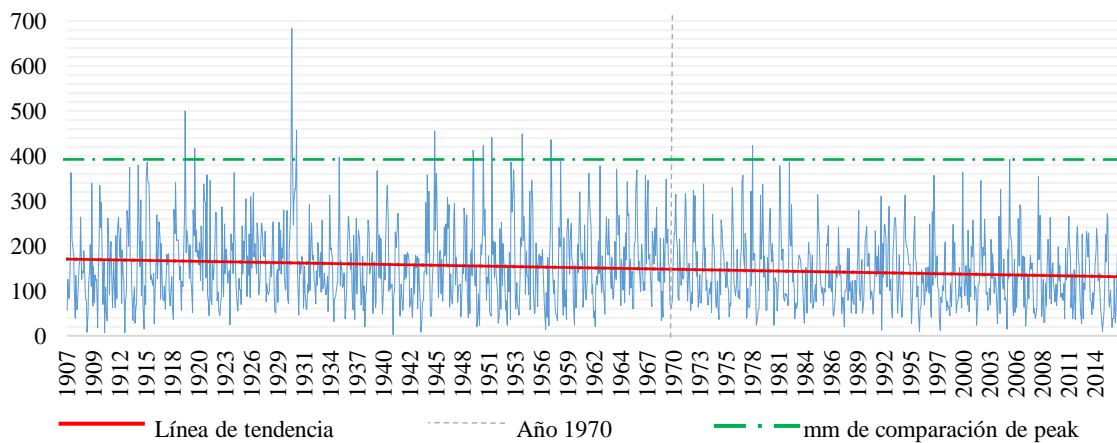


Figura N°52: Precipitación acumulada mensual (mm) de Puerto Montt entre 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

Tres Cruces: (figura N°53) la situación anterior se marca aún más, ya que es notoriamente visible la disminución de peak sobre los 500 mm, existiendo 4 meses sobre dicha cifra, 2 meses sobre los 600 mm y un mes sobre los 700 (jun/1948=743 mm), mientras que el mínimo ocurrió durante enero de 1945 con 7 mm. Luego de 1970, apenas 4 meses sobrepasan los 400 mm, siendo el máximo 444 mm en mayo del 2005 y el mínimo en noviembre del 2012 (27 mm).

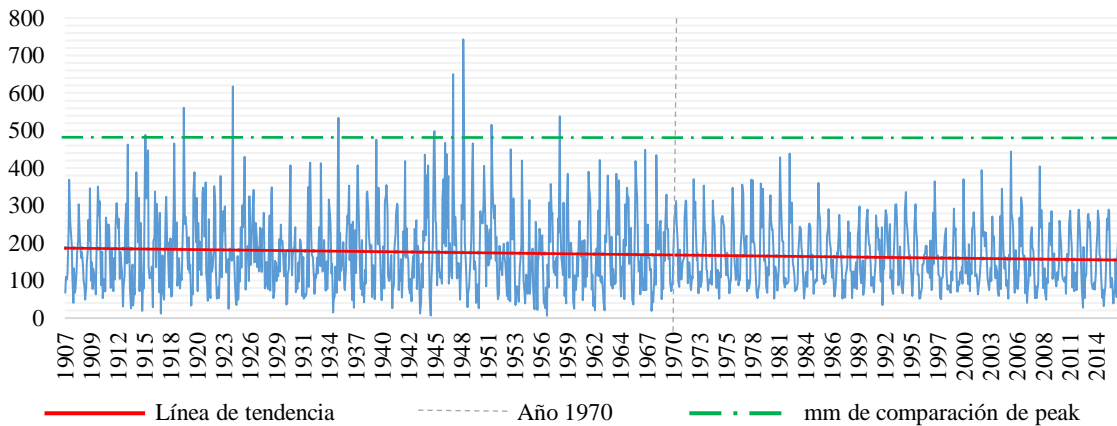


Figura N°53: Precipitación acumulada mensual (mm) de Tres Cruces entre 1907-2016. Fuente: Elaboración propia.

Ancud: (figura N°54) antes del '70 ocurrieron 14 peak de 500 mm, con un máximo de 595 mm en julio de 1913 y mínimo en enero del '41 (3 mm). Posterior a 1970, apenas 3 meses superaron los 500 mm, siendo el máximo los 563 mm caídos durante julio del 2008 y el mínimo 0,9 mm en febrero de 1998.

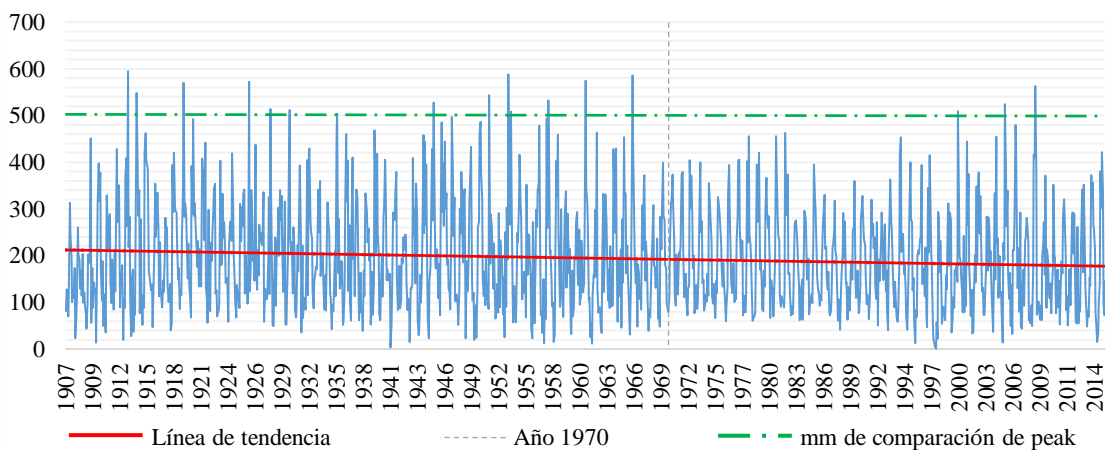


Figura N°54: Precipitación acumulada mensual (mm) de Ancud entre 1907-2016. Fuente: Elaboración propia.

Hornopirén: (figura N°55) antes de 1970 existieron 4 peak de meses lluviosos sobre los 1.000 mm, siendo el máximo 1.430 mm en diciembre de 1930 y el mínimo, 16 mm en diciembre de 1910. Luego de 1970 solo en agosto del 2016 se acumularon más de 1.000 mm (1272 mm) mientras que en noviembre del 2012 ocurrió el mínimo con 12 mm.

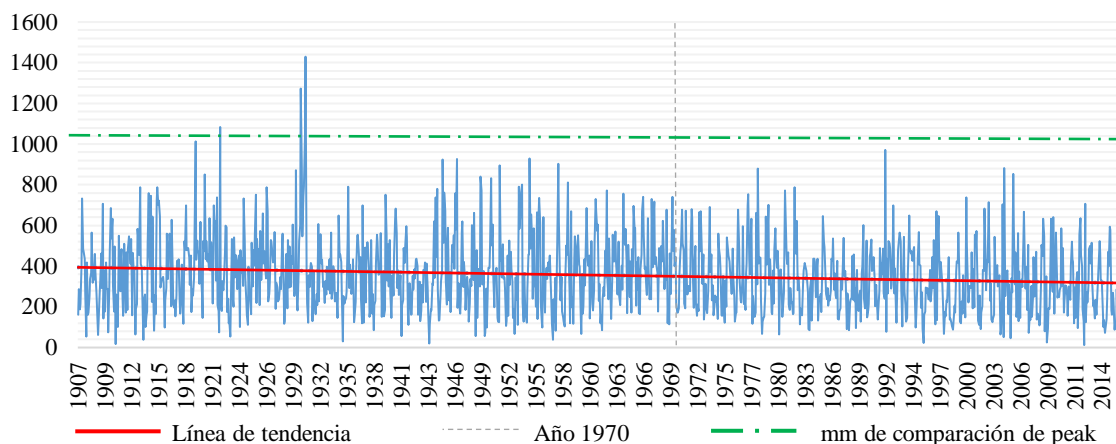


Figura N°55: Precipitación acumulada mensual (mm) de Hornopirén entre 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

Quemchi: (figura N°56) 3 peak sobre los 700 mm ocurrieron antes de 1970, siendo el máximo en junio de 1930 (937 mm) y el mínimo en enero del 1913 (4 mm). Luego del '70, tan solo en julio de 1978 llovió sobre los 700 mm (733 mm específicamente) y en febrero del 2005 ocurrió el mínimo con 10 mm.

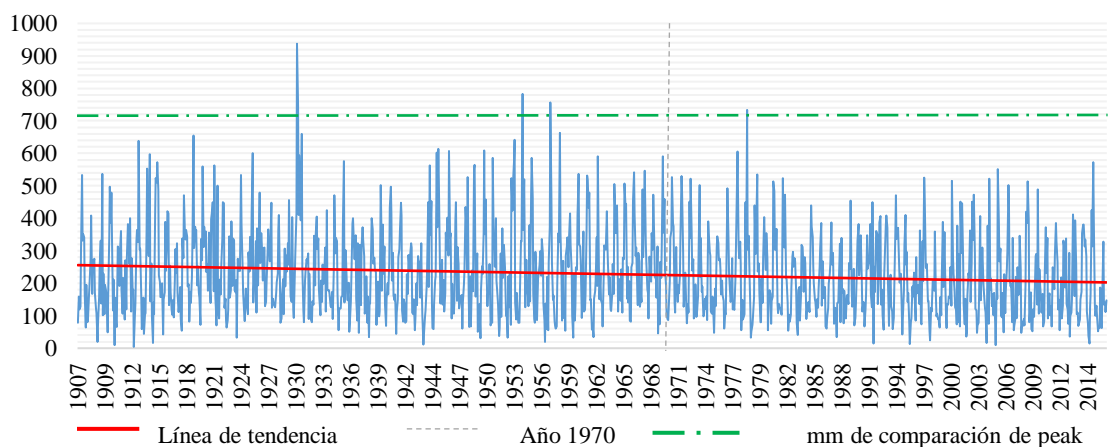


Figura N°56: Precipitación acumulada mensual (mm) de Quemchi entre 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

Butalcura: (figura N°57) ocurrió una situación similar que la estación de Quemchi, con 3 meses sobre los 700 mm antes de 1970, siendo el máximo el mes de junio de 1930 con 944 mm y el mínimo 5 mm en enero de 1923. Luego de 1970, solo en julio de 1978 llovieron 730 mm y el mínimo ocurrió en diciembre del '95 con 4 mm.

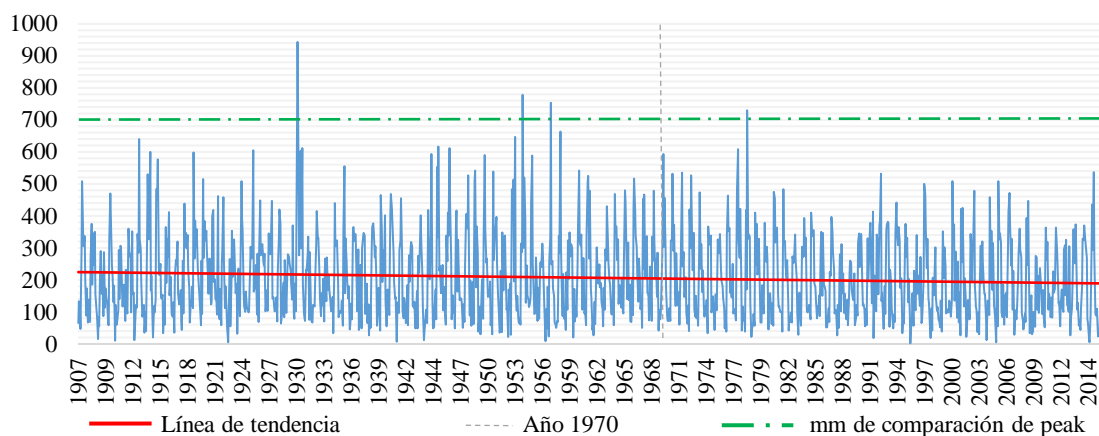


Figura N°57: Precipitación acumulada mensual (mm) de Butalcura entre 1907-2016. Fuente: Elaboración propia.

Huinay: (figura N°58) si antes de 1970 ocurrieron 5 meses sobre los 1.400 mm, luego de ese año solo ocurrió en un mes. En el primer caso, el máximo fue en el mes de diciembre de 1930 con 1.820 mm y el mínimo en diciembre de 1956 con 19 mm. Entre 1970 hasta el 2016 solo llovió sobre los 1.400 mm en julio del '78 (1479 mm), mientras que el mínimo fue en diciembre de 1995 con 4 mm.

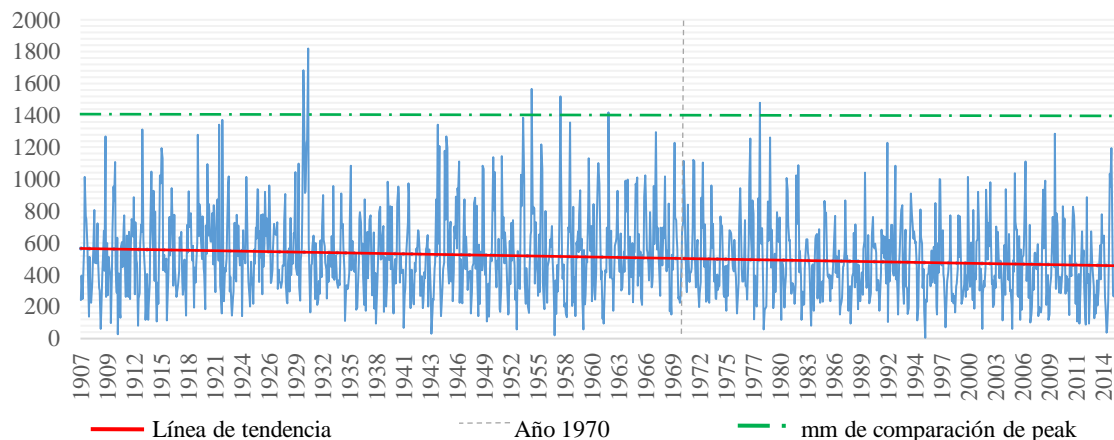


Figura N°58: Precipitación acumulada mensual (mm) de Huinay entre 1907-2016. Fuente: Elaboración propia.

Huyar Alto: (figura N°59) antes de 1970 hubieron 4 peak máximos sobre los 500 mm, junio de 1930 fue el mes más lluvioso con 533 mm y diciembre de 1956 fue el menos lluvioso con 1 mm. Luego de 1970 no existió mes alguno en el que lloviera sobre los 500 mm, siendo el máximo registrado 481 mm en julio de 1978 y el mínimo 3 mm en febrero del 2004.

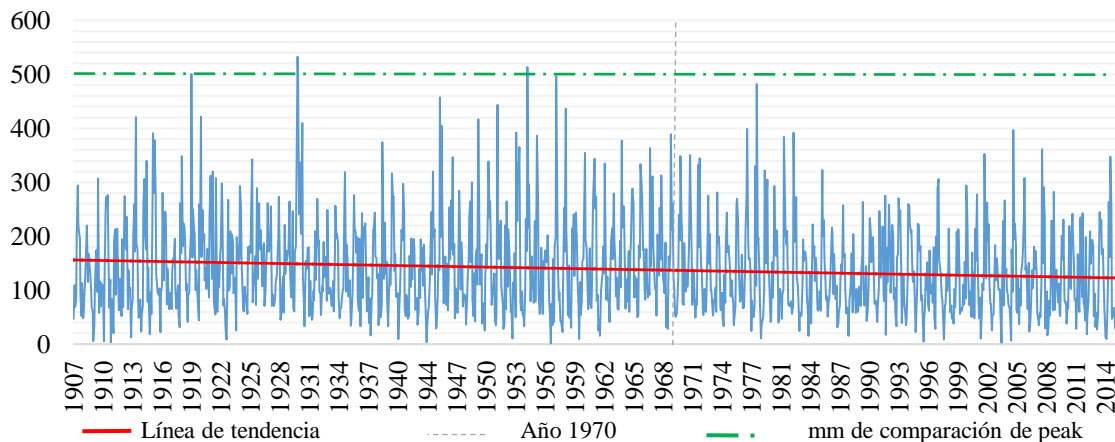


Figura N°59: Precipitación acumulada mensual (mm) de Huyar Alto entre 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

Castro: (figura N°60) entre 1907 y 1969 se registraron 10 meses sobre los 500 mm (624 mm en agosto de 1939) y el mínimo ocurrió en mayo de 1915 con 3 mm. Posterior a 1970 solo en mayo de 2005 precipitaron 528 mm y el mínimo ocurrió en febrero de 1998 con 2 mm.

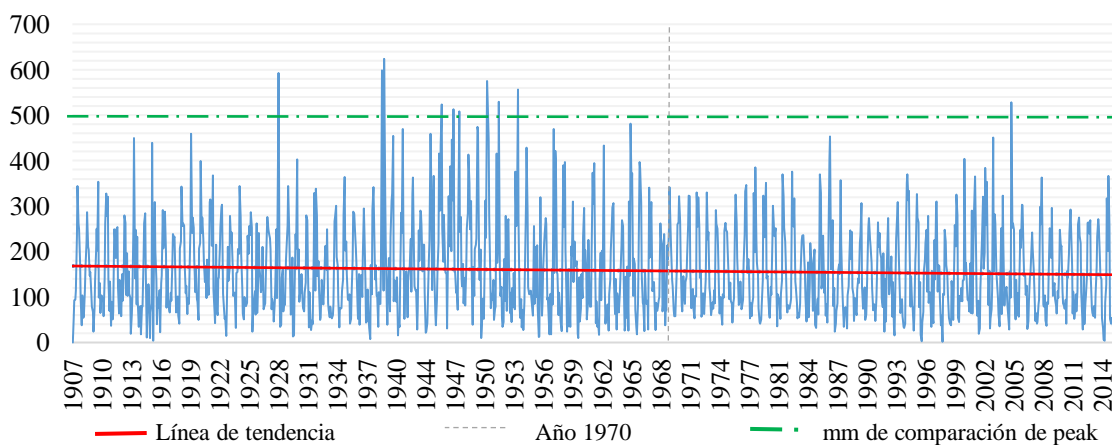


Figura N°60: Precipitación acumulada mensual (mm) de Castro entre 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

Achao: (figura N°61) la única estación en donde ocurrieron más peak de precipitación después de 1970 que antes de dicho año. Entre 1907 y 1968 hubo 2 meses sobre los 400 mm, siendo el máximo el mes de junio de 1930 con 459 mm y el mínimo en octubre de 1949 con 1,6 mm. Tres meses sobre los 400 mm ocurrieron después de 1970, en junio del 2005 sucedió el máximo de precipitación acumulada con 532 mm y el mínimo de 0,6 mm fue en enero de 1998.

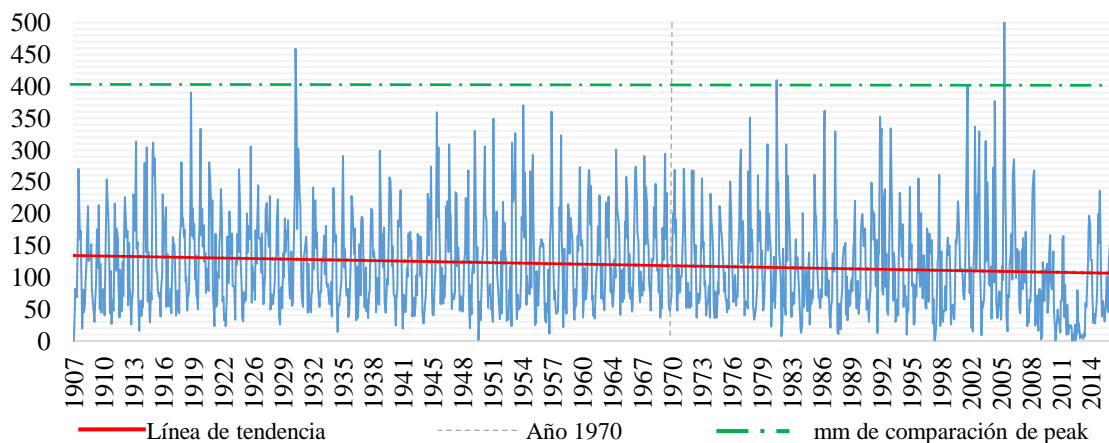


Figura N°61: Precipitación acumulada mensual (mm) de Achao entre 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

Chonchi: (figura N°62) antes del '70 ocurrieron 2 meses donde precipitaron más de 500 mm (554 mm en junio de 1930), mientras que el mínimo ocurrió en febrero de 1962 con 4 mm. Luego de 1970, ningún mes superó los 500 mm, siendo el máximo 409 mm en mayo del 2005 y el mínimo en febrero del '98 con 3 mm.

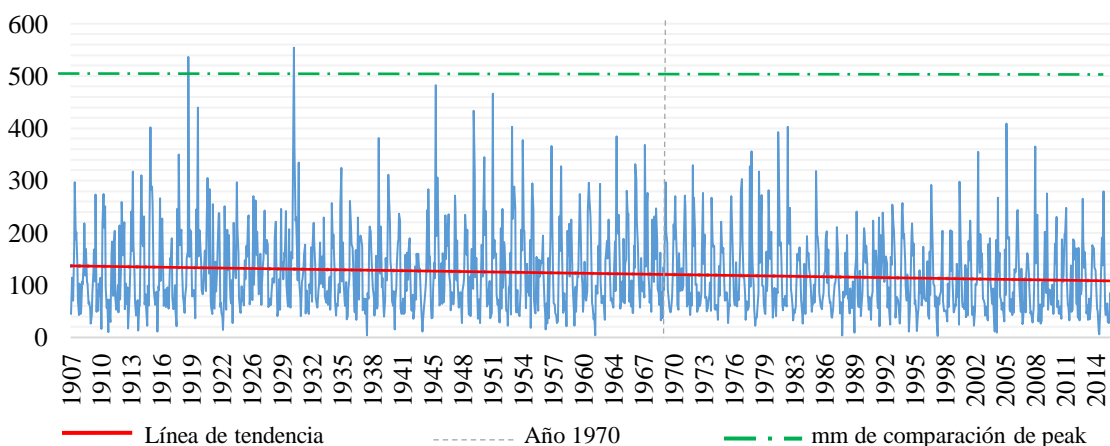


Figura N°62: Precipitación acumulada mensual (mm) de Chonchi entre 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

Chaitén: (figura N°63) antes de 1970 sucedieron 3 meses donde llovieron más de 800 mm, en junio de 1930 ocurrió el máximo con 1.078 mm, mientras que el mínimo fue en enero de 1941 con 89 mm. Luego de 1970, solo en un mes llovió más de 800 mm (junio 1977=901 mm), mientras que el mínimo ocurrió en febrero del 2005 con 59 mm.

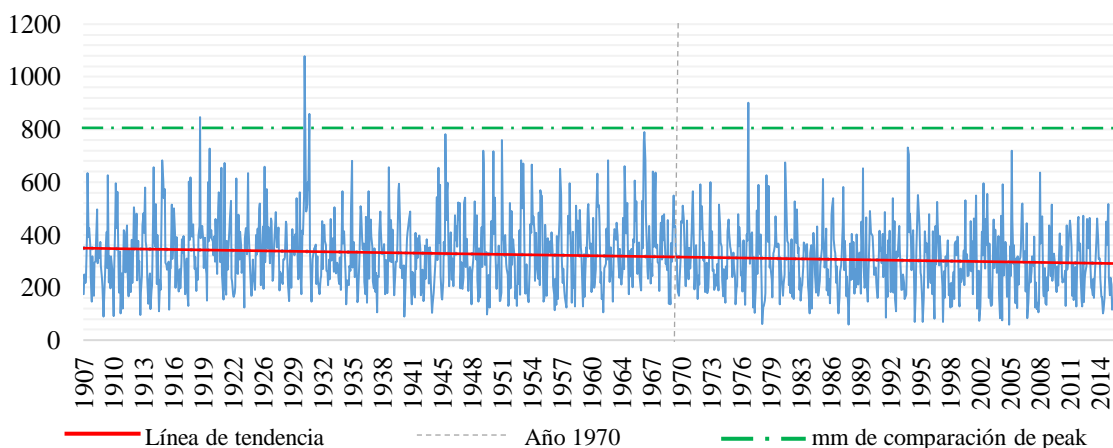


Figura N°63: Precipitación acumulada mensual (mm) de Chaitén entre 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

La situación presentada anteriormente queda mejor expresada si se analizan los periodos antes y después del año 1970 por separado. Teniendo como centro el año 1970, y considerando que la cantidad de meses entre dicho año, el inicio y término de las series no poseen el mismo rango de meses con datos de precipitación, se optó por mantener 564 meses hacia atrás y delante de 1970, dando como resultado un análisis de 1.128 meses.

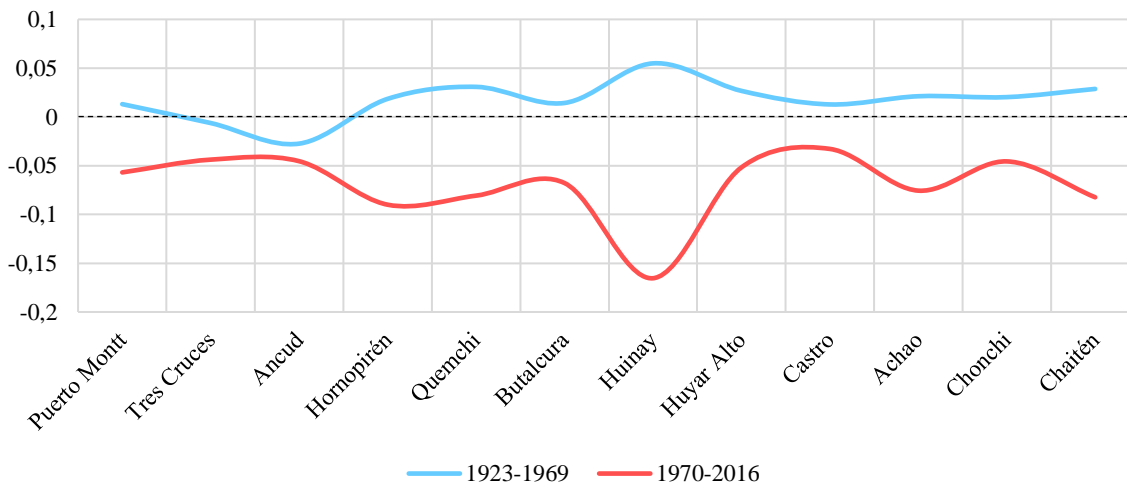


Figura N°64: Tendencia de precipitación acumulada mensual entre los periodos de 1923-1969 y 1970-2016, para todas las estaciones pluviométricas. **Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo a la figura N°64, entre 1923 y 1969, 10 de las 12 estaciones mostraron tendencias positivas de precipitación, coincidentes con lo observado en la región comprendida entre los 30-39°S de Chile. Tres Cruces y Ancud resultaron con una tendencia levemente negativa entre dichos periodos, mientras que Puerto Montt, Butalcura, Castro y Chonchi presentaron tendencias levemente positivas. Por el contrario, Huinay presentó la tendencia positiva más elevada.

Entre 1970 y 2016, todas las estaciones obtuvieron disminución de precipitaciones. Los casos más marcados ocurrieron en Huinay, Hornopirén, Achao y Chaitén. La estación de Castro fue la única que arrojó precipitaciones estacionarias en este periodo. En definitiva, el inicio de la década del '70 marcó la progresiva disminución de precipitaciones en el área de estudio, que ha permanecido en la actualidad. El anexo N°1 muestra en detalle las precipitaciones acumuladas entre los periodos 1923-1969 y 1970-2016 de cada estación pluviométrica.

Con respecto a los escenarios climáticos construidos para el Chile del siglo XXI, en términos de precipitación acumulada media estacional de la zona sur (figura N°65), se exhibe una transición (más rápida en B2) hacia los montos del clima actual durante otoño e invierno, mientras que en verano las pérdidas de pluviosidad alcanzan un 40% y en primavera se reducen en un 25% (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2006a).

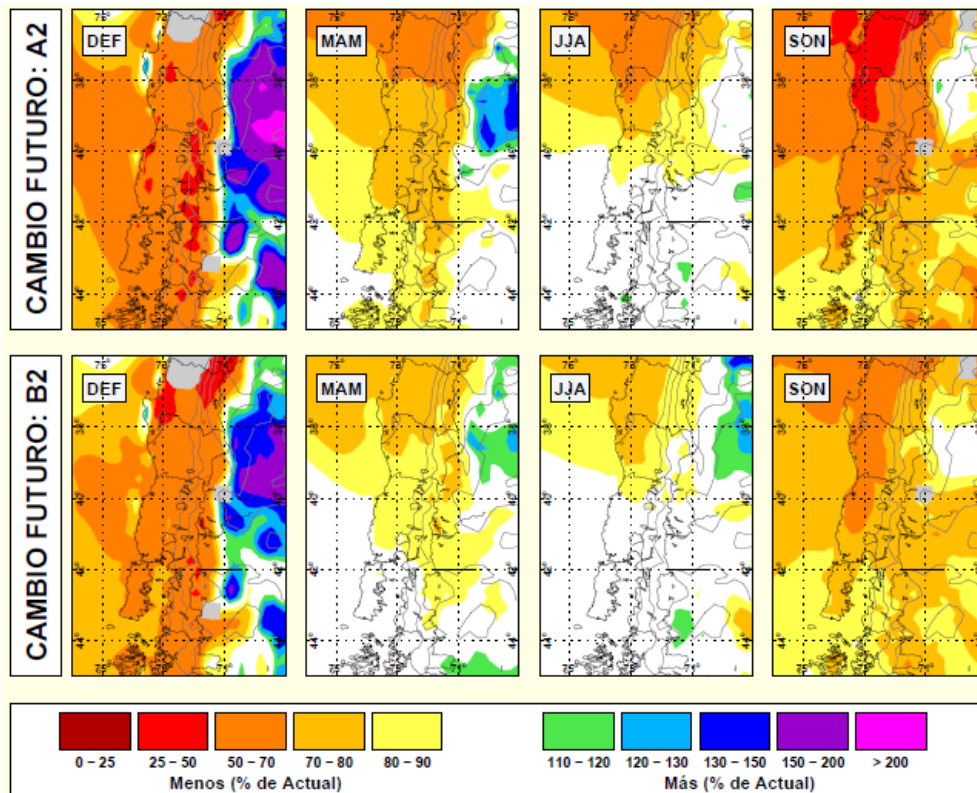


Figura N°65: Precipitación acumulada media estacional de la zona sur de Chile (36-45°S) esperable para el siglo XXI. **Fuente:** Comisión Nacional de Medio Ambiente, 2006b.

En específico, en todos los escenarios y trimestres ocurriría algún grado de reducción de precipitaciones en el área de estudio, es más, en ninguna zona del territorio chileno en la región analizada obtendría mayores precipitaciones, en contraste con lo que ocurriría en territorio argentino.

Cómo es esperable, en A2 se alcanzarían los mayores porcentajes de pérdidas de precipitación:

- En verano, el golfo de Ancud, incluyendo el fiordo Comau perderían la mitad de las precipitaciones que registran actualmente.
- En otoño, tanto el golfo, el continente y parte de la isla de Chiloé circundante a este, aparecen en el mismo tono amarillento indicativo de menos 80-90% de precipitaciones.
- Invierno en A2, en el área de estudio, experimentaría cambios inferiores al 10%, de allí que la zona no esté coloreada.
- En primavera, parte del golfo reduciría 70-80% las precipitaciones y otra parte (incluyendo el fiordo Comau) experimentaría cambios más drásticos, perdiendo entre 80-90%.

Mientras que en B2, solo se registraron cambios superiores al 10% en verano y primavera:

- En verano, el golfo reduciría entre 70-80% las precipitaciones, mientras que el territorio circundante solo perdería la mitad.
- En primavera la situación sería más dramática, ya que el área de estudio perdería entre 80-90% de precipitaciones.

IV.2.b. Análisis de tendencias mensuales

En el análisis de tendencia mediante la matriz MAKESENS, en primer lugar, se ha utilizado el test no paramétrico de *Mann-Kendall* (MK) en su versión monotónica actual para la detección de tendencia no lineal con significancia estadística (Miró, *et al.*, 2009). Este test posee la facultad de extraer tendencias confiables sin necesidad de un alto número de muestras, con gran tolerancia al ruido de la serie, además, utiliza un test estadístico Z para la detección de tendencias cuando el número de muestras es grande, es decir, mayor a 40 años, como es el caso de esta memoria. Además, el *Mann-Kendall* se complementa con la estimación *Sen* de pendiente de tendencia (*ibid*). Hirsch, *et al.*, (1982) indican que la prueba MK se ve mejor como un análisis exploratorio y se utiliza para identificar las estaciones donde los cambios son significativos o de gran magnitud y cuantificar estos hallazgos. Previo a la presentación de los resultados obtenidos mediante MK, la figura N°66 esquematiza, a modo de recordatorio, las distintas variables creadas para este análisis.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

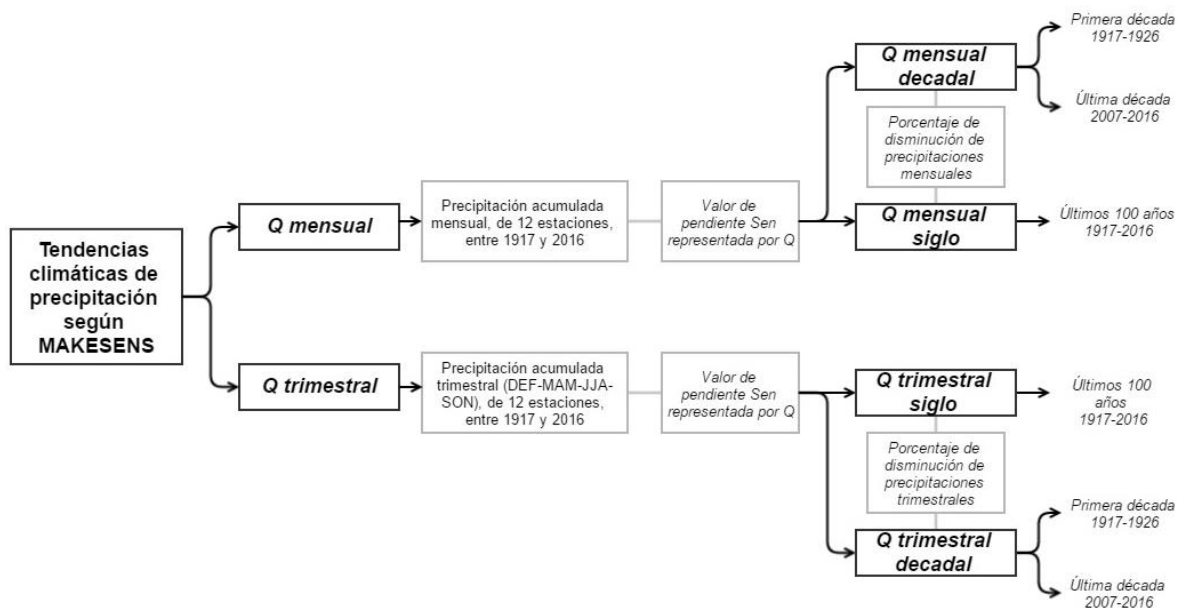


Figura N°66: Diagrama de variables creadas para análisis de tendencias MK. **Fuente:** Elaboración propia.

La tabla N°27 especifica los resultados obtenidos al aplicar MK y Sen a las 12 estaciones pluviométricas entre los años 1917 y 2016, o lo que se denominó como *Q mensual*.

N°	Estación	Lat S	Long W	Símbolo	Valor Sig.	% Sig.	Clasificación
1	Puerto Montt	-41,43	-73,09	***	0,001	99,90%	Excelente
2	Tres Cruces	-41,83	-73,48	***	0,001	99,90%	Excelente
3	Ancud	-41,86	-73,81	***	0,001	99,90%	Excelente
4	Hornopirén	-41,93	-72,43	***	0,001	99,90%	Excelente
5	Quemchi	-42,14	-73,47	***	0,001	99,90%	Excelente
6	Butalcura	-42,26	-73,66	**	0,01	99,00%	Muy buena
7	Huinay	-42,37	-72,41	***	0,001	99,90%	Excelente
8	Huyar Alto	-42,4	-73,56	***	0,001	99,90%	Excelente
9	Castro	-42,45	-73,44	**	0,01	99,00%	Muy buena
10	Achao	-42,47	-73,49	*	0,05	95%	Buena
11	Chonchi	-42,62	-73,77	***	0,001	99,90%	Excelente
12	Chaitén	-42,93	-72,7	***	0,001	99,90%	Excelente

Tabla N°27: Resultados de aplicación de matriz MAKESENS a registros de precipitación entre 1917-2016 (*Q mensual*). **Fuente:** Elaboración propia.

Como queda de manifiesto en la tabla N°27, lo más importante es el nivel de significancia estadística de los resultados, pues a mayor valor, la tendencia será más confiable. Todas las estaciones sometidas al proceso resultaron con una significancia estadísticamente aceptable en climatología, es decir, $>0,05$.

De las 12 estaciones, 9 presentan significancia *Excelente*, máxima categoría de acuerdo a la clasificación propuesta por Miró, *et al.*, (2009): Puerto Montt, Tres Cruces. Ancud, Hornopirén, Quemchi, Huinay, Huyar Alto, Chonchi y Chaitén. Butalcura y Castro resultaron con significancia *Muy buena* y finalmente Achao obtuvo un *Bueno*.

Por otro lado, la pendiente *Sen*, refleja una tendencia climática anual. Al multiplicarla por 10 es posible conocer la tendencia decadal y finalmente al multiplicarla por 100, la tendencia de los últimos 100 años. La tabla N°28 especifica las tendencias anuales, decadal y del último siglo del *Q mensual*.

N°	Estación	Lat S	Long W	Q MENSUAL		
				Anual	Decadal	100 años
1	Puerto Montt	-41,43	-73,09	-5,03	-50,26	-502,64
2	Tres Cruces	-41,83	-73,48	-4,28	-42,84	-428,37
3	Ancud	-41,86	-73,81	-5,68	-56,85	-568,49
4	Hornopirén	-41,93	-72,43	-9,59	-95,95	-959,49
5	Quemchi	-42,14	-73,47	-6,75	-67,52	-675,17
6	Butalcura	-42,26	-73,66	-4,65	-46,47	-464,71
7	Huinay	-42,37	-72,41	-13,8	-138,05	-1380,47
8	Huyar Alto	-42,4	-73,56	-4,4	-44,04	-440,38
9	Castro	-42,45	-73,44	-3,27	-32,72	-327,16
10	Achao	-42,47	-73,49	-2,83	-28,3	-283,01
11	Chonchi	-42,62	-73,77	-3,82	-38,16	-381,59
12	Chaitén	-42,93	-72,7	-7,77	-77,67	-776,75

Tabla N°28: Tendencias climáticas obtenidas mediante pendiente de *Sen*. **Fuente:** Elaboración propia.

Como es esperable, la tendencia anual marca las tendencias decadales y del último siglo. La figura N°67 presenta la tendencia anual para cada estación. Todas obtuvieron valores negativos, los que son indicativos de pérdida de precipitación sostenida en la tendencia decadal y para los 100 años. La baja más acentuada se observa en la estación de Huinay, seguida por Hornopirén, Chaitén, y Quemchi. Aquellas con menos pérdidas fueron Achao, Chonchi, Castro, Tres Cruces, Butalcura y Huyar Alto. La situación se repite para el caso decadal y de 100 años (figura N°68).

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

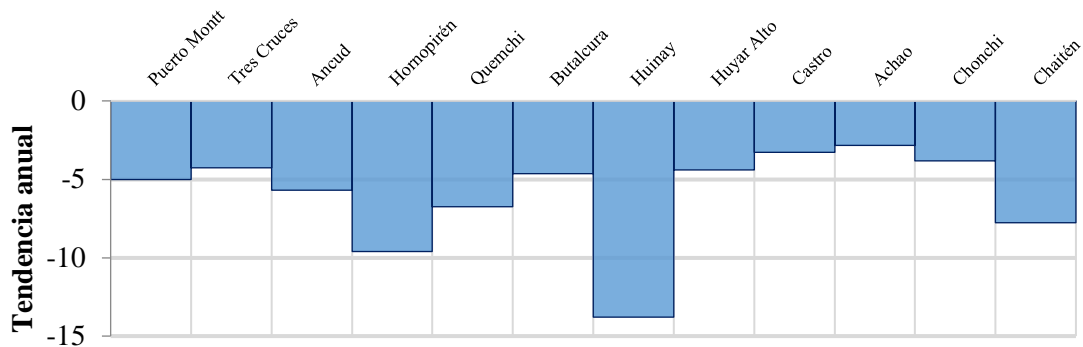


Figura N°67: Tendencia anual de las estaciones pluviométricas. Fuente: Elaboración propia.

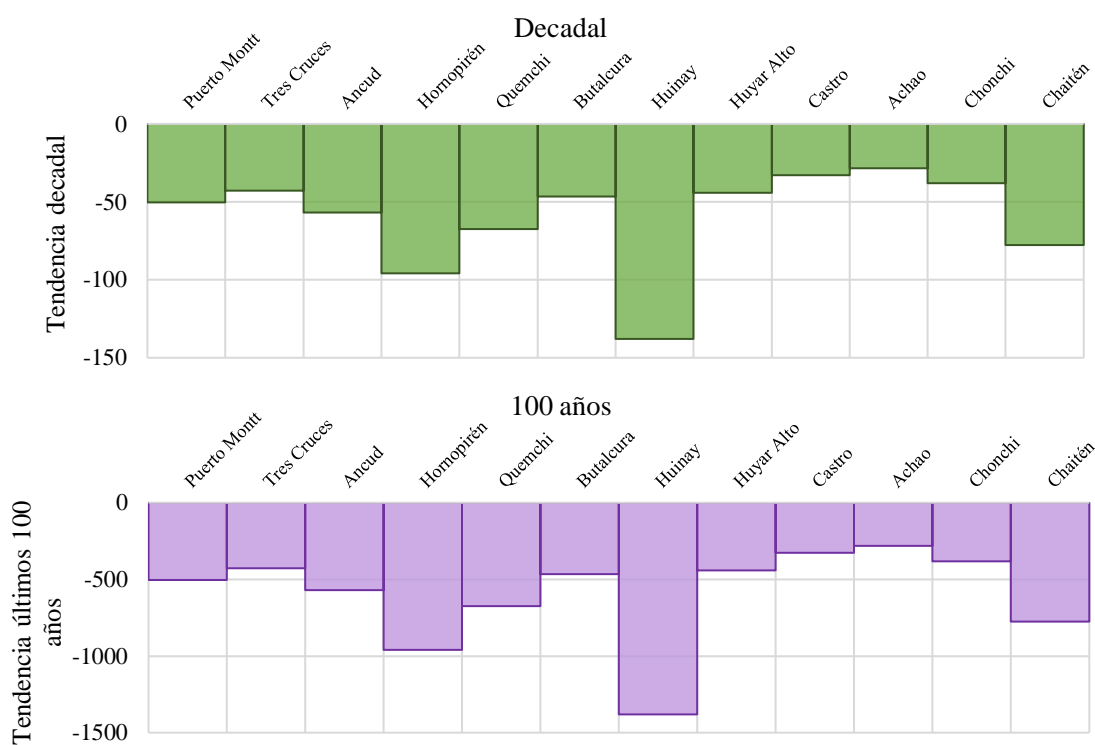


Figura N°68: Tendencia decadal y últimos 100 años de las estaciones pluviométricas. Fuente: Elaboración propia.

Analizando los resultados de acuerdo a la ubicación geográfica de cada estación, es posible detectar que las mayores pérdidas de precipitación ocurrieron al este del meridiano -73°O , es decir, en la zona continental, mientras que las menores pérdidas ocurrieron en el borde costero interno de la isla de Chiloé, exceptuando Ancud y Chonchi (figura N°69).

Únicamente, la estación del centro científico de Huinay (que entrega información mucho más precisa en relación a las demás estaciones, ya que se ubica en el fiordo Comau, área de estudio

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

del proyecto FONDECYT en el que se enmarca esta investigación) es la que presenta los valores de pérdida más elevados (-13, -138 y -1380 mm anuales, en 10 años y en 100 años respectivamente).

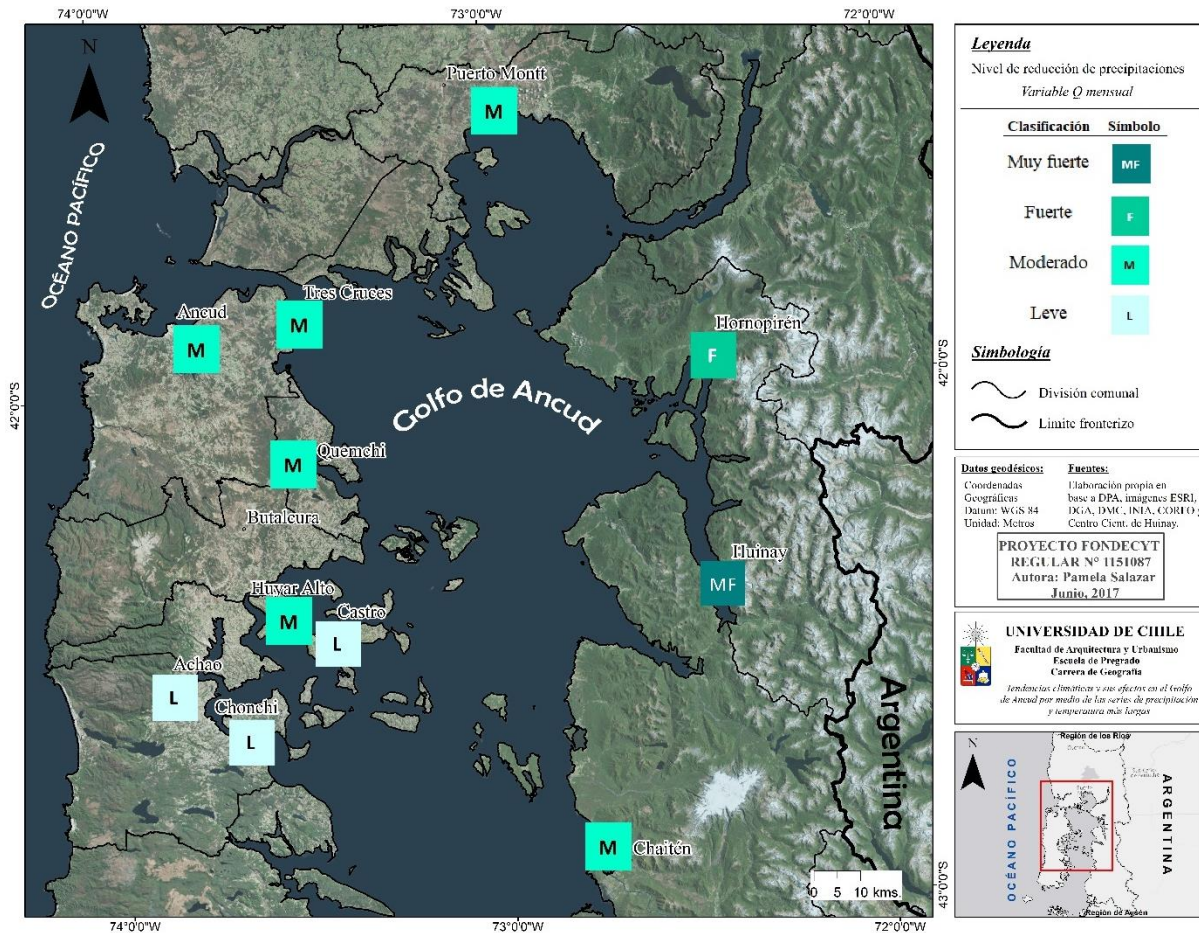


Figura N°69: Comportamiento espacial de la variable Q mensual. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el cálculo de porcentajes de reducción de precipitaciones en 10 y 100 años, permiten identificar realmente que estación pierde más precipitaciones en los tiempos señalados, obteniendo lo que se denominó como *Q mensual decadal* y *Q mensual siglo*. Si bien quedó de manifiesto que todas las estaciones arrojan tendencias negativas, con Huinay como caso más exagerado, la tabla N°29 muestra que en realidad es Puerto Montt la estación que más pierde precipitaciones, con -25 y -35% en la primera y última década de la serie de datos procesada en MK, respectivamente. Entre 1917 y 1926, 3 estaciones arrojan un porcentaje de reducción superior a -20%: la ya mencionada Puerto Montt, seguida por Huay Alto (-24%), Chonchi (-23%) y Quemchi (-22%). En la misma década los porcentajes más bajos recaen en Castro con -16%, Achao, Butalcura y Chaitén con -18% cada una y Tres Cruces con -19%.

En la década actual (2007-2016) al -35% de Puerto Montt le siguen Achao (-32%), Chonchi (-31) y Quemchi (-30%). Por el contrario, nuevamente Castro aparece como la estación con el porcentaje más bajo (-20%), seguido por Butalcura (-23%) y Tres Cruces y Chaitén con -24% respectivamente.

Estación	Q MENSUAL DECADAL					Q MENSUAL SIGLO		
	Q*10	1917-1926		2007-2016		Q*100	1917-2016	
		PP total	% reducción	PP total	% reducción		PP total	% reducción
Puerto Montt	-50,26	20479	-25%	14436	-35%	-502,64	180819	-28%
Tres Cruces	-42,84	22517	-19%	17698	-24%	-428,37	204062	-21%
Ancud	-56,85	26135	-22%	20299	-28%	-568,49	233701	-24%
Hornopirén	-95,95	47587	-20%	36423	-26%	-959,49	425875	-23%
Quemchi	-67,52	30326	-22%	22735	-30%	-675,17	274623	-25%
Butalcura	-46,47	26272	-18%	20649	-23%	-464,71	248463	-19%
Huinay	-138,05	67533	-20%	51255	-27%	-1380,47	612056	-23%
Huyar Alto	-44,04	18584	-24%	13787	-32%	-440,38	166928	-26%
Castro	-32,72	19844	-16%	16547	-20%	-327,16	191776	-17%
Achao	-28,3	15657	-18%	8728	-32%	-283,01	143960	-20%
Chonchi	-38,16	16365	-23%	12201	-31%	-381,59	146822	-26%
Chaitén	-77,67	42189	-18%	32636	-24%	-776,75	383906	-20%

Tabla N°29: Resultados del Q mensual a escala decadal y del último siglo. **Fuente:** Elaboración propia.

Evaluando el diferencial entre los valores de los primeros y últimos 10 años de la serie pluviométrica sometida a MK, Achao presenta un valor únicamente exagerado con -14%, seguido por Puerto Montt con una variación de -10%. El resto de las estaciones oscila entre los -5 y -8% aproximadamente (Figura N°70). Nuevamente, Castro presenta un valor mínimo de -3% entre ambas décadas, siendo la estación con menos variación en su serie.

Analizando estos resultados a nivel espacial, la figura N°71 muestra que, en la misma área geográfica se encuentran las dos estaciones con el mayor porcentaje de reducciones entre la primera y la última década: Achao (14%) y Castro (-3%). En la misma zona, sobre la costa interior de la isla de Chiloé, las estaciones de Huyar Alto y Chonchi presentan, igualmente, un fuerte nivel de reducción entre ambas décadas.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

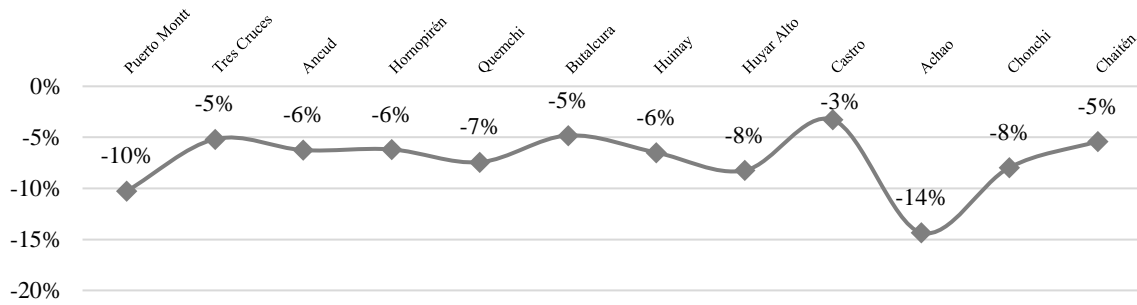


Figura N°70: Diferencia del Q mensual entre la primera (1907-1916) y última década (2007-2016) de las series pluviométricas sometidas a MK. Fuente: Elaboración propia.

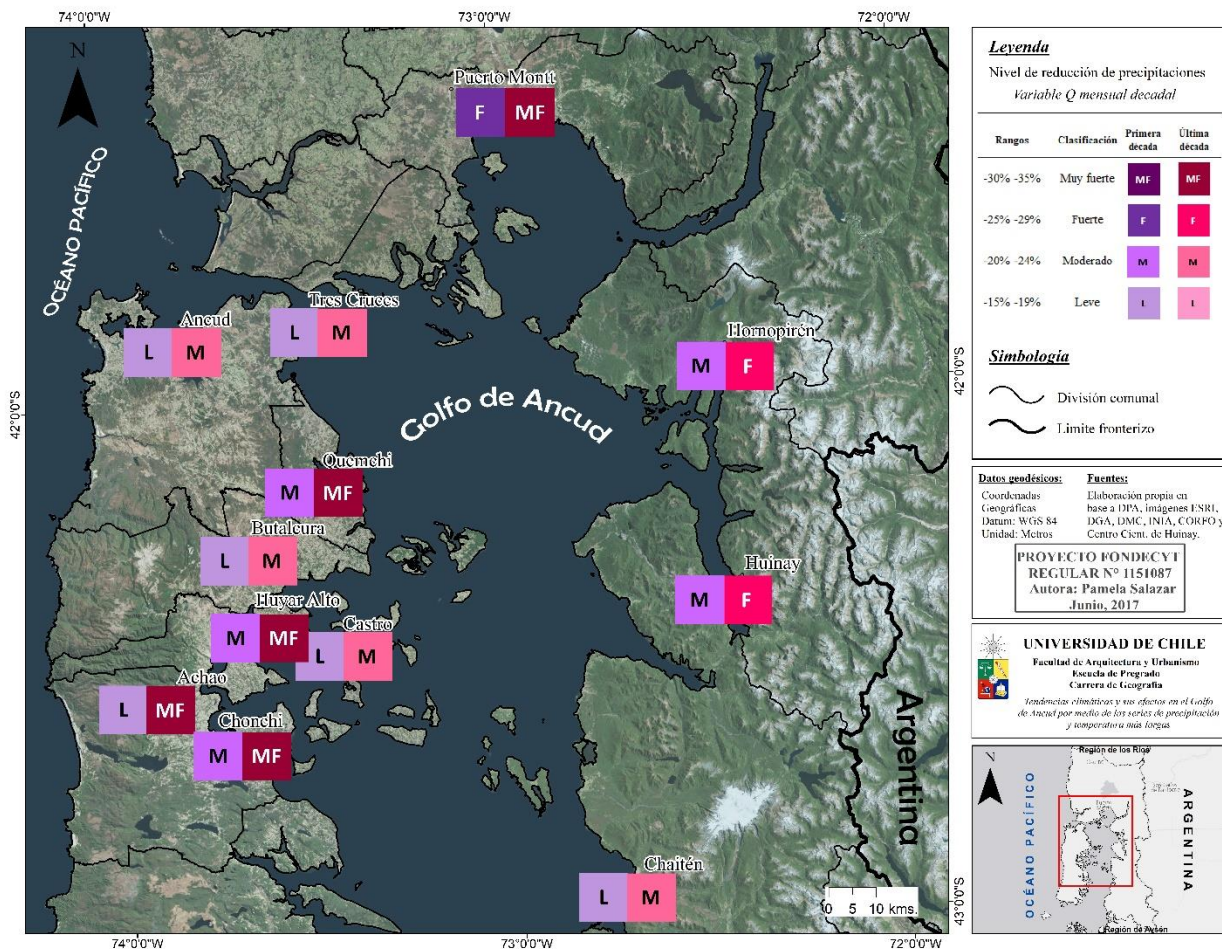


Figura N°71: Espacialización del Q mensual decadal entre 1907-1916 y 2007-2016. Fuente: Elaboración propia.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

Volviendo a la tabla N°29, esta vez a los porcentajes de reducción de precipitaciones para el último siglo (1917-2016, denominado como *Q mensual siglo*), nuevamente Puerto Montt es la estación que más perdió precipitaciones (-28%). Igualmente, Huyar Alto, Chonchi y Quemchi perdieron alrededor de un cuarto de sus precipitaciones. Por el contrario, y como era esperable, Castro obtuvo el menor valor (-17%), seguida por Butalcura (-19%), Achao y Chaitén (-20% respectivamente).

Espacialmente, alrededor de los -42°S, tanto por el área continental como por la isla de Chiloé se concentran las únicas cuatro estaciones con la categoría de *Fuerte*, e igualmente hacia la zona costera interior de la isla coexisten estaciones con los máximos y mínimos niveles de pérdidas de precipitación. La figura N°72 espacializa los resultados de disminución de precipitaciones en porcentaje para los últimos 100 años.

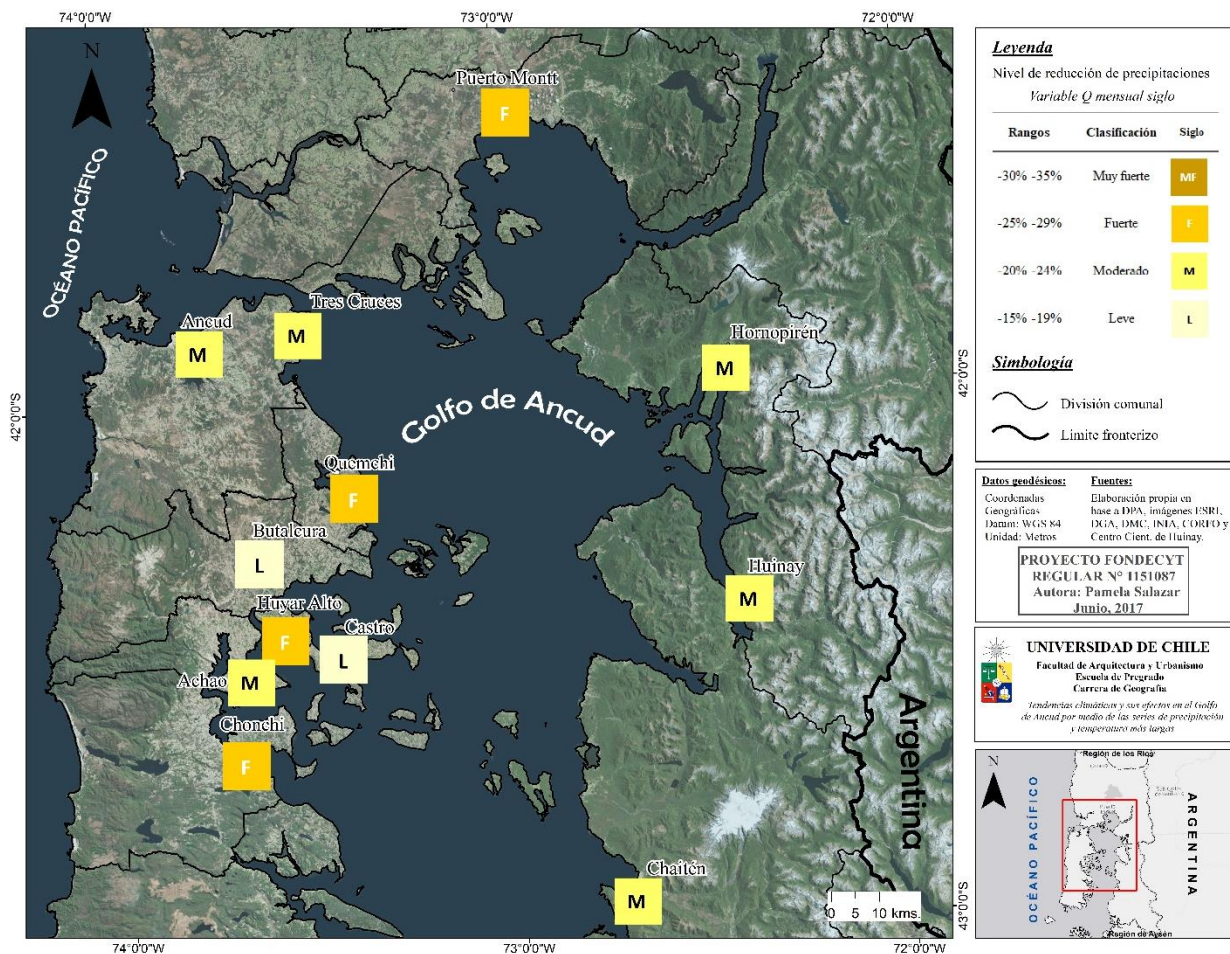


Figura N°72: Comportamiento espacial del *Q mensual siglo*. Fuente: Elaboración propia.

IV.2.c Análisis de tendencias trimestrales

Con el fin de aumentar el detalle de la comparación anterior y obtener un porcentaje específico de la reducción de precipitaciones por estación pluviométrica, estas últimas fueron sometidas al análisis de tendencia según matriz MK, esta vez separadas por trimestre DEF-MAM-JJA-SON entre los años 1917-2016, dando como resultados las variables *Q trimestral*, *Q trimestral decadal* y *Q trimestral siglo*. La tabla N°30 especifica los resultados del *Q trimestral*. Invierno en Ancud, Butalcura y Achao, y primavera en Castro no presentaron significancia aceptable estadísticamente, por lo que se han excluido de este análisis. Invierno en Hornopirén, otoño en Butalcura y Castro, primavera en Huinay y Chaitén presentaron significancia aceptable (90% de representatividad). A escala trimestral es posible observar una transición, donde en verano se concentraron las mejores significancias, mientras que a medida que avanzan los trimestres del año, las significancias *Muy buena* y *Buena* van desapareciendo, dando paso a casos *Aceptables* e incluso sin significancia (figura N°73). La mayoría de los casos obtuvo significancia *Muy buena* (17 veces), seguido por *Buena* (15), *Excelente* (7), *Aceptable* (5) y sin significancia (4).

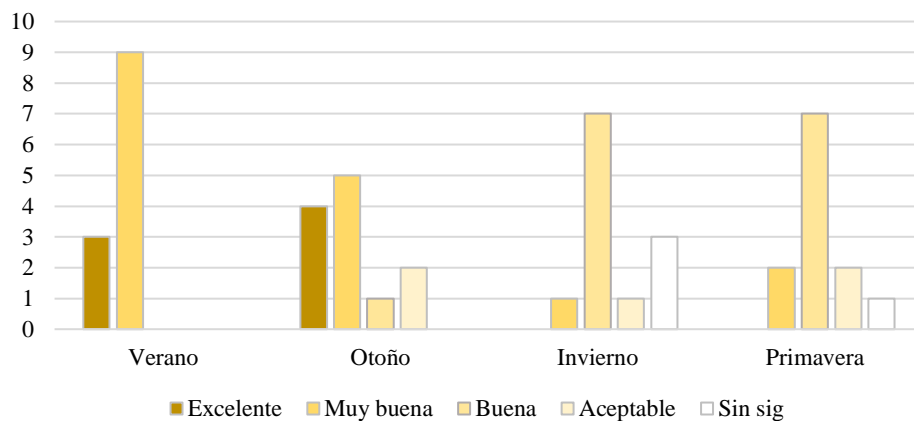


Figura N°73: Categorías de significancia estadística según trimestre. **Fuente:** Elaboración propia.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

Estación	Trimestre	SIG	Valor Sig.	% Sig.	Clasificación	Q	Estación	Trimestre	SIG	Valor Sig.	% Sig.	Clasificación	Q
Puerto Montt	VER	***	0,001	99,9%	Excelente	-1,182	Huinay	VER	***	0,001	99,9%	Excelente	-3,970
	OTO	***	0,001	99,9%	Excelente	-1,638		OTO	**	0,01	99,0%	Muy buena	-3,703
	INV	*	0,05	95,0%	Buena	-1,090		INV	*	0,05	95,0%	Buena	-3,726
Tres Cruces	PRI	*	0,05	95,0%	Buena	-0,839	Huyar Alto	PRI	+	0,1	90,0%	Aceptable	-2,633
	VER	**	0,01	99,0%	Muy buena	-0,848		VER	**	0,01	99,0%	Muy buena	-1,013
	OTO	*	0,05	95,0%	Buena	-1,065		OTO	***	0,001	99,9%	Excelente	-1,418
Ancud	INV	**	0,01	99,0%	Muy buena	-1,266	Castro	INV	*	0,05	95,0%	Buena	-0,961
	PRI	*	0,05	95,0%	Buena	-0,758		PRI	**	0,01	99,0%	Muy buena	-0,902
	VER	**	0,01	99,0%	Muy buena	-1,150		VER	**	0,01	99,0%	Muy buena	-0,693
Hornopirén	OTO	***	0,001	99,9%	Excelente	-1,976	Achao	OTO	+	0,1	90,0%	Aceptable	-0,962
	INV	*	0,05	95,0%	Buena	-0,777		INV	*	0,05	95,0%	Buena	-0,945
	PRI	*	0,05	95,0%	Buena	-1,196		PRI	**	0,01	99,0%	Muy buena	-0,493
Quemchi	VER	**	0,01	99,0%	Muy buena	-2,659	Chonchi	VER	**	0,01	99,0%	Muy buena	-0,648
	OTO	**	0,01	99,0%	Muy buena	-2,884		OTO	**	0,01	99,0%	Muy buena	-1,236
	INV	+	0,1	90,0%	Aceptable	-1,336		INV	*	0,05	95,0%	Buena	-0,468
Butalcura	PRI	*	0,05	95,0%	Buena	-2,262	Chaitén	PRI	*	0,05	95,0%	Buena	-0,856
	VER	**	0,01	99,0%	Muy buena	-1,598		VER	***	0,001	99,9%	Excelente	-0,963
	OTO	**	0,01	99,0%	Muy buena	-1,825		OTO	**	0,01	99,0%	Muy buena	-1,410
Butalcura	INV	*	0,05	95,0%	Buena	-1,689	Chaitén	INV	*	0,05	95,0%	Buena	-0,783
	PRI	*	0,05	95,0%	Buena	-1,768		PRI	**	0,01	99,0%	Muy buena	-0,559
	VER	**	0,01	99,0%	Muy buena	-1,337		VER	**	0,01	99,0%	Muy buena	-1,691
Butalcura	OTO	+	0,1	90,0%	Aceptable	-0,942	Chaitén	OTO	***	0,001	99,9%	Excelente	-2,760
	INV	*	0,05	95,0%	Buena	-0,859		INV	*	0,05	95,0%	Buena	-1,698
	PRI	*	0,05	95,0%	Buena	-1,568		PRI	+	0,1	90,0%	Aceptable	-1,163

Tabla N°30: Resultado del Q trimestral (Q tri), entre 1917-2016. Fuente: Elaboración propia.

Todas las estaciones pluviométricas, en todos los trimestres, resultaron en un valor Q trimestral negativo, nuevamente indicativo de reducción de precipitaciones. En un primer análisis, y como esperable, Huinay presenta los valores más negativos en todos los trimestres, indicativo de las mayores reducciones de precipitaciones. Por el contrario, las menores pérdidas ocurren en Achao (verano), Butalcura (otoño) y Chonchi (invierno y primavera) (figura N°74).

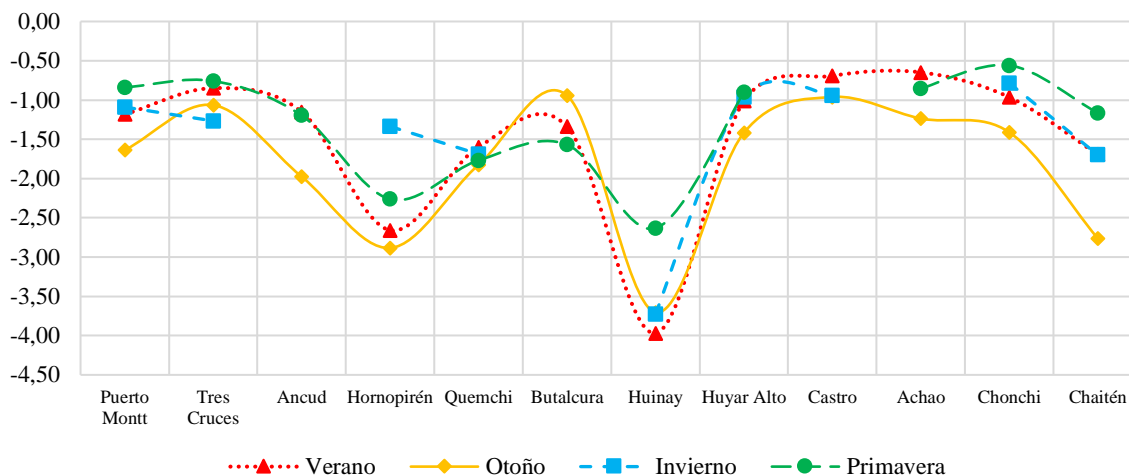


Figura N°74: Tendencias de precipitación acumulada trimestral entre 1907-2016 (Q trimestral). **Fuente:** Elaboración propia.

La figura N°75 presenta la espacialización del Q trimestral, donde es posible distinguir una clara diferenciación entre lo que ocurre en las estaciones del continente y las ubicadas en la isla de Chiloé. Por un lado, Hornopirén, Huinay y Chaitén arrojaron categorías muy altas de reducciones de precipitaciones, en todos los trimestres, mientras que Butalcura, Huyar Alto, Castro, Achao y Chonchi solo presentaron leves pérdidas.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

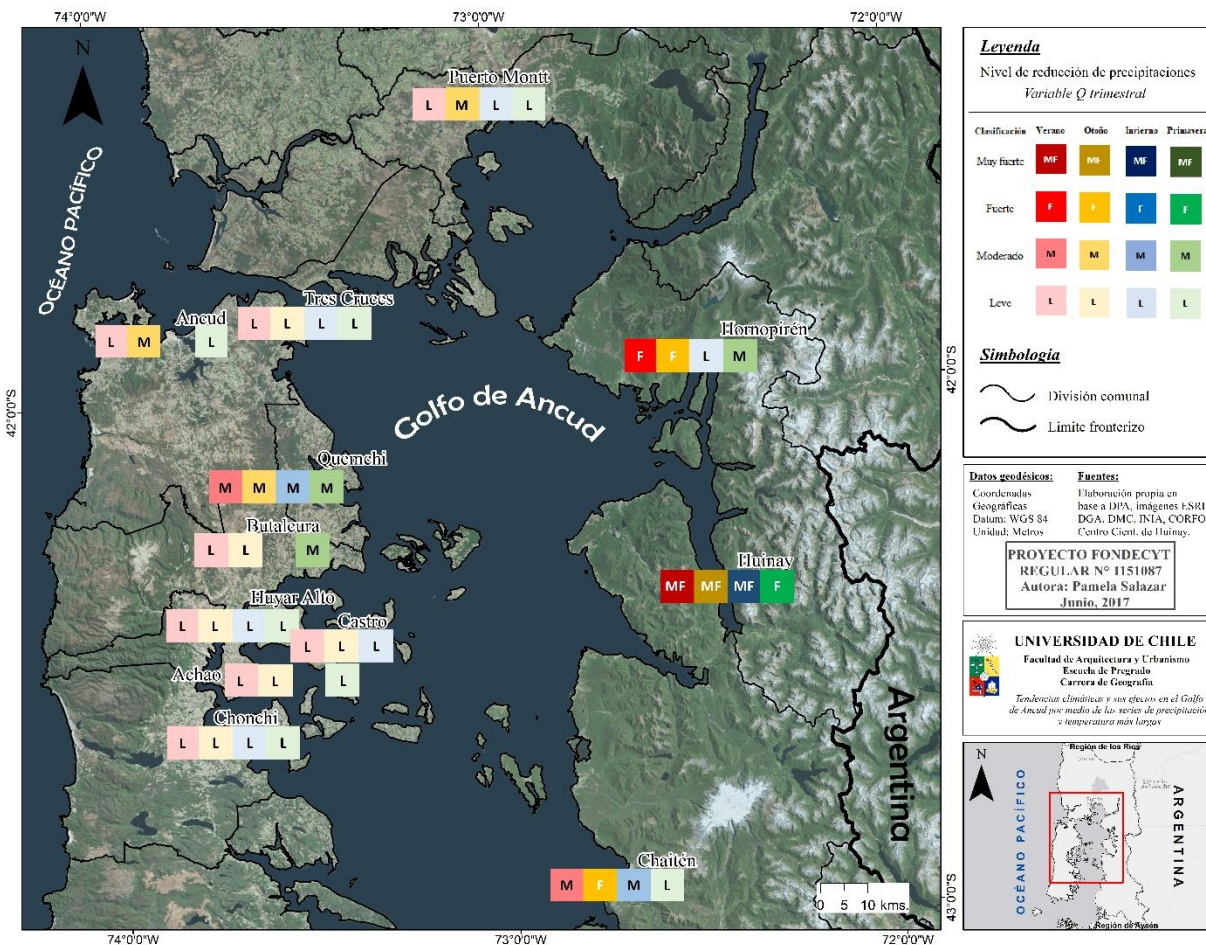


Figura N°75: Comportamiento espacial de Q trimestral. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al *Q trimestral decadal*, las mayores reducciones ocurrieron en la década más actual en todos los trimestres (figura N°76). Si en los primeros 10 años, las mayores disminuciones sucedieron en verano, en la década de 2007-2016 ocurrieron otoño. En ambas décadas las menores pérdidas ocurrieron en invierno (aunque la exclusión de las series sin significancia representativa puede influenciar dicho resultado) que tuvo una variación de tan solo el 2%, contrario a otoño que aumento en 12 puntos el porcentaje de disminución de precipitaciones. La tabla N°31 específica los resultados para cada estación.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

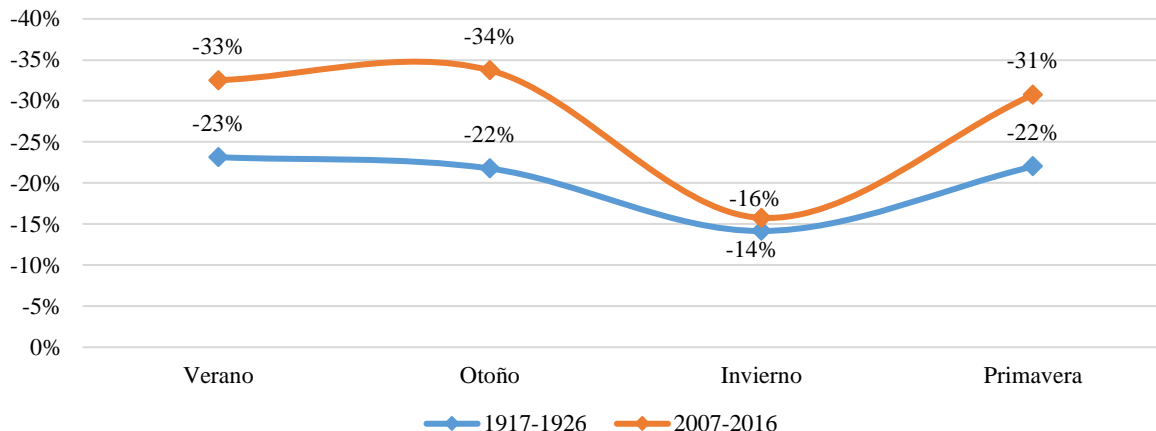


Figura N°76: Promedio de reducción de precipitaciones del Q mensual decadal. **Fuente:** Elaboración propia.

Específicamente, en la primera década:

- Durante verano, 7 estaciones obtuvieron pérdidas superiores al -30%: Puerto Montt (-34%), Ancud (-32%), Quemchi (-33%), Butalcura (-33%), Huinay (-32%), Huyar Alto (-36%) y Chonchi (-37%), estas dos últimas fueron las más altas reducciones. Chaitén, con -21% de pérdidas resultó como la estación con el valor más bajo.
- En otoño, ninguna estación superó el -30%, siendo la estación con mayores reducciones Chonchi (-27%), Puerto Montt (-26%) y Achao (-25%). Por otra parte, Butalcura y Castro resultaron con las menores pérdidas con un 15 y 16% respectivamente.
- En invierno, Ancud, Butalcura y Achao no presentaron una significancia representativa, por lo que se excluyen de este análisis. Hornopirén, a pesar de presentar la menor pérdida, con -9%, obtiene un resultado cuestionable ya que presentó una significancia aceptable. Restando las situaciones anteriores, la estación de invierno, en general, presenta las menores pérdidas de precipitaciones, a diferencia del análisis de tendencias Q no aplicadas a las precipitaciones. Todas las estaciones restantes oscilan entre un 12 y 17% de pérdidas, siendo el mayor valor Puerto Montt (-17%) y el menor Castro (-13%).
- Durante la primavera, Castro no presentó significancia representativa, por lo que igualmente es excluido del análisis. Coincidentemente, los menores valores correspondientes a Chaitén (-13%) y Huinay (-18%) obtuvieron significancia aceptable. La mayor pérdida se vislumbra en Quemchi (-28%), Achao (-27%) y Huyar Alto (-25%).

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

Estación	Trimestre	Q tri decadal	1917-1926		2007-2006	
			pp total (mm)	% reducción	pp total (mm)	% reducción
Huinay	VER	-39,7	12565	-32%	8021	-49%
	OTO	-37,03	17135	-22%	12258	-30%
	INV	-37,26	22852	-16%	20464	-18%
	PRI	-26,33	14593	-18%	10843	-24%
Huyar Alto	VER	-10,13	2828	-36%	1817	-56%
	OTO	-14,18	5801	-24%	3775	-38%
	INV	-9,61	6270	-15%	5625	-17%
	PRI	-9,02	3597	-25%	2643	-34%
Castro	VER	-6,93	2635	-26%	1828	-38%
	OTO	-9,62	6111	-16%	4570	-21%
	INV	-9,45	7612	-12%	7386	-13%
	PRI					
Achao	VER	-6,48	2144	-30%	1318	-49%
	OTO	-12,36	4909	-25%	2387	-52%
	INV					
	PRI	-8,56	3133	-27%	1685	-51%
Chonchi	VER	-9,63	2630	-37%	1703	-57%
	OTO	-14,1	5261	-27%	3336	-42%
	INV	-7,83	5842	-13%	5174	-15%
	PRI	-5,59	2563	-22%	2039	-27%
Chaitén	VER	-16,91	7928	-21%	5858	-29%
	OTO	-27,6	12550	-22%	8492	-33%
	INV	-16,98	12895	-13%	11454	-15%
	PRI	-11,63	8654	-13%	7011	-17%
Puerto Montt	VER	-11,82	3491	-34%	2135	-55%
	OTO	-16,38	6313	-26%	3893	-42%
	INV	-10,9	6565	-17%	5631	-19%
	PRI	-8,39	4014	-21%	2850	-29%
Tres Cruces	VER	-8,48	3525	-24%	2496	-34%
	OTO	-10,65	6148	-17%	4720	-23%
	INV	-12,66	8344	-15%	7239	-17%
	PRI	-7,58	4305	-18%	3288	-23%
Ancud	VER	-11,5	3578	-32%	2764	-42%
	OTO	-19,76	8538	-23%	4996	-40%
	INV					
	PRI	-11,96	5003	-24%	3965	-30%
Hornopirén	VER	-26,59	9146	-29%	6363	-42%
	OTO	-28,84	12994	-22%	8435	-34%
	INV	-13,36	14793	-9%	14674	-9%
	PRI	-22,62	10354	-22%	7255	-31%
Quemchi	VER	-15,98	4853	-33%	3084	-52%
	OTO	-18,25	8418	-22%	5624	-32%
	INV	-16,89	10556	-16%	9441	-18%
	PRI	-17,68	6360	-28%	4777	-37%
Butalcura	VER	-13,37	4019	-33%	2551	-52%
	OTO	-9,42	6150	-15%	5036	-19%
	INV					
	PRI	-15,68	6432	-24%	4577	-34%

Tabla N°31: Q trimestral decadal entre 1917-1926 y 2007-2016. Fuente: Elaboración propia.

En tanto, en la última década

- En verano, 5 estaciones perdieron más de la mitad de sus precipitaciones. La mayor reducción la experimentó Chonchi (-57%), seguida por Huyar Alto (-56%), Puerto Montt (-55%), Quemchi y Butalcura (-52% cada una). Las menores pérdidas, de igual forma no son inferiores al 30%, excepto Chaitén (-29%), seguido por Tres Cruces (-34%).
- En primavera (sin incluir Castro), Achao redujo en la mitad sus precipitaciones, seguido por Quemchi (-37%), Butalcura y Huyar Alto (-34%), mientras que Chaitén (-17%) y Tres Cruces (-23%) fueron las estaciones con menores reducciones.
- Durante el otoño, Puerto Montt y Ancud perdieron el 42 y 40% respectivamente, pero Achao, el valor más alto, redujo en más de mitad sus precipitaciones. Las menores pérdidas recaen en Butalcura (-19%) y Castro (21%).
- En invierno, la situación de la primera década se repite, ya que nuevamente, descartando las estaciones sin significancia representativa, en este trimestre ocurren las menores reducciones de precipitación. Hornopirén nuevamente redujo solo en un -9% (aunque la significancia es aceptable), seguido por Castro (-13%). Las mayores reducciones ocurrieron en Puerto Montt (-19%), Quemchi y Huinay (-18% respectivamente).

Analizando los resultados del *Q trimestral decadal* espacialmente, en la primera década no existió ninguna estación con un porcentaje de reducción *Muy fuerte*, contrario a lo que ocurre en la última década. En el primer caso, la mayoría de las reducciones *Moderadas* y *Leves* se concentran en la costa interior de la isla de Chiloé y Chaitén, mientras que en segundo caso estas categorías desaparecen (no completamente), quedando solo la estación de Chaitén. En general, todas las estaciones muestran una transición decadal de categorías *Leves* y *Moderadas* a *Fuerte* y *Muy fuerte* (figura N°77). Complementando lo anterior, no es posible identificar un patrón definido asociable a la espacialidad, sin embargo, sí es posible mencionar que en los primeros dos trimestres del año existen más variaciones que en los dos últimos, ya que en primer caso la mayoría de las estaciones experimentó un aumento de categoría en cuanto a reducción de precipitaciones. El caso de Achao es especialmente preocupante ya que presenta categoría *Muy fuerte* en los trimestres de verano, otoño y primavera, lo que contrasta con su vecino Castro que, aunque posee proximidad geográfica notable, presenta niveles menores, incluso leves pérdidas durante primavera.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

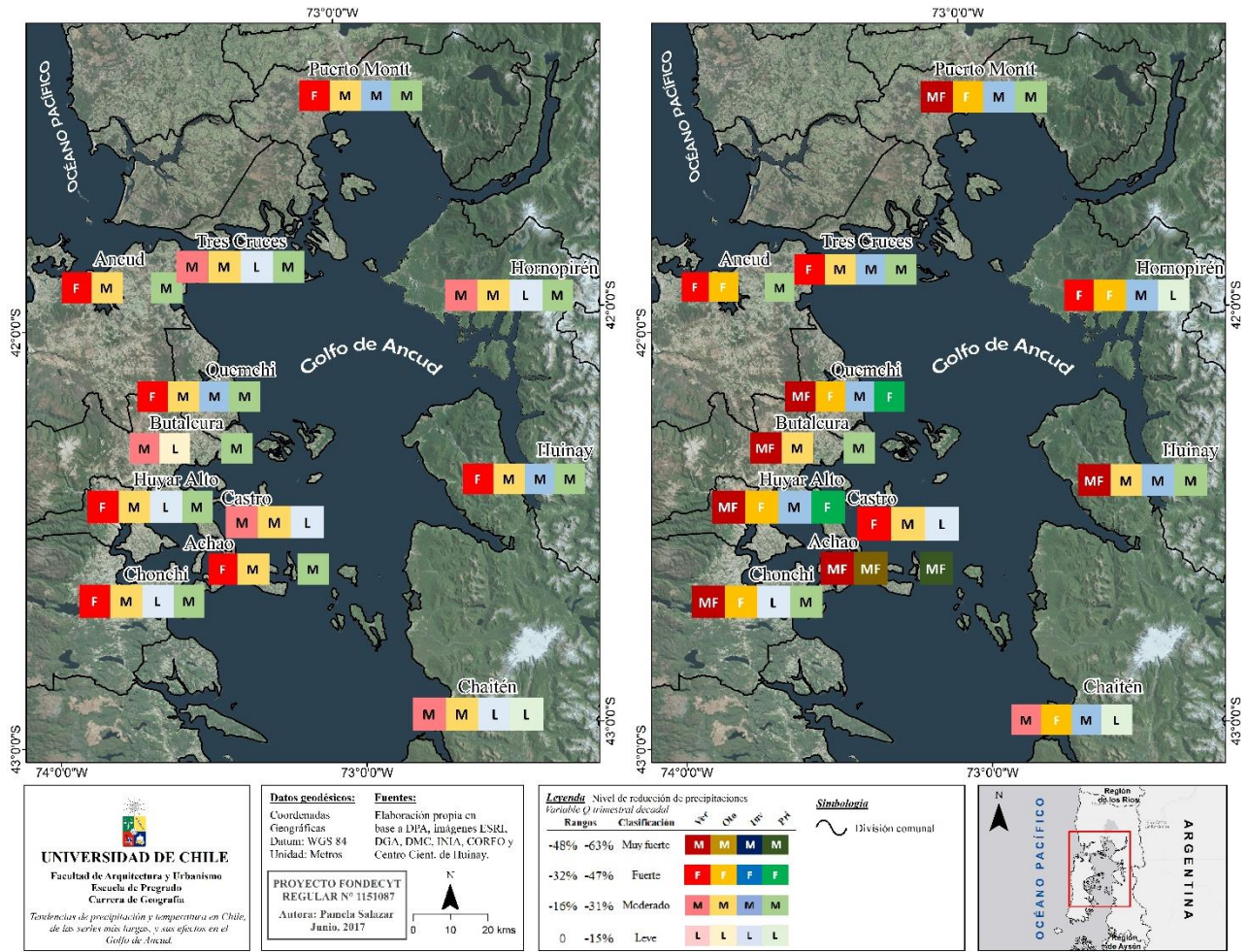


Figura N°77: Comportamiento espacial del Q trimestral decadal 1917-1926 (I) y 2007-2016(II). Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en los últimos 100 años (1917-2016), nuevamente todas las estaciones resultaron con tendencias negativas (Tabla N°32).

Estación	Trimestre	Q tri siglo	1917-2016		Estación	Trimestre	Q tri siglo	1917-2016	
			pp total (mm)	% reducción				pp total (mm)	% reducción
Puerto Montt	VER	-118,22	28589	-41%	Huinay	VER	-397,03	103723	-38%
	OTO	-163,77	49421	-33%		OTO	-370,29	144405	-26%
	INV	-108,99	64875	-17%		INV	-372,64	225595	-17%
	PRI	-83,89	37951	-22%		PRI	-263,34	138401	-19%
Tres Cruces	VER	-84,82	29565	-29%	Huyar Alto	VER	-101,27	23426	-43%
	OTO	-106,49	55916	-19%		OTO	-141,78	46282	-31%
	INV	-126,61	77529	-16%		INV	-96,06	63209	-15%
	PRI	-75,82	40951	-19%		PRI	-90,17	34033	-26%
Ancud	VER	-115,03	32174	-36%	Castro	VER	-69,28	23758	-29%
	OTO	-197,58	65334	-30%		OTO	-96,17	53798	-18%
	INV					INV	-94,48	78906	-12%
	PRI	-119,65	46399	-26%		PRI			
Hornopirén	VER	-265,86	77186	-34%	Achoa	VER	-64,76	19098	-34%
	OTO	-288,35	104925	-27%		OTO	-123,56	40652	-30%
	INV	-133,64	148244	-9%		INV			
	PRI	-226,22	95688	-24%		PRI	-85,57	29657	-29%
Quemchi	VER	-159,84	39811	-40%	Chonchi	VER	-96,30	22013	-44%
	OTO	-182,50	69066	-26%		OTO	-141,00	41714	-34%
	INV	-168,86	105551	-16%		INV	-78,31	58389	-13%
	PRI	-176,85	60219	-29%		PRI	-55,88	24718	-23%
Butalcura	VER	-133,67	33320	-40%	Chaitén	VER	-169,09	69453	-24%
	OTO	-94,18	52906	-18%		OTO	-276,04	103502	-27%
	INV					INV	-169,85	127217	-13%
	PRI	-156,80	62498	-25%		PRI	-116,28	83762	-14%

Tabla N°32: Q trimestral siglo. Fuente: Elaboración propia.

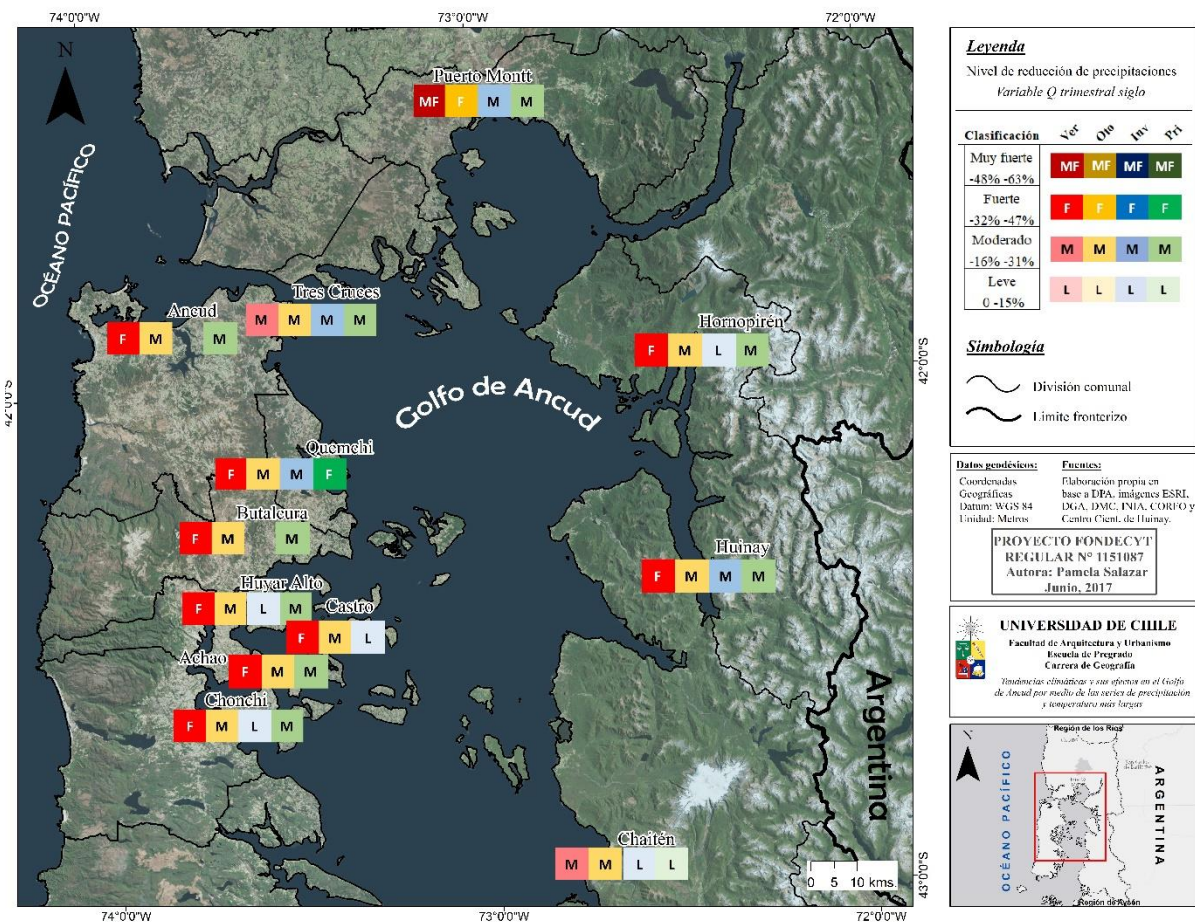
A diferencia de lo que ocurrió a nivel decadal, a nivel del siglo 1917-2016, es el trimestre de verano el que más ha reducido sus precipitaciones, con un promedio de -36%. Sin embargo, al igual que el análisis de 10 años, invierno es la que menos disminución experimentó con -14% (aunque nuevamente es probable que el descarte de las estaciones sin significancia haya condicionado este resultado). Finalmente, otoño y primavera redujeron -27 y -23% respectivamente.

Específicamente:

- En verano, 3 estaciones perdieron más del 40% de sus precipitaciones (Chonchi - 44%, Puerto Montt -41% y Huyar Alto -43%). Por el contrario, la menor disminución ocurrió en Chaitén con -24%, seguida por Castro y Tres Cruces con -29% cada una.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

- En otoño, Castro y Butalcura solo perdieron -18% y Tres Cruces el -19%. La estación con mayor disminución fue Chonchi (-34%), Puerto Montt (-33%) y Huiyar Alto (-31%).
- Durante invierno (nuevamente Ancud, Butalcura y Achao quedan fuera de todo análisis por condiciones de significancia), los valores son considerablemente más bajos que en los trimestres anteriores, ya que la mayor pérdida la experimentaron Puerto Montt y Huinay con -17%. Por el contrario, Hornopirén sólo disminuyó un 9% de sus precipitaciones, seguido por Castro con -12%.
- En primavera, las reducciones vuelven a elevarse un tramo, pero sin superar el -30%. Quemchi y Achao perdieron -29%, mientras que las menores reducciones ocurrieron en Chaitén (-14%), Tres Cruces y Huinay (-19%).



Todas las estaciones de la isla de Chiloé presentan fuertes reducciones de precipitaciones en verano, a excepción de Tres Cruces que posee categoría *Moderada*. En otoño, todas caen en moderadas pérdidas, mientras que, en invierno, desde Huiyar Alto al sur las pérdidas son

leves. Por el lado continental, las diferencias son marcadas alrededor de los 42,5°S, ya que al sur de esta latitud las estaciones presentan porcentajes iguales o superiores a la categoría *Moderada*, mientras que Chaitén, al sur, es la única estación con rangos de pérdidas más bien leves (figura N°78).

Finalmente, la figura N°79 presenta las tendencias *Q trimestrales* a montos de pérdidas totales de precipitaciones por trimestres, a lo largo de toda la serie. Como era esperable, todos presentaron porcentajes negativos, es decir, con tendencias de precipitación negativas, coincidentes con lo señalado en los modelos. Las mayores pérdidas ocurrieron en otoño (-32%) y verano (-26%), mientras que en invierno se redujeron el -20% y primavera -21%. Lo anterior no es totalmente coincidente con lo establecido por los escenarios de cambio climático para Chile, que señalan que las mayores pérdidas ocurrirían en primavera y verano.

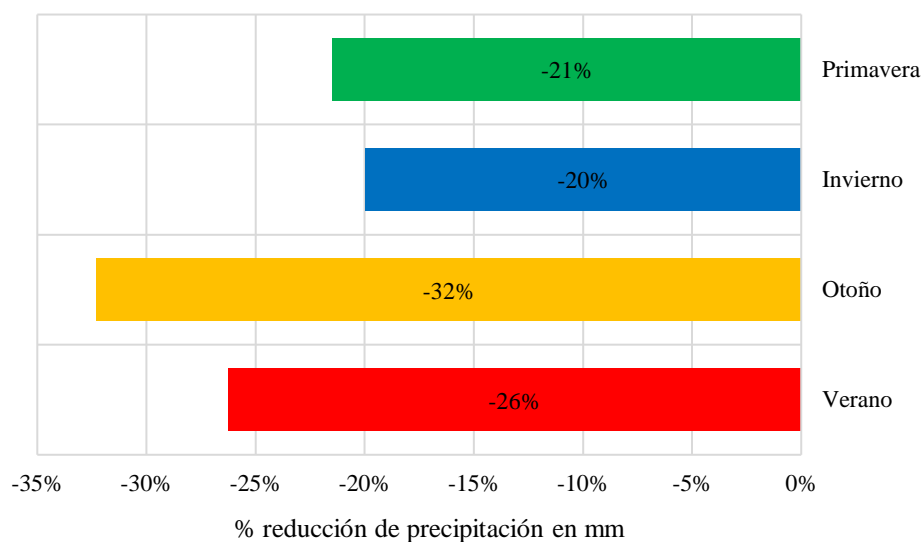


Figura N°79: Porcentaje de pérdidas totales de precipitación por trimestre entre 1917-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

IV. 3. Identificación de las teleconexiones que afectan la precipitación y temperatura del sur de Chile

IV.3.a. Índice de Oscilación del Sur (SOI)

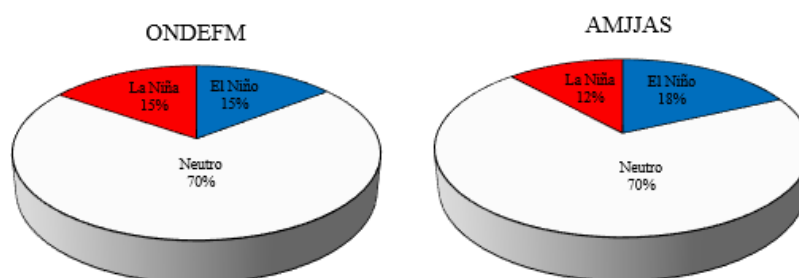
De acuerdo a la tabla N°33, el comportamiento semestral SOI y SOI-1, como era esperable, resultó en su mayoría bajo la categoría de “Neutral” (más del 50% en ambos casos). El anexo N°2 muestra en detalle los resultados obtenidos por año y semestre.

Clasificación	SOI		SOI-1	
	ONDEFM	AMJJAS	SONDEFM	MAMJJAS
El Niño Muy Fuerte	2 ≈ 2%	2 ≈ 2%	1 ≈ 1%	1 ≈ 1%
El Niño Fuerte	2 ≈ 2%	5 ≈ 5%	4 ≈ 4%	5 ≈ 5%
El Niño Moderado	12 ≈ 11%	13 ≈ 12%	10 ≈ 9%	15 ≈ 14%
El Niño Débil	13 ≈ 12%	11 ≈ 10%	16 ≈ 15%	8 ≈ 7%
Neutro	55 ≈ 50%	58 ≈ 53%	53 ≈ 48%	61 ≈ 55%
La Niña Débil	9 ≈ 8%	8 ≈ 7%	11 ≈ 10%	10 ≈ 9%
La Niña Moderado	15 ≈ 14%	9 ≈ 8%	11 ≈ 10%	7 ≈ 6%
La Niña Fuerte	1 ≈ 1%	3 ≈ 3%	3 ≈ 3%	2 ≈ 2%
La Niña Muy fuerte	1 ≈ 1%	1 ≈ 1%	1 ≈ 1%	1 ≈ 1%

Tabla N°33: Ocurrencias y su equivalencia en porcentaje de SOI y SOI-1 de acuerdo a la clasificación propuesta, entre 1907-2016. Fuente: Elaboración propia.

El análisis del SOI semestral arrojó ligeramente más eventos EL Niño (36 semestres equivalentes al 16%) que La Niña (30 semestres ≈ 14%), los que aparecen con el mismo porcentaje de ocurrencia en el semestre seco (15%), mientras que en el lluvioso el fenómeno de El Niño ocurrió 6% más que La Niña (figura N°80). Los semestres en que ocurrieron fenómenos categorizados en los extremos de los rangos creados (figura N°81), es decir, “Muy fuerte”, son coincidentemente iguales tanto en la fase negativa y positiva, para ambos semestres. En la fase negativa hubo 4 casos de “El Niño Muy fuerte” (2% equivalente a 2 casos en ONDEFM y 2 en AMJJAS), mientras que en la positiva solo se registraron 2 ocurrencias (1% equivalente a 1 año en ONDEFM y 1 en AMJJAS).

Figura N°80: Porcentaje de ocurrencias semestrales del SOI entre 1907-2016. Fuente: Elaboración propia.



Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

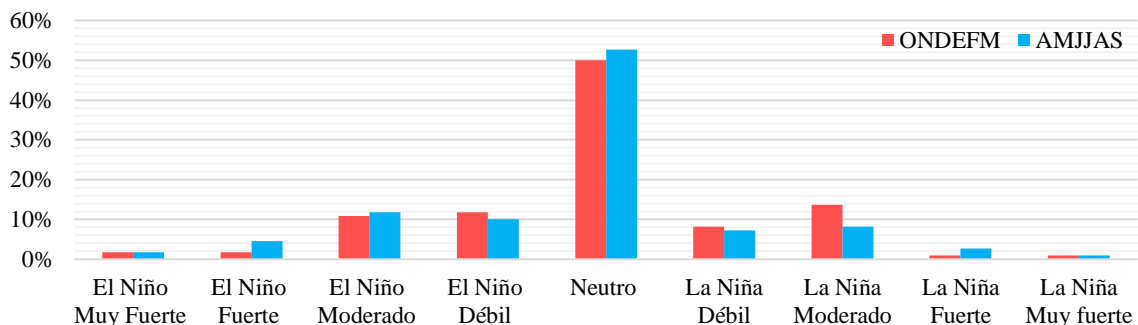


Figura N°81: Porcentaje de ocurrencias totales del SOI semestral entre 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

En el SOI-1 hubo un predominio de eventos El Niño, con 16% de los semestres con alguna categoría negativa, mientras que La Niña habría ocurrido solo un 11% (figura N°82). La figura N°83 ilustra el porcentaje de ocurrencia de todas las categorías en los semestres seco y húmedo. Con respecto a las categorías extremas, solo se registraron 4 semestres, 1 para cada semestre (húmedo-seco) en ambas fases (Niño-Niña).

Figura N°82: Porcentaje de ocurrencias semestrales del SOI-1 entre 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

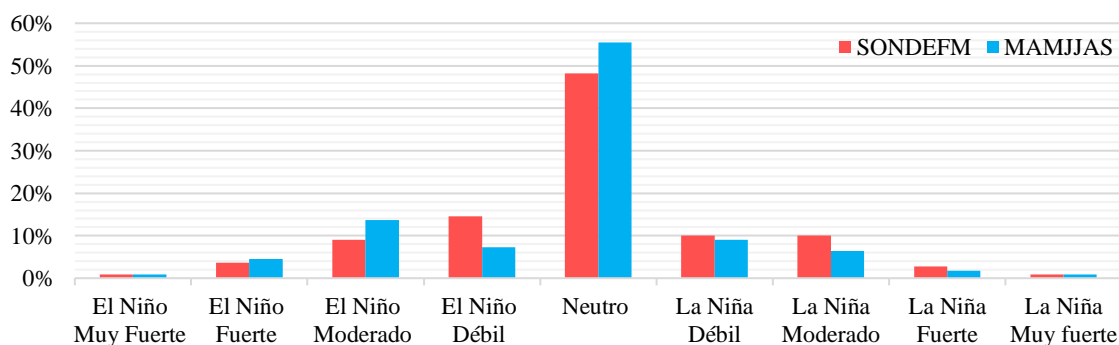
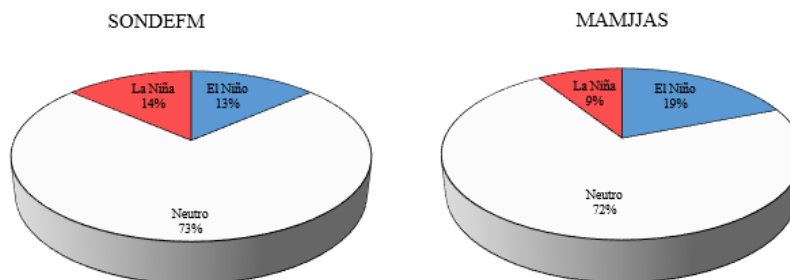


Figura N°83: Porcentaje de ocurrencias totales del SOI-1 semestral entre 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

Con respecto a la correlación estadística, tanto en precipitación como temperatura (y por medio de un pre-análisis de los resultados dispuesto en el anexo N°5), se decidió que las mejores correlaciones se dieron en el SOI sin desfase. En primer lugar, para el caso de la precipitación, el 88% de las correlaciones arrojó resultados negativos. De acuerdo a la figura N°84, la mayoría de los casos resultó con correlación “*Negativa moderada*” (36%), seguido por “*Débil*” (32%) y “*Fuerte*” (20%). El 12% arrojó “*Ninguna correlación*” (aunque ligeramente positiva).

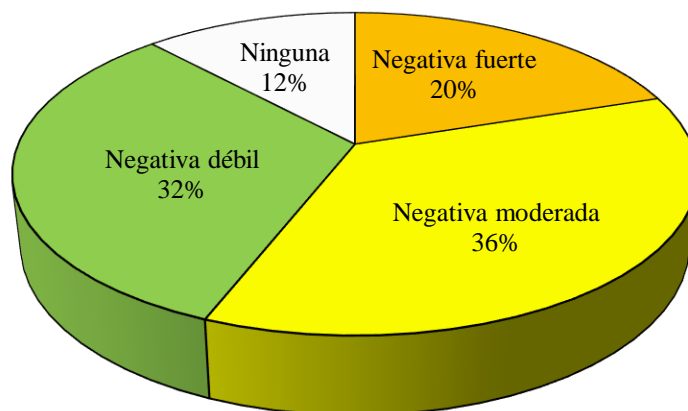


Figura N°84: Porcentaje de ocurrencias totales de correlaciones estadísticas entre el SOI y la precipitación mensual, entre 1985-2015. **Fuente:** Elaboración propia.

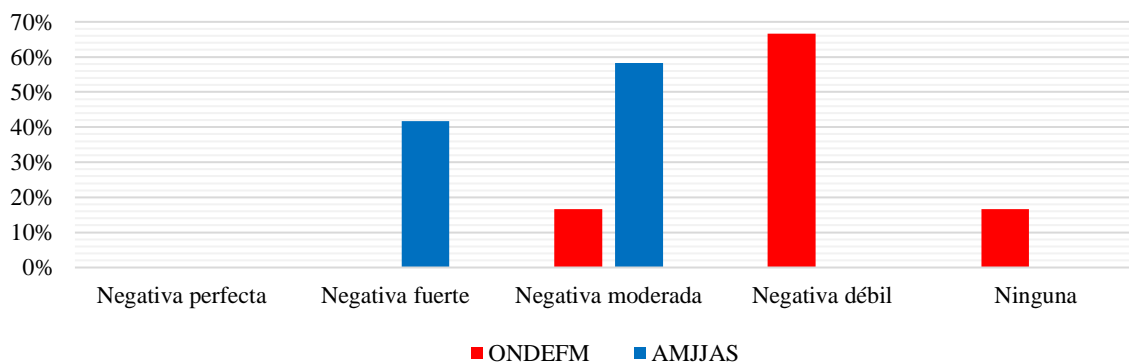


Figura N°85: Porcentaje de ocurrencias semestrales de correlaciones estadísticas entre el SOI y la precipitación mensual, entre 1985-2015. **Fuente:** Elaboración propia.

Diferenciando entre los semestres seco y húmedo (figura N°85), en el ONDEFM solo hubo correlaciones en las categorías “*Moderada*” (17%), “*Débil*” (67%) y “*Ninguna*” (16%), mientras que en semestre AMJJAS las correlaciones se manifestaron en las categorías “*Fuerte*” (42%) y “*Moderada*” (58%).

Asociando los resultados anteriores a las posiciones latitudinales (tabla N°34) de las estaciones es posible determinar que en el semestre lluvioso el índice es más negativo, influyendo más a los 41°S que a los 43°S, aunque todas presentan correlaciones bajo los -0,4 en dicho semestre. En términos estadísticos, la tabla N°35 expresa que en ningún semestre existe un coeficiente de representación o valor P aceptable.

Estaciones	Latitud S	Longitud W	ONDEFM	AMJJAS
Puerto Montt	-41,43	-73,09	-0,18	-0,53
Tres Cruces	-41,83	-73,48	-0,20	-0,49
Ancud	-41,86	-73,81	0,02	-0,33
Hornopirén	-41,93	-72,43	-0,29	-0,51
Quemchi	-42,14	-73,47	-0,20	-0,52
Butalcura	-42,26	-73,66	-0,21	-0,54
Huinay	-42,37	-72,41	-0,24	-0,41
Huyar Alto	-42,4	-73,56	-0,12	-0,53
Castro	-42,45	-73,44	0,00	-0,32
Achao	-42,47	-73,49	-0,28	-0,42
Chonchi	-42,62	-73,77	-0,12	-0,44
Chaitén	-42,93	-72,7	-0,08	-0,37

Tabla N°34: Correlaciones estadísticas (entre el SOI semestral y las precipitaciones mensuales 1907-2016) asociado a las ubicaciones geográficas de las estaciones. **Fuente:** Elaboración propia.

	Coef. Pearson	Coef. Determinación	Two tailed	P
ONDEFM	0,17	0,03	41,21	-40%
AMJJAS	0,39	0,15	79,10	-78%

Figura N°86: Porcentaje de ocurrencias totales de correlaciones estadísticas entre el SOI y la temperatura mensual, entre 1916-2014. **Fuente:** Elaboración propia.

Comentario: el anexo N°5 presenta las clasificaciones de las correlaciones según Vila, et al., s.f.

En segundo lugar, para el caso de la temperatura, el 69% de las correlaciones se encontraron en el extremo negativo, un 25% en “Ninguna” y el 6% en el extremo positivo.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

Específicamente, el 56% de las correlaciones estadísticas cayeron en la categoría “Negativa débil”, el 25% tuvo “Ninguna”, el 13% fue “Moderada” y el 6% resultó “Positiva débil” (figura N°86).

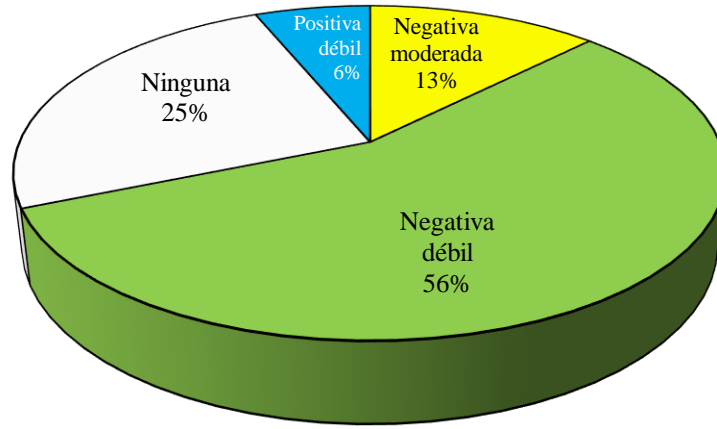


Tabla N°35: Coeficientes y valores P entre correlaciones estadísticas (SOI-precipitación) y latitud de las estaciones. **Fuente:** Elaboración propia.

En el semestre seco, en su mayoría no hubo correlaciones (38%), mientras que el 25% obtuvo correlación negativa “Moderada” y “débil” y el 13% obtuvo correlación “Positiva débil”. El semestre húmedo solo tuvo correlaciones en la categoría de “Débil” (88%) y “Ninguna” (13%) (figura N°87).

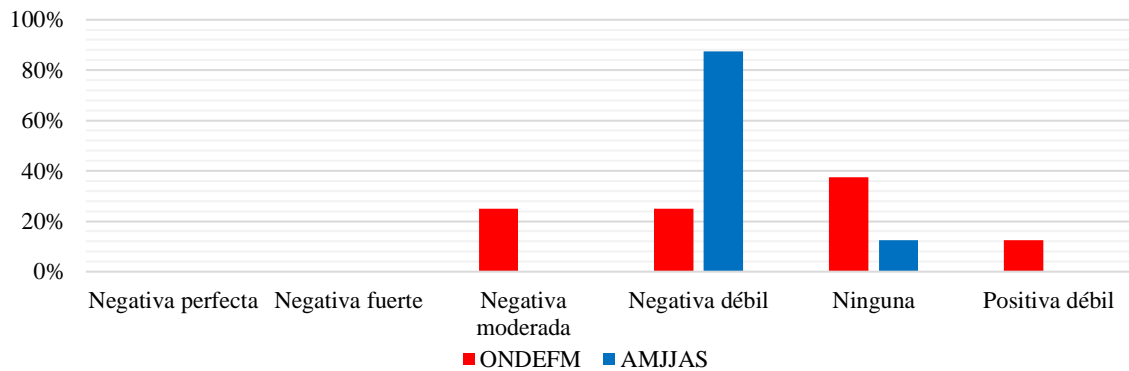


Figura N°87: Porcentaje de ocurrencias semestrales de correlaciones estadísticas entre el SOI y la temperatura mensual, entre 1916-2014. **Fuente:** Elaboración propia.

Sobre las correlaciones conforme a la latitud de las estaciones (tabla N°36), el semestre ONDEFM no presenta una tendencia lineal definida, lo que podría suponer un comportamiento homogéneo de las estaciones, sin embargo, el grado de dispersión de los datos abarca desde los 0,3 a -0,5. Sobre reglas estadísticas, nuevamente ningún semestre presenta un *P Value* aceptable en climatología (tabla N°37).

Estación	Latitud S	Longitud W	ONDEFM	AMJJAS
Puerto Montt	-41,43	-73,09	-0,07	-0,02
Mauñín	-41,61	73,53	0,04	-0,14
Pta. Corona	-41,78	-33,86	0,06	-0,05
Ancud	-41,86	-73,81	-0,08	-0,21
M. Lobos	-42,06	-73,4	-0,28	0,14
Huinay	-42,37	-72,41	0,33	-0,18
Castro	-42,45	-73,44	-0,47	-0,19
Chaitén	-42,93	-72,7	0,03	-0,10

Tabla N°36: Correlaciones estadísticas (entre el SOI semestral y las temperaturas mensuales 1907-2016) asociado a las ubicaciones geográficas de las estaciones. **Fuente:** Elaboración propia. **Comentario:** el anexo N°5 presenta las clasificaciones de las correlaciones según Vila, et al., s.f.

	Coef. Pearson	Coef. Determinación	Two tailed	P
ONDEFM	0,00	0,03	0,94	6%
AMJJAS	0,05	0,21	0,61	38%

Tabla N°37: Coeficientes y valores *P* entre correlaciones estadísticas (SOI-temperatura) y latitud de las estaciones. **Fuente:** Elaboración propia.

Finalmente, la figura N°88 muestra que todas las estaciones, en ambos semestres, para precipitación y temperatura muestra correlaciones negativas con el SOI semestral, lo que indica una relación inversa entre ambas variables. En el caso de la precipitación, durante el semestre húmedo los montos de correlaciones son más negativos que en el semestre seco. En el caso de la temperatura, las clasificaciones se mantienen sin variación en ambos semestres.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

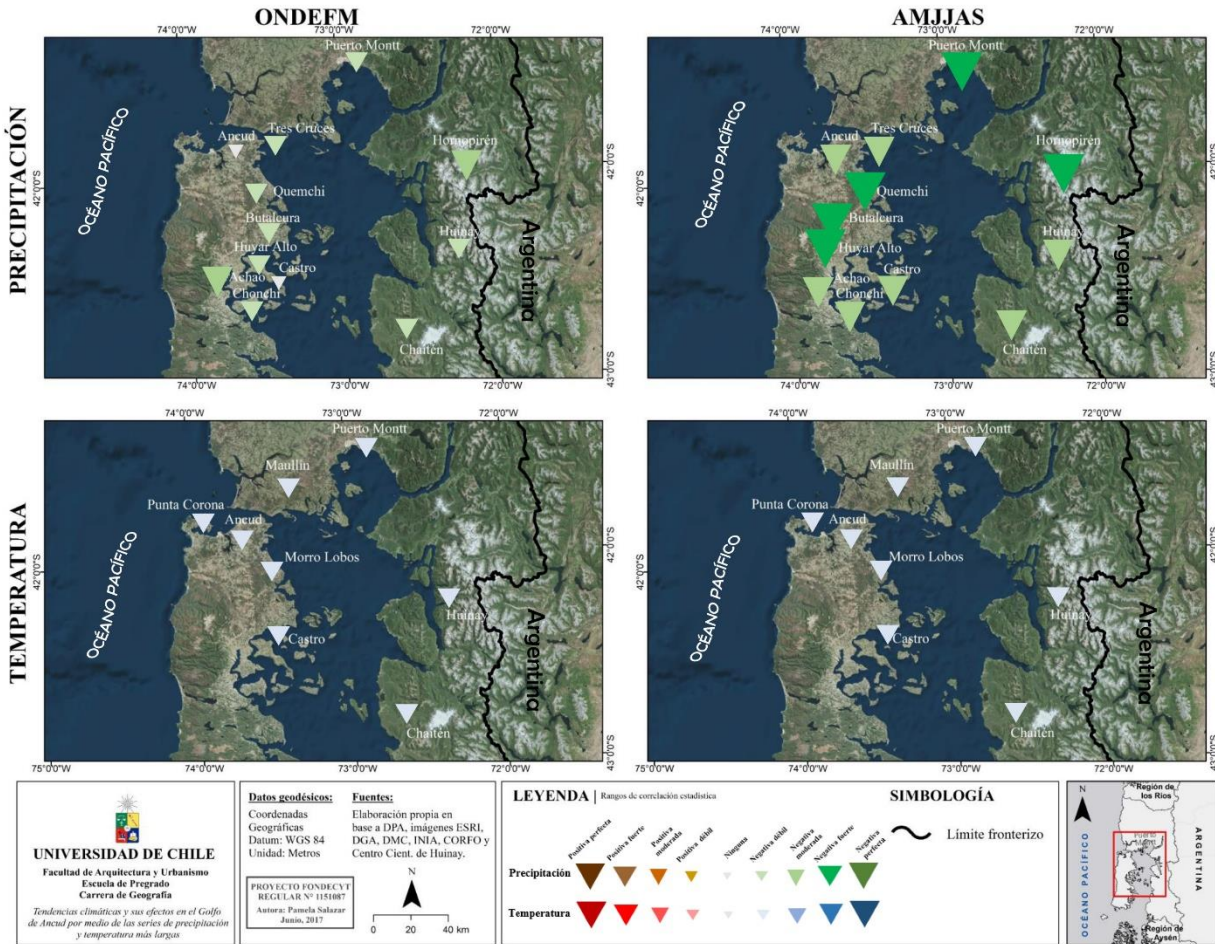


Figura N°88: Coeficiente de correlación entre el SOI semestral y las precipitaciones y temperaturas mensuales del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

IV.3.b. Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)

De acuerdo a la tabla N°38, en este caso, los resultados fueron bastante similares entre un semestre y otro. El anexo N°2 muestra en detalle los resultados obtenidos por año y semestre.

Clasificación	PDO				PDO-1			
	ONDEFM		AMJJAS		SONDEFM		MAMJJAS	
Muy fuerte (-)	1	≈ 1%	1	≈ 1%	1	≈ 1%	0	≈ 0%
Fuerte (-)	7	≈ 6%	2	≈ 2%	6	≈ 5%	3	≈ 3%
Moderado (-)	6	≈ 5%	11	≈ 10%	8	≈ 7%	11	≈ 10%
Débil (-)	16	≈ 15%	11	≈ 10%	15	≈ 14%	11	≈ 10%
Neutro	53	≈ 48%	53	≈ 48%	53	≈ 48%	54	≈ 49%
Débil	12	≈ 11%	15	≈ 14%	14	≈ 13%	15	≈ 14%
Moderado	10	≈ 9%	7	≈ 6%	9	≈ 8%	7	≈ 6%
Fuerte	4	≈ 4%	4	≈ 4%	4	≈ 4%	6	≈ 5%
Muy fuerte	1	≈ 1%	6	≈ 5%	0	≈ 0%	3	≈ 3%

Tabla N°38: Ocurrencias y su equivalencia en porcentaje de PDO y PDO-1 de acuerdo a la clasificación propuesta, entre 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

El índice de la PDO (figura N°89) arrojó un 48% ≈ 53 casos en ambos semestres en condiciones neutras, mientras que en el semestre seco hubo ligeramente más semestres en el extremo negativo (27% ≈ 30 semestres) que el positivo (25% ≈ 27 semestres). En el semestre húmedo la situación es inversa, ya que hubo más casos en el extremo positivo (29% ≈ 32 semestres) que el negativo (23% ≈ 25 semestres). La figura N°90 muestra el detalle de cada categoría en ambos semestres.

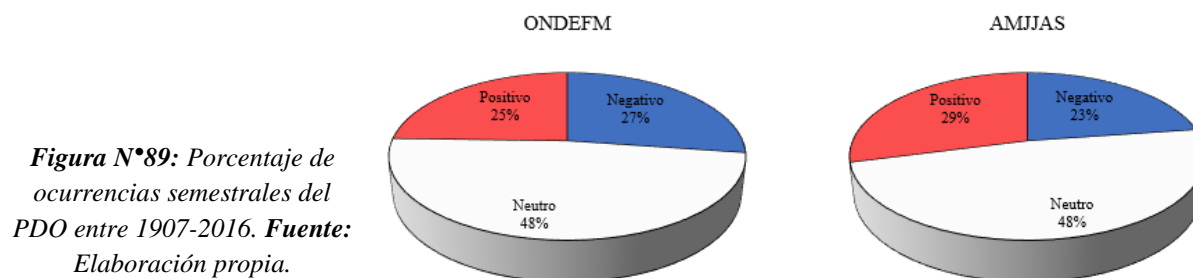


Figura N°89: Porcentaje de ocurrencias semestrales del PDO entre 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

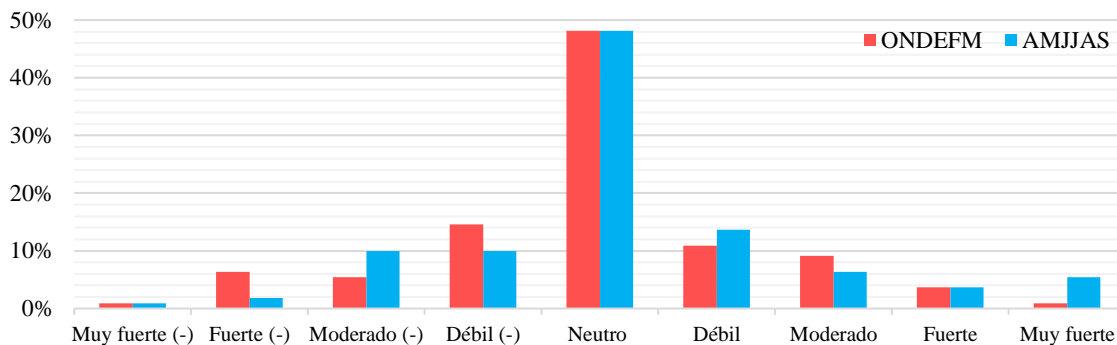
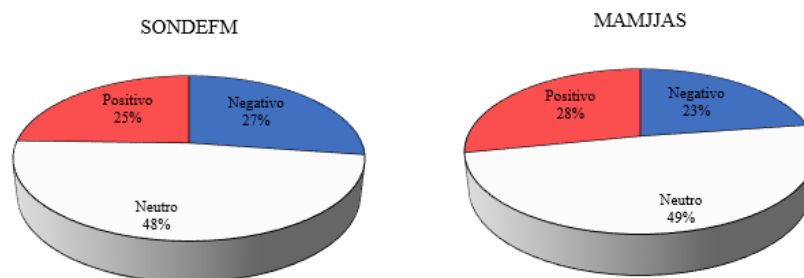


Figura N°90: Porcentaje de ocurrencias totales del PDO semestral entre 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

Por otro lado, el índice de PDO-1 mantiene el comportamiento del análisis sin desfase, ya que en el semestre seco se registraron 3 semestres más en condiciones negativas (27% ≈ 30 semestres) que positivas (25% ≈ 27 semestres). En el semestre húmedo hubo más semestres en el extremo positivo (28% ≈ 31 semestres) que negativo (23% ≈ 25 semestres) (figura N°91).

Figura N°91: Porcentaje de ocurrencias semestrales del PDO-1 entre 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.



La categoría “Muy fuerte (-)” solo ocurrió en el mes seco, mientras que “Muy fuerte” lo hizo solo en el mes húmedo. La figura N°92 detalla las demás categorías.

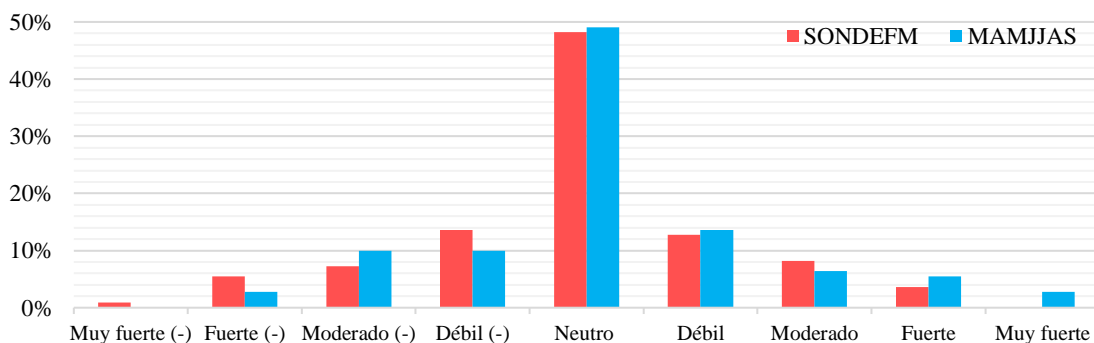


Figura N°92: Porcentaje de ocurrencias totales del PDO-1 semestral entre 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

Con respecto a las correlaciones estadísticas, de igual forma los resultados con el índice PDO y PDO-1 se encuentran en extenso en el anexo N°6. A partir de ellos, se decidió que las mejores correlaciones se dan, nuevamente, en el PDO sin desfase. En primer lugar, las correlaciones PDO-precipitaciones mensuales, a pesar de ser en mayoría de la categoría “Ninguna” (63%), en todos los casos son ligeramente más positivas que negativas, ya que no se tratan de ceros absolutos indicativos de ninguna correlación. En el 37% restante se ubican las correlaciones en la categoría “Débil”, negativa y positiva, con un 33 y 4% respectivamente (figura N°93).

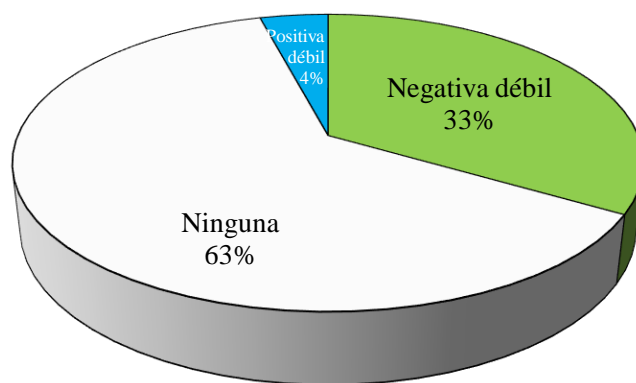


Figura N°93: Porcentaje de ocurrencias totales de correlaciones estadísticas entre la PDO y la precipitación mensual, entre 1985-2015.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la figura N°94, las correlaciones se mantuvieron cercanas a cero, es decir “Débiles”, no teniendo presencia en otras categorías. En el semestre seco el 58% de las correlaciones cayeron en la categoría “Negativa débil”, mientras que no hubo correlación en el 42% restante. En el semestre húmedo más del 50% de los resultados (83%) no presentó correlación con la PDO. Solo el 16% restante arrojó una débil correlación, negativa y positiva por igual (8% respectivamente).

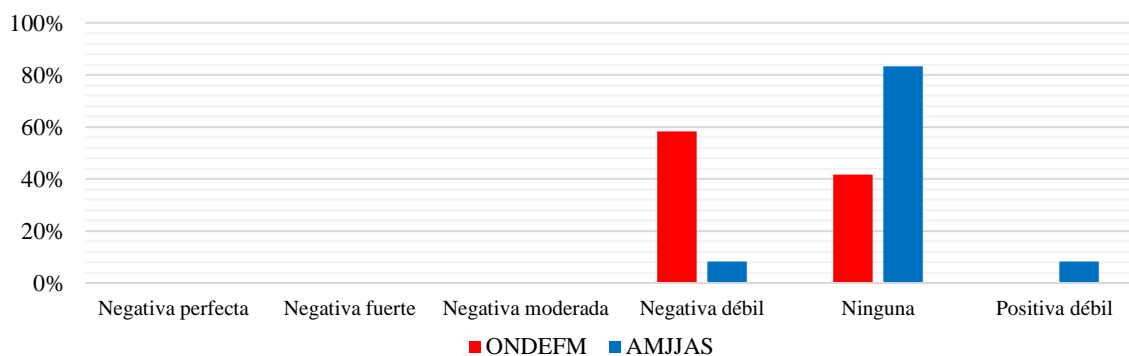


Figura N°94: Porcentaje de ocurrencias semestrales de correlaciones estadísticas entre la PDO y la precipitación mensual, entre 1985-2015. **Fuente:** Elaboración propia.

Ahora bien, en ambos semestres existe una notoria dispersión de datos (tabla N°39), y leves tendencias lineales positivas y negativas en el semestre seco y húmedo respectivamente, sin embargo, en ningún caso las correlaciones junto a las latitudes obtuvieron coeficiente de representación superior al 95% (tabla N°40), por lo que un análisis de este tipo estaría estadísticamente erróneo.

Estación	Latitud S	Longitud W	ONDEFM	AMJJAS
Puerto Montt	-41,43	-73,09	-0,05	0,09
Tres Cruces	-41,83	-73,48	0,02	0,07
Ancud	-41,86	-73,81	-0,06	0,03
Hornopirén	-41,93	-72,43	0,04	0,05
Quemchi	-42,14	-73,47	0,05	0,14
Butalcura	-42,26	-73,66	-0,02	0,25
Huinay	-42,37	-72,41	0,00	0,09
Huyar Alto	-42,4	-73,56	-0,11	0,14
Castro	-42,45	-73,44	-0,01	-0,10
Achao	-42,47	-73,49	0,21	0,42
Chonchi	-42,62	-73,77	-0,15	0,03
Chaitén	-42,93	-72,7	-0,06	0,06

Tabla N°39: Correlaciones estadísticas (entre la PDO semestral y las precipitaciones mensuales 1907-2016) asociado a las ubicaciones geográficas de las estaciones. **Fuente:** Elaboración propia.
Comentario: el anexo N°6 presenta las clasificaciones de las correlaciones según Vila, et al., s.f.

	Coef. Pearson	Coef. Determinación	Two tailed	P
ONDEFM	0,00	0,03	0,94	6%
AMJJAS	0,05	0,21	0,61	38%

Tabla N°40: Coeficientes y valores P entre correlaciones estadísticas (PDO-precipitación) y latitud de las estaciones. **Fuente:** Elaboración propia.

En segundo lugar, las correlaciones PDO-temperaturas mensuales se mantuvieron débiles, aunque en su mayoría no hubo correlación (38%). El 25% presentó una correlación estadística “Positiva débil”, mientras que otro 25% fue negativa. El 12% restante fue “Moderada”, positiva y negativa en un 6% respectivamente (figura N°95).

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

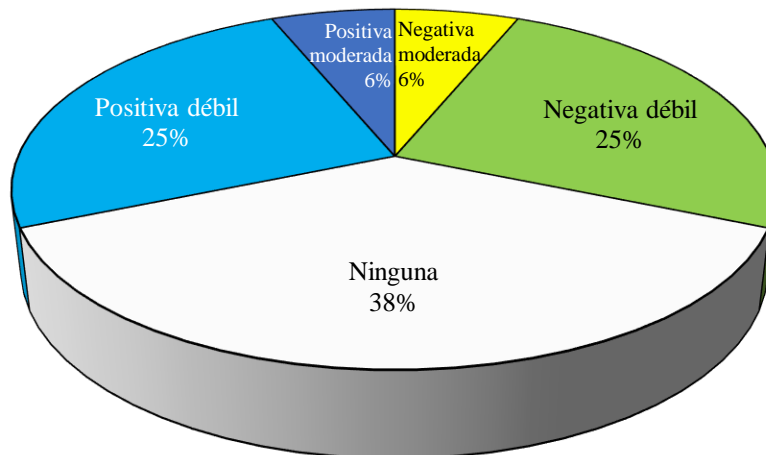


Figura N°95: Porcentaje de ocurrencias totales de correlaciones estadísticas entre el SOI y la temperatura mensual, entre 1916-2014. **Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo a la figura N°96, en el semestre seco, la mitad de las correlaciones fueron nulas, mientras que un 38% fueron “Negativa débil” y el 13% obtuvo correlación “Positiva débil”. Por el contrario, en el semestre húmedo el 38% de las correlaciones fueron débilmente positivas y el 13% “Positiva moderada”. El 26% fue “Negativa débil” y “moderada” (13% respectivamente) y en un 25% no hubo correlación.

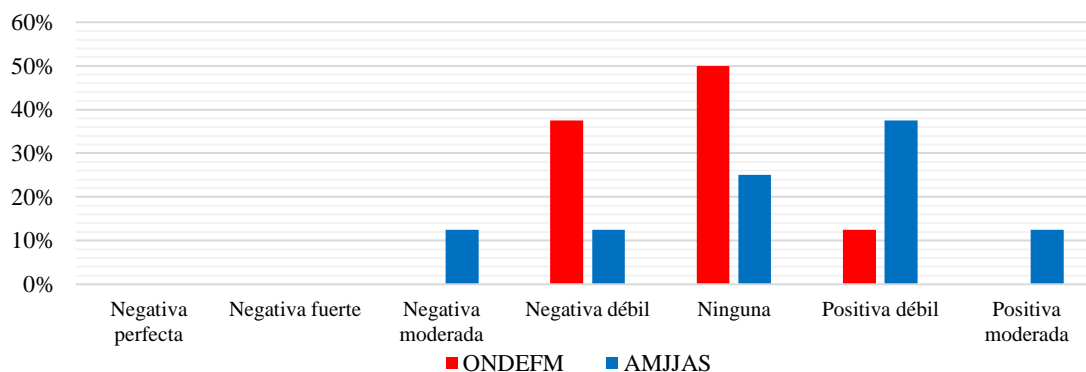


Figura N°96: Porcentaje de ocurrencias semestrales de correlaciones estadísticas entre el PDO y la temperatura mensual, entre 1916-2014. **Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla N°41, el semestre húmedo evidencia una tendencia lineal negativa muy marcada conforme aumenta la latitud, indicativo que la PDO influye en la temperatura hacia los 43°S en el semestre seco, análisis respaldado por un *P Value* que alcanza el 97% de representatividad.

Estación	Latitud S	Longitud W	ONDEFM	AMJJAS
Puerto Montt	-41,43	-73,09	0,06	0,07
Maullín	-41,61	73,53	0,29	0,28
Pta. Corona	-41,78	-33,86	0,08	-0,03
Ancud	-41,86	-73,81	-0,09	0,30
M. Lobos	-42,06	-73,4	0,07	0,59
Huinay	-42,37	-72,41	-0,19	-0,39
Castro	-42,45	-73,44	0,00	0,34
Chaitén	-42,93	-72,7	-0,25	0,00

Tabla N°41: Correlaciones estadísticas (entre la PDO semestral y las temperaturas mensuales 1907-2016) asociado a las ubicaciones geográficas de las estaciones. **Fuente:** Elaboración propia. **Comentario:** el anexo N°6 presenta las clasificaciones de las correlaciones según Vila, et al., s.f.

	Coef. Pearson	Coef. Determinación	Two tailed	P
ONDEFM	0,04	0,20	0,64	36%
AMJJAS	0,56	0,75	0,03	97%

Tabla N°42: Coeficientes y valores P entre correlaciones estadísticas (PDO-temperatura) y latitud de las estaciones. **Fuente:** Elaboración propia.

Finalmente, a diferencia de lo que ocurría con el SOI, la figura N°97 evidencia correlaciones negativas y positivas entre la PDO, la precipitación y temperatura en ambos semestres. Específicamente, para la precipitación, las mejores correlaciones ocurren en el semestre seco, mientras que en el húmedo son bastante cercanas a 0, sugiriendo relaciones despreciables entre las variables, a excepción de Castro y Achao que presentan categorías débiles, negativa y positiva respectivamente. Durante el semestre seco, Tres Cruces, Hornopirén, Quemchi, Huinay y Achao no arrojan correlaciones, mientras que el resto de las estaciones evidencia una débil correlación negativa. En el caso de la temperatura, es durante el semestre AMJJAS donde las estaciones presentan relaciones algo más lejanas a cero, en comparación con el ONDEFM, en donde tan solo Ancud, Huinay y Chaitén poseen categoría *Negativa débil* y Maullín *Positiva débil*. El resto no arroja correlaciones. En el semestre lluvioso Morro Lobos y Huinay arrojan categorías moderadas (positiva y negativa respectivamente), Punta Corona, Castro y Ancud evidencian cambios, pasando a *Negativa débil* (Punta Corona) y *Positiva débil* (Castro y Ancud). El caso de Ancud es bastante llamativo ya que pasa de categoría negativa a positiva, aunque en ambos casos débiles. Puerto Montt y Maullín se mantienen sin cambios en ambos semestres.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

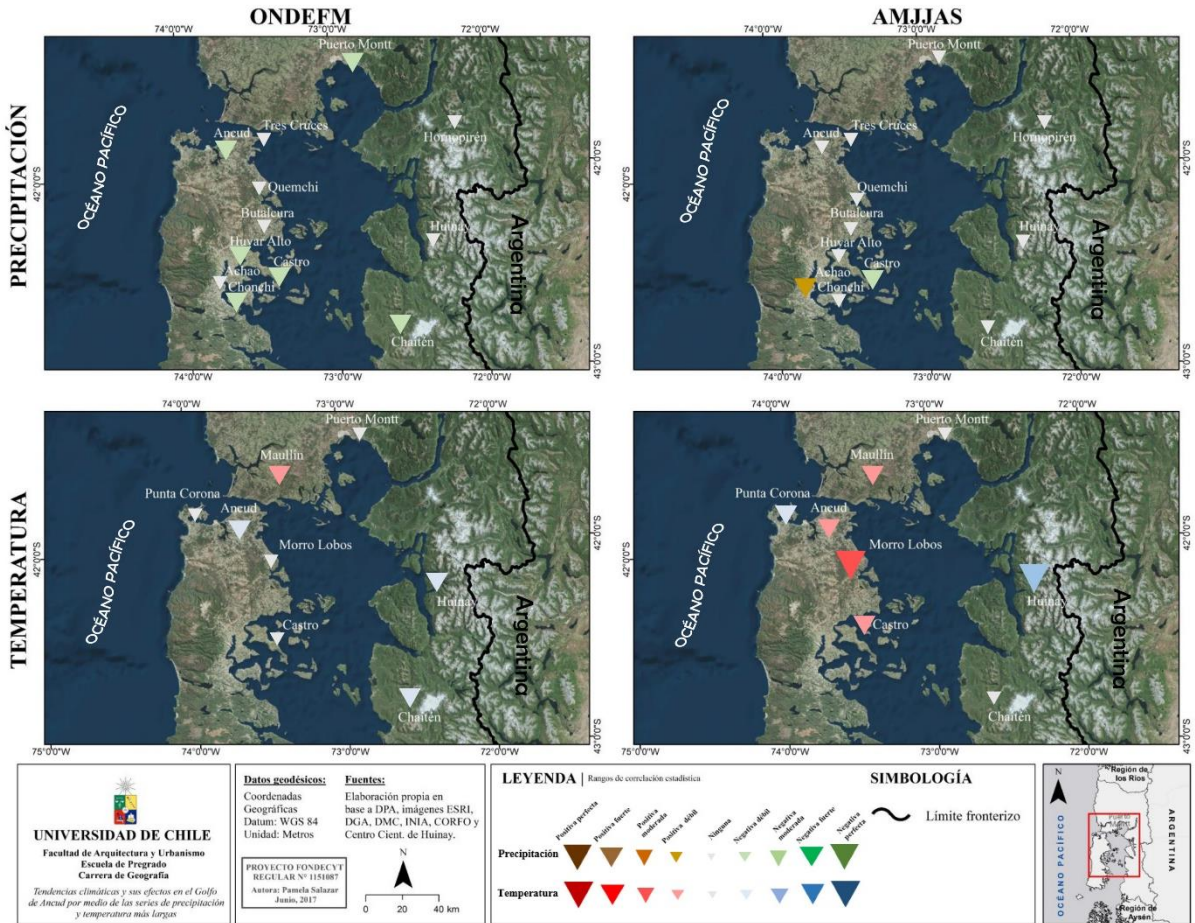


Figura N°97: Coeficiente de correlación entre la PDO semestral y las precipitaciones y temperaturas mensuales del área de estudio. **Fuente:** elaboración propia.

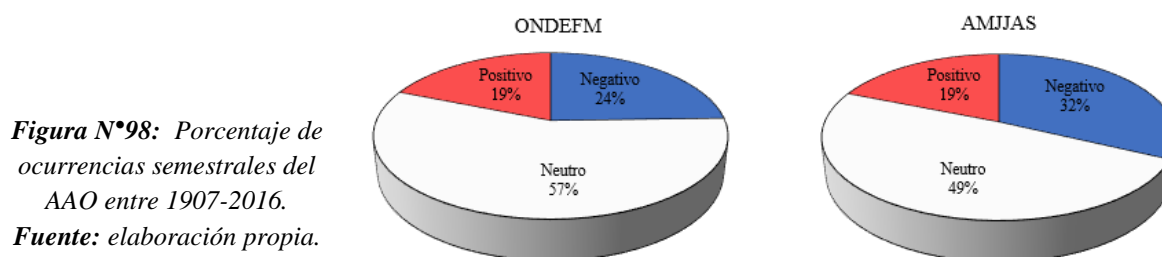
IV.3.c. Oscilación Antártica (AAO)

De acuerdo a la tabla N°43 el índice AAO y AAO-1 presentaron más condiciones negativas que positivas, aunque en rangos extremos (“*Muy fuerte*” y “*Muy fuerte (-)*”) solo hubo un caso en el semestre AMJJAS.

Clasificación	AAO				AAO-1			
	ONDEFM		AMJJAS		SONDEFM		MAMJJAS	
Muy fuerte (-)	0	≈ 0%	1	≈ 2%	0	≈ 0%	0	≈ 0%
Fuerte (-)	0	≈ 0%	2	≈ 4%	3	≈ 6%	4	≈ 8%
Moderado (-)	6	≈ 11%	6	≈ 11%	1	≈ 2%	4	≈ 8%
Débil (-)	7	≈ 13%	8	≈ 15%	10	≈ 19%	7	≈ 13%
Neutro	30	≈ 57%	26	≈ 49%	32	≈ 60%	29	≈ 55%
Débil	9	≈ 17%	7	≈ 13%	6	≈ 11%	6	≈ 11%
Moderado	1	≈ 2%	3	≈ 6%	1	≈ 2%	3	≈ 6%
Fuerte	0	≈ 0%	0	≈ 0%	0	≈ 0%	0	≈ 0%
Muy fuerte	0	≈ 0%	0	≈ 0%	0	≈ 0%	0	≈ 0%

Tabla N°43: Ocurrencias y su equivalencia en porcentaje de AAO y AAO-1 de acuerdo a la clasificación propuesta, entre 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

En ambos semestres del índice AAO hubo mayores condiciones negativas: 24% ≈ 13 semestres en el extremo negativo y 19% ≈ 10 semestres en el positivo (figura N°98). La figura N°99 muestra el detalle de cada clasificación propuesta y en donde queda manifestado que no existieron casos “*Muy fuerte (+ y -)*” ni “*Fuerte (+ y -)*” en el semestre seco, mientras que en el semestre húmedo solo se registraron casos dentro de los 5 rangos centrales.



Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

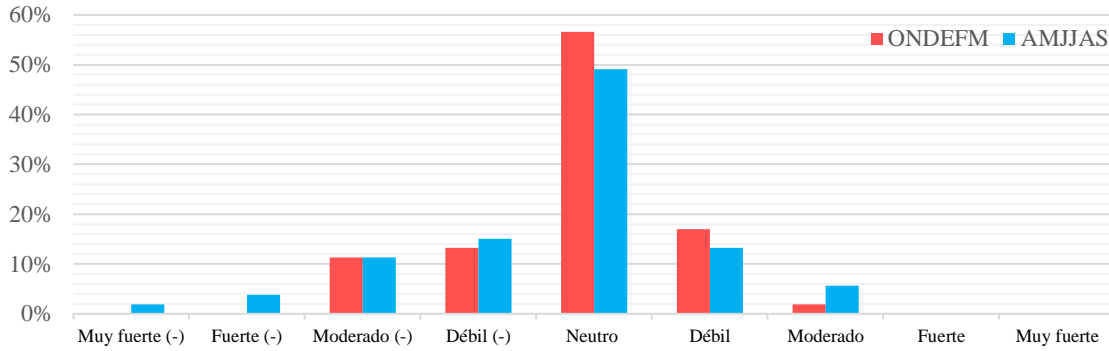


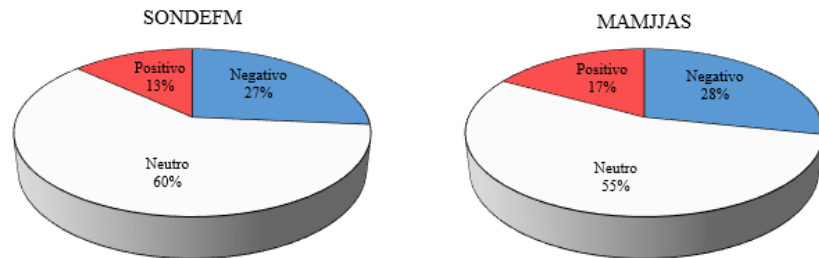
Figura N°99: Porcentaje de ocurrencias totales del AAO semestral entre 1907-2016.

Fuente: Elaboración propia.

En el índice AAO-1 hubo ligeramente más condiciones neutrales en el semestre seco que el húmedo. En ambos semestres, nuevamente, hubo más casos en el extremo negativo: en el semestre seco el 27% (≈ 14 semestres) versus el 13% en condiciones positivas (≈ 7 semestres), mientras que el semestre húmedo el 28% (≈ 15 semestres) se encontró en el extremo negativo y el 17% (≈ 9) en el positivo.

Figura N° 100: Porcentaje de ocurrencias semestrales del AAO-1 entre 1907-2016.

Fuente: elaboración propia.



No hubo casos en los extremos “Muy fuerte (+ y -)” ni “Fuerte (+ y -)” en ninguno de los semestres (figura N°101).

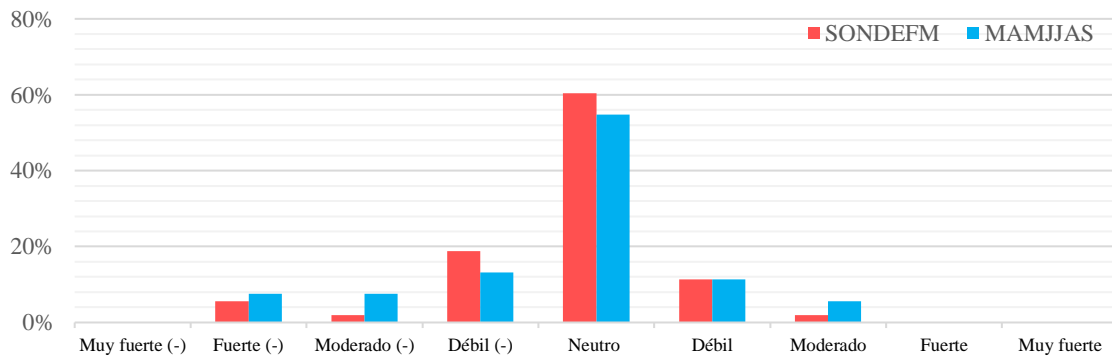


Figura N°101: Porcentaje de ocurrencias totales del AAO-1 semestral entre 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

Con respecto a las correlaciones estadísticas (en extenso en el anexo N°4), los resultados fueron idénticos en precipitación para el AAO y AAO-1, no así en la temperatura. Finalmente, y siguiendo la lógica de las demás teleconexiones, se escogieron los correlacionados semestralmente sin desfase. En primer lugar, en el caso de la precipitación, casi la totalidad de las correlaciones son negativas, a excepción de un caso que no arrojó correlación alguna. De acuerdo a la figura N°102, el 50% resultó con una fuerte correlación negativa, mientras que el 46% igualmente fue negativo, aunque débil. En el semestre seco solo hubo correlaciones negativas fuertes en todas las estaciones, mientras que, en el semestre húmedo el 92% obtuvo un “*Negativa débil*” y el 8% restante no arrojó correlación.

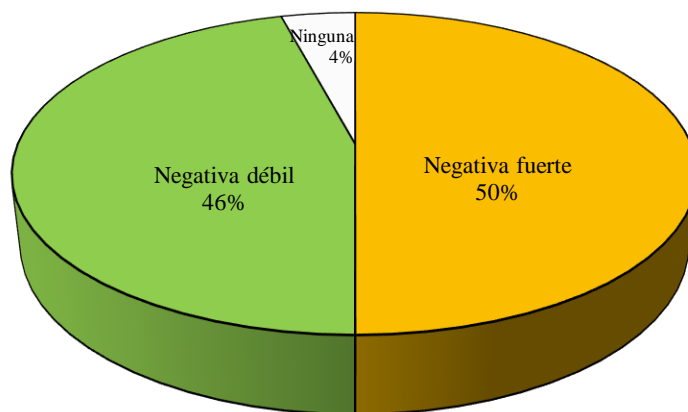


Figura N°102: Porcentaje de ocurrencias totales de correlaciones estadísticas entre la AAO y la precipitación mensual, entre 1985-2015. **Fuente:** Elaboración propia.

Las relaciones con la posición latitudinal de las estaciones pluviométricas muestran que en ambos semestres las correlaciones son muy buenas, la mayoría sobre el -0,6 aunque no existe tendencia, por lo que toda el área de estudio se comporta de forma homogénea. En el semestre seco la AAO influye de manera importante en las precipitaciones ya que todos los datos son altamente negativos (tabla N°44). Lamentablemente, la tabla N°45 evidencia mínimos coeficientes de representatividad y valores P.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

Estación	Latitud S	Longitud W	ONDEFM	AMJJAS
Puerto Montt	-41,43	-73,09	-0,71	-0,15
Tres Cruces	-41,83	-73,48	-0,68	-0,21
Ancud	-41,86	-73,81	-0,52	-0,07
Hornopirén	-41,93	-72,43	-0,74	-0,05
Quemchi	-42,14	-73,47	-0,67	-0,03
Butalcura	-42,26	-73,66	-0,68	-0,05
Huinay	-42,37	-72,41	-0,62	0,12
Huyar Alto	-42,4	-73,56	-0,66	-0,10
Castro	-42,45	-73,44	-0,67	-0,21
Achao	-42,47	-73,49	-0,62	-0,07
Chonchi	-42,62	-73,77	-0,65	-0,17
Chaitén	-42,93	-72,7	-0,71	-0,16

Tabla N°44: Correlaciones estadísticas (entre la AAO semestral y las precipitaciones mensuales 1907-2016) asociado a las ubicaciones geográficas de las estaciones. **Fuente:** Elaboración propia. **Comentario:** el anexo N°7 presenta las clasificaciones de las correlaciones según Vila, et al., s.f.

	Coef. Pearson	Coef. Determinación	Two tailed	P
ONDEFM	0,00	0,00	0,99	1%
AMJJAS	0,00	0,02	0,96	4%

Tabla N°45: Coeficientes y valores P entre correlaciones estadísticas (AAO-precipitaciones) y latitud de las estaciones. **Fuente:** Elaboración propia.

En segundo lugar, con respecto a las correlaciones entre temperatura e índice AAO, las estaciones de Maullín y Morro Lobos no pudieron ser correlacionadas ya que no presentaron datos originales de temperatura mensual en años equivalentes a los del índice AAO. El resto de las estaciones presentó correlaciones negativas (42%) y positivas (25%), en porcentajes importantes. En el 33% de los casos no hubo correlación (figura N°103).

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

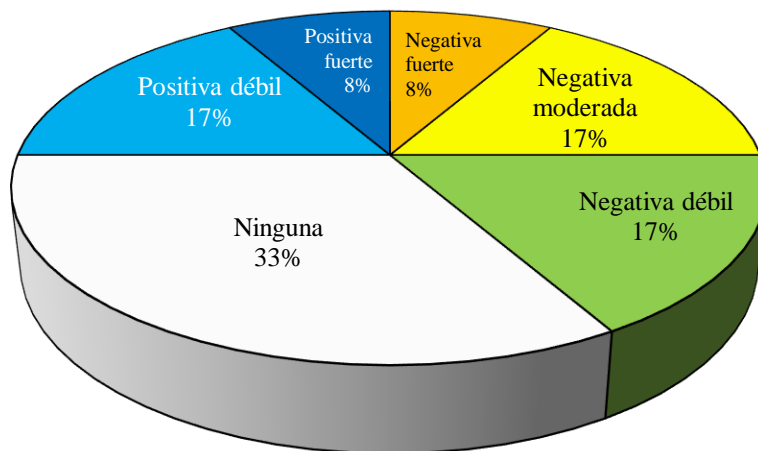


Figura N°103: Porcentaje de ocurrencias totales de correlaciones estadísticas entre el AAO y la temperatura mensual, entre 1916-2014. **Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo a la figura N°104, en el semestre seco hubo el mismo porcentaje de estaciones en las categorías “Ninguna” y “Negativa moderada” (33% respectivamente), seguido por las categorías “Positiva débil” y “Negativa fuerte” con un 17% de los casos respectivamente. En el semestre húmedo, las correlaciones se reparten en las categorías “Positiva fuerte” (17%), “Positiva débil” (17%), “Ninguna” (33%) y “Negativa débil” (33%)

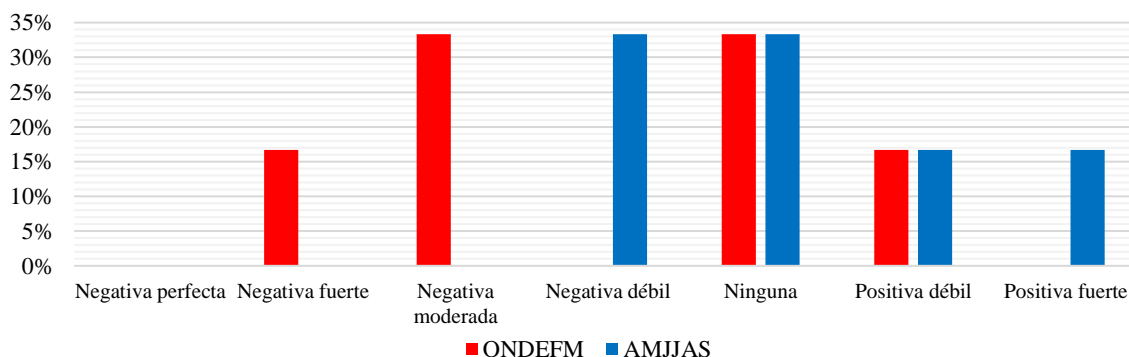


Figura N°104: Porcentaje de ocurrencias semestrales de correlaciones estadísticas entre el AAO y la temperatura mensual, entre 1916-2014. **Fuente:** Elaboración propia.

La tabla N°46 muestra las relaciones entre las correlaciones del índice AAO-temperatura mensual y la latitud de las estaciones. Debido a lo escaso de los datos resultantes no es posible apreciar patrones definidos, es más, los puntos aparecen dispersos en ambos semestres,

aunque en el semestre seco evidencia una tendencia negativa. La tabla N°47 muestra los *P value* muy bajo los 95% aceptables.

Estación	Latitud S	Longitud W	ONDEFM	AMJJAS
Puerto Montt	-41,43	-73,09	0,25	0,10
Mauñín	-41,61	73,53		
Pta. Corona	-41,78	-33,86	-0,25	1,00
Ancud	-41,86	-73,81	-0,56	-0,09
M. Lobos	-42,06	-73,4		
Huinay	-42,37	-72,41	0,42	0,21
Castro	-42,45	-73,44	-0,43	0,36
Chaitén	-42,93	-72,7	0,02	-0,09

Tabla N°46: Correlaciones estadísticas (entre la AAO semestral y las precipitaciones mensuales 1907-2016) asociado a las ubicaciones geográficas de las estaciones. **Fuente:** Elaboración propia. **Comentario:** el anexo N°7 presenta las clasificaciones de las correlaciones según Vila, et al., s.f.

	Coef. Pearson	Coef. Determinación	Two tailed	P
ONDEFM	0,08	0,28	0,50	50%
AMJJAS	0,00	0,05	0,91	9%

Tabla N°47: Coeficientes y valores *P* entre correlaciones estadísticas (AAO-temperaturas) y latitud de las estaciones. **Fuente:** Elaboración propia.

Finalmente, la figura N°105 expresa que, en el caso de la precipitación, las correlaciones son negativas en todas las estaciones, en ambos semestres, aunque mucho más marcadas en el semestre seco sobre el lluvioso. En el ONDEFM todas son fuertemente negativas, indicativa que la AAO se comporta homogéneamente durante los meses secos del año, mientras que el AMJJAS bajan a la categoría débil, exceptuando Huinay que no arroja correlación. En el caso de la temperatura, Ancud, Punta Corona y Castro son las únicas que presentan correlación en el semestre seco, en las categorías fuertes y débiles, mientras que, en el semestre húmedo, Punta Corona cambia de signo, evidenciando una fuerte correlación positiva, al igual que Castro, aunque de forma débil.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

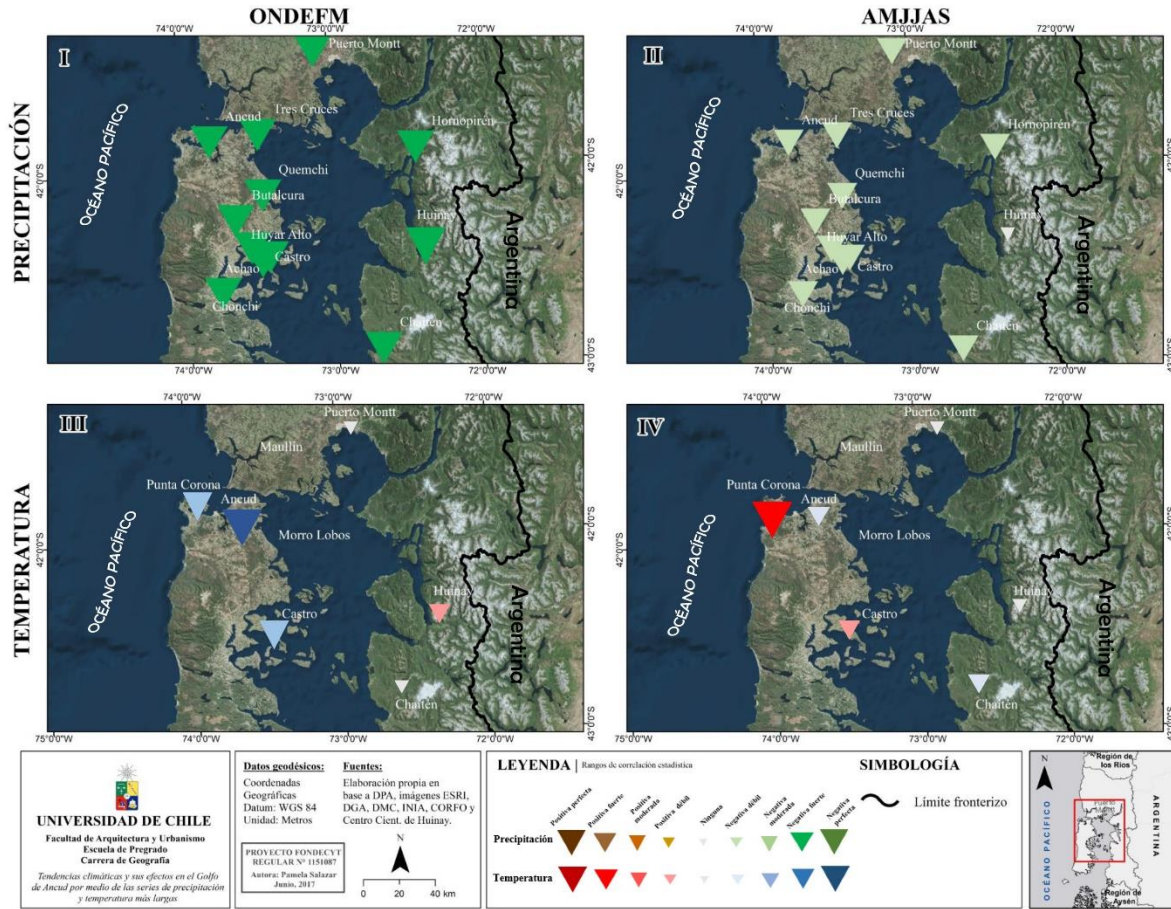


Figura N°105: Coeficiente de correlación entre la AAO semestral y las precipitaciones y temperaturas mensuales del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

V.1. Discusión

La importancia del conocimiento y análisis de la precipitación en tiempos actuales no es algo nuevo. Su cantidad, intensidad y distribución también son importantes, sobre todo en Chile donde las abruptas diferencias en los factores del clima resultan en condiciones climáticas de diversa clasificación. Los registros de precipitación y temperatura son excelentes indicadores de tendencias climáticas, debido a que presentan grandes fluctuaciones en el espacio y el tiempo (Aceituno & Blanco, 1979), favorecidos por la relativa sencillez en sus formas de medición, la extensa fuente de datos existentes y la fácil obtención de estos. Estas tendencias del clima, derivadas del análisis de las series, permiten ratificar lo que a estas alturas pareciera ser evidente: que el mundo experimenta un cambio climático. Lo que queda ahora por determinar es si este cambio es acentuado por la actividad antrópica, pues, aunque está más que comprobado que muchos problemas del medio son provocados por la acción del Hombre, aún se sigue negando la participación humana en un proceso natural del clima. Sin embargo, lo anterior no es tema a abordar en esta memoria.

El principal problema al momento de digitalizar una serie térmica o pluviométrica son aquellos días, meses e incluso años faltantes. En el caso de la fuente Anexo 1 Pluviometría de Chile de la CORFO existían ceros los que eran evidentemente falsos, considerando las características que adopta la precipitación en la zona sur de Chile. De esta forma, se identificaron años completos con ceros consecutivos, como fue el caso de Puerto Montt, las que, obviamente, no son reflejo de la realidad. De la misma forma, las fuentes del CR2 también presentan vacíos (-9999) e incluso los anuarios de la DMC tampoco ofrecen datos, o estos se encuentran en muy mal estado y han sido digitalizados en estas condiciones.

Frente a esto, existen múltiples métodos de relleno y estimación para completar vacíos en los datos de precipitaciones y temperatura como el de la Razón Q, la Razón-Normal, por regresiones múltiples, la Transformada de Wavelet, el de isoyetas, entre otros (Gidahatari, 2013). En esta memoria se han utilizado las regresiones múltiples, identificando como variables independientes y dependientes a las series de precipitación y temperaturas mensuales, todo ello previo a la determinación de correlaciones estadísticas mediante el método de Pearson, valiéndose del software SPSS. Este procedimiento de relleno de datos climáticos viene a ser lo que en estadística se conoce como *Estimación*, método de una de las áreas de esta ciencia denominada *Inferencia estadística*, que permite realizar predicciones acerca de las características de un fenómeno sobre la base de información parcial acerca del mismo (Orellana, 2001). Por supuesto, la estimación nunca será perfecta, mucho menos al trabajar con datos climáticos tan cambiantes como la precipitación y temperatura, elementos básicos que definen la variabilidad climática, característica intrínseca del comportamiento de

la atmósfera terrestre, es decir, aunque exista coherencia estadística en los resultados (ya que todos los procedimientos se realizaron siguiendo rangos de representación aceptados en climatología), también debe ser demostrable la coherencia geográfica de estos. Por ello, siempre se obtendrá un rango de error propio de los métodos utilizados y/o heredado de la variable mediante la cual se estima el valor. En este caso, la variable independiente por excelencia fue Puerto Montt, que estuvo involucrada en todos los meses rellenados. La figura N°106 muestra un ejemplo de lo anterior: Puerto Montt presenta un claro outlier en junio de 1930 que vuelve a presentarse en las estaciones de Hornopirén, Quemchi, Butalcura, Huinay y Chaitén. Por supuesto, el dato en Puerto Montt es original y fue digitalizado desde los anuarios de la DMC, por lo que genera la duda si acaso este mes, visiblemente muy por sobre la tendencia general, es correcto o no.

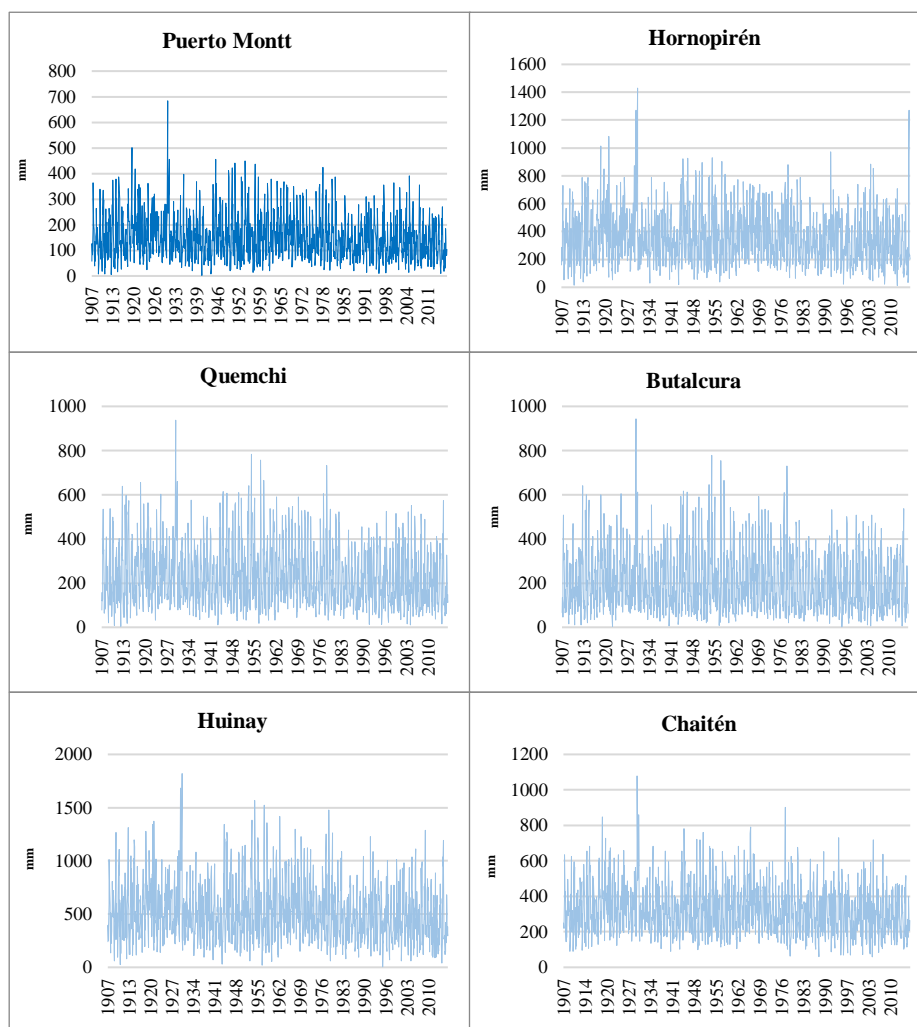


Figura N°106: Precipitación acumulada mensual entre 1907-2016. **Fuente:** elaboración propia en base a Centro de Ciencia del Clima Resiliencia (<http://www.cr2.cl/recursos-y-publicaciones/bases-de-datos/>), anuarios de la DMC, DGA y CORFO.

Lo mismo ocurre en febrero de 1934 en el caso de las temperaturas, donde el mayor valor de Puerto Montt (20°C) también es original, mientras que Maullín y Huinay presenta claros peaks en el mismo mes y año (figura N°107).

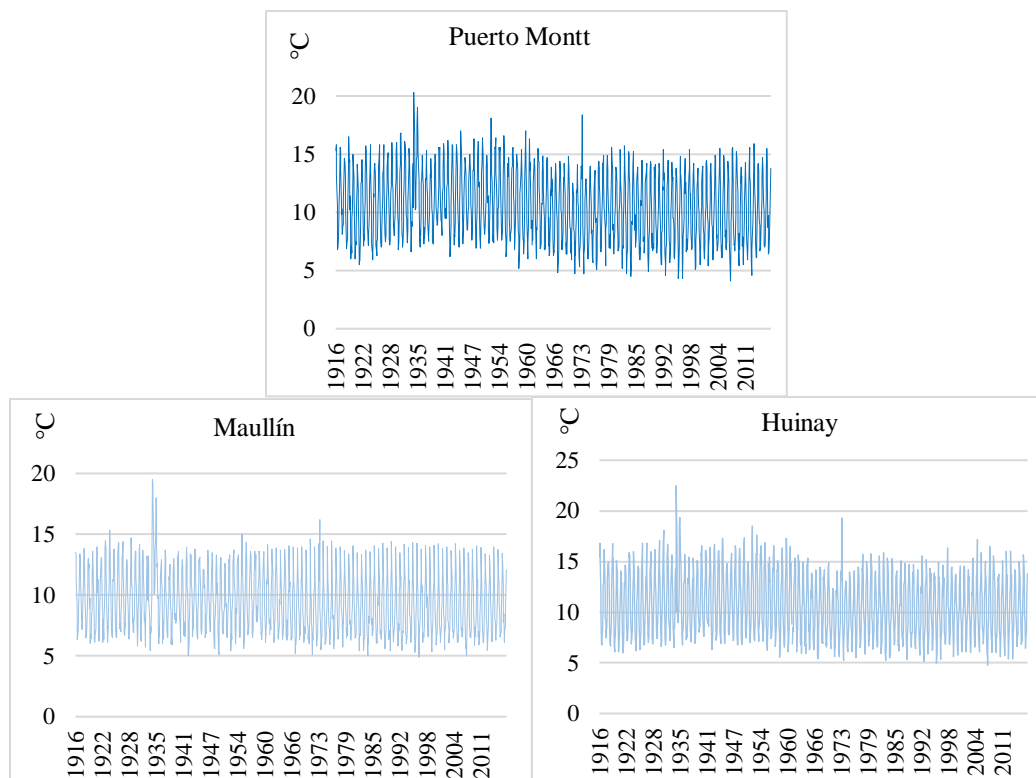


Figura N°107: Temperatura media mensual entre 1917-2016. **Fuente:** elaboración propia en base a Centro de Ciencia del Clima Resiliencia (<http://www.cr2.cl/recursos-y-publicaciones/bases-de-datos/>) y anuarios de la DMC.

Por otra parte, el relleno de datos suple el gran problema que enfrenta todo estudio climático en Chile, y que tiene que ver con la escasa cobertura de las estaciones meteorológicas, dificultad propia de las dimensiones geográficas del país. Di Castri & Hajek (1976) ya enfrentaron estas dificultades en el estudio bioclimático de Chile, aclarando que el número de estaciones meteorológicas es escaso en el país, sobre todo en las áreas extremas y las andinas, pero que de igual forma presenta condiciones favorables en comparación al resto de la región, específicamente en países de la costa Pacífica, donde se poseen incluso menos estaciones de las que hay en Chile. Esto se vuelve aún más complejo si se considera la importancia de obtener series pluviométricas lo suficientemente largas como para representar pautas de comportamiento atmosférico, las que ayudarían a comprender su evolución y, si fuera posible, aventurarse en continuidades futuras (Sanz Donaire, 2012). De esta forma existen distintos métodos para calcular el largo de series pluviométricas óptimas, así como distintas versiones del mínimo de años necesarios. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda períodos mínimos de 30 años (World Meteorological Organization, 1989), bajo la premisa que mientras más largas sean las series, mejor. Sanz Donaire (2012)

ya experimentó con la construcción de series pluviométricas más largas de Chile a nivel anual, aclarando algunos problemas generados por las diferencias de datos entre distintas fuentes, la escasa red meteorológica del país, las contantes lagunas de datos diarios (en contraste con el uso anual y mensual, el más usado), series relativamente nuevas que no superan los 50 años, entre otros (Araya, 2014). Sin embargo, la disponibilidad de datos meteorológicos amplios no es suficiente para determinar tendencias y variabilidad del clima, ya que además es primordial aislar la señal climática de cambios ligados al ambiente de la medición, y esto solo es posible conociendo el contexto de la red de medición (Izzo & Osoria Zarzuela, 2014). Por ello, la prácticamente nula existencia de metadatos de las estaciones, en Chile, representa otra dificultad a la hora de definir el clima en el área de estudio.

Lo anterior se relaciona íntimamente con el grado de homogeneidad de las series climáticas: una serie homogénea es aquella que muestra fielmente y puede garantizar que cada valor es sólo fruto del comportamiento de la atmósfera en un lugar y enclave determinado, no estando sujeta a variabilidades artificiales (Martín-Vide, 2003). Es por ello que se habla de homogeneidades “climatológicas” y “no climatológicas”. Estas últimas son resultado de alteraciones en la observación, las cuales causan rupturas abruptas en los datos (Martínez, 1986). La evaluación de la homogeneidad de las series puede realizarse bajo distintos métodos. En este caso las series rellenadas fueron sometidas a los test de Thom (1966) y Von Neumann (1941). Los anexos N°8 y N°9 presentan los resultados de dichas pruebas.

- *Precipitación:* en el test de Von Neumann, solo Butalcura resultó ser homogénea, y en el de Thom, Tres Cruces, Ancud, Huinay, Chonchi y Chaitén. En el caso de Puerto Montt, Hornopirén, Quemchi, Huyar Alto, Castro y Achao no presentaron homogeneidad en ninguna de las pruebas.
- *Temperatura:* los resultados de los test fueron mucho más desfavorecidos que en el caso anterior ya que solo Chaitén y Punta Corona resultaron ser homogéneas en el test de Von Neumann y de Thom respectivamente.

A pesar que en ninguna de las estaciones heterogéneas se obtuvieron metadatos de las estaciones, la inhomogeneidad podría ser resultado del propio error estadístico de un proceso de estimación de datos, pues el relleno toma una estación como variable independiente (con sus características propias de la red de levantamiento, su evolución de metodologías, herramientas de medición, historial y entorno espacial-geográfico (Izzo & Osoria Zarzuela, 2014) y a partir de ella se crea una ecuación para completar aquellos meses sin datos de otra estación, la que obviamente presenta condiciones metodológicas y espaciales distintas. Sin embargo, es destacable que la mitad de las estaciones sean homogéneas, lo que hace más confiable el análisis climático a través de ellas. En todo caso, aquellas estaciones no homogéneas pueden someterse a métodos de homogeneización favorecidas por su buena longitud de datos. Además, al someter los datos a cálculo de índices definitorios de tendencias, estos parecen responder bien, arrojando resultados coherentes:

- *Variabilidad*: el anexo N°10 presenta los resultados del CV para el área de estudio. En el caso de la precipitación, en general, los valores son bajos, indicativos de poca variabilidad y comportamiento homogéneo de las lluvias, donde solo Achao obtuvo un *Moderado*. Esto tiene concordancia por lo planteado por Figueroa, 2014, quien menciona que la variabilidad en esta zona tiende a ser baja y moderada. Con respecto a la temperatura, todas las estaciones presentan categorías muy bajas, a excepción de Chaitén que obtuvo un alto nivel de variabilidad, sin embargo, este resultado es cuestionable puesto que Chaitén no posee datos en los meses de enero, presentando 87 meses sin datos.
- *Irregularidad temporal de las precipitaciones*: el anexo N°11 presenta los resultados para el cálculo del S_1 . Al igual que con el CV, los resultados son bajos en todas las estaciones, lo que coincide nuevamente con los planteado por Figueroa, 2014.
- *Concentración de las precipitaciones*: el anexo N°12 presenta los resultados del cálculo del PCI. Todas las estaciones arrojaron un *Moderadamente estacional*, excepto Chaitén que resultó ser *Uniforme*. Esto es coincidente con las características que adquiere la precipitación en esta zona de Chile: precipitaciones regulares todo el año, aunque algo más concentradas en invierno.

Analizando las Teleconexiones evaluadas, la figura N°108-a demuestra que las mayores temperaturas ocurren cuando la AAO está en su fase más positiva (I), mientras que cuando esta cambia de polaridad a negativa, ocurre un descenso (II). Esto es coincidente con lo que se espera ocurra durante una fase positiva de la AAO, donde la presión atmosférica aumenta en el sur de Chile y las condiciones se mantienen estables y secas debido al fortalecimiento y contracción, hacia los polos, del cinturón de vientos del Oeste, lo que imposibilita la entrada de los frentes fríos hacia el territorio chileno.

En el caso de la precipitación, la figura N°108-b no presenta una clara relación que se repita todos los años, aunque los más bajos montos de precipitación ocurren en una clara fase positiva (I), mientras que los peaks de precipitación en II y III coinciden con la fase negativa. Lo que ocurre en I tiene relación con lo que se espera suceda durante una fase positiva de la AAO, donde las condiciones se mantienen estables (anomalías positivas de presión) en el territorio chileno, disminuyendo las precipitaciones. En cambio, lo que pasa en II y III tiene relación con lo que se espera ocurra durante la fase negativa, ya que se aumentan los sistemas de baja presión sobre Chile central y con ello las condiciones inestables, la probabilidad de tormentas y altas precipitaciones (Figueroa, 2014)

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

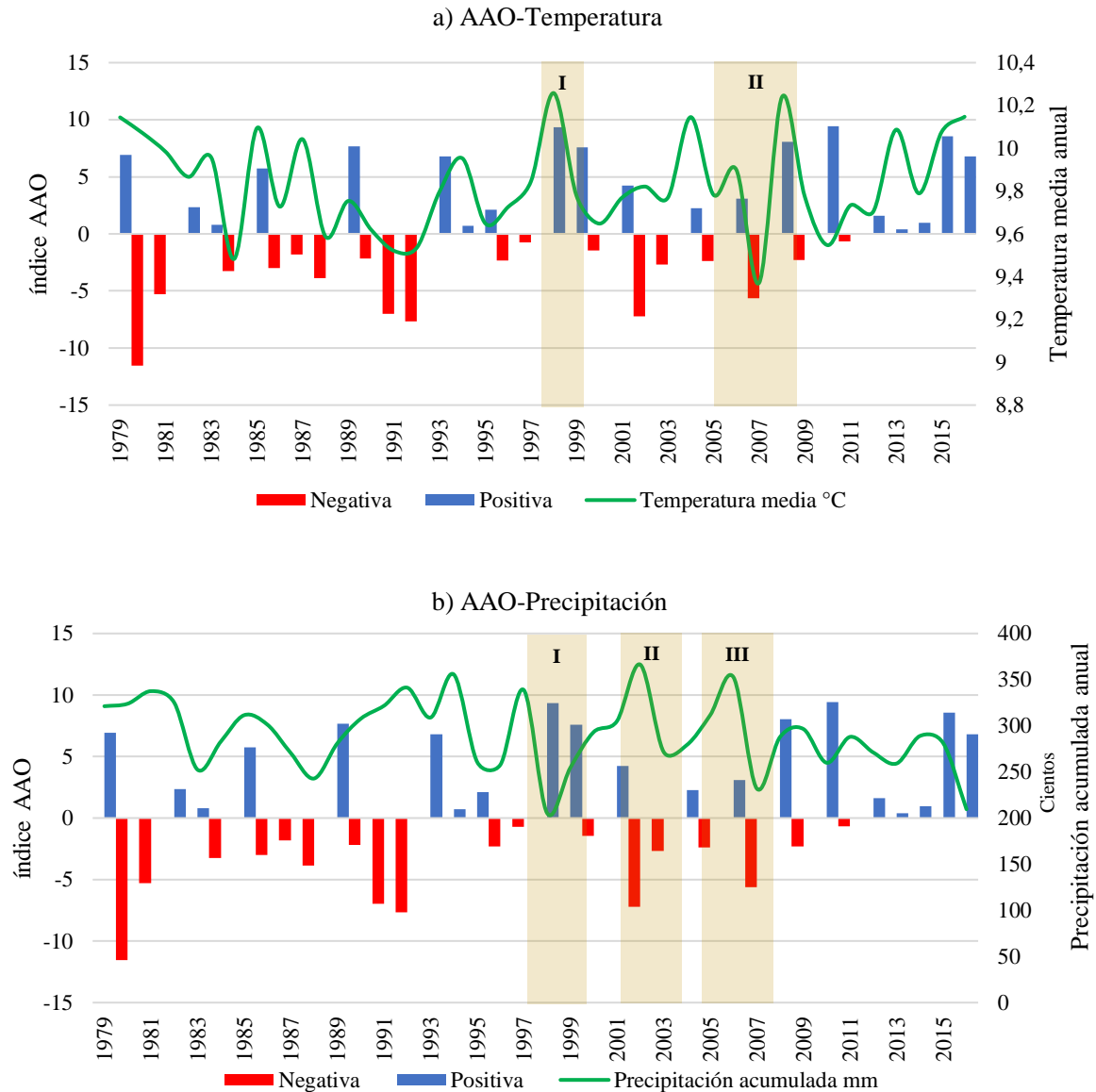


Figura N°108: Variación anual del índice AAO y la temperatura media y precipitación acumulada anual del área de estudio, entre 1979 y 2016. **Fuente:** Elaboración propia en base a datos de (NOAA, 2017).

Aunque nuevamente las correlaciones estadísticas calculadas en este caso (anexo N°7) no poseen la misma longitud de serie, éstas demuestran una relación negativa para la precipitación, en ambos semestres (a excepción de Huinay en el semestre húmedo), lo que coincide con la figura N°108-b. Además, la figura N°109 demuestra que la AAO actúa homogéneamente para toda el área de estudio con una marcada relación inversa en todos los casos en el semestre seco. En cambio, para la temperatura, las correlaciones no son coincidentes con la clara relación demostrada en la figura N°108-a, ya que la mayoría de las estaciones presenta correlación negativa, a excepción de Punta Corona que el positivamente

fuerte en el semestre AMJJAS. Sin embargo, Garreaud, *et al.*, 2007, plantean que la AAO parece desempeñar un rol importante en la variabilidad climática de Sudamérica extratropical, especialmente cerca del extremo sur: la dualidad de presiones atmosféricas entre latitudes medias y altas generada por la AAO representa un modulador importante de la variabilidad de las precipitaciones y temperaturas en la zona sur-austral de Chile y del hemisferio sur (Thompson & Wallace, 2000).

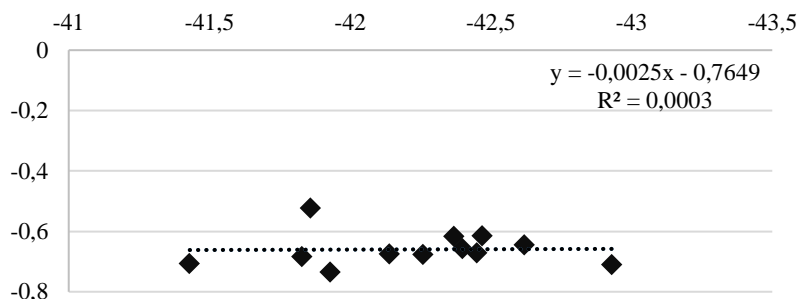


Figura N°109: Correlación latitud-índice AAO en el semestre ONDEFM. **Fuente:** Elaboración propia.

Por otro lado, no se encontraron tendencias específicas ni correlaciones estadísticas importantes entre las precipitaciones, temperaturas y el índice SOI. Sin embargo:

- El ENSO, que explica el fenómeno de El Niño en su fase cálida-negativa, es un fenómeno océano atmosférico que actúa sobre el Pacífico tropical, influyendo directamente en la costa del Ecuador, Perú y norte chileno.
- Garreaud, *et al.*, (2007) mencionan que posee efectos indirectos sobre la zona subtropical de Sudamérica, extendiéndose a altas latitud a través de teleconexiones atmosféricas.
- Aceituno (1988) en González & Muñoz (2013) señalan que la precipitación en la zona centro-sur de Chile está relacionada con los sistemas frontales provenientes del Océano Pacífico, frentes cuya mayor frecuencia durante el invierno, en específico al sur de los 34°S, genera que durante el trimestre JJA se acumule cerca del 80% de agua caída anualmente (Garreaud, 1994).
- A su vez, estos frentes son regulados por la dinámica actual del Anticiclón del Pacífico y su variabilidad interanual asociada a ENSO, que en su fase cálida se asocia a un aumento de las precipitaciones invernales entre los 30-35°S, mientras que en los 38-41°S suelen vincularse con una reducción de precipitaciones especialmente al verano siguiente (González & Muñoz, 2013).

Con respecto a las tendencias de temperatura, en comparación con lo presentado por los escenarios climáticos para Chile (y a pesar que estos no fueron sometidos a método MAKESENS), en primer lugar, representan lo inverso a lo esperable, es decir, una disminución de temperaturas mensuales (figura N°110).

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

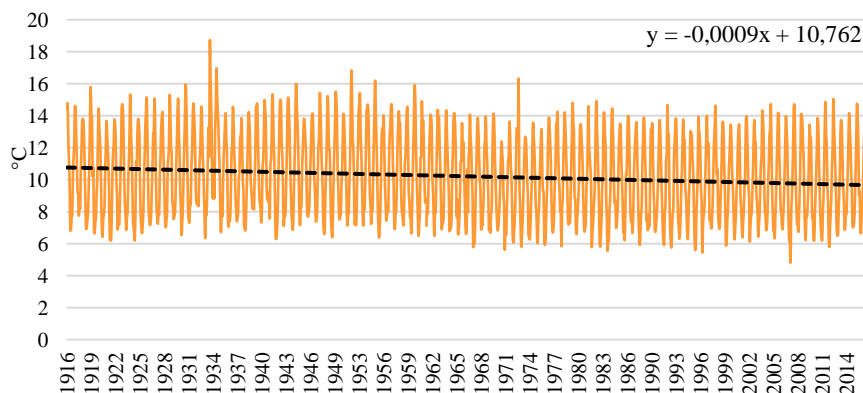


Figura N°110: Temperatura media mensual del área de estudio entre 1916 y 2016. **Fuente:** Elaboración propia.

Esta situación es coincidente con las tendencias climáticas planteadas por la CONAMA en 2006, valiéndose del trabajo de Aceituno, *et al.*, (1992) y Rosenbluth, *et al.*, (1997), donde se manifiesta que la zona centro-sur de Chile mantuvo un marcado descenso de la temperatura media a partir de 1940-1950, situación que se revertió nuevamente producto del cambio de fase de la PDO en la década del '70. Observando las tendencias en periodos de tiempo por separado los resultados difieren de las figura N°111, ya que entre 1940-1970 se observa una marcada disminución de las temperaturas, mientras que entre 1970-2000 estas se vuelven más estacionarias, aunque con un leve aumento. Nuevamente, la década del '70 parece marcar el comportamiento de las temperaturas en el Golfo de Ancud, al igual que con las precipitaciones.

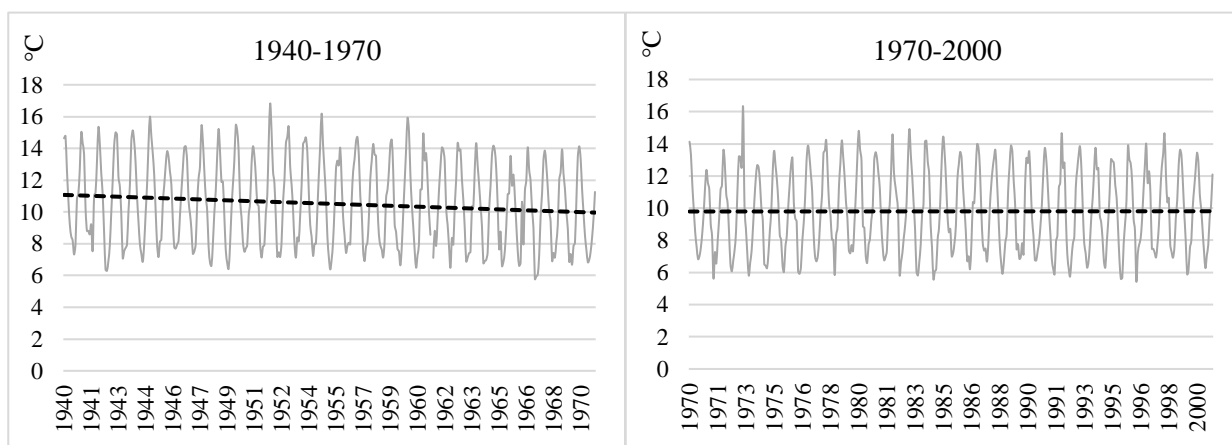


Figura N°111: Tendencia lineal de temperatura media mensual del área de estudio. **Fuente:** elaboración propia.

Sobre las mismas tendencias climáticas, el componente principal del análisis tiene que ver con el denominado salto climático de la década de 1970. Miller, *et al.*, (1994) y Minobe,

(1997) (en Jacques, 2009) denominaron como *Climate Shift* a un escalón en las series temporales, es decir, a una transición entre estados climáticos distintos en un periodo más corto de lo característico a tales estados. Evaluando los promedios anuales del índice PDO (figura N°16), se observa un cambio de polaridad a mediados de la década de los '70, de fase fría a cálida (y que adquiere categorías de moderada a fuertemente negativa según anexo N°3) que está relacionada con este salto climático y que a su vez es responsable de un aumento de temperatura media en los mismos años en la región subtropical de Chile (Juliá, *et al.*, 2008). La figura N°112 demuestra que en el área de estudio esta tendencia también ocurre, es más, se repite en años anteriores. Alrededor de 1936 se visualiza un peak de temperatura media la que coincide con un nuevo cambio de polaridad de la PDO (I). Por el contrario, desde 1960 ocurrió un predominio de fase negativa de esta teleconexión, la que se corresponde con la tendencia negativa más marcada de la temperatura (II), para luego dar paso a un cambio a condiciones positivas, que coincide con un aumento de temperatura (III), las que finalmente se presentan estacionarias y aumentan nuevamente en años actuales (IV).

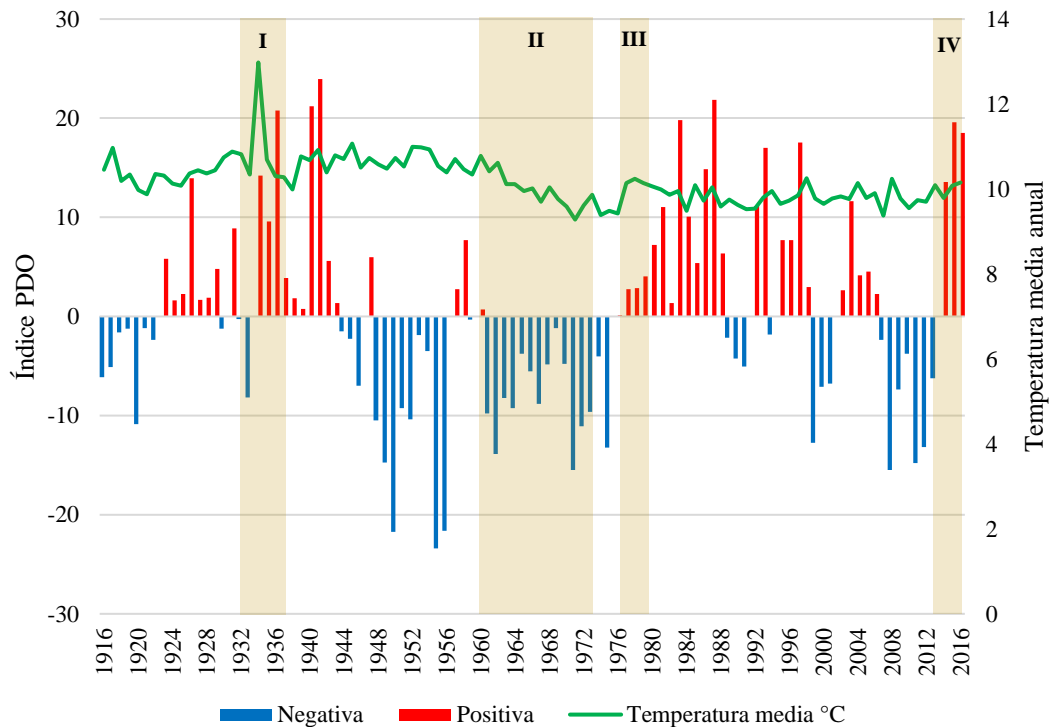


Figura N°112: Variación anual del índice PDO y la temperatura media anual del área de estudio, entre 1916 y 2016. **Fuente:** Elaboración propia en base a datos obtenido de la Join Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (JISAO), 2017.

En el caso de las precipitaciones del área de estudio, ocurre lo contrario. La figura N°113 muestra que los peaks precipitación (I, II y III) coinciden con fases negativas de la PDO, mientras que las disminuciones de estas son coincidentes con fases positivas.

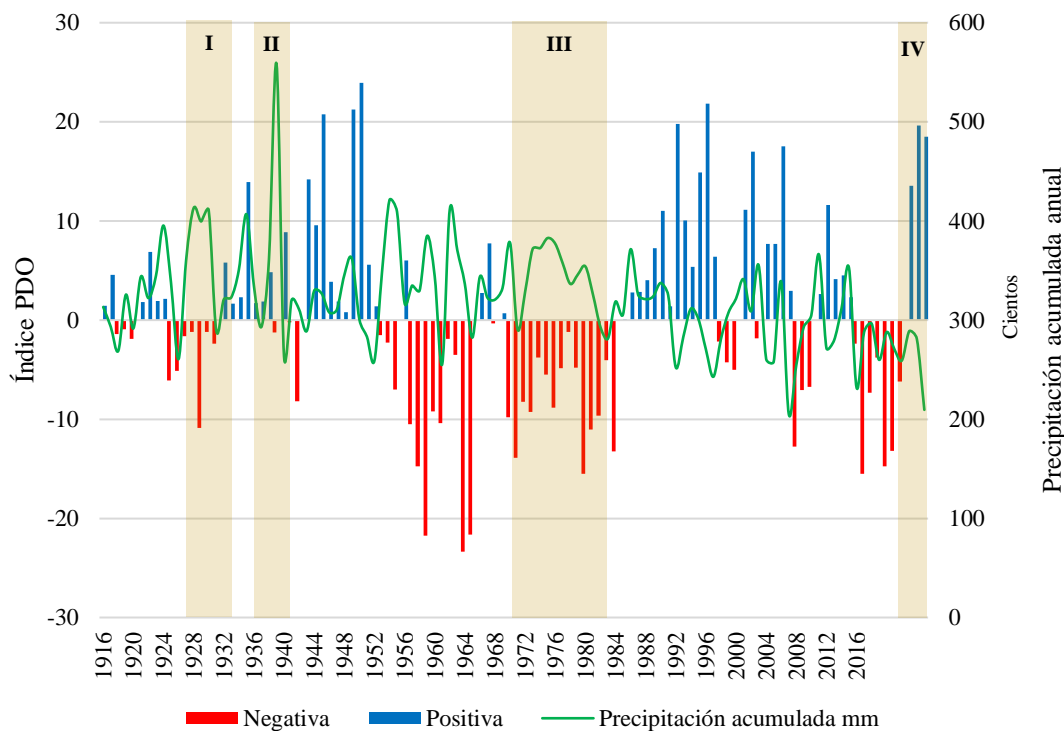
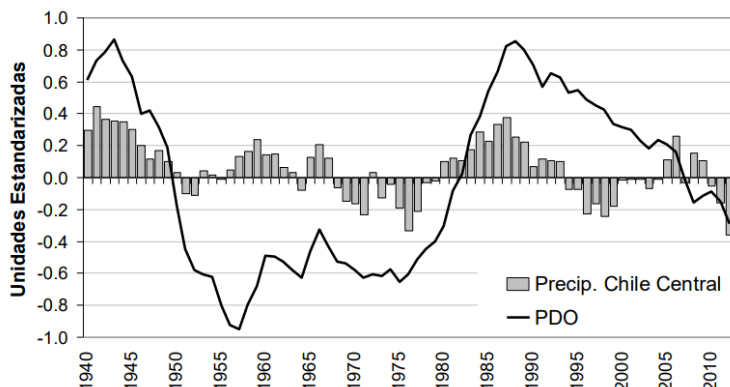


Figura N°113: Precipitación en Chile central y fases de la PDO a partir de 1940. **Fuente:** Elaboración propia en base a datos obtenido de la Join Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (JISAO), 2017.

Este escenario de proporcionalidad inversa no se repite a cabalidad en Chile central, ya que Quintana, *et al.*, (2014) presentan la figura N°114 donde es posible concluir que las fases positivas de la PDO se condicen con los mayores montos de precipitación, al menos entre 1940-1950 y 1980-1990, mientras que las fases negativas son concordantes con los menores montos entre 1970-1980 y a partir del 2010.

Figura N°114: Variación anual del índice PDO y la precipitación acumulada anual en Chile central, entre 1940 y 2010. **Fuente:** Quintana, *et al.*, 2014.



En síntesis, observando las figuras N°112 y 113, es posible determinar que el salto climático de la década de 1970, en el área de estudio:

- Generó el inicio de una tendencia estacionaria de la temperatura media anual, situación que se ha revertido a partir del 2014, año en que la PDO cambió a fase positiva, donde se observa un aumento de la temperatura.
- Generó el inicio de una marcada tendencia a la disminución de la precipitación, que no ha vuelto a presentar peaks significativos aun cuando el índice PDO adquirió valores muy positivos, como lo ocurrido a finales de los '90. Esta tendencia negativa se ha acentuado a partir del 2014, cuando la PDO cambió su polaridad a positiva.

Ahora bien, lo anterior deja entrever una clara relación directa entre la PDO y la temperatura, e inversa entre la PDO y la precipitación en el área de estudio. Esta situación no es excluyente con las correlaciones estadísticas semestrales realizadas (anexo N°6):

- En el caso de las correlaciones PDO-Temperatura media semestral, solo Maullín, Ancud y Castro en ambos semestres presentaron una débil correlación positiva. Igualmente débil, pero en polaridad negativa, obtuvieron Punta Corona, Ancud y Chaitén, en ambos semestres. Huinay, en cambio, obtuvo un negativamente moderado en el semestre húmedo y negativamente débil en el semestre seco. Puerto Montt no presenta correlación alguna en ambos semestres. En definitiva, aunque estadísticamente la PDO no presente marcadas relaciones con las temperaturas del área de estudio, no sería correcto descartar totalmente que sí interviene en estas últimas, ya que las correlaciones fueron realizadas con las series originales de temperatura. Además, la variabilidad asociada a la PDO no es comprendida totalmente, aún en la actualidad (Garreaud & Battisti, 1999).
- En el caso de las correlaciones PDO-Precipitación acumulada semestral, a pesar que estas solo fueron calculadas a partir de 1985, sí existe una leve coincidencia entre lo visualizado en la figura N°109 y las relaciones calculadas, ya que todas las estaciones presentaron tendencias entre negativamente débil y ninguna, a excepción de Achao que adquirió un positivamente débil en el semestre húmedo.

Simultáneamente, Araya (1991) señala que 1969 fue un año de máximo de actividad solar, en específico el *Sunspot Number* alcanzó un valor de 149,4 (WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels, 2013). Araya en 1991 evidenció que desde 1900, aproximadamente, ocurrieron una serie de graves sequías en Chile central, las que son llamativamente coincidentes con los máximos solares de los ciclos magnéticos, con recurrencia cercana a los 22 años. De acuerdo a la figura N°115, esta situación no se ve claramente reflejada en el área de estudio, ya que en años de máximos solares no se observa un cambio significativo en la temperatura. Evaluando la correlación estadística entre ambos datos, esta alcanza el -0,02, correspondiente a un *Débilmente negativa*, situación que podría expresarse (siendo algo más meticuloso, pero sin forzar una tendencia general), en que todos

los años de máximos solares se observa una leve disminución de temperatura (como lo que ocurre entre 1934-37).

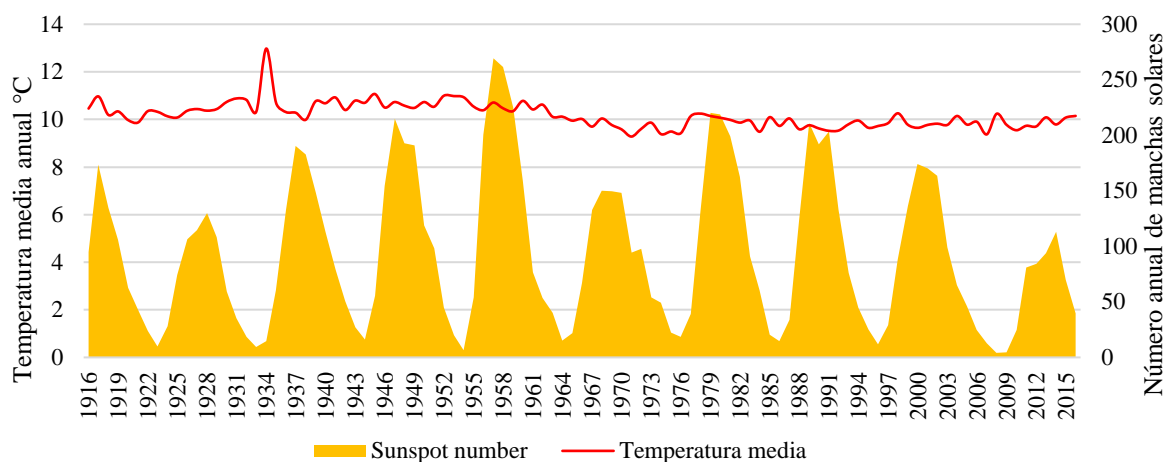


Figura N°115: Número de manchas solares anuales y la temperatura media anual del área de estudio, 1916-2016. **Fuente:** Elaboración propia en base a WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels, 2013.

Nuevamente Araya, 1991, evaluando la precipitación de Quinta Normal, señaló que uno o dos años antes de producirse las sequías se registraba un aumento de los montos de precipitaciones. De acuerdo a la figura N°116, esta situación también ocurriría en el área de estudio, ya que todos los peaks de manchas solares se anteceden de un brusco aumento y rápida disminución de precipitación, en algunos años coincidente con el máximo de actividad solar, para luego aumentar nuevamente, pero con temporalidad más pausada que la situación anterior. Esto no se ratifica a cabalidad estadísticamente, ya que la correlación solo alcanza un 0,02 (*Débilmente positiva*).

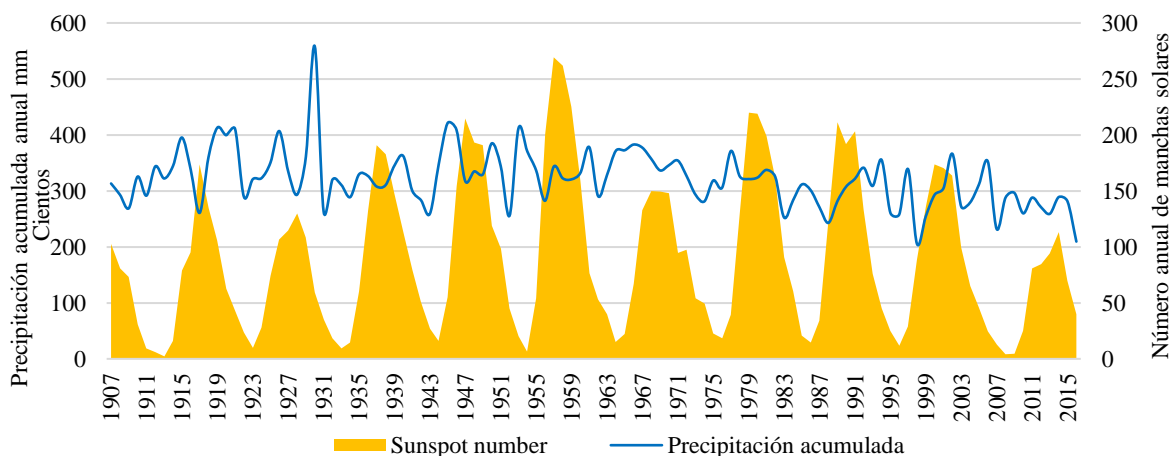


Figura N°116: Número de manchas solares anuales y la precipitación acumulada anual del área de estudio, 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia en base a WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels, 2013.

Sin embargo, estos leves cambios en las temperaturas y algo más evidentes en las precipitaciones del área de estudio podrían estar relacionados con las condiciones tipo El Niño y la transferencia de calor hacia los polos, gatilladas por un acrecentamiento de la actividad solar, la que posteriormente sería seguida por uno o más años de condiciones tipo La Niña. Esta situación ya fue demostrada por Araya, 1991, quien encontró una evidente correlación entre la precipitación promedio de los años tipo El Niño con el ciclo magnético, mientras que la precipitación promedio de los años tipo La Niña se mantiene estable frente a la actividad solar.

Ahora, considerando lo mencionado por Andreoli & Kayano (2005), quienes señalan que las anomalías pluviométricas suelen ser más intensas durante El Niño y La Niña cuando ocurre una fase cálida y fría de la PDO respectivamente, es posible establecer que la PDO actúa como modulador de baja frecuencia de la variabilidad asociada del ENSO (de hecho, la PDO genera condiciones similares a las del tipo ENSO positivo/negativo, pero con una duración de tiempo mucho mayor (Juliá, *et al.*, 2008)), y aunque las relaciones existentes entre ambos y los gatillantes de un cambio de polaridad de la PDO no estén totalmente claros actualmente, cabe preguntarse si ¿acaso esta relación entre el ENSO y los máximos solares son replicables en la PDO? Aunque las correlaciones estadísticas entre ambos sean *Débilmente negativa* (-0,05), la tabla N°48 demuestra que en todos los años solares ocurrió un cambio de polaridad en al menos los próximos 5 años antes y/o después del año con mayor número de manchas solares. En 1947, por ejemplo, ocurrió un cambio a fase positiva que duró solo ese año, para luego pasar nuevamente a negativo en 1948. Además, considerando el salto climático de 1970, este coincide con un cambio a fase positiva de la PDO en 1969 y 1979. Por supuesto, las distintas intensidades de dichos cambios son perfectamente discutibles.

Año máximo solar	Año cambio de polaridad	
	A negativo	A positivo
1905		1904-1905
1917	1915-1916	
1928	1929-1930	
1937		1933-1934
1947	1947-1948	1946-1947
1957	1958-1959	1956-1957
1969		1975-1976
1979		1975-1977
1989	1988-1989	
2001	1998-1999	2001-2002
2014		2013-2014

Tabla N°48: Años de máximas solares y cambios de polaridad de la PDO entre 1900 y 2016. **Fuente:** Elaboración propia en base a WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels, 2013.

Este cambio de polaridad de la PDO en los '70 también coincide con lo planteado por Hu & Fu, 2007, quienes concluyeron que la Célula de Hadley se ha estado expandiendo entre 2-4,5° hacia los polos desde 1979, aunque reconocen que la causa de este movimiento no es conocida a cabalidad actualmente, mas, muy posiblemente sea atribuible a otra consecuencia de la acumulación de GEI y el cambio climático. En definitiva, la expansión de esta célula tropical hacia mayores latitudes podría explicar la disminución de las precipitaciones y la humedad de los suelos, instaurando un escenario de sequedad subtropical, ya que se generaría un calentamiento troposférico en latitudes medias (Seidel, *et al.*, 2007; Hoerling *et al.*, 2001; Lau *et al.*, 2005; Hu & Fu, 2007).

Otro factor importante en el clima del país y que explica estos cambios de precipitación y temperatura, tiene que ver con el Anticiclón del Pacífico Sur. Minetti (2007) detectó importantes cambios en la posición latitudinal del APS sobre la costa de Chile y menciona que, si bien su tendencia es a posicionarse en latitudes más altas, no era así en la primera mitad del siglo pasado cuando el cambio climático (mencionado como *calentamiento global*) ya estaba operando. De esta forma, el APS estaría migrando al sur, y con él todas las condiciones que un centro de altas presiones genera: tiempo estable, verano seco y soleado e invierno frío y despejado. Esto también explicaría el aumento de latitudes de condiciones de aridez y de clima mediterráneo a lo largo de Chile.

V.2. Conclusiones

La construcción de series mensuales de temperatura y precipitación, de más de 100 años para el sur de Chile es sin duda el aporte geográfico más relevante de esta memoria y proyecto FONDECYT N°1151087 en el que se enmarca. Sin embargo, la principal debilidad de este trabajo tiene relación con la imposibilidad de rellenar las lagunas de temperatura persistentes en junio de 1961, en todas las estaciones térmicas, y todos los meses de enero en Chaitén. Aun así, fue posible demostrar y desmentir algunas situaciones planteadas por los escenarios climáticos para esta zona del país.

En general, el área de estudio se encuentra dentro de la zona más desfavorecida por el cambio climático, y en la que se esperan marcadas alteraciones: progresiva disminución de las precipitaciones y aumento de temperatura. Espinoza (2017), señala que ha existido un cambio en la cobertura espacial de los climas en Chile, es decir, el clima desértico, el mediterráneo y el templado, característicos de las zonas norte, centro y sur del país, han ido aumentando de latitud. En específico, el área de estudio caracterizada por un clima templado lluvioso y marítimo ha experimentado cada vez más rasgos de mediterráneo. Esta afirmación es avalada objetiva y subjetivamente.

Sobre lo anterior, Martín-Vide (2003) menciona que la percepción siempre es subjetiva y selectiva, y tiende a realzar ciertos episodios climáticos actuales como excepcionales e inalcanzados en el pasado, mientras que las series climáticas rescatan del olvido la existencia de otros sucesos similares o más extremos, atribuyéndoles cierta normalidad. Sin embargo, en este caso no solo los datos muestran una correspondencia con los escenarios climáticos ya que la percepción de estos coincide con los resultados y también debe ser considerable. En este sentido, la situación de Puerto Montt es más evidente para el caso específico de la autora de esta memoria, pues el saber popular tildaba a esta ciudad como aquella en donde, antiguamente, no llovía únicamente 5 días al año, mientras que los 360 días restantes presentaban precipitaciones. Actualmente, y con el pasar de los años, se hace cada vez más evidente el aumento de estacionalidad en esta ciudad, siendo mayores los días con cielos limpios, sin precipitaciones y altas temperaturas durante el verano.

Volviendo a las limitaciones de la investigación, la baja cobertura geográfica de las estaciones (peor en el caso de la temperatura), imposibilitó una mejor identificación de relaciones entre las teleconexiones y la ubicación latitudinal de estas. Sin embargo, los resultados encontrados muestran al área de estudio como una zona de transición en todos los aspectos: en el cambio climático y la influencia de las teleconexiones trabajadas. La primera situación ya fue planteada en las conclusiones anteriores. Con respecto a lo segundo, el Golfo de Ancud pareciera estar dentro de una especie de disputa entre las forzantes del ENSO, en menor medida (por el norte) y la AAO (por el sur), que demostró actuar homogéneamente en todas las estaciones, y junto a la PDO, resultaron ser forzantes primordiales de la variabilidad interdecadal en el área estudiada.

Finalmente, y como se ha repetido en innumerables ocasiones a lo largo de esta memoria, el cambio climático es un fenómeno acelerado por acción antrópica que exige replantearse las condiciones del clima como se conocen hasta hoy, y que mejor manera que a través del análisis de la precipitación y temperatura, variables tan sensibles a pequeños cambios en el espacio y el tiempo. En Chile, estudiar el cambio climático es vital ya que el país depende económicamente en su mayoría de los recursos naturales los que se han visto, y se verán, modificados por acción del clima. A nivel geopolítico, puede generar 3 grandes problemas (Casanova, 2014): la escasez y variabilidad de los recursos hídricos en el norte y centro del país, la creciente urbanización en el centro y sur del país y todas las modificaciones que un clima de ciudad genera en las condiciones atmosféricas, en las que destacan la generación de islas de calor e impermeabilidad de suelo, los rápidos cambios de uso de suelo en el centro-sur de Chile y el desplazamiento y decrecimiento de hielos y glaciares (*ibid*). Estar preparados y tomar medidas de mitigación frente a estos problemas definen el futuro del escenario climático, por ello todo estudio destinado a conocer ciclos y tendencias del clima es un muy buen comienzo en esta tarea, ya que sin conocer la variabilidad temporal del comportamiento de la atmósfera es imposible definir el actuar futuro. Ese es el principal aporte de la academia y, por qué no, de este trabajo y sus mejoras futuras.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdón, L. & Meza, F. J., 2008. *Cambio climático: Consecuencias y desafíos para Chile*. s.l.:Centro Interdisciplinario de Cambio Global, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Aceituno, P., 1988. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface climate. *Monthly Weather Review*, Issue 116, pp. 505-524.
- Aceituno, P. & Blanco, A., 1979. Análisis de series pluviométricas mediante ordenador. Aplicación al observatorio meteorológico de Salamanca. *Anu. Cent. Edafol Biol. Alt. Salamanca*, Volumen IX.
- Aceituno, P., Fuenzalida, H. & Rosenbluth, B., 1992. Climate along the extratropical West coast of South America. En: *Earth Systems responses to global change (Eds. H.A. Mooney, B. Kronberg and E.R. Fuentes)*. s.l.:Academic Press, pp. 61-69.
- Albentosa, L. M., 1976. Climatología dinámica, sinóptica o sintética. Origen y desarrollo. *Revista de Geografía Depto. de Geografía Univ. Barcelona*, Volumen X, pp. 140-157.
- Alves, R., 2013. *Circulação Atmosférica*. [En línea] Available at: <http://alunosonline.uol.com.br/geografia/circulacao-atmosferica.html> [Último acceso: 22 marzo 2017].
- Ancapichún, S., 2012. *VARIABILIDAD DEL ANTICICLÓN DEL PACÍFICO SUR Y SU RELACIÓN CON LA OSCILACIÓN DECADAL DEL PACÍFICO: IMPLICANCIAS OCEANOGRÁFICAS A LO LARGO DE LA COSTA CENTRO-NORTE DE CHILE*. Valdivia: Memoria de título para optar a al grado de licenciado en Biología Marina y Título de Biólogo Marino, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias, Escuela de Biología Marina .
- Andrade, B., 1985. Estudio Morfosedimentológico de marismas del golfo de Ancud, Chile. *Norte Grande*, Issue 12, pp. 27-33.
- Andrades, M. & Muñoz, C., 2012. *Fundamentos de la climatología, servicio de publicaciones*. s.l.:Universidad de la Rioja.
- Andreoli, R. & Kayano, M., 2005. ENSO-RELATED RAINFALL ANOMALIES IN SOUTH AMERICA AND ASSOCIATED CIRCULATION FEATURES DURING WARM AND COLD PACIFIC DECADAL OSCILLATION REGIMES. *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos*, Issue 25, pp. 2017-2030.
- Araya, C., 2014. *Configuración espacial, variabilidad y tendencias del índice de concentración de las precipitaciones (CI) en Chile central*. Santiago: Memoria para optar a título profesional de Geógrafo, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo.

Araya, R., 1990. El ciclo solar y las lluvias extremas en Chile central Primera Parte. *Revista de la Sociedad chilena de Ingeniería Hidráulica*, V(3), pp. 7-24.

Araya, R., 1991. El ciclo solar y las lluvias extremas en Chile central Segunda Parte. *Revista de la Sociedad chilena de Ingeniería Hidráulica*, VI(1), pp. 7-24.

Barry, R. G. & Chorley, R. J., 1985. *Atmósfera, tiempo y clima*. Cuarta ed. Barcelona: Omega.

Barton, J., 2009. Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones. *Revista de Geografía Norte Grande*, Issue 43, pp. 5-30.

Bergman, J., 2008. *Variaciones del Ciclo Solar y Efectos sobre el Clima Terrestre*. [En línea] Available at: http://www.windows2universe.org/sun/sun_climate.html&lang=sp [Último acceso: 21 marzo 2017].

Bidegain, M., 2009. *Variabilidad y Cambio climático*. Curso de Formación y Actualización de docentes de geografía en Gestión Integrada de Riesgos de Desastres ed. s.l.:Escuela de Meteorología de Uruguay, Dirección Nacional de Meteorología.

Cardoso, M., 2012. *[Shapes] Atualização Banco de Dados 1.1.1*. [En línea] Available at: <http://murilocardoso.com/2012/01/20/shapes-atualizacao-banco-de-dados-1-1-1/> [Último acceso: 28 marzo 2017].

Casanova, M., 2014. *CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DEL CLIMA Y RESILIENCIA ESTUDIO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CHILE*. Santiago: Memoria de título par optar a grado de Arquitecto, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo.

Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, 2015. *Informe a la Nación, La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro*. s.l.:s.n.

Centro Internacional para la investigación del fenómeno de El Niño (CIIFEN), s.f. *Variabilidad Climática y Extremos*. [En línea] Available at: http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=article&id=573:variabilidad-climatica-y-extremos&catid=98&Itemid=131&lang=es [Último acceso: 20 marzo 2017].

Chen, J., Carlson, B. & Del Genio, A., 2002. Evidence for strengthening of the tropical general circulation in the 1990s. *Science*, Issue 295, pp. 838-841.

Cifuentes, L. & Meza, F., 2008. *Cambios climático: consecuencias y desafíos para Chile*. Santiago: Centro Interdisciplinario de Cambio Global. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2006a. *Variaciones climáticas en Chile Para el siglo XXI: Resumen Ejecutivo*. s.l.:Realizado por: Departamento de Geofísica Facultad de Ciencias. Físicas y Matemáticas Universidad de Chile.

Comisión Nacional de Medio Ambiente, 2006b. *ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN CHILE PARA EL SIGLO XXI. Figuras de Sección 5: Cambios Climáticos Regionales para fines del siglo XXI*. Santiago: s.n.

Cooperativa, 2016. *Déficit hídrico del 60 por ciento preocupa a las autoridades de Los Lagos*. [En línea]
Available at: <http://www.cooperativa.cl/noticias/pais/region-de-los-lagos/deficit-hidrico-del-68-por-ciento-preocupa-a-las-autoridades-de-los-lagos/2016-06-16/213640.html>
[Último acceso: 18 julio 2016].

Cruz, D. M., Gómez, R. & Cordovéz, C., 2007. *Clasificación climática Koppen Orientaciones para estudio, Universidad Pedagógica de Holguín, Cuba*. [En línea]
Available at: <http://www.ilustrados.com/tema/10346/Clasificacion-climatica-Koppen-Orientaciones-para-estudio.html>
[Último acceso: 5 mayo 2017].

Di Castri, F. & Hajek, E., 1976. *Bioclimatología de Chile*. Santiago: Vicerrectoría académica de la Universidad Católica de Chile.

Díaz, H. & Markgraf, V., 2000. *El Niño and the Southern Oscillation Multiscale Variability and Global and Regional Impacts*. New York: Cambridge University Press.

Dirección Meteorológica de Chile (DMC), 2016. *ESPECTRO INFRAROJO, Presión a nivel del mar*. [En línea]
Available at: <http://www.meteochile.cl/PortalDMC-web/index.xhtml#>
[Último acceso: 22 marzo 2017].

DMC, s.f. *Dirección Meteorológica de Chile: FENÓMENO DE EL NIÑO*. [En línea]
Available at: http://www.meteochile.cl/nino_nina/nino_nina_descripcion_nino.html
[Último acceso: 16 julio 2016].

Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency, 2016. *El Niño Watch*. [En línea]
Available at: <http://sharaku.eorc.jaxa.jp/cgi-bin/amsr/elni2/elni2.cgi?lang=e>
[Último acceso: 16 julio 2016].

Ecospat - Spacial Ecology Group, s.f. *Bioclim variables for Southern South America*. [En línea]
Available at: <https://www.unil.ch/ecospat/home/menuguid/ecospat-resources/data.html>
[Último acceso: 28 marzo 2017].

Espinoza, C., 2017. Clima mediterráneo avanzó 150 km hacia el sur en los últimos 30 años. *La Tercera*, 21 abril, pp. <http://www.latercera.com/noticia/clima-mediterraneo-avanzo-150-km-hacia-sur-los-ultimos-30-anos/>.

Falvey, M. & Garreaud, R., 2007. Wintertime precipitation episodes in central Chile: associated meteorological conditions and orographic influences. *American meteorological journals*, Volumen I, pp. 171-193.

Fernández, A. & Martínez, J., 2004. *Cambio climático: una visión desde México*. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Figueroa, P., 2014. *Variabilidad de las precipitaciones (1965-2012) en Chile centro-sur (33,9°S - 41,6°S) mediante índices estadísticos y temporales de la irregularidad*. Santiago: Memoria para optar a título profesional de Geógrafo, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo.

Fitzek, R., 2014. *Restauración ecológica de bosque siempreverde templado andino y de bosques de fitzroya cupressoides y Pilgerodendron uviferum en Huinay, Región de los Lagos, Chile*. Valdivia: Tesis de magister para optar a grado de Magister en Ciencias, mención Recursos Forestales, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Universidad Austral de Chile.

Fuenzalida, H. y otros, 1989. Cambio climático global y eventuales efectos en Chile. *Amb. y Des.*, V(2), pp. 37-42.

Fu, Q., Johanson, C., Wallace, J. & Reichler, T., 2006. Enhanced mid-latitude tropospheric warming in satellite measurements. *Science*, Volumen 312, p. 1179.

Galindo, M., 2016. *Advierten que hielos milenarios del volcán Osorno se están derritiendo*. [En línea] Available at: <http://www.soychile.cl/Puerto-Montt/Sociedad/2016/03/09/380118/Advierten-que-hielos-milenarios-del-volcan-Osorno-se-estan-derritiendo.aspx> [Último acceso: 7 julio 2016].

Garreaud, R., 1994. Configuraciones atmosféricas regionales durante grandes tormentas pluviales en Chile central. *Meteorológica*, Issue 19, pp. 73-81.

Garreaud, R., 2005. *Tema 10: Circulación General de la atmósfera*. Santiago: Geofísica, Facultad de Ciencias físicas y matemáticas, Universidad de Chile [diapositivas en power point].

Garreaud, R., 2011. Cambio Climático: Bases Físicas e Impactos en Chile. *Tierra Adentro - INIA*, Volumen 93.

Garreaud, R. & Battisti, D., 1999. Interannual (ENSO) and Interdecadal (ENSO-like) Variability in the Southern Hemisphere Tropospheric Circulation*. *JOURNAL OF CLIMATE*, Issue 505, pp. 2113-2123.

Garreaud, R., Vuille, M., Compagnucci, R. & Marengo, J., 2007. *Present-day South American Climate, Curso de climatología sinóptica en la costa oeste de América del Sur*. [En línea] [Último acceso: 17 julio 2016].

Garreaud, R., Vuille, M., Compagnucci, R. & Marengo, J., 2008. Present-day South American Climate. Curso de climatología sinóptica en la costa oeste de América del Sur.. *Paleogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, p. Disponible en http://dgf.uchile.cl/rene/PUBS/sa_climate_p3.pdf.

Gidahatari, 2013. *Métodos de estimación para completar datos de precipitación*. [En línea] Available at: <http://gidahatari.com/ih-es/metodos-estimacion-completar-datos-precipitacion> [Último acceso: 18 julio 2016].

Gispert, C., 2006. *Atlas geográfico universal y de Chile*. Barcelona: Océano.

Gispert, C., 2007. *Gran Enciclopedia de Chile, Volumen I: Geografía*. 7 volúmenes : ilustraciones color, mapas. ed. Barcelona: Océano.

González , O., 2011. *Índice de Concentración de Precipitaciones*. [En línea] Available at: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21147/Indices+climatologicos.pdf/fde6a7ec-6cd9-47af-b9bd-c935cebb0947> [Último acceso: 4 abril 2017].

González, Á. & Muñoz, A., 2013. Cambios en la precipitación de la ciudad de Valdivia (Chile) durante los últimos 150 años. *Bosque*, 34(2), pp. 191-200.

González-Carrasco, J. & Díaz-Naveaz, J., 2012. *ANÁLISIS MORFOLÓGICO, ESTRUCTURAL Y SEDIMENTARIO DE LA CUENCA DEL GOLFO DE ANCUD (42°S; 73°W) MEDIANTE EL USO DE BATIMETRÍA MULTIHAZ Y REFLEXIÓN SÍSMICA DE ALTA RESOLUCIÓN*. Santiago: Instituto Nacional de Hidráulica (INH).

González, J. Á., 2006. *Estadística*. [En línea] Available at: http://fcm.ens.uabc.mx/~chelo/estadistica/estadistica1.htm#Capítulo_9 [Último acceso: 2 abril 2017].

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 1997. *INTRODUCCIÓN A LOS MODELOS CLIMÁTICOS SIMPLES UTILIZADOS EN EL SEGUNDO INFORME DE EVALUACIÓN DEL IPCC*. s.l.:Documento técnico II del IPCC.

Heim, R. R., 2002. A review of twentieth century drought indices used in the United States. *Bull Am. Meteorol. Soc.*, Issue 83, pp. 1149-1165.

Hirsch, R., Slack, J. & Smith, R., 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research*, Issue 18, pp. 107-121.

Hromic, T., 2009. ESTRUCTURA COMUNITARIA DEL TAXA FORAMINIFERIDA (PROTOZOA), SEGÚN PROFUNDIDAD, EN EL FIORDO COMAU, CHILOÉ, CHILE.. *Anales del Instituto de la Patagonia*, XXXVII(1), pp. 39-51.

Hudson, R., Andrade, M., Follette, M. & Frolov, A., 2006. *The total ozone field separated into meteorological regimes - Part II: Northern Hemisphere mid-latitude total ozone trend*. [En línea] Available at: <http://www.atmos-chem-phys.net/6/5183/2006/> [Último acceso: 22 marzo 2017].

Hu, Y. & Fu, Q., 2007. Observed poleward expansion of the Hadley circulation since 1979. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, Issue 7, p. 9367–9384.

INE, 2007. *Región de Los Lagos: División político administrativa y censal*. s.l.:s.n.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2016. *¿Qué es el clima?*. [En línea] Available at: <http://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/que-es-el-clima?idiom=es> [Último acceso: 21 marzo 2017].

Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2014. *Medio Ambiente: Informe anual*. Santiago: Subdirección de Técnica; Unidad Estadísticas Medioambientales; Departamento de Comunicaciones e Imagen Corporativa.

Insunza, J., 2006. *CAPITULO 9. MASAS DE AIRE*. [En línea] Available at: http://nimbus.com.uy/weather/Cursos/Curso_2006/Textos%20complementarios/Meteorologia%20descriptiva_Inzunza/cap9_Inzunza_Masas%20de%20aire.pdf [Último acceso: 20 marzo 2017].

IPCC, 2013. *CAMBIO CLIMÁTICO 2013 Bases físicas Resumen para responsables de políticas, Resumen técnico y preguntas frecuentes*. s.l.:Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

Izzo, M. & Osoria Zarzuela, M., 2014. Análisis de tendencias climáticas basado en metadatos de estaciones de la red de medición de la oficina nacional de meteorología -ONAMET- de la República Dominicana. *Ciencia y Sociedad*, XXXIX(1), pp. 195-219.

Jacques, M., 2009. *Caracterización del salto climático de mediados de los 1970s en Sudamérica*. Santiago: Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias, Mención Geofísica,

Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geofísica.

Join Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (JISAO), 2017. *The Pacific Decadal Oscillation (PDO)*. [En línea] Available at: <http://research.jisao.washington.edu/pdo/> [Último acceso: 24 marzo 2017].

Juliá, C., Montencinos, S. & Maldonado, A., 2008. Características climáticas de la Región de Atacama. En: *Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Atacama*. La Serena: Ediciones Universidad de La Serena, pp. 25-42.

Kidson, J., 1988. Interannual Variations in the Southern Hemisphere Circulation. *Journal of climate*, Volumen I, pp. 1177-1198.

Llasat, M., Martín-Vide, J., López-Bustins, J. A. & Barrera, T., 2010. *Constataciones de carácter meteorológico en Cataluña*. s.l.:Universidad de Barcelona.

Lu, J., Vecchi, G. & Reichler, T., 2007. Expansion of the Hadley cell under global warming. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, Volumen 34.

Martínez, D., 2003. *El Análisis de la Regresión a través de SPSS [diapositivas en power point]*. [En línea] [Último acceso: 2 abril 2017].

Martínez, I., 1986. *Estadística aplicada a la Hidrometeorología*. s.l.:Publicación D-47 Instituto Nacional de Meteorología.

Martín, R., 2008a. *CORRELACIONES CON SPSS*. [En línea] Available at: https://previa.uclm.es/profesorado/raulmmartin/Estadistica/PracticasSPSS/CORRELACION_CON_SPSS.pdf [Último acceso: 2 abril 2017].

Martín, R., 2008b. *REGRESIÓN LINEAL CON SPSS*. [En línea] Available at: https://previa.uclm.es/profesorado/raulmmartin/Estadistica/PracticasSPSS/REGRESION_LINEAL_CON_SPSS.pdf [Último acceso: 2 abril 2017].

Martín-Vide, J., 2003. *El tiempo y el Clima*. Barcelona: Rubes.

Martín-Vide, J., Calbó, J. & Sánchez, A., 2006. *Tendencias recientes de la insolación en España peninsular y Baleares (1971-2000)*. Sevilla: 5ª ASAMBLEA HISPANO-PORTUGUESA DE GEODESIA Y GEOFÍSICA.

Martín-Vide, J. & Moreno, M., 2013. LA DIFÍCIL DETERMINACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE DÍAS DE TORMENTA EN ESPAÑA. EL CASO DE BARCELONA. POLÍGONOS. *Revista de Geografía*, Issue 24, pp. 77-94.

Maturana, J., Bello, M. & Manley, M., 2004. *Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur*. Valparaíso: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, Departamento de Oceanografía.

Méndez, J. y otros, 2010. Teleconexiones de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) a la precipitación y temperatura en México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, Issue 73, pp. 57-70.

Meteorología fácil, 2009. *Curso de meteorología básica*. [En línea] Available at: <http://meteorologiafacil.com.ar/foros/index.php?topic=10.15> [Último acceso: 20 marzo 2017].

Miller, A. y otros, 1994. The 1976-77 Climate Shift of the Pacific Ocean. *OCEANOGRAPHY*, VII(1), pp. 21-26.

Minetti, J., 2007. La respuesta del anticiclón del Pacífico Sur en la costa de Chile frente al cambio climático-Impactos. *Boletín geográfico*, pp. 9-22.

Minobe, S., 1997. A 50-70 Year Climatic Oscillation Over the North Pacific and North America. *Geophysical Research Letters*, XXIV(6), pp. 683-686.

Miró, J., Estrela, M. J., Pastor, F. & Millán, M., 2009. Análisis comparativo de tendencias en la precipitación, por distintos input, entre llos dominios hidrológicos del Segura y del Júcar (1958-200). *Investigaciones Geográficas, Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante*, Issue 49, pp. 129-157.

Montealegre, J. E. & Pabón, J. D., 2000. La Variabilidad Climática Interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña–Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorología Colombiana*, Issue 2, pp. 7-21.

Muñoz, C., 2009. *Variabilidad interanual de la precipitación invernal en Chile central no asociada al ciclo El Niño-Oscilación del Sur*. Concepción: Tesis para optar a título profesional de Geofísico, Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geofísica.

NOAA, 2017. *Antartic Oscillation (AAO)*. [En línea] Available at: http://www.cpc.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao/ao.shtml#current [Último acceso: 24 marzo 2017].

Ojeda, M., Tejeda, A., Mahe, M. & Ruiz, S., 1993. Análisis preliminar de las tendencias climáticas en tres localidades del Estado de Veracruz, y sus posibles causas. *Investigaciones Geográficas*, Issue 27, pp. 49-68.

Oñate-Valdivieso, F. & Bosque, J., 2011. Estudio de tendencias climáticas y generación de escenarios regionales de cambio climático en una cuenca hidrográfica binacional en América del Sur. *Estudio Geográficos*, LXXII(270), pp. 147-172.

Orellana, L., 2001. *ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA Capítulo 1. Introducción*. [En línea] Available at: http://www.dm.uba.ar/materias/estadistica_Q/2011/1/modulo%20descriptiva.pdf [Último acceso: 30 junio 2017].

Palutikof, J., Hanson, C. & Bates, B., 2007. *Apéndice II: Glosario*. [En línea] Available at: https://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/ccw%20sp/appendix_2_sp.pdf [Último acceso: 23 marzo 2017].

Pardo, A., 2000. *Capítulo 17: Análisis de correlación lineal: Los procedimientos Correlaciones bivariadas y Correlaciones parciales*. Madrid: Universidad Complutense.

Pedrerros, M., s.f. *MANCHAS EN EL SOL: ¿LLUVIAS EN LA TIERRA?*. Arica: Departamento de Física - Facultad de Ciencias, Universidad de Tarapacá.

Pérez, S., Sierra, E., Massobrio, M. & Momo, F., 2009. Análisis fractal de la precipitación anual en el este de la Provincia de la Pampa, Argentina. *Revista de Climatología*, Volumen IX, pp. 25-31.

Pizarro, R., Cornejo, F., González, C. & Macaya, K., 2008. *Análisis del comportamiento y agresividad de las precipitaciones, en la zona central de Chile*. Talca: Universidad de Talca.

Pliscoff, P., 2014a. *Biogeografía para Geógrafos*. Santiago: Clase de cátedra de 1 de abril del 2014 Biogeografía de la carrera de Geografía, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Escuela de Pregrado, Carrera de Geografía [diapositivas en power point].

Quintana, J., Aceituno, P. & Vicencio, J., 2014. *Variabilidad Interdecadal de la Precipitación en Chile asociado a Forzantes Extratropicales*. [En línea] Available at: http://www.cazalac.org/mwar_lac/fileadmin/imagenes2/symposium_nov_2014/Quintana.pdf [Último acceso: 3 julio 2017].

Rioseco, R. & Tesser, C., 2005. *Cartografía interactiva de los climas de Chile: Instituto de Geografía. Pontificia Universidad Católica de Chile*. [En línea] Available at: http://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/cartografiainteractiva/Inicio/Paginas/UntitledFrame

[t-1.htm](#)

[Último acceso: 25 octubre 2016].

Rivas-Martínez, S., 2008. *Global Bioclimatics (Clasificación Bioclimática de la Tierra)*. [En línea]

Available at: http://www.globalbioclimatics.org/book/bioc/global_bioclimatics-2008_01.htm

[Último acceso: 6 julio 2017].

Romero, H. & Mendonça, M., 2011. *Ondas de Frío registradas en invierno de 2010: Necesidad de una perspectiva*. s.l.:PONENCIA PRESENTADA EN EL XIII ENCUENTRO DE GEÓGRAFOS LATINOAMERICANOS, SAN JOSÉ, COSTA RICA, 25-29 DE JULIO DE 2011, Sesiones Geografía Física, Riesgos socioambientales y cambio climático.

Rosenbluth, B., Fuenzalida, H. & Aceituno, P., 1997. Recent temperature variations in Southern South America. *Int. J. of Climatology*, Issue 17, pp. 67-85.

Saavedra, M., Calvo, M. & Jiménez, C., 2014. Caracterización climática de la circulación atmosférica en América del Sur. *Revista de Investigación de Física*, Issue 14, pp. 1-7.

Sanz Donaire, J. J., 2012. Las series anuales de precipitación más largas de Chile: estudio y enseñanzas. *Estudios Geográficos*, Vol. LXXIII(273), pp. 625-656.

Sarricolea, P., Herrera-Ossandon, M. J. & Meseguer-Ruiz, Ó., 2017. Climatic regionalisation of continental Chile. *Journal of Maps*, 30 noviembre, Issue 13(2), pp. 66-73.

Schulze, R., 1997. *South African atlas of agrohydrology and climatology*. Pretoria: Water Research Commission .

Seidel, D., Fu, Q., Randel, W. & Reichler, T., 2007. Widening of the tropical belt in a changing climate. *Nature Geoscience* , Volumen 38.

Silva, N., Sievers, H. & Prado, R., 1995. Características oceanográficas y una proposición de circulación para algunos canales australes de Chile entre 41°20'S y 46°40'S. *Rev. Biol. Mar.*, 30(2), pp. 207-254.

Simarro, F. J., 2015. *CTM-10.04-circulació-general-atmosférica [video disponible en plataforma youtube: 18 min. consultado el 22/03/2017]*. s.l.:URL: <https://www.youtube.com/watch?v=DJWsby1cssI>.

SINPAD, 2002. *7 Las Teleconexiones del Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación*. [En línea]

Available at: http://sinpad.indeci.gob.pe/UploadPortalSINPAD/Informacion_Fenomeno_Ni%C3%B1o/pdf/spa/doc11405/doc11405-7.pdf

[Último acceso: 16 julio 2016].

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

Skeptical science, 2010. *Es la PDO (Oscilación del Pacífico)*. [En línea] Available at: <https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=159&l=4> [Último acceso: 17 julio 2016].

Sneyers, R., 1992. On the use of statistical analysis for the objective determination of climatic change. *Meteorologische Zeitschrift*, p. 247–256.

Taljaard, J., 1972. Synoptic meteorology of the Southern Hemisphere. *Meteorol Monogr*, Issue 213, pp. 139-23.

Thiel, M. y otros, 2007. The Humboldt Current System of northern and central Chile. *Oceanogr Mar Biol*, Issue 45, pp. 195-344.

Thompson, D. & Wallace, J., 2000. Annular modes in the ex-tropical circulation, Part I: Month-to-month variability. *Journal of Climate*, Issue 13, pp. 1000-1016.

Universidad de Chile, Instituto de Asuntos Públicos (INAP), Centro de Análisis de Políticas Públicas (CAPP), 2016. *Informe país: estado del medio ambiente en Chile, comparación 1999-2015*. Santiago: CENTRO DE ANÁLISIS DE POLÍTICAS PÚBLICAS, INSTITUTO DE ASUNTOS PÚBLICOS, UNIVERSIDAD DE CHILE.

Universidad Tecnológica de Pereira, 2010. *Sistemas de Generación de Energía Eléctrica, Hidrología básica*. s.l.: [Diapositivas en power point].

University of East Anglia, 2017. *Southern Oscillation Index (SOI)*. [En línea] Available at: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/soi/> [Último acceso: 24 marzo 2017].

VanDerWal, J., s.f. *Bioclim - Bioclimatic Variables R Documentation*. [En línea] Available at: <https://rforge.net/doc/packages/climates/bioclim.html> [Último acceso: 5 mayo 2017].

Velasco, I. & Cortés, G., 2009. *Índices de Fournier modificado y de concentración de la precipitación, como estimadores del factor de riesgo de la erosión, en Sinaloa, México*. [En línea] Available at: <http://congresos.um.es/icod/icod2009/paper/viewFile/4221/5521> [Último acceso: 4 abril 2017].

Vila, A., Sedano, M., López, A. & Juan, Á. A., s.f. *Análisis de regresión y correlación lineal*. s.l.: Proyecto e-Math 1 Financiado por la Secretaría de Estado de Educación y Universidades (MECD).

Vilatte, C., Aguas, L. & Confalone, A., 2014. Influencia de los ciclos solares sobre las precipitaciones en Azul, provincia de Buenos Aires. *Rev. FCA UNCUYO*, Issue 46 (1), pp. 227-233.

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

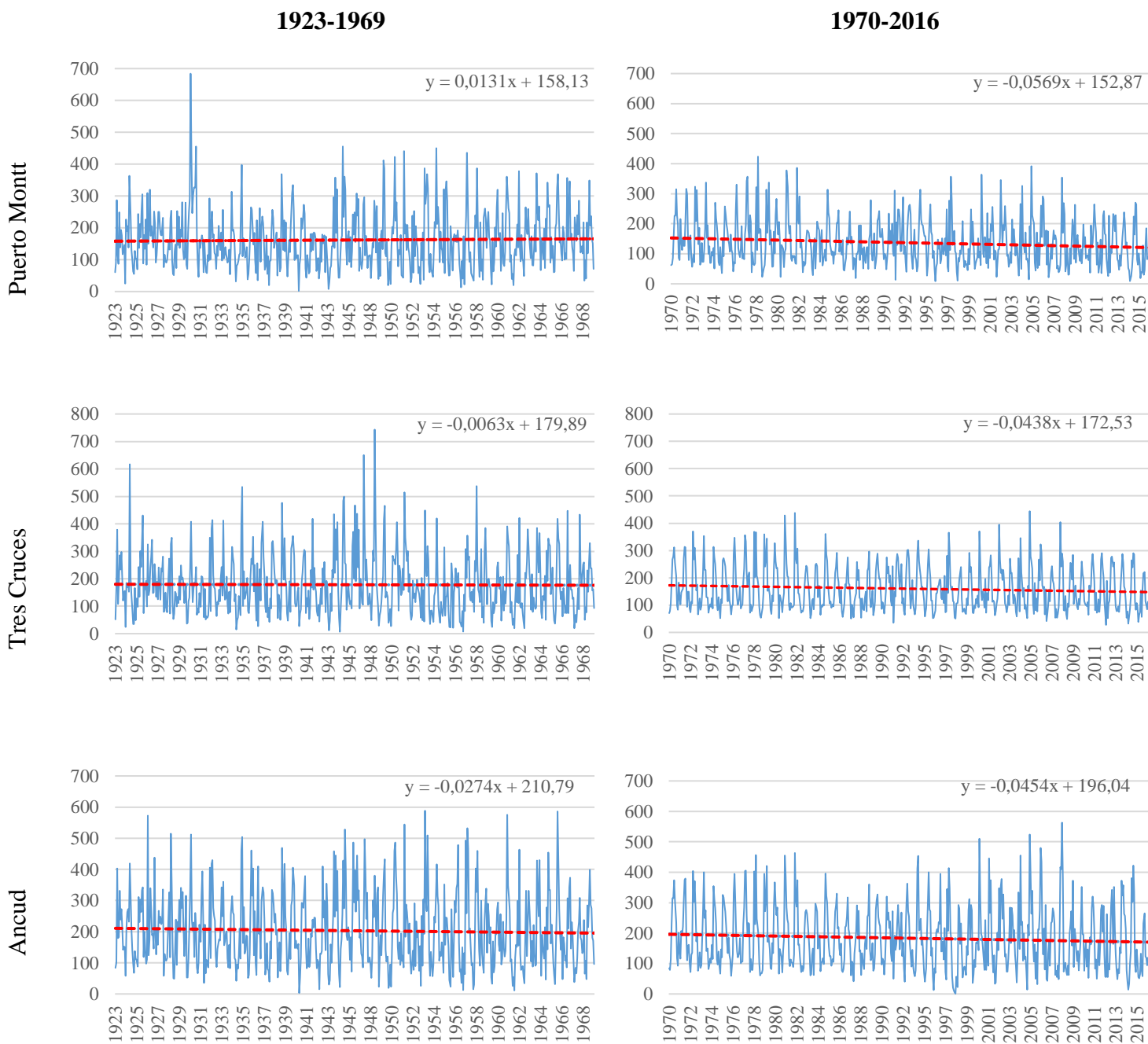
WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels, 2013. *The International Sunspot Number*. [En línea]
Available at: <http://sidc.oma.be/silso/datafiles>
[Último acceso: 4 julio 2017].

Wielicki, B. y otros, 2002. Evidence for large decadal variability in the tropical mean radiative energy budget. *Science*, Volumen 295, pp. 841-843.

World Meteorological Organization, 1989. *Calculation of monthly and annual 30-Year standard*. s.l.:WCDP-No. 10, WMO-TD/No. 341..

ANEXOS

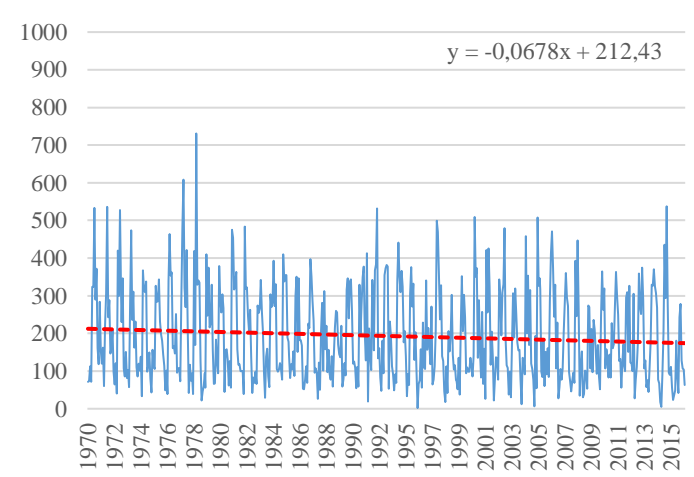
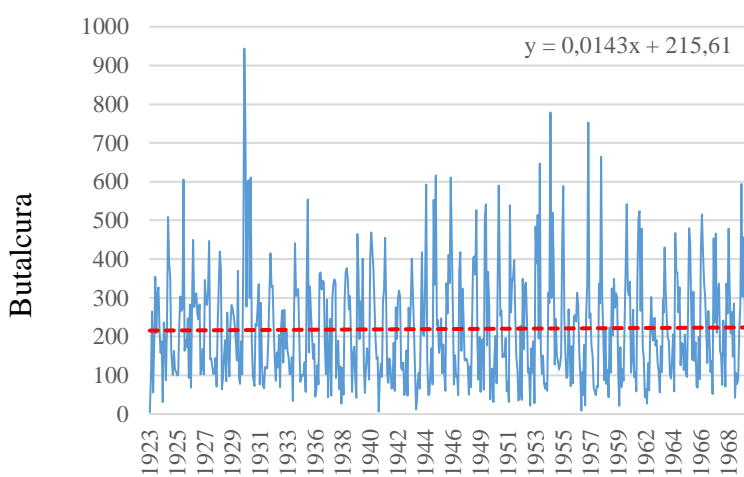
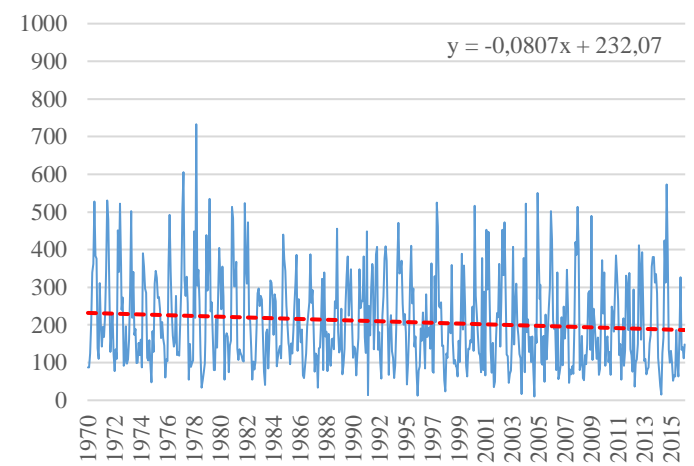
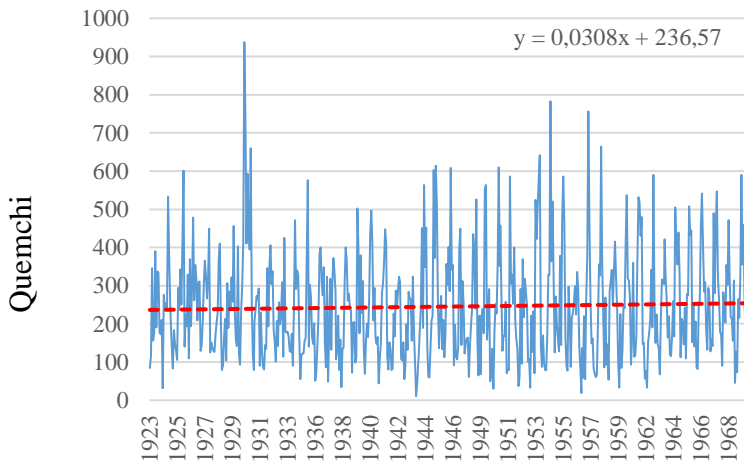
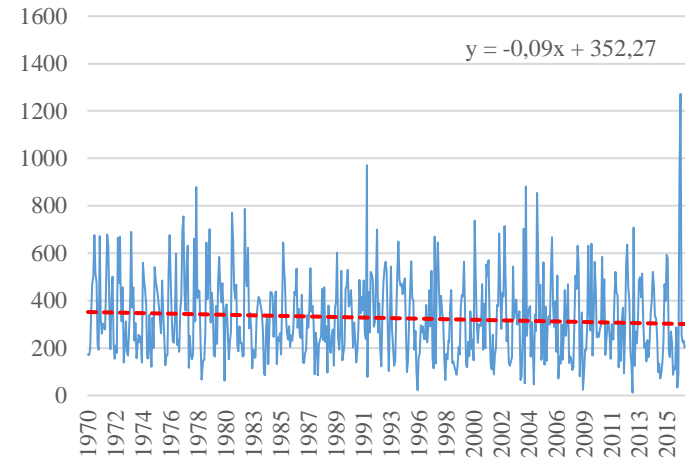
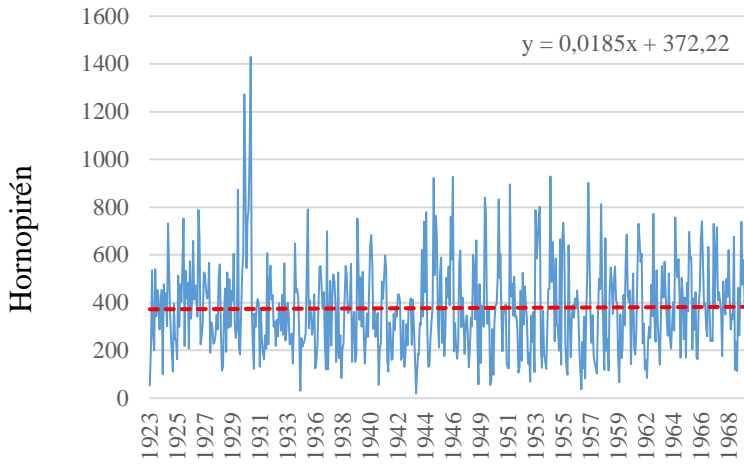
Anexo N°1: Tendencias de precipitación de las 12 estaciones analizadas entre 1923-1969 y 1970-2016. **Fuente:** Elaboración propia.



Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

1923-1969

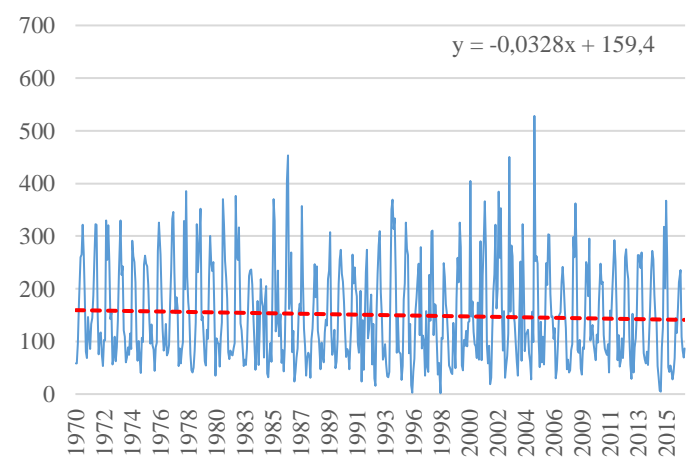
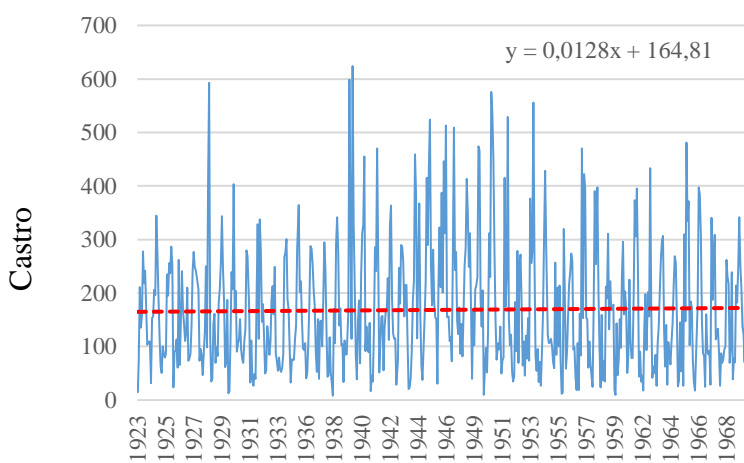
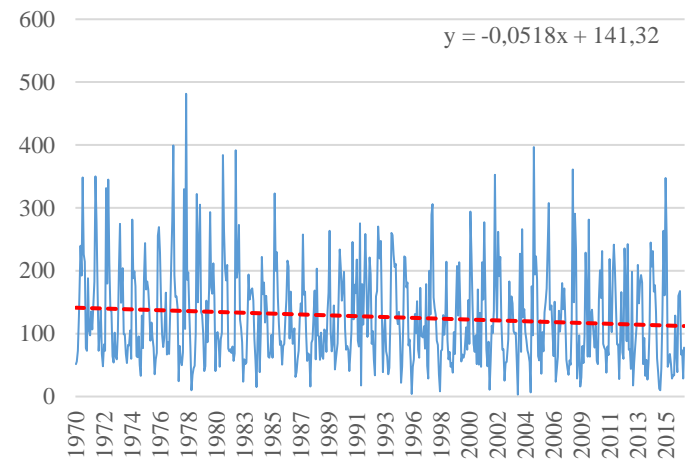
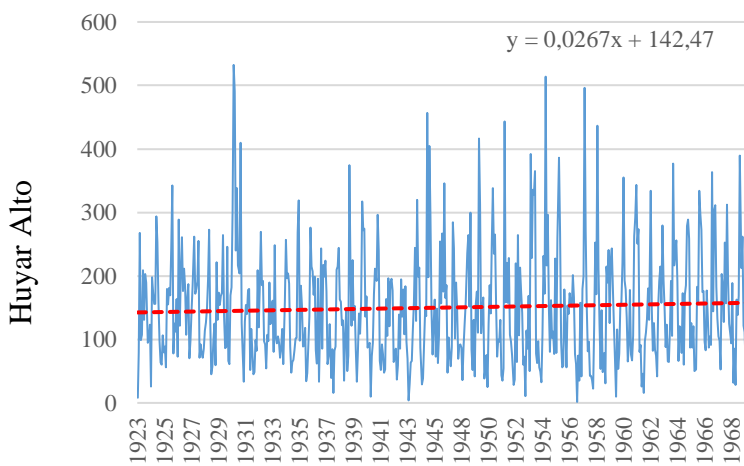
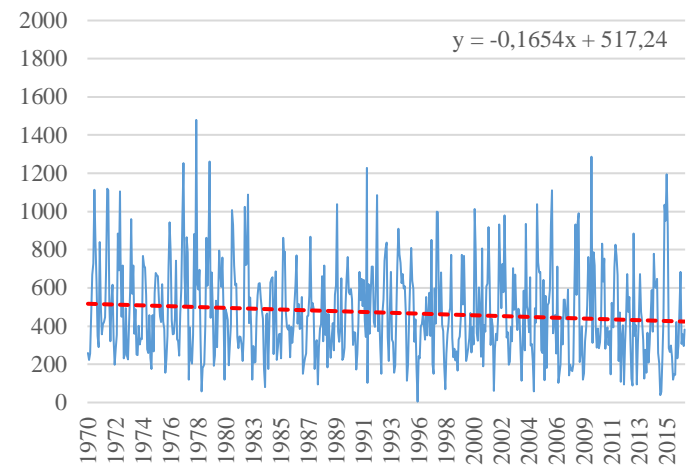
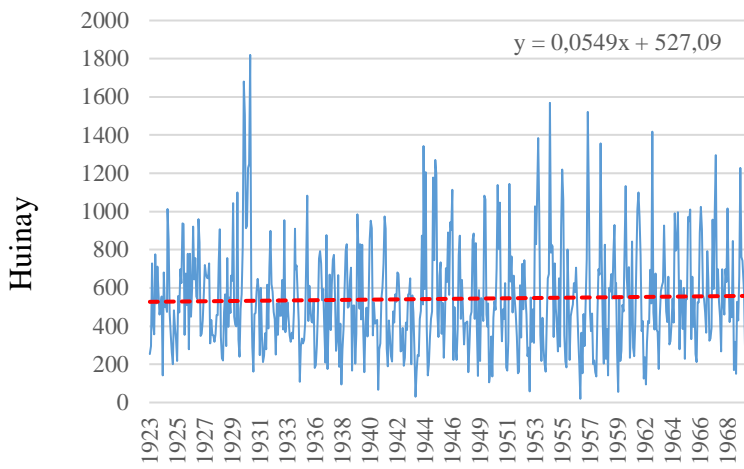
1970-2016



Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

1923-1969

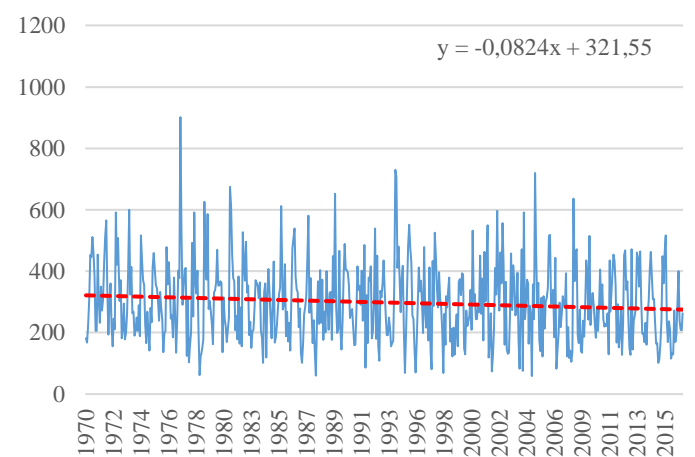
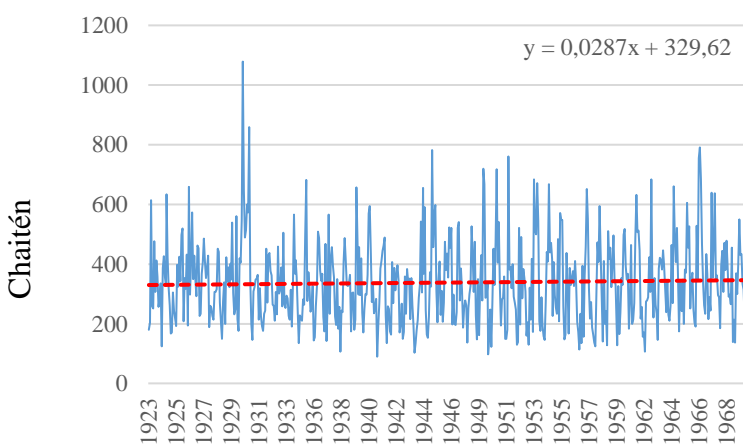
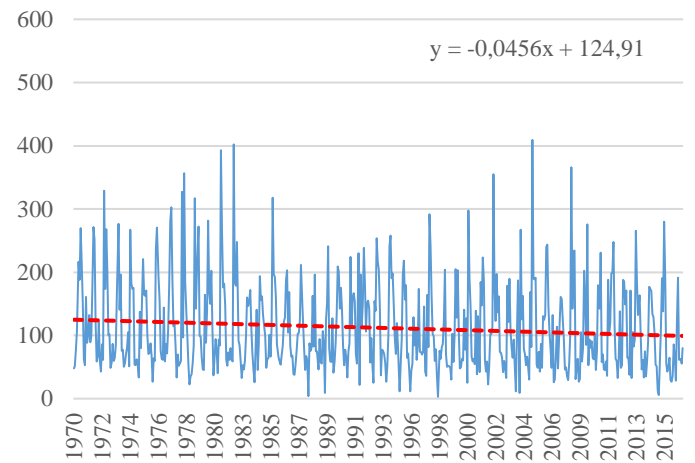
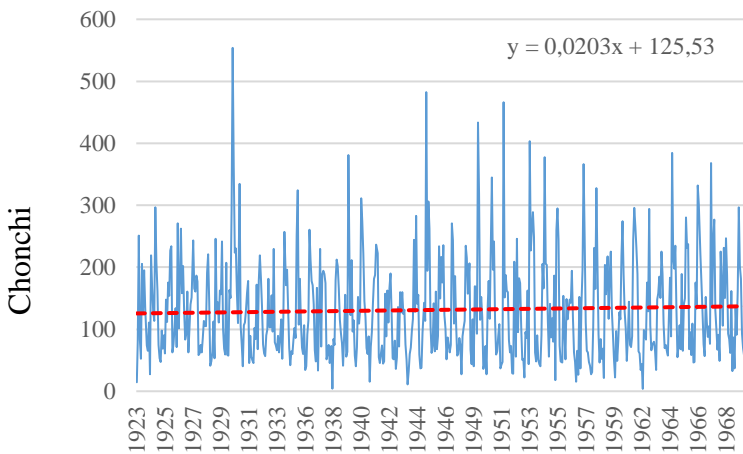
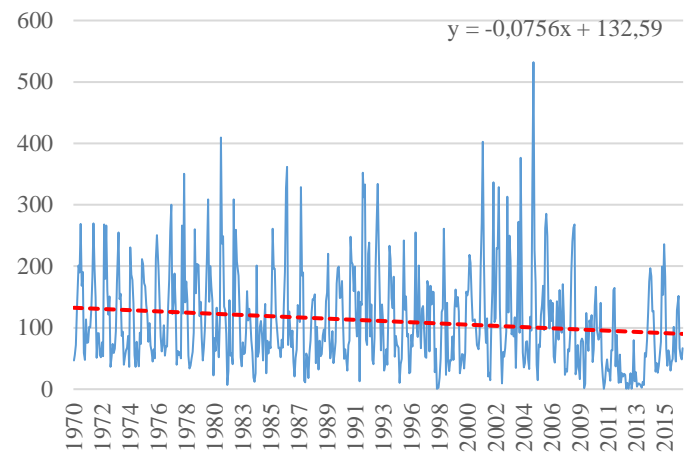
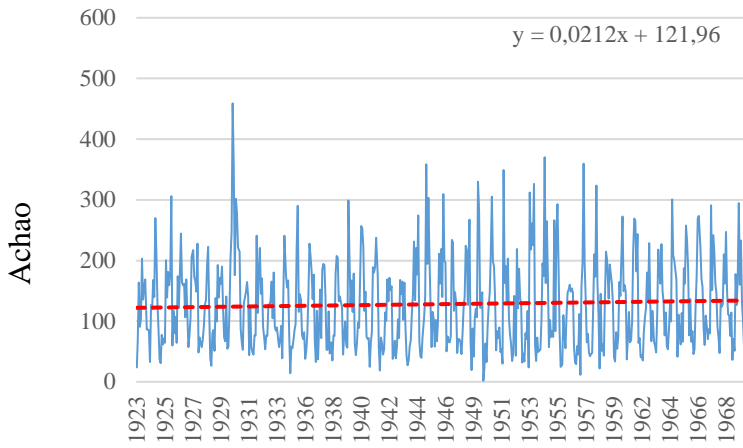
1970-2016



Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

1923-1969

1970-2016



Anexo N°2: Clasificación semestral del Índice de Oscilación del Sur en el periodo 1907-2016. Fuente: Elaboración propia.

AÑO	SOI		SOI-1	
	ONDEFM	AMJJAS	SONDEFM	MAMJJAS
1907	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1908	Neutro	La Niña débil	Neutro	Neutro
1909	La Niña débil	Neutro	La Niña Débil	Neutro
1910	La Niña débil	La Niña moderado	La Niña Débil	La Niña Moderado
1911	El Niño moderado	El Niño moderado	El Niño Moderado	El Niño Débil
1912	Neutro	El Niño moderado	Neutro	El Niño Moderado
1913	Neutro	El Niño débil	Neutro	El Niño Débil
1914	El Niño moderado	El Niño fuerte	El Niño Moderado	El Niño Moderado
1915	Neutro	La Niña moderado	Neutro	La Niña Débil
1916	La Niña moderado	La Niña débil	La Niña Débil	La Niña Débil
1917	La Niña moderado	La Niña muy fuerte	La Niña Fuerte	La Niña Muy fuerte
1918	El Niño moderado	Neutro	El Niño Moderado	Neutro
1919	El Niño débil	El Niño débil	El Niño Débil	El Niño Moderado
1920	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1921	La Niña débil	Neutro	La Niña Débil	Neutro
1922	La Niña débil	Neutro	La Niña Débil	Neutro
1923	Neutro	El Niño débil	El Niño Débil	Neutro
1924	La Niña débil	Neutro	La Niña Débil	Neutro
1925	El Niño moderado	Neutro	El Niño Moderado	Neutro
1926	Neutro	Neutro	Neutro	El Niño Débil
1927	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1928	La Niña moderado	Neutro	La Niña Moderado	Neutro
1929	La Niña débil	Neutro	La Niña Débil	Neutro
1930	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1931	Neutro	La Niña moderado	Neutro	La Niña Débil
1932	Neutro	El Niño moderado	Neutro	El Niño Moderado
1933	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1934	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1935	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1936	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1937	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1938	La Niña moderado	La Niña moderado	La Niña Moderado	La Niña Moderado
1939	El Niño moderado	Neutro	El Niño Moderado	Neutro
1940	El Niño fuerte	El Niño fuerte	El Niño Fuerte	El Niño Fuerte
1941	El Niño moderado	El Niño fuerte	El Niño Moderado	El Niño Fuerte
1942	La Niña débil	Neutro	La Niña Débil	Neutro
1943	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1944	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1945	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1946	Neutro	El Niño moderado	El Niño Débil	El Niño Moderado
1947	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1948	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1949	La Niña débil	Neutro	La Niña Débil	Neutro
1950	La Niña moderado	La Niña fuerte	La Niña Moderado	La Niña Fuerte
1951	El Niño débil	El Niño moderado	El Niño Débil	El Niño Moderado
1952	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1953	Neutro	El Niño moderado	Neutro	El Niño Moderado
1954	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1955	La Niña moderado	La Niña moderado	La Niña Moderado	La Niña Débil
1956	Neutro	La Niña moderado	Neutro	La Niña Moderado
1957	El Niño débil	El Niño débil	El Niño Débil	Neutro
1958	El Niño débil	Neutro	El Niño Débil	Neutro
1959	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1960	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1961	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

AÑO	SOI		SOI-1	
	ONDEFM	AMJJAS	SONDEFM	MAMJJAS
1962	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1963	El Niño débil	Neutro	El Niño Débil	Neutro
1964	Neutro	La Niña moderado	Neutro	La Niña Débil
1965	El Niño moderado	El Niño moderado	El Niño Moderado	El Niño Moderado
1966	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1967	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1968	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1969	El Niño débil	El Niño débil	El Niño Débil	El Niño Débil
1970	La Niña moderado	Neutro	La Niña Moderado	Neutro
1971	La Niña débil	La Niña moderado	La Niña Débil	La Niña Moderado
1972	El Niño débil	El Niño moderado	El Niño Débil	El Niño Moderado
1973	La Niña fuerte	La Niña débil	La Niña Fuerte	La Niña Débil
1974	Neutro	La Niña débil	Neutro	La Niña Moderado
1975	La Niña moderado	La Niña fuerte	La Niña Fuerte	La Niña Fuerte
1976	Neutro	El Niño débil	Neutro	Neutro
1977	El Niño moderado	El Niño moderado	El Niño Moderado	El Niño Moderado
1978	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1979	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1980	Neutro	El Niño débil	Neutro	El Niño Débil
1981	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1982	El Niño muy fuerte	El Niño fuerte	El Niño Muy Fuerte	El Niño Fuerte
1983	Neutro	Neutro	Neutro	El Niño Débil
1984	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1985	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1986	El Niño moderado	Neutro	El Niño Moderado	Neutro
1987	Neutro	El Niño muy fuerte	Neutro	El Niño Muy Fuerte
1988	La Niña moderado	La Niña débil	La Niña Moderado	La Niña Débil
1989	El Niño débil	La Niña débil	Neutro	La Niña Débil
1990	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1991	El Niño fuerte	El Niño moderado	El Niño Fuerte	El Niño Moderado
1992	El Niño moderado	El Niño débil	El Niño Débil	El Niño Moderado
1993	Neutro	El Niño moderado	El Niño Débil	El Niño Moderado
1994	El Niño débil	El Niño fuerte	El Niño Débil	El Niño Fuerte
1995	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1996	Neutro	La Niña débil	Neutro	La Niña Débil
1997	El Niño muy fuerte	El Niño muy fuerte	El Niño Fuerte	El Niño Fuerte
1998	La Niña moderado	Neutro	La Niña Moderado	Neutro
1999	La Niña moderado	Neutro	La Niña Débil	Neutro
2000	La Niña moderado	Neutro	La Niña Moderado	Neutro
2001	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
2002	El Niño débil	El Niño moderado	El Niño Débil	El Niño Moderado
2003	Neutro	El Niño débil	Neutro	El Niño Débil
2004	El Niño débil	El Niño débil	El Niño Débil	El Niño Débil
2005	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
2006	El Niño débil	El Niño débil	El Niño Débil	Neutro
2007	La Niña moderado	Neutro	La Niña Moderado	Neutro
2008	La Niña moderado	Neutro	La Niña Moderado	Neutro
2009	El Niño moderado	Neutro	El Niño Moderado	Neutro
2010	La Niña muy fuerte	La Niña fuerte	La Niña Muy fuerte	La Niña Moderado
2011	La Niña moderado	La Niña moderado	La Niña Moderado	La Niña Moderado
2012	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
2013	Neutro	La Niña débil	Neutro	La Niña Débil
2014	El Niño débil	Neutro	El Niño Débil	Neutro
2015	El Niño moderado	El Niño moderado	El Niño Fuerte	El Niño Moderado
2016	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro

Anexo N°3: Clasificación semestral de la Oscilación Decadal del Pacífico en el periodo 1907-2016. Fuente: Elaboración propia.

AÑO	PDO		PDO-1	
	ONDEFM	AMJJAS	SONDEFM	MAMJJAS
1907	Débil	Neutro	Débil	Neutro
1908	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1909	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1910	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1911	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1912	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1913	Neutro	Débil	Neutro	Débil
1914	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1915	Neutro	Débil	Neutro	Neutro
1916	Débil (-)	Neutro	Débil (-)	Neutro
1917	Débil (-)	Neutro	Débil (-)	Neutro
1918	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1919	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1920	Neutro	Moderado (-)	Neutro	Moderado (-)
1921	Débil	Neutro	Neutro	Neutro
1922	Neutro	Débil (-)	Neutro	Neutro
1923	Débil	Neutro	Débil	Neutro
1924	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1925	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1926	Moderado	Fuerte	Moderado	Moderado
1927	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1928	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1929	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1930	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1931	Neutro	Débil	Neutro	Débil
1932	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1933	Neutro	Moderado (-)	Neutro	Moderado (-)
1934	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
1935	Moderado	Moderado	Moderado	Débil
1936	Moderado	Fuerte	Débil	Fuerte
1937	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1938	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1939	Débil	Neutro	Débil	Neutro
1940	Fuerte	Muy fuerte	Fuerte	Fuerte
1941	Débil	Muy fuerte	Débil	Muy fuerte
1942	Neutro	Débil	Neutro	Débil
1943	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1944	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1945	Débil (-)	Neutro	Débil (-)	Neutro
1946	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1947	Neutro	Débil	Neutro	Débil
1948	Fuerte (-)	Moderado (-)	Fuerte (-)	Débil (-)
1949	Fuerte (-)	Débil (-)	Moderado (-)	Débil (-)
1950	Fuerte (-)	Fuerte (-)	Fuerte (-)	Fuerte (-)
1951	Débil (-)	Neutro	Débil (-)	Débil (-)
1952	Neutro	Moderado (-)	Neutro	Moderado (-)
1953	Débil (-)	Neutro	Débil (-)	Neutro
1954	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1955	Muy fuerte (-)	Muy fuerte (-)	Muy fuerte (-)	Fuerte (-)
1956	Moderado (-)	Moderado (-)	Moderado (-)	Fuerte (-)
1957	Neutro	Débil	Neutro	Débil
1958	Neutro	Moderado	Neutro	Débil
1959	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1960	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1961	Fuerte (-)	Débil (-)	Fuerte (-)	Débil (-)

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

AÑO	PDO		PDO-1	
	ONDEFM	AMJJAS	SONDEFM	MAMJJAS
1962	Débil (-)	Moderado (-)	Débil (-)	Moderado (-)
1963	Débil (-)	Débil (-)	Débil (-)	Débil (-)
1964	Débil (-)	Débil (-)	Débil (-)	Débil (-)
1965	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1966	Débil (-)	Neutro	Débil (-)	Neutro
1967	Neutro	Moderado (-)	Neutro	Moderado (-)
1968	Débil (-)	Neutro	Débil (-)	Neutro
1969	Débil	Neutro	Débil	Neutro
1970	Moderado (-)	Débil (-)	Fuerte (-)	Neutro
1971	Fuerte (-)	Moderado (-)	Moderado (-)	Moderado (-)
1972	Neutro	Débil (-)	Neutro	Moderado (-)
1973	Moderado (-)	Débil (-)	Moderado (-)	Débil (-)
1974	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1975	Fuerte (-)	Moderado (-)	Fuerte (-)	Moderado (-)
1976	Moderado	Neutro	Moderado	Neutro
1977	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1978	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1979	Débil	Débil	Débil	Débil
1980	Débil	Débil	Débil	Débil
1981	Neutro	Moderado	Neutro	Moderado
1982	Débil	Neutro	Débil	Neutro
1983	Moderado	Muy fuerte	Moderado	Muy fuerte
1984	Débil	Débil	Débil	Débil
1985	Débil	Neutro	Débil	Neutro
1986	Fuerte	Débil	Fuerte	Moderado
1987	Moderado	Muy fuerte	Moderado	Muy fuerte
1988	Débil (-)	Débil	Neutro	Débil
1989	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1990	Moderado (-)	Neutro	Moderado (-)	Neutro
1991	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1992	Débil	Moderado	Débil	Moderado
1993	Moderado	Muy fuerte	Moderado	Fuerte
1994	Débil (-)	Neutro	Débil (-)	Neutro
1995	Neutro	Moderado	Débil	Moderado
1996	Neutro	Débil	Neutro	Débil
1997	Moderado	Muy fuerte	Moderado	Fuerte
1998	Débil (-)	Neutro	Débil (-)	Neutro
1999	Moderado (-)	Débil (-)	Moderado (-)	Débil (-)
2000	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
2001	Débil (-)	Débil (-)	Débil (-)	Débil (-)
2002	Fuerte	Neutro	Moderado	Neutro
2003	Neutro	Débil	Neutro	Débil
2004	Neutro	Débil	Neutro	Débil
2005	Neutro	Débil	Neutro	Débil
2006	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
2007	Débil (-)	Neutro	Débil (-)	Neutro
2008	Moderado (-)	Fuerte (-)	Moderado (-)	Moderado (-)
2009	Neutro	Neutro	Neutro	Débil (-)
2010	Débil (-)	Neutro	Moderado (-)	Neutro
2011	Fuerte (-)	Moderado (-)	Fuerte (-)	Moderado (-)
2012	Neutro	Moderado (-)	Débil (-)	Moderado (-)
2013	Neutro	Débil (-)	Neutro	Débil (-)
2014	Muy fuerte	Moderado	Fuerte	Moderado
2015	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Fuerte
2016	Moderado	Fuerte	Débil	Fuerte

Anexo N°4: Clasificación semestral de la Oscilación Antártica en el periodo 1964-2016.

Fuente: Elaboración propia.

AÑO	AAO		AAO-1	
	ONDEFM	AMJJAS	SONDEFM	MAMJJAS
1964	Moderado (-)	Muy fuerte (-)	Moderado (-)	Fuerte (-)
1965	Moderado (-)	Fuerte (-)	Fuerte (-)	Fuerte (-)
1966	Débil (-)	Moderado (-)	Débil (-)	Fuerte (-)
1967	Débil (-)	Moderado (-)	Débil (-)	Débil (-)
1968	Moderado (-)	Moderado (-)	Fuerte (-)	Moderado (-)
1969	Neutro	Débil (-)	Neutro	Débil (-)
1970	Neutro	Neutro	Débil (-)	Neutro
1971	Débil (-)	Débil (-)	Débil (-)	Débil (-)
1972	Neutro	Fuerte (-)	Neutro	Fuerte (-)
1973	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1974	Débil (-)	Débil (-)	Débil (-)	Débil (-)
1975	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1976	Moderado (-)	Neutro	Fuerte (-)	Neutro
1977	Neutro	Moderado (-)	Neutro	Débil (-)
1978	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1979	Débil (-)	Moderado	Neutro	Moderado
1980	Neutro	Moderado (-)	Débil (-)	Moderado (-)
1981	Neutro	Moderado (-)	Neutro	Moderado (-)
1982	Moderado (-)	Débil	Débil (-)	Débil
1983	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1984	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1985	Neutro	Débil	Neutro	Neutro
1986	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1987	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1988	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1989	Neutro	Débil	Neutro	Débil
1990	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1991	Moderado (-)	Débil (-)	Débil (-)	Neutro
1992	Neutro	Débil (-)	Neutro	Débil (-)
1993	Débil	Moderado	Débil	Débil
1994	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1995	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1996	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1997	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1998	Débil	Débil	Débil	Débil
1999	Moderado	Neutro	Débil	Neutro
2000	Débil (-)	Neutro	Débil (-)	Neutro
2001	Débil	Neutro	Débil	Neutro
2002	Débil (-)	Débil (-)	Débil (-)	Moderado (-)
2003	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
2004	Neutro	Débil	Neutro	Débil
2005	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
2006	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
2007	Débil	Débil (-)	Neutro	Débil (-)
2008	Débil	Neutro	Moderado	Neutro
2009	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
2010	Débil	Moderado	Débil	Moderado
2011	Débil	Débil (-)	Neutro	Neutro
2012	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
2013	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
2014	Débil	Neutro	Neutro	Neutro
2015	Débil	Débil	Débil	Débil
2016	Neutro	Débil	Neutro	Moderado

Anexo N°5: Correlaciones estadísticas entre el índice SOI y SOI-1, la precipitación (1985-2015) y temperatura (1916-2014) mensual. **Fuente:** Elaboración propia.

PRECIPITACIÓN				
Estación	SOI		SOI-1	
	ONDEFM	AMJJAS	SONDEFM	MAMJJAS
Puerto Montt	Negativa débil	Negativa fuerte	Negativa débil	Negativa moderada
Tres Cruces	Negativa débil	Negativa moderada	Negativa moderada	Negativa moderada
Ancud	Ninguna	Negativa moderada	Negativa débil	Negativa débil
Hornopirén	Negativa moderada	Negativa fuerte	Negativa moderada	Negativa moderada
Quemchi	Negativa débil	Negativa fuerte	Negativa moderada	Negativa moderada
Butalcura	Negativa débil	Negativa fuerte	Negativa moderada	Negativa moderada
Huinay	Negativa débil	Negativa moderada	Negativa moderada	Negativa moderada
Huyar Alto	Negativa débil	Negativa fuerte	Negativa débil	Negativa moderada
Castro	Ninguna	Negativa moderada	Ninguna	Negativa débil
Achao	Negativa moderada	Negativa moderada	Negativa moderada	Negativa moderada
Chonchi	Negativa débil	Negativa moderada	Negativa débil	Negativa moderada
Chaitén	Negativa débil	Negativa moderada	Negativa débil	Negativa débil

TEMPERATURA				
Estación	SOI		SOI-1	
	ONDEFM	AMJJAS	SONDEFM	MAMJJAS
Puerto Montt	Negativa débil	Negativa débil	Negativa débil	Negativa débil
Mauñín	Ninguna	Negativa débil	Ninguna	Negativa débil
Pta. Corona	Ninguna	Negativa débil	Ninguna	Negativa débil
Ancud	Negativa débil	Negativa débil	Ninguna	Negativa moderada
M. Lobos	Negativa moderada	Ninguna	Ninguna	Negativa débil
Huinay	Positiva débil	Negativa débil	Positiva débil	Ninguna
Castro	Negativa moderada	Negativa débil	Negativa moderada	Negativa moderada
Chaitén	Ninguna	Negativa débil	Ninguna	Negativa débil

Anexo N°6: Correlaciones estadísticas entre el índice PDO y PDO-1, la precipitación (1985-2015) y temperatura (1916-2014) mensual. **Fuente:** Elaboración propia.

PRECIPITACIÓN				
Estación	PDO		PDO-1	
	ONDEFM	AMJJAS	SONDEFM	MAMJJAS
Puerto Montt	Negativa débil	Ninguna	Negativa débil	Ninguna
Tres Cruces	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Ancud	Negativa débil	Ninguna	Negativa débil	Ninguna
Hornopirén	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Quemchi	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Butalcura	Negativa débil	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Huinay	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Huyar Alto	Negativa débil	Ninguna	Negativa débil	Ninguna
Castro	Negativa débil	Negativa débil	Negativa débil	Negativa débil
Achao	Ninguna	Positiva débil	Ninguna	Positiva débil
Chonchi	Negativa débil	Ninguna	Negativa débil	Negativa débil
Chaitén	Negativa débil	Ninguna	Negativa débil	Ninguna

TEMPERATURA				
Estación	PDO		PDO-1	
	ONDEFM	AMJJAS	SONDEFM	MAMJJAS
Puerto Montt	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Mullín	Positiva débil	Positiva débil	Ninguna	Positiva débil
Pta. Corona	Ninguna	Negativa débil	Positiva débil	Negativa débil
Ancud	Negativa débil	Positiva débil	Negativa moderada	Positiva moderada
M. Lobos	Ninguna	Positiva moderada	Negativa débil	Positiva moderada
Huinay	Negativa débil	Negativa moderada	Negativa fuerte	Negativa fuerte
Castro	Ninguna	Positiva débil	Ninguna	Positiva moderada
Chaitén	Negativa débil	Ninguna	Negativa débil	Positiva débil

Anexo N°7: Correlaciones estadísticas entre el índice AAO y AAO-1, la precipitación (1985-2015) y temperatura (1916-2014) mensual. Fuente: Elaboración propia.

PRECIPITACIÓN				
Estación	AAO		AAO-1	
	ONDEFM	AMJJAS	SONDEFM	MAMJJAS
Puerto Montt	Negativa fuerte	Negativa débil	Negativa fuerte	Negativa débil
Tres Cruces	Negativa fuerte	Negativa débil	Negativa fuerte	Negativa débil
Ancud	Negativa fuerte	Negativa débil	Negativa fuerte	Negativa débil
Hornopirén	Negativa fuerte	Negativa débil	Negativa fuerte	Negativa débil
Quemchi	Negativa fuerte	Negativa débil	Negativa fuerte	Negativa débil
Butalcura	Negativa fuerte	Negativa débil	Negativa fuerte	Negativa débil
Huinay	Negativa fuerte	Ninguna	Negativa fuerte	Ninguna
Huyar Alto	Negativa fuerte	Negativa débil	Negativa fuerte	Negativa débil
Castro	Negativa fuerte	Negativa débil	Negativa fuerte	Negativa débil
Achao	Negativa fuerte	Negativa débil	Negativa fuerte	Negativa débil
Chonchi	Negativa fuerte	Negativa débil	Negativa fuerte	Negativa débil
Chaitén	Negativa fuerte	Negativa débil	Negativa fuerte	Negativa débil

TEMPERATURA				
Estación	AAO		AAO-1	
	ONDEFM	AMJJAS	SONDEFM	MAMJJAS
Puerto Montt	Ninguna	Ninguna	Positiva débil	Ninguna
Maullín	-	-	-	-
Pta. Corona	Negativa moderada	Positiva fuerte	Ninguna	Positiva fuerte
Ancud	Negativa fuerte	Negativa débil	Negativa moderada	Ninguna
M. Lobos	-	-	-	-
Huinay	Positiva débil	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Castro	Negativa moderada	Positiva débil	Negativa moderada	Positiva débil
Chaitén	Ninguna	Negativa débil	Ninguna	Negativa débil

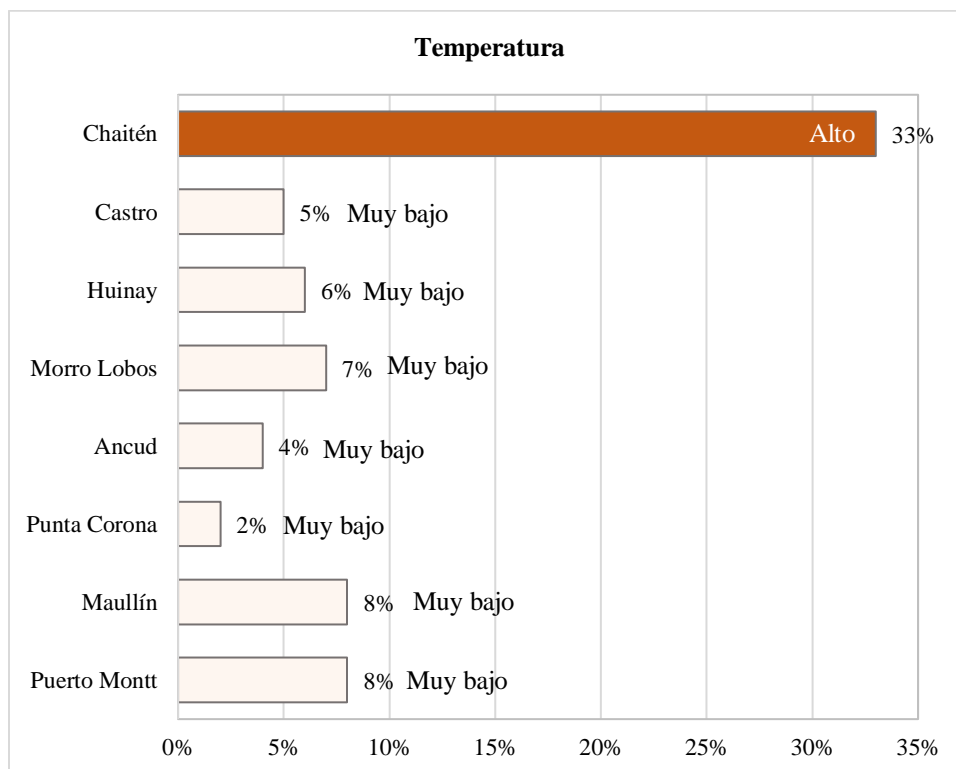
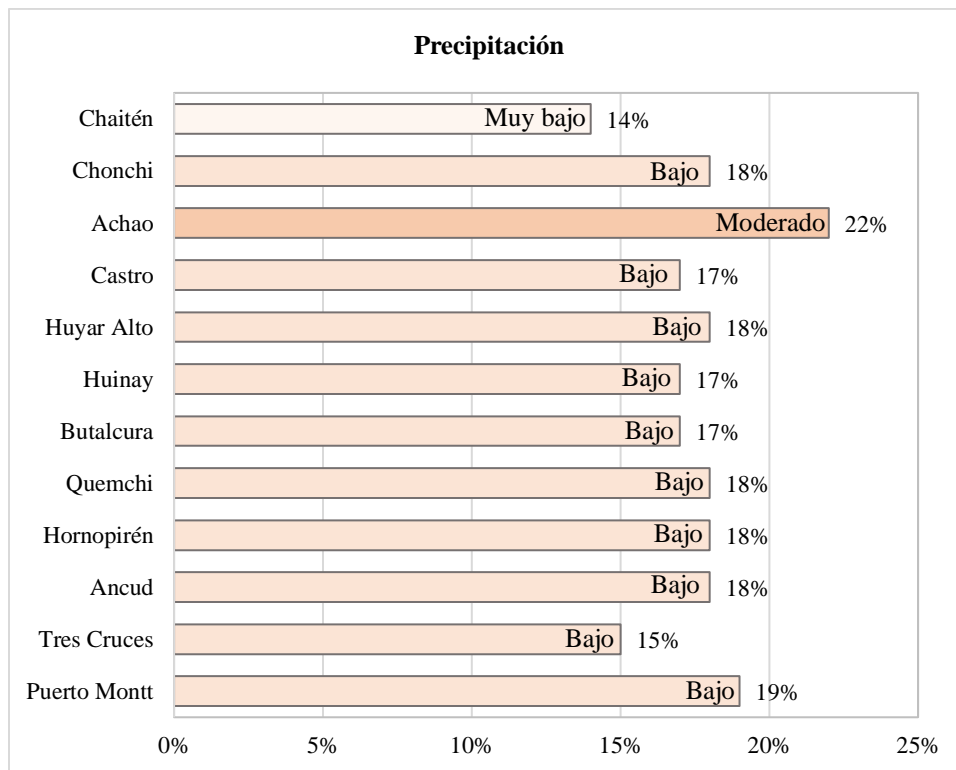
Anexo N°8: Resultados de test de homogeneidad para las series de precipitación 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

Estación	Von Neumann		Thom	
	Valor	Clasificación	Valor	Clasificación
Puerto Montt	1,49	Inhomogénea	3,75	Inhomogénea
Tres Cruces	1,38	Inhomogénea	2,21	Homogénea
Ancud	1,38	Inhomogénea	2,60	Homogénea
Hornopirén	1,47	Inhomogénea	3,37	Inhomogénea
Quemchi	1,51	Inhomogénea	3,18	Inhomogénea
Butalcura	1,68	Homogénea	3,18	Inhomogénea
Huinay	1,48	Inhomogénea	1,64	Homogénea
Huyar Alto	1,46	Inhomogénea	3,18	Inhomogénea
Castro	1,12	Inhomogénea	3,18	Inhomogénea
Chonchi	1,48	Inhomogénea	1,64	Homogénea
Achao	1,08	Inhomogénea	3,75	Inhomogénea
Chaitén	1,52	Inhomogénea	1,83	Homogénea

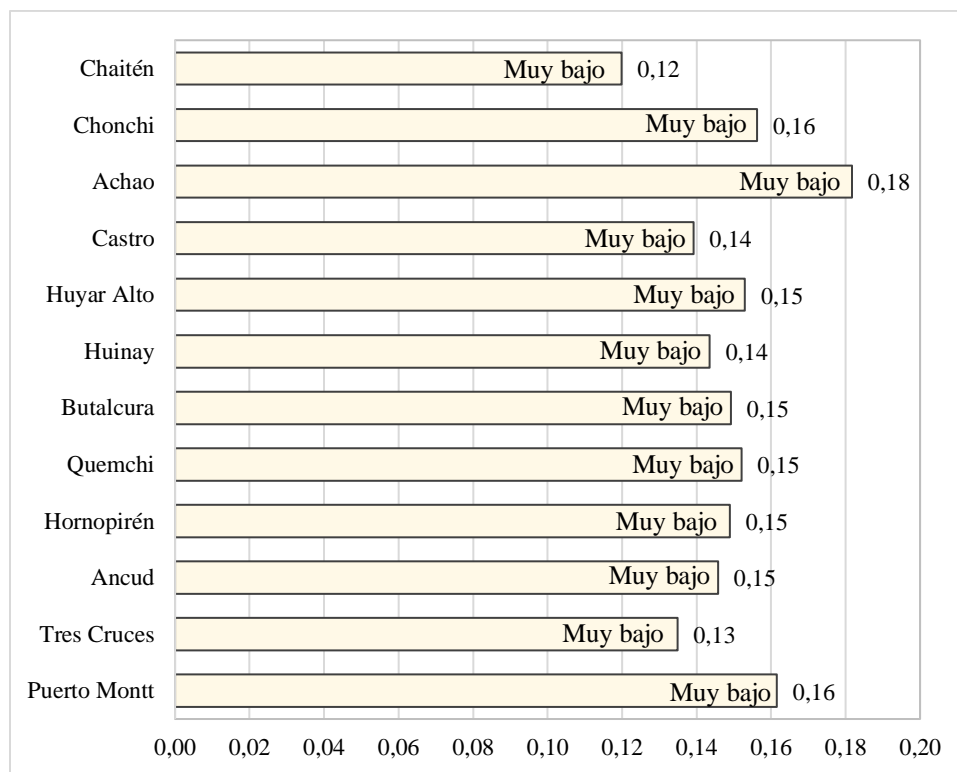
Anexo N°9: Resultados de test de homogeneidad para las series de temperatura 1916-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

Estación	Von Neuman		Thom	
	Valor	Clasificación	Valor	Clasificación
Puerto Montt	0,71	Inhomogénea	7,10	Inhomogénea
Mauullín	1,42	Inhomogénea	6,30	Inhomogénea
Punta Corona	1,20	Inhomogénea	1,70	Homogénea
Ancud	0,66	Inhomogénea	5,70	Inhomogénea
Morro Lobos	0,80	Inhomogénea	5,90	Inhomogénea
Huinay	0,71	Inhomogénea	6,70	Inhomogénea
Castro	0,76	Inhomogénea	5,10	Inhomogénea
Chaitén	1,97	Homogénea	6,50	Inhomogénea

Anexo N°10: Resultado del coeficiente de variación (CV) para precipitación y temperatura de las series rellenadas. Fuente: Elaboración propia.



Anexo N°11: Resultado del índice de irregularidad temporal (S_1) de las precipitaciones de las series pluviométricas rellenadas. **Fuente:** Elaboración propia.



Anexo N°12: Resultados del PCI para las estaciones pluviométricas entre 1907-2016. **Fuente:** Elaboración propia.

Estación	Lat	Long	PCI	Clasificación
Puerto Montt	-41,43	-73,09	10,6	Moderadamente estacional
Tres Cruces	-41,83	-73,48	10,8	Moderadamente estacional
Ancud	-41,86	-73,81	11,2	Moderadamente estacional
Hornopirén	-41,93	-72,43	10,2	Moderadamente estacional
Quemchi	-42,14	-73,47	10,9	Moderadamente estacional
Butalcura	-42,26	-73,66	11,4	Moderadamente estacional
Huinay	-42,37	-72,41	10,3	Moderadamente estacional
Huyar Alto	-42,4	-73,56	11,1	Moderadamente estacional
Castro	-42,45	-73,44	11,6	Moderadamente estacional
Achao	-42,47	-73,49	11,3	Moderadamente estacional
Chonchi	-42,62	-73,77	11,4	Moderadamente estacional
Chaitén	-42,93	-72,7	9,6	Uniforme

Tendencias climáticas y sus efectos en el Golfo de Ancud por medio de las series de precipitación y temperatura más largas

ANEXO DIGITAL

Anexo digital N°1: Base de datos de precipitación acumulada y temperatura media mensual resultante. Fuente: Elaboración propia.