



# Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

Recopilación y análisis de la variación de las temperaturas (período 1965-2001) y las precipitaciones (período 1931-2001) a partir de la información de estaciones meteorológicas de Chile entre los 33° y 53° de latitud Sur.

Profesor Guía Sr. Antonio Lara

Tesis de Grado presentada como parte de los requisitos para optar al Título de **Ingeniero Forestal**

**LILIANA SOLANGE PEZOA GUTIÉRREZ**  
VALDIVIA

2003

## CALIFICACION COMITE DE TITULACION

		<u>NOTA</u>
PROFESOR PATROCINANTE	: Antonio Lara Aguilar	6,6
PROFESOR INFORMANTE	: Humberto Fuenzalida	6,0
PROFESOR INFORMANTE	: Carlos Le Quesne	6,5

El Profesor Patrocinante acredita que la presente Tesis de Grado cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el Reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por lo demás integrantes del Comité de Titulación.

---

Antonio Lara Aguilar

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a quienes de una u otra forma colaboraron en el logro de esta tesis.

Al Dr. Antonio Lara por su gran ayuda en el tema, constante dedicación en las revisiones y recomendaciones necesarias en todas las etapas de este trabajo, desde la motivación para dar inicio a este estudio, permanentes revisiones de avance y presión para la finalización, muchas gracias. A los profesores Humberto Fuenzalida, Ricardo Villalba, Carlos Le Quesne y Juan Carlos Aravena por todos sus comentarios, sugerencias y observaciones en la realización de este trabajo. A Alexia Wolodarsky, Francisca Bown, M<sup>a</sup> Eugenia Solari y Emilio Cuq por todos sus aportes en bases de datos y conocimientos del tema. A mi esposo Patricio por la confección de los mapas.

A la Sra. Myrna Araneda, Subdirectora de Climatología y Meteorología Aplicada de la Dirección Meteorológica de Chile y su equipo de trabajo conformado por Bernabé Araya y Patricio Lucabeche por la gestión para facilitar los datos de la DMC para este estudio y, principalmente, por la infinita paciencia y mucha voluntad para responder las mil llamadas y correos electrónicos con consultas.

Al Sr. Jorge Quinteros, por gestionar la solicitud de los datos y Sr. Erich Weidenslaufer, por facilitar los datos de la DGA para este estudio.

A los Srs. de la Armada de Chile, Comandante Alvaro Sampedro, Teniente Alejandro de la Maza y al Sargento Primero David Astorga por su buena disposición y ayuda con los datos meteorológicos.

A mi madre, mi hermana Viviana y mi suegra por cuidar a mis niñas en los viajes fuera de Valdivia.

Al tío Javier y tía Eliana por todo el apoyo económico que me prestaron durante mis estudios universitarios.

A mis amigos: Marcia Elortondo, Anabella Verdejo, Marcela Velásquez, Fernando Quezada, Patricio Romero, René Inostroza, Francisco Morey, Rocío Urrutia, Verónica Fredes, Mirta Valdivia y los que se me olviden por haber colaborado de alguna forma para llegar a la finalización de mi tesis, a todos ellos muchas gracias.

A los proyectos FONDECYT 1000445, IAI CRN03 y Núcleo Científico FORECOS P01-057-F quienes financiaron este estudio.

Finalmente quiero agradecer a mi esposo y mis hijas por todo el amor, alegría y capacidad de asombro que a diario compartimos y por la paciencia y comprensión que tuvieron por los muchos momentos que no estuve, a ustedes les dedico mi vida.

A mi madre,  
por ser siempre madre.

A mi padre, profesor rural,  
por su esfuerzo y dedicación  
en la educación de sus 5 hijos.

## ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Forzantes climáticos	4
2.2 Fenómeno El Niño – Oscilación del Sur	6
2.3 Patrones espaciales y temporales de la variación de la temperatura y las precipitaciones en Chile y Argentina	7
3. MATERIAL Y METODO	10
3.1 Material	10
3.2 Método	10
3.2.1 Recopilación, actualización y procesamiento de los datos de estaciones meteorológicas	10
3.2.2 Creación de la base de datos	11
3.2.3 Validación e identificación de datos anómalos de temperatura y precipitación	12
3.2.4 Relleno de los datos de temperatura y precipitación	12
3.2.5 Estandarización de los datos	14
3.2.6 Análisis de los datos	15
4. RESULTADOS	18
4.1 Unidades de Muestreo	18
4.2 Análisis de la temperatura media	23
4.2.1 Distribución geográfica y tendencias	23
4.2.2 Determinación de patrones espaciales y temporales de la temperatura media del período 1965-2001	27
4.2.3 Distribución, tendencias y determinación de patrones espaciales y temporales de los promedios regionales de temperatura media del período 1965-2001	33
4.3 Análisis de las precipitaciones	42
4.3.1 Distribución geográfica y tendencias	42
4.3.2 Determinación de patrones espaciales y temporales de la precipitación, período 1962-2001	50
4.3.3 Distribución, tendencias y determinación de patrones espaciales y temporales de los promedios regionales de la precipitación del período 1962-2001	56
4.3.4 Distribución, tendencias y determinación de patrones espaciales y temporales de la precipitación, período 1931-2001	66
5. DISCUSIÓN	77
5.1 Temperatura media	78
5.2 Precipitación	83
6. CONCLUSIONES	88

6.1	Temperatura media	88
6.2	Precipitación	91
7.	RESUMEN	93
	SUMMARY	95
8.	BIBLIOGRAFÍA	97
	ANEXOS	
1	Detalle de datos faltantes en las estaciones seleccionadas para el análisis de la temperatura media y las precipitaciones	
2	Mapas de isovalores de la temperatura media de primavera, verano, otoño, invierno y período de crecimiento, período 1965-2001.	
3	Mapas de isovalores de la temperatura regional de primavera, verano, otoño, invierno y período de crecimiento, período 1965-2001	
4	Matriz de correlación de la precipitación anual, período 1962-2001, de las 57 estaciones seleccionadas	
5	Mapas de isovalores de la precipitación de primavera, verano, otoño, invierno y período de crecimiento, período 1962-2001	
6	Mapas de isovalores de la precipitación regional de primavera, verano, otoño, invierno y período de crecimiento, período 1965-2001	
7	Mapas de isovalores de la precipitación de primavera, verano, otoño, invierno y período de crecimiento, período 1931-2001	

## INDICE DE CUADROS

	Página	
Cuadro 1	Matrices para el análisis espacial y temporal	15
Cuadro 2	Estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis de la temperatura media mensual, período 1965-2001.	18
Cuadro 3	Estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis de la precipitación mensual, período 1962-2001.	19
Cuadro 4	Temperatura media anual ( °C), desviación estándar ( °C) y coeficiente de variación (%) de la temperatura media mensual, período 1965-2001	23
Cuadro 5	Matriz de correlación de la temperatura media anual, período 1965-2001.	28
Cuadro 6	Matriz de Componentes Principales (PC) de la temperatura media, período 1965-2001.	29
Cuadro 7	Agrupación de estaciones para obtener los promedios regionales de la temperatura media, período 1965-2001	33
Cuadro 8	Temperatura media anual ( °C), desviación estándar ( °C) y coeficiente de variación (%) de los promedios regionales, período 1965-2001	34
Cuadro 9	Matriz de correlación de la temperatura media regional anual, período 1965-2001	37
Cuadro 10	Matriz de Componentes Principales (PC) de la temperatura regional, período 1965-2001	38
Cuadro 11	Precipitación anual promedio (mm/año), desviación estándar (mm/año) y coeficiente de variación (%) por estación meteorológica, período 1962-2001	43
Cuadro 12	Matriz de Componentes Principales (PC), período 1962-2001, por estaciones meteorológica a nivel anual, período de crecimiento y estacionalmente.	51
Cuadro 13	Grupos de estaciones meteorológicas para los promedios regionales de la precipitación mensual, período 1962-2001.	56
Cuadro 14	Parámetros de la precipitación regional, período 1962-2001.	58
Cuadro 15	Matriz de correlación de la precipitación anual regional, período 1962-2001.	62
Cuadro 16	Matriz de Componentes Principales (PC) de la precipitación regional anual de 40 años, período 1962-2001	63
Cuadro 17	Estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis de la precipitación mensual, período 1931 -2001	66
Cuadro 18	Precipitación anual promedio (mm), desviación estándar (mm) y coeficiente de variación (%) por estación meteorológica, período 1931-2001	67
Cuadro 19	Matriz de correlación de la precipitación anual, período 1931-2001	72
Cuadro 20	Matriz de Componentes Principales (PC) de la precipitación, período 1931 -2001.	73

## INDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Distribución de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis de la temperatura media mensual, período 1965-2001.	21
Figura 2	Distribución de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis de la precipitación mensual, período 1965-2001.	22
Figura 3	Temperatura promedio anual (mm) según latitud.	24
Figura 4	Relación de la temperatura promedio ( °C) de 37 años (período 1965-2001) con la latitud ( °) y altitud (msnm) de cada estación meteorológica.	24
Figura 5	Variaciones de la temperatura media anual, período 1965-2001, para cada estación meteorológica.	26
Figura 6	Patrones espaciales de la temperatura media anual, período 1965-2001 de 18 estaciones meteorológicas.	31
Figura 7	Amplitudes de los PCs resultantes del análisis de componentes principales sobre la temperatura a) anual, b) primavera, c) verano, d) otoño, e) invierno y f) período de crecimiento, 1965-2001.	32
Figura 8	Mapa de ubicación de los promedios regionales para el análisis de la temperatura media de 37 años, período 1965-2001	35
Figura 9	Variaciones de la temperatura regional anual, período 1965-2001.	36
Figura 10	Patrones espaciales de los promedios regionales de la temperatura media anual, período 1965-2001	39
Figura 11	Amplitudes de los PCs resultantes del análisis de componentes principales sobre la temperatura regional a) anual, b) primavera, c) verano, d) otoño, e) invierno y f) período de crecimiento, período 1965-2001.	41
Figura 12	Precipitación anual promedio (mm/año) de 40 años, período 1962-2001, según latitud.	44
Figura 13	Coeficiente de Variación de la precipitación anual de 40 años, período 1962-2001, según latitud.	44
Figura 14	Relación de la precipitación promedio anual, período 1962-2001, según altitud.	45
Figura 15	Variaciones de la precipitación anual, período 1962-2001, para cada estación meteorológica.	46
Figura 16	Patrones espaciales de la precipitación anual de 40 años (período 1962-2001) de 57 estaciones meteorológicas.	54
Figura 17	Amplitud de los PCs resultantes del análisis de componentes principales sobre la precipitación a) anual, b) primavera, c) verano, d) otoño, e) invierno y f) período de crecimiento, período 1962-2001.	55

Figura 18	Mapa de ubicación de los promedios regionales para el análisis de la precipitación de 40 años, período 1965-2001.	59
Figura 19	Variaciones de la precipitación regional anual, período 1962-2001.	60
Figura 20	Patrones espaciales de la precipitación regional anual, período 1962-2001.	64
Figura 21	Amplitud de los PCs resultantes del análisis de componentes principales sobre la precipitación regional a) anual, b) primavera, c) verano, d) otoño, e) invierno y f) período de crecimiento, período 1962-2001.	65
Figura 22	Mapa de ubicación de las estaciones seleccionadas para el análisis de la precipitación, período 1931-2001.	68
Figura 23	Precipitación anual promedio (mm/año) según latitud ( $^{\circ}$ ), período 1931-2001.	69
Figura 24	Variaciones de la precipitación anual, período 1931-2001.	70
Figura 25	Patrones espaciales de la precipitación anual de 14 estaciones meteorológicas, período 1931-2001.	74
Figura 26	Amplitud de los PCs resultante del análisis de componentes principales sobre la precipitación a) anual, b) primavera, c) verano, d) otoño, e) invierno y f) período de crecimiento, período 1931-2001.	76

## 1. INTRODUCCION

Chile, por su extensión territorial, presenta una amplia variabilidad climática que va desde los climas áridos y calurosos en la zona Norte, como el clima desértico, hasta los más fríos y lluviosos en el extremo Sur del país, como el marítimo lluvioso.

Los elementos de circulación atmosférica predominantes que determinan el clima en la región austral de Sudamérica muestran marcadas variaciones temporales, desde inter-anales, decadales, hasta seculares. Estas variaciones climáticas son determinadas en forma directa o a través de teleconexiones atmosféricas, por forzantes climáticos regionales o hemisféricos. La Oscilación del Sur y los fenómenos *El Niño*, las posiciones latitudinales del anticiclón subtropical, los gradientes de temperatura entre regiones subtropicales y de latitudes altas, las temperaturas de las superficies del océano y la circulación transpolar, son las principales fuerzas continentales y/o hemisféricas que influyen en el clima del sur de Chile (Graham, 1995; Villalba *et al.*, 1996; Villalba *et al.*, 1998).

Aunque las variaciones en el clima regional tienen un importante impacto socioeconómico y ambiental en Chile, nuestra comprensión de los mecanismos controladores de los cambios climáticos regionales es aún incompleta. La falta de registros meteorológicos largos constituye la mayor limitación para caracterizar apropiadamente las fluctuaciones climáticas en escalas de décadas hasta siglos e impide discriminar la variabilidad climática natural de los cambios climáticos producidos por influencia antrópica tales como el efecto invernadero (Bradley 1990; Jones *et al.*, 1996).

En el Sur de Sudamérica los registros instrumentales raramente exceden los 100 años. Esto es un serio obstáculo para identificar la variabilidad climática natural en escalas de décadas a siglos. Consecuentemente, este elemento es de gran interés para el uso de indicadores medioambientales (*proxy records*) tales como anillos de crecimiento de los árboles y fluctuaciones glaciales los cuales proveen registros

climáticos largos para caracterizar apropiadamente la variabilidad climática a diferentes escalas espaciales y temporales (Lara *et al.*, 1999).

Una mejor comprensión de las variaciones climáticas anuales y decadales en el sur de Chile proveerán información clave para el manejo y conservación de recursos hídricos y forestales y la reducción de los riesgos naturales inducidos climáticamente (inundaciones, avalanchas de nieve y catástrofes por derretimiento rápido de nieve). Finalmente, la comparación de estas reconstrucciones históricas con bases de datos alrededor del mundo, no solo proveerán una mejor comprensión de las variaciones climáticas en el hemisferio sur, sino que también un mejor entendimiento del cambio climático a escala global (Lara *et al.*, 1999).

En el estudio de la dendroclimatología, los registros meteorológicos (particularmente de precipitación y temperatura) son imprescindibles al ser representativos de las variaciones climáticas a nivel local o regional. Para reconstruir variaciones climáticas en el pasado, se comparan las series climáticas (variaciones anuales o estacionales de la temperatura y las precipitaciones) con las variaciones anuales en el ancho de los anillos de crecimiento. Con estos datos se establecen correlaciones entre las variaciones climáticas y los anillos de crecimiento. Utilizando funciones respuesta, se puede establecer cuales son los parámetros climáticos que regulan el crecimiento de los árboles en una localidad o región (Fritz, 1976; Blasing *et al.*, 1984; Lara *et al.*, 1996).

El objetivo de esta tesis es determinar los patrones espaciales y temporales en los cambios o fluctuaciones climáticas ocurridas en Chile entre los 33° y los 53° S, a partir de los datos de temperatura media mensual de 37 años (período 1965-2002) y precipitación mensual de 40 años (período 1962-2001) de estaciones meteorológicas seleccionadas. En forma complementaria se estudiará el período 1931-2001 para las precipitaciones. Para ello, las series instrumentales serán validadas utilizando métodos estadísticos para detectar inconsistencias en los registros o la presencia de valores anómalos (*outliers*), generando series climáticas homogéneas para los

períodos estudiados. Además, se creará una base de datos con la información lo más completa posible de las estaciones meteorológicas seleccionadas y se identificarán cambios abruptos y tendencias en el tiempo.

## **2. REVISION BIBLIOGRAFICA**

El análisis de los datos meteorológicos a nivel mundial indica que existe una tendencia al calentamiento global de la tierra. Jones *et al.* (1999) en un análisis de más de 400 series de registros climáticos muestran que los años noventa son la década más calurosa del milenio. Este calentamiento global podría estar afectado por la intensidad y frecuencia de los eventos El NIÑO. En el último siglo, los episodios más intensos de El NIÑO ocurrieron en las últimas dos décadas (años 1982 y 1997), pero ellos también podrían ser una consecuencia de variaciones decadales cíclicas (Ferodov y Philander, 2000).

### **2.1 Forzantes climáticos**

La temperatura de la atmósfera depende de la insolación. La cantidad de radiación solar que reciben las distintas áreas de nuestro planeta varía por distintas causas. Uno de los factores determinantes de la temperatura es la latitud. Otros factores determinantes de la variación geográfica de las temperaturas son: la distancia desde el lugar a grandes masas de agua, las corrientes oceánicas, la dirección y tipo de los vientos dominantes, altitud, topografía local y nubosidad (Fuenzalida, 1950).

Chile, a pesar de extenderse desde los 17° 30' hasta los 56° de latitud Sur, sin considerar la Antártica, es un país de gran homogeneidad, en lo que se refiere a sus temperaturas. Esto se debe especialmente a la influencia del mar a lo largo de todo el territorio y a que la corriente fría de Humboldt y la surgencia de aguas subsuperficiales impide que las temperaturas sean elevadas, especialmente en el extremo Norte del país. Por otro lado, la extrema angostura de Chile hace posible que no se manifieste prácticamente la continentalidad, salvo en algunos sectores trasandinos de la Patagonia chilena. En el resto del país, se presenta cierto grado muy débil de continentalidad en las depresiones detrás de la Cordillera de la Costa (Fuenzalida, 1950).

En términos generales, en Chile las precipitaciones aumentan de norte a sur, presentándose un descenso en el extremo austral. Es así como en Santiago (33°25') la precipitación puede llegar a los 300 mm anuales, al Sur de Puerto Montt (41°27') supera los 2.000 mm anuales. En el extremo Sur de Chile, en Punta Arenas a los (53°09') de latitud Sur, las precipitaciones son cercanas a los 430 mm al año.

En Chile se puede obtener información de temperatura y precipitación de muchas estaciones meteorológicas siendo una de las más antiguas la de Valdivia que tiene registros de precipitación desde el año 1851. El problema, en general, con estos registros es que se encuentran incompletos, o son de periodos muy cortos y normalmente localizados próximos a ciudades. Los registros de extensas áreas cordilleranas o de localidades remotas son escasos, lo que dificulta diferentes estudios.

Debido a la mala calidad de los datos instrumentales es muy difícil describir los cambios climáticos del siglo XX en las latitudes 40° a 60° S, donde existen éstos registros, éstos son de períodos cortos o fragmentados. Además, no se han documentado los cambios en la ubicación de estaciones, de instrumentos, metodología y efecto urbano (Villalba *et al.*, en prensa; Rosenblüth *et al.*, 1997).

Completar la información de las estaciones meteorológicas es un trabajo necesario si queremos estimar series climáticas que nos permitan estudiar los cambios climáticos globales pasados. Los árboles reflejan muy bien las variaciones climáticas a través del ancho de sus anillos. Al hacer correlaciones entre los patrones de crecimiento de los árboles y los datos climáticos instrumentales, se puede llegar a hacer reconstrucciones climáticas de más de mil años si se trabaja con especies longevas como el alerce que puede llegar a vivir más de 3.600 años (Lara y Villalba, 1993).

## 2.2 Fenómeno El Niño – Oscilación del Sur

Las variaciones en los patrones de temperatura y precipitación en el sur de Sudamérica están determinadas por las variaciones en los forzantes climáticos regionales o hemisféricos. Los principales forzantes que tienen una influencia sobre el clima del sur de Chile son el Índice de Oscilación del Sur (relacionado con el fenómeno de El Niño (ENSO)) y el Índice Transpolar (TPI), (Villalba *et al.*, 1996).

Glantz (1998), define a un evento El NIÑO como la aparición cada 4–7 años de una corriente oceánica cálida intermitente en la superficie del mar en el Océano Pacífico Central y Oriental, cerca del Ecuador que se mueve hacia el Sur a lo largo de la costa. Genera registros de precipitación sobre el promedio, acompañado de inundaciones y destrucción. Las temperaturas de la superficie del mar en la costa, generalmente alcanzan valores de más de 7° C sobre lo normal durante algunos meses de las estaciones de verano y otoño en el Hemisferio Sur. El NIÑO resulta de una interacción inestable entre el Océano Pacífico tropical y la atmósfera, es comprendido como una fase natural de oscilación, siendo la NIÑA la fase complementaria (Ferodov y Philander, 2000).

Las asociaciones entre los eventos El NIÑO y los cambios inusuales en los patrones del clima en torno al globo han sido denominados como teleconexiones (Glantz, 1998). Estas son conexiones conocidas entre los eventos El NIÑO y los cambios en las condiciones meteorológicas distantes (ejemplos: evento El NIÑO y las sequías en diversas partes del globo).

Para agrupar y evaluar los eventos El NIÑO, diversos autores los han clasificado de acuerdo a indicadores como la temperatura de la superficie del mar, la ubicación geográfica, el área cubierta por la porción de agua cálida de mar y la duración del evento. Quinn *et al.* (1987) clasificaron los eventos de acuerdo a la temperatura de la superficie del mar costero en:

- a) eventos muy fuertes,

- b) eventos fuertes y
- c) eventos moderados.

Es así que mientras más grande es el aumento de la temperatura, mayor es la magnitud del evento.

### **2.3 Patrones espaciales y temporales de la variación de la temperatura y las precipitaciones en Chile y Argentina**

Rosenblüth *et al.* (1997) realizaron un estudio con los datos de temperatura de estaciones meteorológicas chilenas desde los 18° a 53° S y argentinas desde los 22° a 54° S. Las estaciones se seleccionaron de acuerdo a la calidad de la información y a la extensión de las series. Los registros más largos de las estaciones chilenas comenzaban en el año 1912 y los más cortos en 1942, con la excepción de las estaciones Quintero (que comenzó en 1952), El Belloto (1963) y Osorno (1960) las que fueron utilizadas para rellenar la información de años con datos faltantes de otras estaciones. Todas las series se extienden hasta el año 1992. Algunas series de temperatura largas, como la de Santiago se excluyeron debido a la influencia del crecimiento urbano. Sin embargo, este estudio dejó dos sectores descubiertos, el primero entre los 24° S y 30° S y el segundo entre los 46° S y 53° S. En ambos sectores hay algunas estaciones en la costa pero sus archivos son demasiado cortos o están fragmentados por interrupciones (Rosenblüth *et al.*, 1997).

El estudio de Rosenblüth *et al.* (1997) homogenizó las observaciones para producir un conjunto de series de tiempo tan fiable como fue posible. Los resultados determinaron que en el período 1950's-1970's se produjo una tendencia al calentamiento de 1,3° a 2,0 °C al Sur de los 41°. Pero este calentamiento no es generalizado, ya que entre los 38° y 41° S, para el período 1930-1992, prevalece una tendencia al enfriamiento. Las tendencias positivas y negativas se deben principalmente a los cambios en temperaturas mínimas. Para dejar fuera este efecto, Rosenblüth *et al.* (1997) estimaron la influencia del Fenómeno el Niño en la temperatura de la superficie a lo largo de la costa del Pacífico de América del Sur

entre los 18°S a 53°S y la descontaron. Cuando se dejó fuera su efecto, las tendencias se comportaron más uniformes a través del tiempo.

Las reconstrucciones de temperatura generadas por Villalba (1990), Lara y Villalba (1993) y Villalba *et al.* (1996) no muestran evidencias de calentamiento durante las últimas décadas, lo cual es consistente con los registros de la temperatura de la superficie del mar y las estaciones meteorológicas entre los 35° y 42° S (Aceituno *et al.* 1993, Lara y Villalba 1993). Por el contrario, otros estudios con los registros de temperatura de estaciones meteorológicas y aquellos reconstruidos dendrocronológicamente para el extremo austral de Sudamérica (Tierra del Fuego), muestran un sostenido incremento en las temperaturas durante las últimas décadas (Jones *et al.*, 1996; Rosenblüth *et al.*, 1997; Boninsegna *et al.*, 1990; Cook *et al.*, 1992; Aravena *et al.*, 2002). Estas tendencias en la variación temporal de la temperatura plantean la necesidad de realizar nuevos estudios y de contar con más registros que permitan explicar los mecanismos responsables de la variación espacial de las fluctuaciones de la temperatura en la parte Sur de Sudamérica durante las últimas décadas (Wolodarsky-Franke, 2002).

Pittock (1980) estudió los patrones de la variación climática de la precipitación de Argentina y Chile para el período 1930-1960 donde obtuvo varianzas explicadas por su conjunto de datos que se aproximan a una forma lineal. Las varianzas explicadas fueron muy altas con un máximo de 87,7% para Las Delicias (Entre Ríos, Argentina), cuya distancia promedio entre la estación de interpolación y la estación índice era cercana a 47,5 Km y 42,5% para el Puerto de Santa Cruz (distancia promedio de 325 Km.), exceptuando unas pocas estaciones costeras que tuvieron un desempeño más pobre. La peor fue Ushuaia con 24,5% de la varianza explicada.

Pittock (1980) encontró distribuciones normales de la precipitación en las estaciones del sur de Chile y utilizó el Análisis de Componentes Principales el cual ha sido aplicado en muchos trabajos donde se analizan los datos climatológicos (Kutzbach, 1967; Kidson, 1975, citados por Pittock, 1980). El autor concentra su discusión a los

primeros tres componentes principales los cuales son claramente significativos para cualquiera de los criterios comunes.

Villalba *et al.* (en prensa) para el período 1930-1990, identificó tres patrones en las tendencias de las temperaturas de la porción Sur de Sud América. Las estaciones ubicadas en la costa del Pacífico entre los 37° y 43° S, están caracterizadas por tendencias negativas en la temperatura media anual con un marcado enfriamiento en el período comprendido entre 1950-1976. Por el contrario, al sur de los 46° se observa una tendencia al calentamiento la que se intensifica en latitudes más altas. Estas tendencias, positivas y negativas, son debidas a cambios principalmente ocurridos en el verano (diciembre a febrero).

### **3 MATERIAL Y MÉTODO**

#### **3.1 Material**

El trabajo se realizó con los datos mensuales de precipitación de 57 estaciones meteorológicas y promedios mensuales 18 estaciones de temperatura, ubicadas entre los 33° 01' y los 53° 00' S para los últimos 40 años (período 1962-2001).

La recopilación de los datos se realizó en la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), Dirección General de Aguas (DGA), Armada de Chile, Instituto de Geofísica de la Universidad de Chile y Laboratorio de Dendrocronología e Instituto de Geociencias de la Universidad Austral de Chile.

Para el procesamiento de la información se trabajó con planillas Excel. Los datos fueron analizados en los programas estadísticos STATISTICA y SYSTAT 10. Para las representaciones gráficas se utilizó SURFER y SIGMA PLOT 8.0. Los mapas de ubicación de las estaciones meteorológicas fueron generados en el software ArcView.

#### **3.2 Método**

##### *3.2.1 Recopilación, actualización y procesamiento de los datos de estaciones meteorológicas*

Se obtuvo datos de muchas estaciones meteorológicas, digitales y en papel; se homogenizó el formato y se digitaron cuando estaban en papel. En esta primera etapa, los datos fueron trabajados en milímetros (mm) en el caso de la precipitación y grados Celsius ( °C) para la temperatura.

### 3.2.2 Creación de la base de datos

Se creó, para cada estación meteorológica recopilada, un archivo en planilla Excel el que se renombró con la latitud seguida de su nombre (ejemplo: "33°01' Rungue.xls"), de esta forma se pudo trabajar mejor con los archivos facilitando su ubicación respecto a las otras series.

Los requisitos para seleccionar los registros de una estación meteorológica fueron:

- Estar vigentes a 2001.
- Tener registros mínimos de 37 años en temperatura o 40 años en precipitación.
- Ser continuas en el tiempo y lo más completas posible, con un máximo de 6 meses de datos ausentes por año.

Sin embargo, las que se descartaron por no cumplir uno o más de los requisitos, se agruparon en otra clasificación ya que los períodos completos con registros pueden servir para el relleno de algunas series.

La siguiente etapa fue la creación de una planilla Excel, para precipitación y temperatura, donde se copiaron las bases de las estaciones ubicadas de norte a sur. En el caso de la temperatura, cada estación meteorológica fue una hoja de cálculo de la planilla. Para la precipitación se ordenó las estaciones una al lado de la otra dejando aproximadamente 10 estaciones por hoja de cálculo. Las celdas en que faltaban registros mensuales y que fueron rellenas estadísticamente se destacaron en color amarillo.

### *3.2.3 Validación e identificación de datos anómalos de temperatura y precipitación*

El primer paso en la validación de las series fue la identificación de datos anómalos los que fueron revisados y corregidos o confirmados según fuera el caso. Para cada estación se construyó: gráficos con una banda de aceptación dada por la desviación estándar de los datos mensuales, gráficos con los promedios de los períodos analizados de la precipitación mensual y temperatura media mensual y gráficos anuales de precipitación y temperatura media comparados entre estaciones vecinas. Los resultados, en general, arrojaron para la temperatura media anual curvas con los máximos en verano (enero-febrero-diciembre) y mínimos en invierno (junio-julio-agosto) y para las precipitaciones curvas con un mínimo estival (enero-febrero-diciembre) y un máximo invernal (junio-julio). Además, utilizando estos gráficos y las correlaciones entre las estaciones vecinas se determinó las estaciones que servirían como base para el relleno de datos faltantes en otras series.

### *3.2.4 Relleno de los datos de temperatura y precipitación*

El relleno de los datos de temperatura y precipitación se realizó mediante relleno estadístico. Para ello, la estación vecina con la que se rellenó los datos faltantes debería cumplir con representar gráficamente la misma tendencia de distribución anual y media anual de precipitación o temperatura según fuera el caso, y tener una correlación  $r$  igual o superior a 0,9 para un período de tiempo común.

Esta metodología se utilizó para rellenar datos en que en un año no se tuviera registros de menos de 6 meses. Las estaciones con datos faltantes de más de 7 meses en forma continua, que se ubicaban en áreas geográficamente representadas por otras estaciones y que tenían bajas correlaciones con estaciones vecinas, se desecharon. En general, para el relleno de las series, los datos se analizaron y compararon con los de estaciones vecinas y se rellenó principalmente de acuerdo a cada situación:

A) Se estableció rectas de regresión:

$$X_t = a_i + b_i y_i$$

Donde:

$X_t$  = variable de la cual no se tiene información en el tiempo  $t$

$Y_i$  = series de estaciones vecinas

Las rectas de regresión se establecieron con  $n$  series " $y_i$ " de estaciones vecinas en las cuales existe una correlación alta y usando el período de tiempo en el cual existe información (Aceituno, 1976). Cada valor de " $X$ " en el período " $t$ " se estima usando las " $n$ " rectas de regresión y tomando luego un promedio ponderado de los valores interpolados del modelo regresivo. La ponderación puede elegirse de acuerdo a la distancia a las estaciones vecinas, al índice de correlación en las series correspondientes u otro criterio. En esta tesis se utilizó la ponderación de acuerdo a la correlación.

B) Tendencias:

Para las estaciones del norte del área de estudio, que se encontraban geográficamente muy cercanas y que tenían una alta correlación entre si ( $r \geq 0,85$ ) se utilizó la tendencia para el relleno según el siguiente procedimiento:

- 1) Se graficó la distribución mensual promedio de " $t$ " años de estaciones vecinas altamente correlacionadas (Estaciones control) para ver si tenían tendencias similares.
- 2) Se graficó la distribución mensual del año con ausencia de datos de varias estaciones vecinas y de las estación con falta de datos (los meses que tenían información).
- 3) Cuando una Estación Control tenía curvas iguales o similares con las tendencias mensuales de la estación con ausencia de datos, se utilizó el valor  $z$  mensual (ver 3.2.5) de la Estación Control para rellenar el valor faltante.

Para el análisis de la temperatura, debido a la poca cantidad de estaciones ubicadas en el Sur del área de estudio, se rellenó con extrapolación de datos de estaciones vecinas cuando cumplían los requisitos o se consideró la media mensual de la estación para rellenar el dato, o una mezcla de los dos métodos.

El relleno de precipitación y temperatura no hizo distinción entre años El NIÑO, ya que los valores, según Fuenzalida (2002) (comunicación personal) no expresaban claramente el inicio y término de un evento El NIÑO.

Las estaciones del extremo Sur, que se encontraban geográficamente distantes, se rellenaron en algunos casos con datos de estaciones que no se incluyen en el análisis de este estudio, por estar descontinuadas, incompletas o con períodos largos sin registros.

En el caso de la estación Punta Arenas (PARE), que es una estación importante para cubrir la zona sur y que no tenía estaciones cercanas en Chile para rellenar los datos, se utilizó el promedio mensual de 40 años del mes en que le faltaba el registro.

El detalle de los datos faltantes por estación meteorológica y la estación utilizada para el relleno de los datos se encuentra en el Anexo 1.

### *3.2.5 Estandarización de los datos*

Para poder comparar las temperaturas y las precipitaciones de estaciones con montos muy distintos, se estandarizó los datos con la desviación respecto de la media normalizada por la desviación estándar, relación llamada “valor z”, ya que el objetivo es ver las variaciones o desvíos y no los montos brutos.

Se creó una nueva matriz a partir de la original. El “valor z” resulta de la resta del valor original menos la media dividido por la desviación estándar.

$$Z_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$$

Donde:

$\bar{X}$  = promedio

S = desviación standard.

Se obtuvo una matriz con valores adimensionales, de modo que la comparación de registros de montos muy distintos para un mes o año específico puede hacerse sin estar influenciado por las grandes diferencias en los montos totales (ejemplo Santiago-Valdivia-Punta Arenas).

### 3.2.6 Análisis de los datos

#### **Determinación de tendencias y patrones espaciales y temporales.**

A cada estación se le asignó un código de cuatro letras resumiendo el nombre y para facilitar el análisis por períodos de tiempo se crearon seis matrices (Cuadro 1) .

Cuadro 1. Matrices para el análisis espacial y temporal.

Matriz	Periodo que involucra <sup>(1)</sup>
Anual	enero a diciembre
Primavera	septiembre – octubre – noviembre
Verano	diciembre año n” – enero y febrero “año n+1” <sup>(2)</sup>
Otoño	Marzo – abril – mayo
Invierno	junio – julio – agosto
Periodo de crecimiento	septiembre “año n” a marzo “año n+1” <sup>(2)</sup>

(1) En el caso de la precipitación corresponde a la sumatoria de los valores mensuales y en el caso de la temperatura es el promedio de los valores mensuales.

(2) Se asigna el año de inicio (ejemplo: Precipitación de Verano 2000 = pp diciembre 2000+pp enero 2001+pp febrero 2001), por lo tanto, todos los análisis para estas estaciones se acortan en un año.

Las matrices fueron ordenadas en filas (años) y columnas (estaciones meteorológicas) e ingresadas al paquete estadístico STATISTICA para realizar el Análisis de Componentes Principales (ACP). A modo de comparación se repitieron

algunos de los análisis en el paquete estadístico SYSTAT v 10 obteniendo los mismos resultados.

El ACP permitirá la estructuración del conjunto de datos de la zona de estudio, cuya distribución de probabilidades no necesita ser conocida. En este análisis cada estación contribuye con un peso dado (autovalor) en cada uno de los patrones geográficos dominantes. De esta forma puede establecerse la contribución de cada registro individual en el patrón correspondiente (Villalba 2002, comunicación personal).

Para cada estación meteorológica se obtuvo los Componentes Principales (PC) y el porcentaje de explicación de la varianza. El análisis se concentró en los primeros tres componentes principales los cuales fueron claramente significativos y con autovalores mayores a 1.

Para determinar la distribución espacial de los componentes principales, se graficaron los PC sobre la red del área de estudio con el programa SURFER creando así mapas de isovalores, los que se analizaron para determinar los patrones espaciales de la precipitación y temperatura. Los Patrones temporales se determinaron con los pesos relativos (*factor scores*) realizados con el programa STATISTICA. Los gráficos comparables se realizaron en el programa SIGMA PLOT.

Dado que la estructura espacial y temporal de un componente principal depende de como estén ordenados los datos en el espacio, independiente de la importancia de las series, el grupo más numeroso de estaciones tendrán un mayor peso relativo en el primer componente (Villalba 2002, comunicación personal). Entonces, lo ideal es tener una distribución uniforme de estaciones meteorológicas a lo largo del área de estudio. Considerando lo anterior, y que existe una mayor densidad de estaciones meteorológicas en la porción Norte del área de estudio comparada con la porción Sur, es que se promediaron los valores de temperatura o de precipitación, de las estaciones ubicadas en un mismo grado de latitud para así obtener una distribución

lo más uniforme posible. Estos nuevos valores, denominados promedios regionales fueron ubicados geográficamente de acuerdo al promedio de los grados de latitud y longitud de las estaciones agrupadas.

Por último, en forma complementaria se analizó las precipitaciones mensuales de 14 estaciones meteorológicas de 71 años de registros del período comprendido entre 1931-2001 a fin de comparara las diferencias con el análisis del período 1962-2001.

### 3.2.7 Filtro exponencial

Para una mayor comprensión de las tendencias, se utilizó el filtro exponencial de Essenwanger (1986). La forma de aplicar este filtro se explica a continuación:

Se aplica dos veces, una vez hacia delante y la otra hacia atrás en el tiempo. Por lo tanto, el proceso para un input de  $x_1$  se describe por la siguiente secuencia:

$$y_t = cx_t + (1-c)y_{t-1} \quad t = 2, 3, \dots, N$$
$$z_t = cy_t + (1-c)z_{t+1} \quad t = (N-1), (N-2), \dots, 2, 1,$$

donde:

$y_t$  es una serie intermedia

$z_t$  es el resultado final del proceso

$c$  es el grado de flexibilidad de la curva. En esta tesis se utilizó un valor de  $c = 0,11$

Este proceso de filtración requiere una inicialización en ambos casos. En la etapa hacia delante, el valor inicial de  $y_t$  es el promedio de los primeros cinco valores. En la etapa hacia atrás,  $z_N$  es el último valor de la serie  $y$ . Por lo tanto, el valor final en la columna resultante hereda el comportamiento previo en la variable intermedia.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Unidades de muestreo

Del total de registros colectadas, solo se trabajó con los datos de temperatura media mensual de 18 series del período 1965-2001, 57 series para el análisis de las precipitaciones mensuales del período 1962-2001 y 14 series para el análisis de las precipitaciones mensuales del período 1931-2001. El criterio de selección fue dejar las series que por lo menos tenían el período de análisis completo o relativamente completas de tal forma que fuera posible rellenar los datos faltantes a partir de las estaciones vecinas.

Los Cuadros 2 y 3 muestran los antecedentes generales de las estaciones meteorológicas seleccionadas, de un total de aproximadamente 35 bases recolectadas para temperatura media mensual y 145 para precipitación mensual.

Cuadro 2. Estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis de la temperatura media mensual, período 1965-2001.

Nº	Nombre	Código	Latitud ( °)	Longitud ( °)	Altitud (m)	Fuente <sup>(1)</sup>
1	Rungue	RUNG	33°01'	70°54'	750	DGA
2	Valparaíso	VALP	33°01'	71°38'	41	DMC
3	Santiago-Quinta Normal	STGQ	33°26'	70°41'	520	DMC
4	Santiago-Los Cerrillos	STGC	33°29'	70°41'	519	DMC
5	Curicó-General Freire	CURI	34°58'	71°14'	228	DMC
6	Ancoa Embalse	ANCO	35°53'	71°19'	410	DGA
7	Chillán-Gral. B. O'Higgins	CHIL	36°34'	72°02'	124	DMC
8	Concepción-Cariel Sur	CONC	36°46'	73°03'	12	DMC
9	Diguillín	DIGI	36°52'	71°38'	710	DGA
10	Quilaco	QUIL	37°41'	72°00'	225	DGA
11	Temuco	TEMU	38°45'	72°35'	114	DMC
12	Pichoy	PICH	39°38'	73°05'	19	DMC
13	Valdivia-Isla Teja	TEJA	39°48'	73°14'	9	UACH
14	Osorno Cañal Bajo	OSOR	40°36'	73°04'	65	DMC
15	Puerto Montt-El Tepual	MONT	41°26'	73°07'	90	DMC
16	Coyhaique Tte. Vidal	COYH	45°35'	72°07'	310	DMC
17	Balmaceda	BALM	45°55'	70°49'	520	DMC
18	Punta Arenas	PARE	53°00'	70°51'	37	DMC

(1) DGA: Dirección General de Aguas; DMC: Dirección Meteorológica de Chile; UACH: Universidad Austral de Chile.

Cuadro 3. Estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis de la precipitación mensual, período 1962-2001.

Nº	Nombre	Código	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (m)	Fuente <sup>(1)</sup>
1	Rungue	RUNG	33°01'	70°54'	750	DGA
2	Valparaíso	VALP	33°03'	71°07'	194	DMC
3	Colliguay	COLL	33°10'	71°09'	490	DGA
4	Terraza oficinas DGA	ODGA	33°26'	70°39'	560	DGA
5	Santiago-Quinta Normal	STGQ	33°26'	70°41'	520	DMC
6	Santiago-Los Cerrillos	STGC	33°29'	70°41'	519	DMC
7	Carmen de Las Rosas	ROSA	33°45'	71°09'	165	DGA
8	Rapel	RAPE	33°57'	71°44'	50	DMC
9	La Rufina	RUFI	34°44'	70°46'	735	DGA
10	Curicó-General Freire	CURI	34°38'	71°14'	228	DMC
11	Los Queñes	QUEN	35°00'	70°49'	809	DGA
12	Gualleco	GUAL	35°14'	71°59'	80	DGA
13	San Javier	SJAV	35°36'	71°44'	110	DMC
14	Colbún	CBUN	35°41'	71°25'	280	DGA
15	Melozal	MELO	35°44'	71°48'	90	DGA
16	Nirivilo	NIVI	35°52'	72°05'	215	DGA
17	Embalse Ancoa	ANCO	35°53'	71°19'	410	DGA
18	Quella	ELLA	36°06'	72°05'	135	DGA
19	Digua	DIGU	36°15'	71°32'	380	DGA
20	San Manuel en Perquilauquen	PERQ	36°15'	71°50'	175	DGA
21	Bullileo	BULL	36°17'	71°25'	600	DGA
22	San Fabian	SFAB	36°33'	71°33'	500	DGA
23	Chillán-General Bernardo O'Higgins	CHIL	36°34'	72°02'	124	DMC
24	San Ignacio de Palomares	IGNA	36°38'	72°23'	15	DMC
25	Nueva Aldea	NUEV	36°39'	72°28'	60	DGA
26	Chillancito	CITO	36°46'	72°27'	70	DGA
27	Concepción	CONC	36°46'	73°03'	10	DMC
28	Diguillín	DIGI	36°52'	71°38'	710	DGA
29	Atacalco	ATAC	36°55'	71°34'	730	DGA
30	San Lorenzo	LORE	36°58'	71°31'	740	DGA
31	San Cristobal	CRIS	37°10'	72°35'	110	DMC
32	El Tambillo	TAMB	37°33'	72°40'	125	DMC
33	Santa Barbara	SBAR	37°40'	72°02'	225	DMC
34	Quilaco	QUIL	37°41'	72°00'	225	DGA
35	Cerro el Padre	CPAD	37°47'	71°52'	400	DGA
36	Lumaco	LUMA	38°09'	72°54'	60	DGA
37	Quillén	QLLE	38°28'	72°25'	250	DGA
38	Pueblo Nuevo (Temuco)	PNUE	38°44'	72°34'	115	DGA
39	Temuco	TEMU	38°45'	72°35'	114	DMC
40	Flor del Lago	FLOR	39°09'	72°07'	300	DMC
41	Villarrica	VILL	39°17'	72°14'	220	DGA
42	Purulón	PURU	39°28'	72°36'	95	DMC

Cuadro 3. Continuación

Nº	Nombre	Código	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (m)	Fuente <sup>(1)</sup>
43	Pichoy	PICH	39°38'	73°05'	19	DMC
44	Valdivia -Isla Teja	TEJA	39°48'	73°14'	9	UACH
45	Río Bueno	RBUE	40°18'	72°56'	70	DMC
46	San Pablo	SPAB	40°25'	73°00'	60	DMC
47	Osorno Cañal bajo	OSOR	40°36'	73°04'	65	DMC
48	Punta Huano	PHUA	41°08'	72°17'	200	DMC
49	La Ensenada	ENSE	41°12'	72°32'	52	DMC
50	Puerto Montt	MONT	41°25'	73°05'	13	DMC
51	Quellón-Aeródromo	QLLO	43°10'	73°43'	12	DMC
52	Futaleufú	FUT	43°12'	71°49'	317	DMC
53	Puerto Aysén	PAYS	45°24'	72°42'	10	DMC
54	Coyhaique Tte. Vidal	COYH	45°35'	72°07'	310	DMC
55	Balmaceda	BALM	45°54'	71°43'	520	DMC
56	Chile Chico	CHIC	46°32'	71°41'	327	DMC
57	Punta Arenas	PARE	53°00'	70°51'	20	DMC

(1) DGA: Dirección General de Aguas; DMC: Dirección Meteorológica de Chile; UACH: Universidad Austral de Chile.

Las figuras 1 y 2 muestran los mapas con los puntos de distribución de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis de la temperatura media mensual y precipitación mensual respectivamente. La baja densidad de estaciones meteorológicas ubicadas en la zona Sur se debe a la falta de estaciones con registros largos, continuos y vigentes al 2001 en esta área.

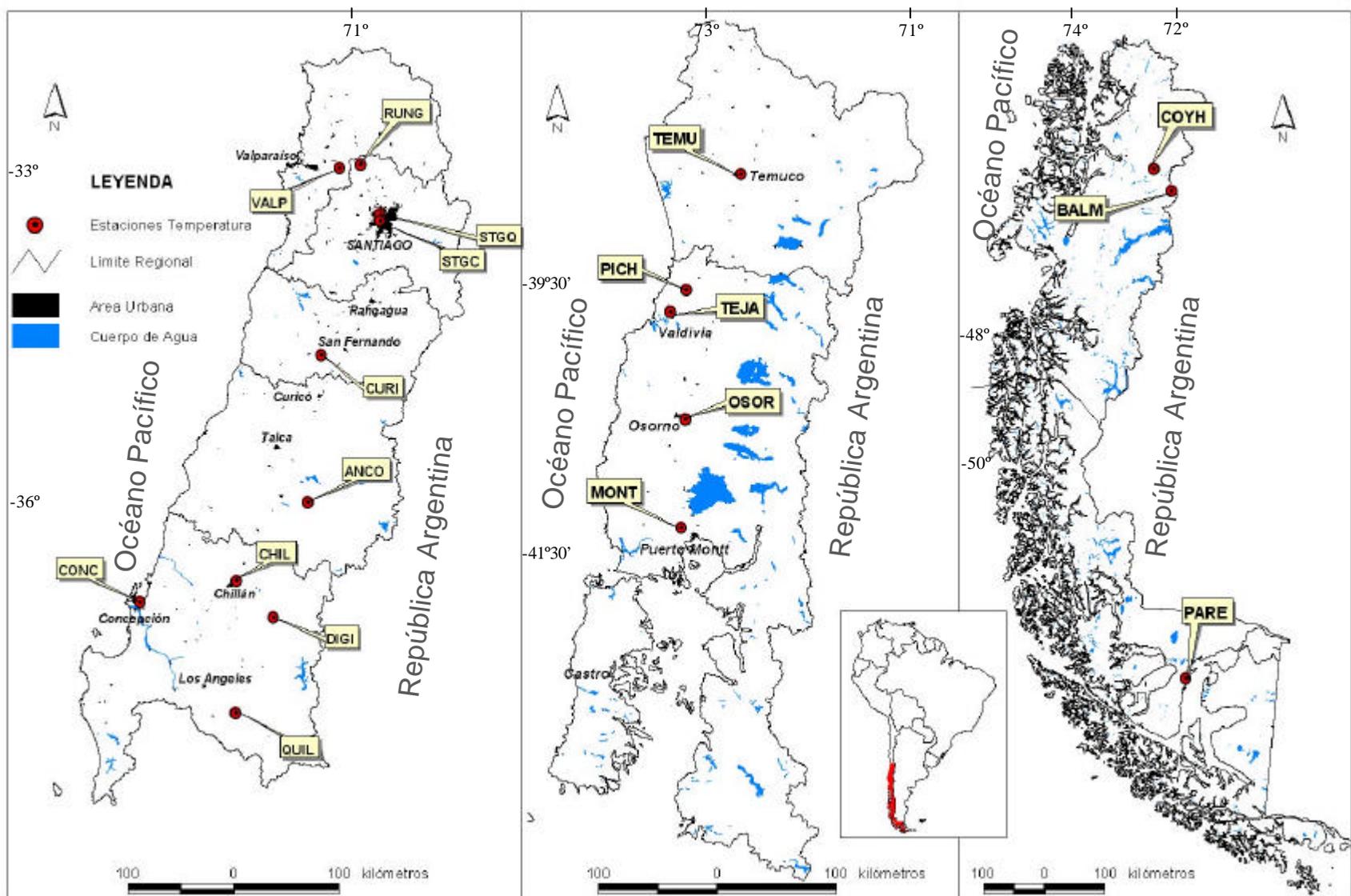


Figura 1. Distribución de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis de la temperatura media mensual, período 1965-2001.

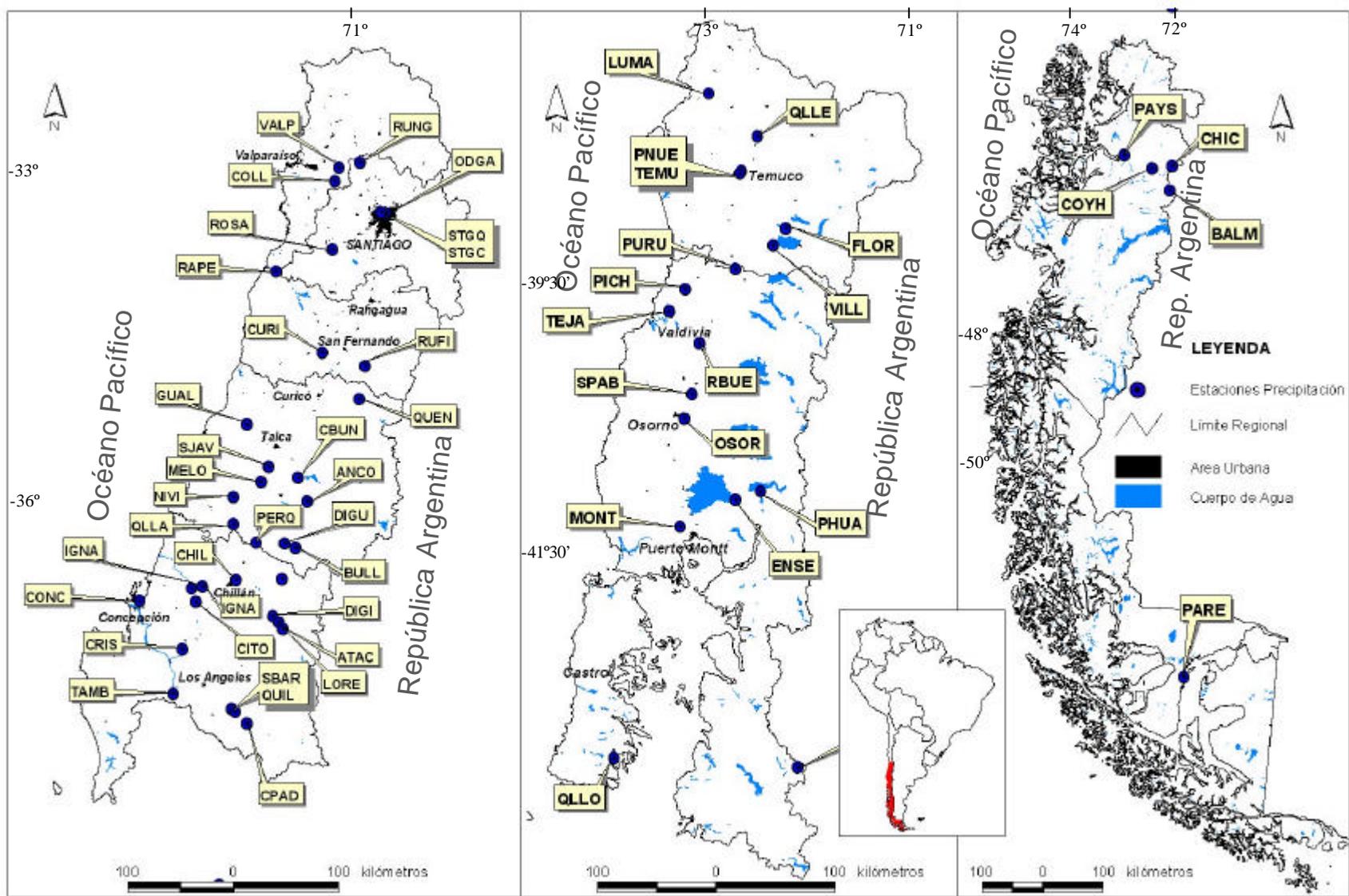


Figura 2. Distribución de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis de la precipitación mensual, período 1962-2001

Las estaciones meteorológicas utilizadas se distribuyen latitudinalmente desde Rungue (RUNG) a los 33° 01' hasta Punta Arenas (PARE) a los 53° 00' Sur. Longitudinalmente se ubican desde los 70° 41' a 73° 14' W para el análisis de la temperatura media mensual y desde los 70° 39' a los 73° 43' de longitud W para el análisis de precipitación mensual. La estación ubicada a mayor altitud es Rungue (RUNG) con 750 msnm y la más baja es Valdivia-Isla Teja (TEJA) con 9 msnm.

## 4.2 Análisis de la Temperatura media

### 4.2.1 Distribución geográfica y tendencias

El cuadro 4 muestra la temperatura media anual, la desviación estándar y el coeficiente de variación del período 1965-2001 para las 18 series seleccionadas para este análisis.

Cuadro 4. Temperatura media anual ( °), desviación estándar ( °) y coeficiente de variación (%) de la temperatura media mensual, período 1965-2001.

Código	Temperatura Promedio Anual de 37 años ( °C)	Desviación Estándar ( °C)	CV (%)
RUNG	14,5	1,0	6,9
VALP	14,0	0,4	2,9
STGQ	14,5	0,4	2,8
STGC	14,3	0,4	2,8
CURI	13,2	0,5	3,8
ANCO	13,0	0,9	6,9
CHIL	12,7	0,4	3,1
CONC	12,2	0,4	3,3
DIGI	11,8	0,6	5,1
QUIL	12,5	0,9	7,2
TEMU	11,2	0,3	2,7
PICH	11,0	0,5	4,5
TEJA	12,1	0,4	3,3
OSOR	10,5	0,3	2,9
MONT	9,9	0,3	3,0
COYH	8,1	0,4	4,9
BALM	6,3	0,5	7,9
PARE	5,9	0,4	6,8

El Coeficiente de Variación no muestra una tendencia clara, mostrando una leve tendencia a presentar los porcentajes más altos en estaciones a mayor altitud.

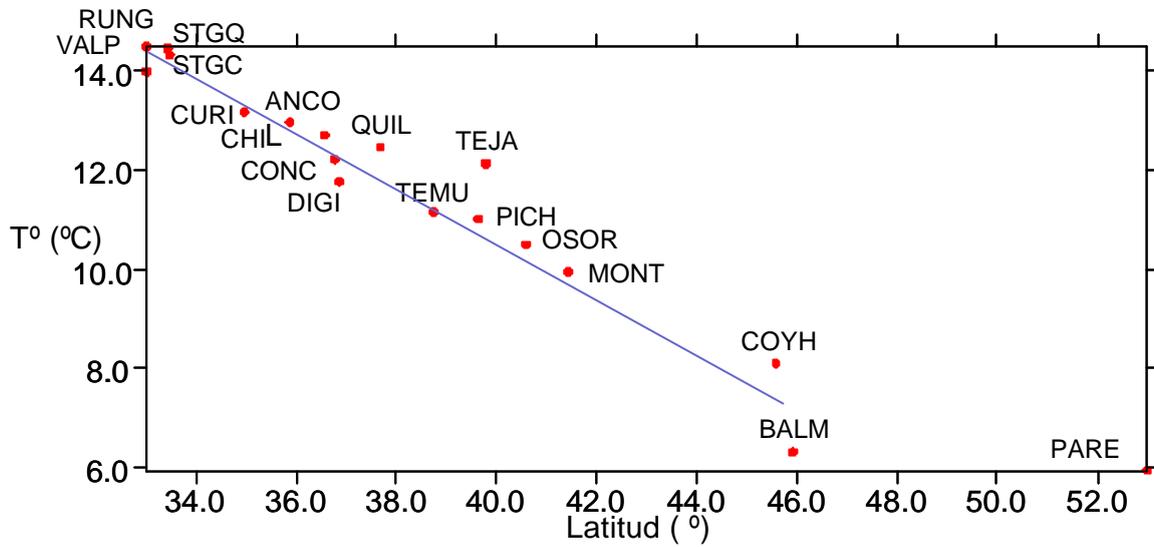


Figura 3. Temperatura promedio anual (mm) según latitud (Línea de tendencia en color azul)

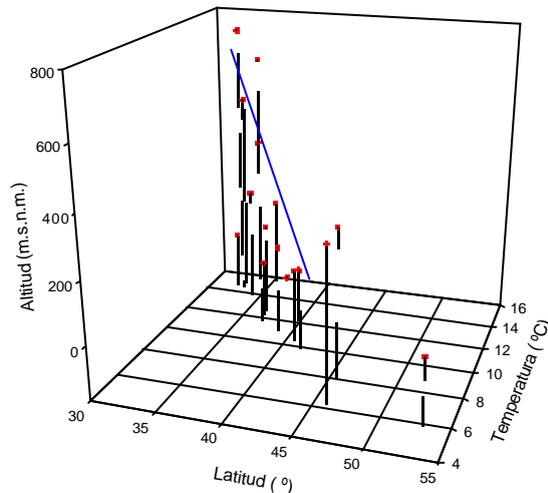


Figura 4. Relación de la temperatura promedio (°C) de 37 años (período 1965-2001) con la latitud (°) y altitud (msnm) de cada estación meteorológica. (Línea de tendencia en color azul).

Los rangos de temperatura promedio de 37 años van desde los 14,5° C en Rungue (RUNG) a los 33° S hasta los 5,9° C en Punta Arenas a los 53° S, esta distribución de la temperatura muestra una relación inversa con la latitud (hasta Coyhaique y

Balmaceda) y la altitud (hasta Puerto Montt), siendo Punta Arenas (PARE) un valor fuera de rango (*outlier*) (Figuras 3 y 4).

En relación a las variaciones de la temperatura media en el tiempo para cada estación meteorológica, estas se indican en la figura 5.

Las estaciones ubicadas al Norte de Osorno (OSOR) a los 40°36'S presentan una tendencia al aumento de las temperaturas mientras que al sur de Coyhaique (COYH), a los 45°35'S, se observa una oscilación de las temperaturas en torno a la media.

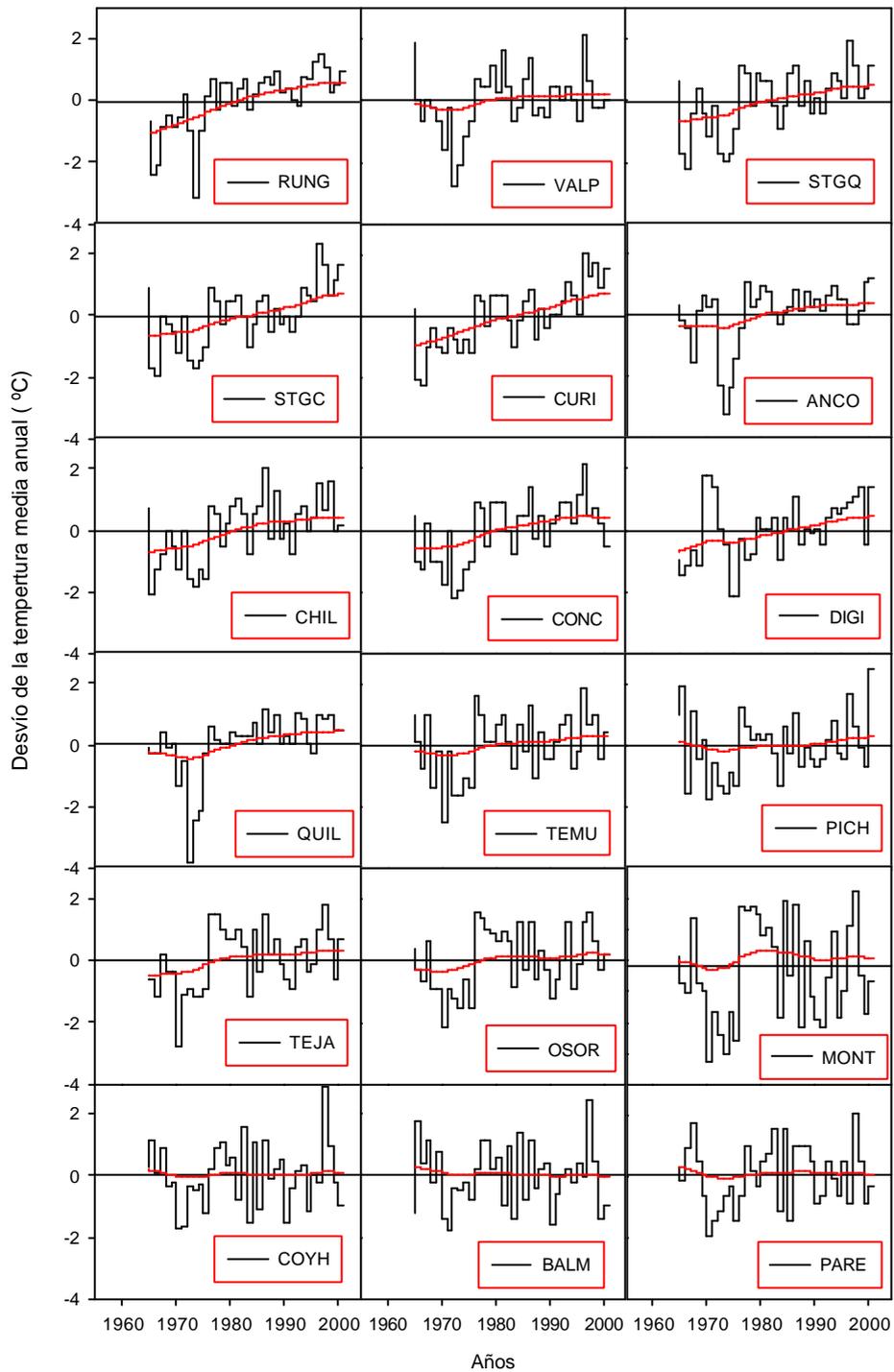


Figura 5. Variaciones de la temperatura media anual, período 1965-2001, para cada estación meteorológica. (La línea de tendencia corresponde a un filtro exponencial de Essenwanger (1986))

#### *4.2.2 Determinación de patrones espaciales y temporales de la temperatura media del período 1965-2001*

Como se indica en la figura 3, las temperaturas medias mensuales varían considerablemente a lo largo de su distribución latitudinal, por lo tanto, para hacer comparables los datos entre las distintas estaciones meteorológicas, se generó una nueva matriz con los valores z de la temperatura media mensual, con la cual se realizó los análisis espaciales y temporales.

Siguiendo la metodología indicada en el punto 3.2.6.1, se generó la matriz de correlaciones de la temperatura media mensual del período 1965-2001. Esto se realizó tanto a nivel anual, para el período de crecimiento y estacionalmente. El Cuadro 5 muestra la matriz de correlación de la temperatura media anual de las 18 estaciones meteorológicas seleccionadas.

Para determinar los patrones geográficos se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP). En este análisis cada estación contribuye con un peso dado (autovalor) en cada uno de los componentes principales. De esta forma puede establecerse la contribución de cada registro individual en el patrón correspondiente.

El ACP fue aplicado sobre el valor z de la temperatura media de 18 series en 37 años y analizado para seis períodos (anual, primavera, verano, otoño, invierno y período de crecimiento). En el Cuadro 6 se indican los PC por estación.

Cuadro 5. Matriz de correlación de la temperatura media anual, período 1965-2001

	RUNG	VALP	STGQ	STGC	CURI	ANCO	CHIL	CONC	DIGI	QUIL	TEMU	PICH	TEJA	OSOR	MONT	COYH	BALM	PARE
VALP	<b>0,52</b>	1																
STGQ	<b>0,79</b>	<b>0,77</b>	1															
STGC	<b>0,77</b>	<b>0,71</b>	<b>0,94</b>	1														
CURI	<b>0,74</b>	<b>0,60</b>	<b>0,88</b>	<b>0,92</b>	1													
ANCO	<b>0,57</b>	<b>0,54</b>	<b>0,64</b>	<b>0,55</b>	<b>0,49</b>	1												
CHIL	<b>0,72</b>	<b>0,70</b>	<b>0,87</b>	<b>0,82</b>	<b>0,84</b>	<b>0,61</b>	1											
CONC	<b>0,68</b>	<b>0,81</b>	<b>0,83</b>	<b>0,80</b>	<b>0,76</b>	<b>0,56</b>	<b>0,85</b>	1										
DIGI	<b>0,43</b>	<b>0,11</b>	<b>0,42</b>	<b>0,47</b>	<b>0,49</b>	<b>0,43</b>	<b>0,48</b>	0,31	1									
QUIL	<b>0,59</b>	<b>0,72</b>	<b>0,70</b>	<b>0,64</b>	<b>0,54</b>	<b>0,71</b>	<b>0,70</b>	<b>0,75</b>	0,25	1								
TEMU	<b>0,43</b>	<b>0,78</b>	<b>0,70</b>	<b>0,70</b>	<b>0,65</b>	<b>0,41</b>	<b>0,73</b>	<b>0,83</b>	0,23	<b>0,70</b>	1							
PICH	0,31	<b>0,66</b>	<b>0,63</b>	<b>0,63</b>	<b>0,52</b>	<b>0,38</b>	<b>0,48</b>	<b>0,56</b>	0,22	<b>0,54</b>	<b>0,81</b>	1						
TEJA	<b>0,55</b>	<b>0,60</b>	<b>0,72</b>	<b>0,67</b>	<b>0,66</b>	<b>0,37</b>	<b>0,72</b>	<b>0,70</b>	0,22	<b>0,63</b>	<b>0,81</b>	<b>0,69</b>	1					
OSOR	<b>0,47</b>	<b>0,69</b>	<b>0,67</b>	<b>0,66</b>	<b>0,62</b>	<b>0,35</b>	<b>0,69</b>	<b>0,74</b>	0,16	<b>0,60</b>	<b>0,89</b>	<b>0,72</b>	<b>0,91</b>	1				
MONT	<b>0,39</b>	<b>0,69</b>	<b>0,63</b>	<b>0,58</b>	<b>0,49</b>	<b>0,33</b>	<b>0,64</b>	<b>0,65</b>	0,11	<b>0,58</b>	<b>0,83</b>	<b>0,71</b>	<b>0,87</b>	<b>0,95</b>	1			
COYH	0,06	0,28	0,19	0,21	0,19	0,04	0,28	0,29	0,00	0,32	<b>0,52</b>	<b>0,43</b>	<b>0,65</b>	<b>0,71</b>	<b>0,71</b>	1		
BALM	-0,02	0,15	0,08	0,06	0,02	-0,01	0,14	0,19	0,03	0,26	<b>0,42</b>	<b>0,42</b>	<b>0,60</b>	<b>0,59</b>	<b>0,64</b>	<b>0,89</b>	1	
PARE	0,09	0,27	0,19	0,18	0,12	0,14	<b>0,36</b>	0,32	-0,03	<b>0,42</b>	<b>0,46</b>	<b>0,33</b>	<b>0,62</b>	<b>0,61</b>	<b>0,63</b>	<b>0,80</b>	<b>0,71</b>	1

En rojo: Coeficiente de correlación ( $r$ ) significativo ( $p < 0,05$ ).

Cuadro 6. Matriz de Componentes Principales (PC) de la Temperatura media, período 1965-2001.

Est.	Anual			Primavera <sup>(1)</sup>			Verano <sup>(2)</sup>			Otoño <sup>(3)</sup>			Invierno <sup>(4)</sup>			Período de crecimiento <sup>(5)</sup>		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
RUNG	0,69	-0,46	-0,18	<b>0,75</b>	-0,39	-0,30	<b>0,71</b>	-0,56	0,05	0,49	-0,50	-0,10	0,68	-0,28	-0,52	<b>0,75</b>	-0,50	-0,03
VALP	<b>0,82</b>	-0,11	0,43	0,62	-0,34	0,56	0,43	0,08	<b>0,76</b>	<b>0,80</b>	-0,23	-0,11	0,68	-0,36	0,00	0,66	0,07	0,59
STGQ	<b>0,89</b>	-0,36	0,02	<b>0,80</b>	-0,37	-0,27	<b>0,74</b>	-0,56	0,11	<b>0,79</b>	-0,49	0,08	<b>0,89</b>	-0,30	-0,09	<b>0,83</b>	-0,48	0,02
STGC	<b>0,87</b>	-0,36	-0,02	<b>0,79</b>	-0,34	-0,30	0,69	-0,59	0,23	<b>0,81</b>	-0,45	0,00	<b>0,84</b>	-0,28	-0,04	<b>0,78</b>	-0,54	0,06
CURI	<b>0,81</b>	-0,39	-0,11	<b>0,81</b>	-0,26	-0,28	<b>0,80</b>	-0,36	-0,13	<b>0,76</b>	-0,49	0,22	<b>0,87</b>	-0,38	0,08	<b>0,78</b>	-0,40	-0,17
ANCO	0,61	-0,39	-0,10	0,62	-0,17	-0,27	<b>0,70</b>	-0,22	-0,20	0,51	-0,46	-0,54	0,62	-0,45	-0,17	<b>0,70</b>	-0,26	-0,03
CHIL	<b>0,88</b>	-0,26	-0,12	<b>0,85</b>	-0,05	-0,08	<b>0,89</b>	-0,21	-0,29	<b>0,88</b>	-0,25	0,00	<b>0,94</b>	-0,10	0,07	<b>0,91</b>	-0,19	-0,22
CONC	<b>0,89</b>	-0,19	0,13	<b>0,91</b>	-0,20	0,16	<b>0,84</b>	-0,18	0,30	<b>0,88</b>	-0,10	0,02	<b>0,93</b>	-0,16	0,04	<b>0,93</b>	-0,13	0,12
DIGI	0,37	-0,40	<b>-0,70</b>	0,38	0,18	<b>-0,70</b>	0,51	-0,35	-0,53	0,56	-0,23	-0,11	0,60	0,07	-0,53	0,41	-0,35	-0,67
QUIL	<b>0,80</b>	-0,09	0,08	<b>0,72</b>	-0,02	0,23	0,64	-0,09	-0,14	0,69	-0,13	-0,48	0,70	-0,12	-0,30	<b>0,80</b>	-0,01	0,19
TEMU	<b>0,90</b>	0,15	0,21	<b>0,89</b>	0,05	0,30	<b>0,93</b>	0,16	0,07	<b>0,89</b>	0,21	0,24	<b>0,91</b>	-0,02	0,31	<b>0,94</b>	0,21	0,05
PICH	<b>0,75</b>	0,16	0,21	<b>0,73</b>	0,23	0,23	<b>0,86</b>	0,20	0,07	<b>0,81</b>	0,25	0,24	<b>0,81</b>	0,23	0,39	<b>0,84</b>	0,19	0,19
TEJA	<b>0,89</b>	0,28	-0,07	<b>0,87</b>	0,21	0,01	<b>0,93</b>	0,27	-0,06	<b>0,84</b>	0,32	0,19	<b>0,90</b>	0,28	0,23	<b>0,91</b>	0,26	-0,09
OSOR	<b>0,90</b>	0,34	0,07	<b>0,87</b>	0,12	0,25	<b>0,93</b>	0,26	0,01	<b>0,82</b>	0,42	0,26	<b>0,87</b>	0,35	0,24	<b>0,93</b>	0,23	0,01
MONT	<b>0,85</b>	0,41	0,10	<b>0,84</b>	0,12	0,27	<b>0,88</b>	0,27	0,09	<b>0,81</b>	0,45	0,20	<b>0,84</b>	0,45	0,18	<b>0,87</b>	0,25	0,07
COYH	0,52	<b>0,77</b>	-0,22	0,58	<b>0,73</b>	-0,12	0,59	<b>0,70</b>	0,04	0,49	<b>0,76</b>	-0,24	0,27	<b>0,91</b>	-0,18	0,54	<b>0,75</b>	-0,11
BALM	0,41	<b>0,81</b>	-0,27	0,42	<b>0,79</b>	-0,11	0,70	0,63	-0,13	0,54	<b>0,72</b>	-0,23	0,21	<b>0,93</b>	-0,12	0,55	<b>0,71</b>	-0,26
PARE	0,50	0,67	-0,19	0,31	0,68	-0,07	0,43	<b>0,71</b>	-0,16	0,30	0,61	-0,48	0,41	0,68	-0,37	0,36	<b>0,74</b>	-0,17
P.Tot.(%) <sup>(6)</sup>	58	18	6	54	14	9	56	17	7	52	19	7	57	19	7	59	17	6

(1) Promedio (T° de septiembre, T° octubre, T° noviembre); (2) Promedio (T° de diciembre año (n), T° de enero año (n+1), T° de febrero año (n+1)); (3) Promedio (T° de marzo, T° de abril, T° de mayo); (4) Promedio (T° de junio, T° de julio, T° de agosto); (5) Promedio (T° de septiembre del año (n) a T° de marzo del año (n+1)); (6) Porcentaje del total de la varianza explicada

En rojo: Coeficiente de correlación (r) significativo (p< 0,05).

Para el análisis de distribución espacial de las temperaturas se graficaron, sobre el área de estudio, los PC de cada una de las estaciones con autovalores (*eigenvalues*) mayores a 1, generando así los mapas de isovalores mostrados en la Figura 6. En el Anexo 2 se presentan los mapas de isovalores para los períodos de primavera, verano otoño, invierno y período de crecimiento.

El Componente Principal 1 anual (PC1 anual), que explica el 58% de la varianza, con valores positivos en toda el área de estudio, los cuales son significativos para las estaciones ubicadas entre los 33° y 42° S, indica una gran homogeneidad en la variabilidad interanual de las temperaturas medias. El PC2, en cambio, con un 18% de explicación de la varianza, muestra un gradiente norte-sur, empezando con valores negativos en la porción norte para aumentar y tornarse positivos (línea 0 aproximadamente entre los 38° y 39° S) y alcanzar valores significativos en Coyhaique (COYH) y Balmaceda (BALM) (Figura 6b). Finalmente, el PC3, con un 6% de explicación de la varianza, indica una división diagonal Nor-Oeste (influencia oceánica) y Sur-Este (influencia continental), con valores positivos en el sector NW y negativos en el NE y SE. La línea cero se sitúa diagonalmente entre los 34° y 43°S.

Los patrones temporales para el PC1 indican, en general, un incremento a partir del año 1976 dado por un incremento general en la temperatura en dicho período, con excepción de la temperatura de otoño, que muestra temperaturas más homogéneas en torno a la media. Este incremento se explica por las estaciones ubicadas entre los 33° y 42° S que muestran, para el período analizado, un fuerte incremento de las temperaturas. En tanto, el PC2 y PC3 indican una disminución en las temperaturas.

El período más frío se encuentra entre los años 1971-1976 y el más cálido entre 1997-1999.

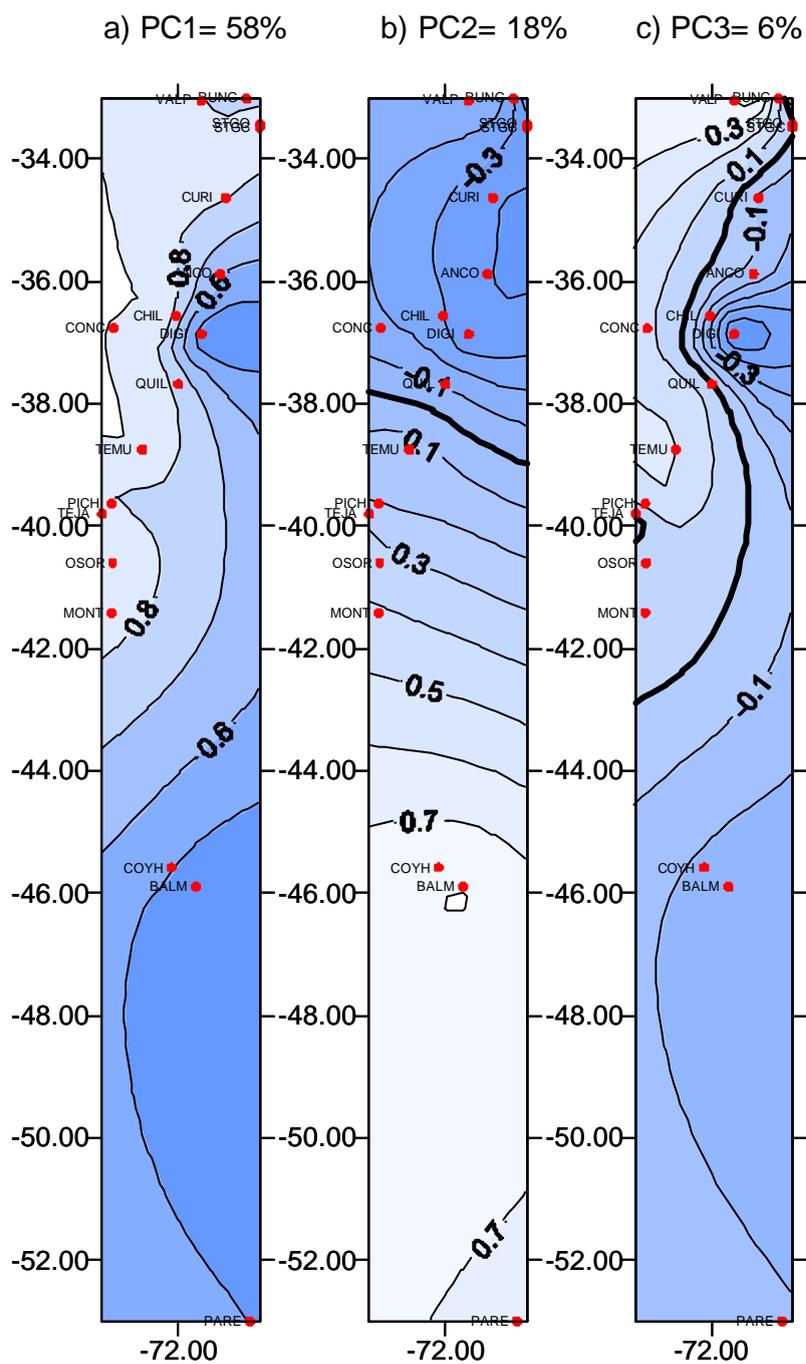


Figura 6. Patrones espaciales de la temperatura media anual, período 1965-2001, de 18 estaciones meteorológicas. (Valor 0 (cero) se destaca con línea gruesa).

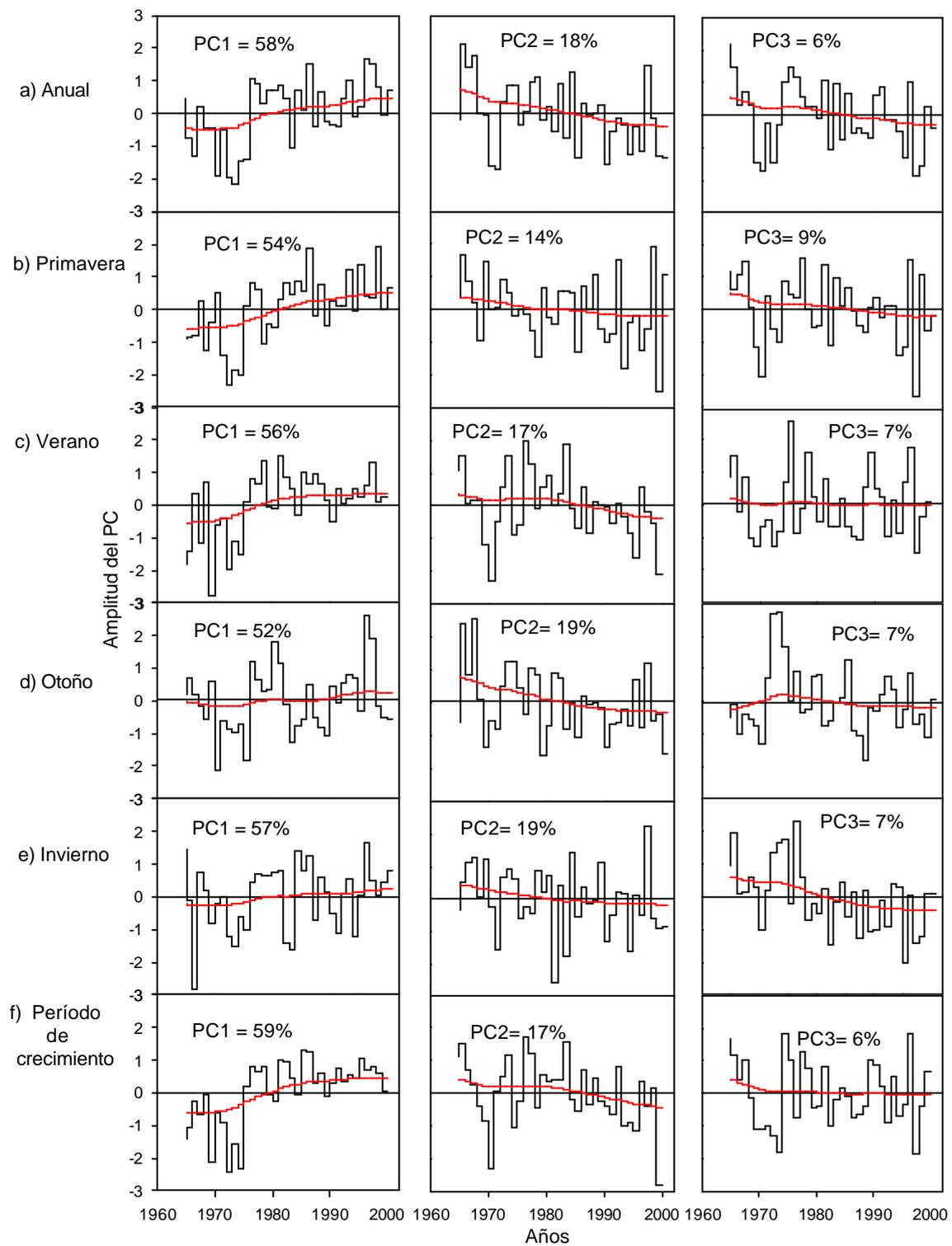


Figura 7. Amplitudes de los PCs resultantes del ACP sobre la temperatura a) anual, b) primavera, c) verano, d) otoño, e) invierno y f) período de crecimiento, del período 1965-2001. (La línea de tendencia corresponde a un filtro exponencial de Essenwanger (1986))

4.2.3 *Distribución, tendencias y determinación de patrones espaciales y temporales de los promedios regionales de temperatura media del período 1965-2001*

Considerando lo descrito en el punto 3.2.6 de la metodología, se promediaron las temperaturas mensuales de las estaciones ubicadas en un mismo grado de latitud para así obtener promedios regionales de temperatura con una distribución lo más uniforme posible dentro del área de estudio (ver Cuadros 7 y 8). La Figura 8 indica la ubicación de los promedios regionales de temperatura.

Cuadro 7. Agrupación de estaciones para obtener los promedio regionales de temperatura media, período 1965-2001

Nº	Nombre	Código	Latitud ( °)	Longitud ( °)	Altitud (m)	Nuevo Código
1	Rungue	RUNG	33°01'	70°54'	750	L33
2	Valparaíso	VALP	33°01'	71°38'	41	
3	Santiago-Quinta Normal	STGQ	33°26'	70°41'	520	
4	Santiago-Los Cerrillos	STGC	33°29'	70°41'	519	
5	Curicó-General Freire	CURI	34°58'	71°14'	228	L34
6	Ancoa Embalse	ANCO	35°53'	71°19'	410	L35
7	Chillán-Gral. B. O'Higgins	CHIL	36°34'	72°02'	124	L36
8	Concepción-Cariel Sur	CONC	36°46'	73°03'	12	
9	Diguillín	DIGI	36°52'	71°38'	710	L37
10	Quilaco	QUIL	37°41'	72°00'	225	
11	Temuco	TEMU	38°45'	72°35'	114	L38
12	Pichoy	PICH	39°38'	73°05'	19	L39
13	Valdivia-Isla Teja	TEJA	39°48'	73°14'	9	
14	Osorno Cañal Bajo	OSOR	40°36'	73°04'	65	L40
15	Puerto Montt-El Tepual	MONT	41°26'	73°07'	90	L41
16	Coyhaique Tte. Vidal	COYH	45°35'	72°07'	310	L45
17	Balmaceda	BALM	45°55'	71°49'	319	
18	Punta Arenas	PARE	53°00'	70°51'	37	L53

En el Cuadro 7 se indican los 11 promedios regionales a partir de las 18 estaciones seleccionadas para el análisis de la temperatura media. El rango de temperatura regional va desde los 14,3°C en los 33° de latitud Sur hasta los 5,9°C a los 53° de latitud Sur. Las mayores variaciones se ubican en los 37° y 35° de latitud Sur (Cuadro 8).

Cuadro 8. Temperatura media anual (°C), desviación estándar (°C) y coeficiente de variación (%) de los promedios regionales, período 1965-2001.

Nº	Código	Latitud ( °) <sup>(1)</sup>	Longitud ( °) <sup>(1)</sup>	Temperatura promedio anual de 37 años ( °C)	Desv. Estándar ( °C)	CV (%)
1	L33	33°14'	70°50'	14,3	0,5	3,6
2	L34	34°58'	71°14'	13,2	0,5	3,6
3	L35	35°53'	71°19'	13,0	0,9	6,8
4	L36	36°44'	72°14'	12,2	0,4	3,1
5	L37	37°41'	72°00'	12,5	0,9	7,1
6	L38	38°45'	72°35'	11,2	0,3	3,1
7	L39	39°43'	73°10'	11,6	0,4	3,3
8	L40	40°36'	73°04'	10,5	0,3	3,1
9	L41	41°26'	73°07'	9,9	0,3	3,4
10	L45	45°45'	71°55'	7,2	0,5	6,5
11	L53	53°00'	70°51'	5,9	0,4	6,3

(1) Valor promedio de las coordenadas de las estaciones involucradas.

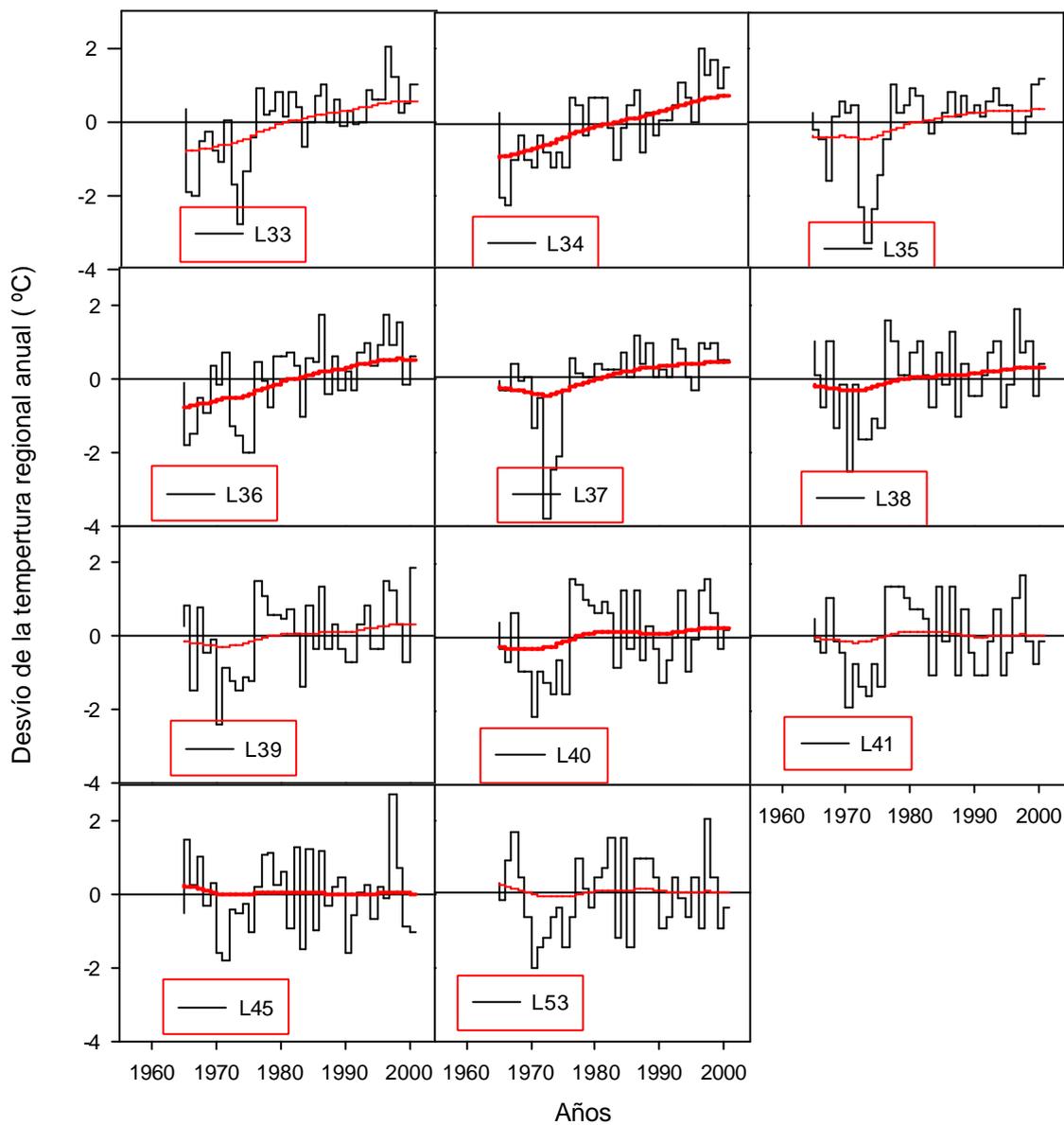


Figura 9. Variaciones de la temperatura regional anual, período 1965-2001.  
 (La línea de tendencia corresponde a un filtro exponencial de Essenwanger (1986))

En las estaciones meteorológicas ubicadas entre los 33° y 40° S se observa una tendencia al aumento de la temperatura, la cual se contrapone con las estaciones ubicadas entre los 41° y 53° S que en general muestran una oscilación en torno a la media.

Cuadro 9. Matriz de correlación ( $r$ ) de la temperatura media regional anual.

	L33	L34	L35	L36	L37	L38	L39	L40	L41	L45	L53
L34	<b>0,859</b>	1									
L35	<b>0,640</b>	<b>0,486</b>	1								
L36	<b>0,803</b>	<b>0,810</b>	<b>0,633</b>	1							
L37	<b>0,715</b>	<b>0,539</b>	<b>0,707</b>	<b>0,639</b>	1						
L38	<b>0,658</b>	<b>0,645</b>	<b>0,409</b>	<b>0,663</b>	<b>0,695</b>	1					
L39	<b>0,657</b>	<b>0,632</b>	<b>0,407</b>	<b>0,583</b>	<b>0,632</b>	<b>0,878</b>	1				
L40	<b>0,648</b>	<b>0,624</b>	<b>0,349</b>	<b>0,583</b>	<b>0,604</b>	<b>0,890</b>	<b>0,879</b>	1			
L41	<b>0,582</b>	<b>0,492</b>	<b>0,330</b>	<b>0,506</b>	<b>0,581</b>	<b>0,833</b>	<b>0,854</b>	<b>0,950</b>	1		
L45	0,109	0,104	0,015	0,167	0,298	<b>0,475</b>	<b>0,576</b>	<b>0,662</b>	<b>0,693</b>	1	
L53	0,179	0,117	0,143	0,219	<b>0,424</b>	<b>0,458</b>	<b>0,502</b>	<b>0,609</b>	<b>0,632</b>	<b>0,769</b>	1

En rojo: Coeficiente de correlación ( $r$ ) significativo ( $p < 0,05$ ).

La matriz de correlación (Cuadro 9) muestra 2 grupos de estaciones más correlacionados, el primero entre los 33° y 41° S y el segundo entre los 38° y 53° S.

Los resultados del ACP sobre los 11 promedios regionales siguen patrones muy similares a los encontrados en los registros individuales de las 18 series de temperatura media. Como efecto se obtiene un aumento en el porcentaje de explicación de la varianza el cual se concentra en los primeros 2 componentes. El tercer componente no es presentado por tener un autovalor menor a 1.

En el Anexo 3 se indican los patrones espaciales de primavera, verano, otoño, invierno y periodo de crecimiento.

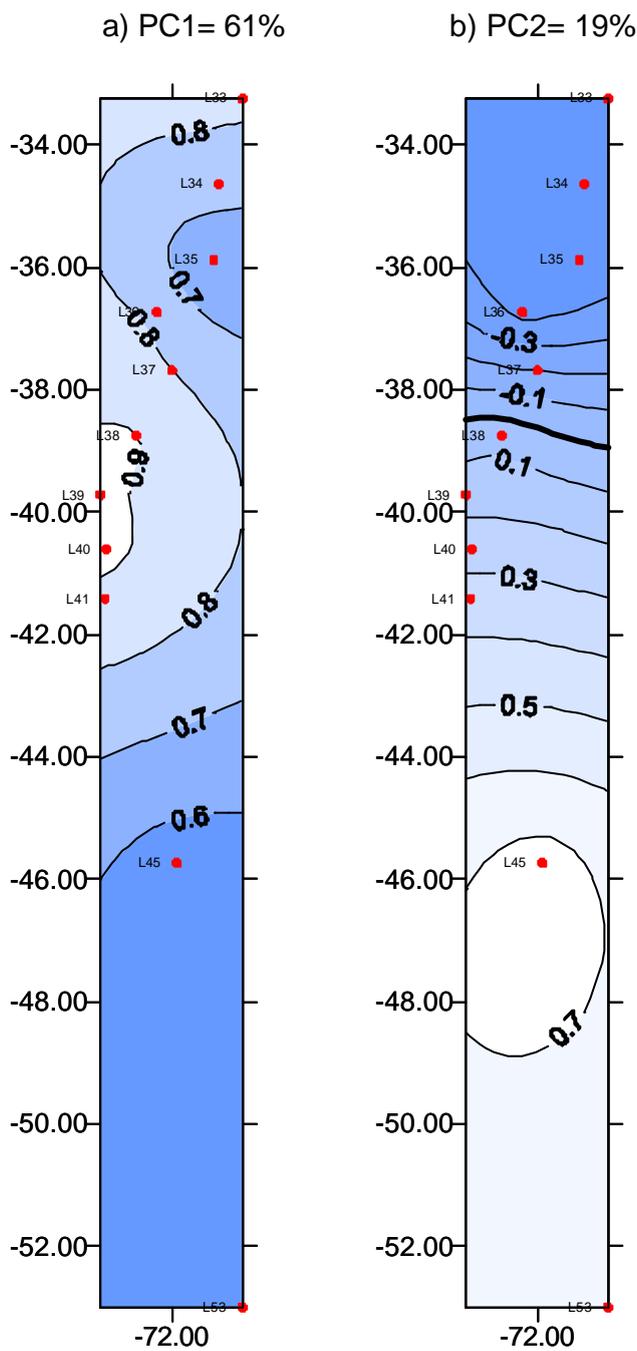


Figura 10. Patrones espaciales de los promedios regionales de la temperatura media anual, período 1965-2001 (Valor 0 (cero) se destaca con línea gruesa)

Los patrones temporales (Figura 11) de las temperaturas regionales, señalan variaciones similares a las obtenidas con las 18 series individuales de temperatura de la Figura 7.

Al igual que en el análisis temperatura con todas las estaciones, el período más frío se encuentra entre los años 1971-1976 y el más cálido entre los años 1997-1999.

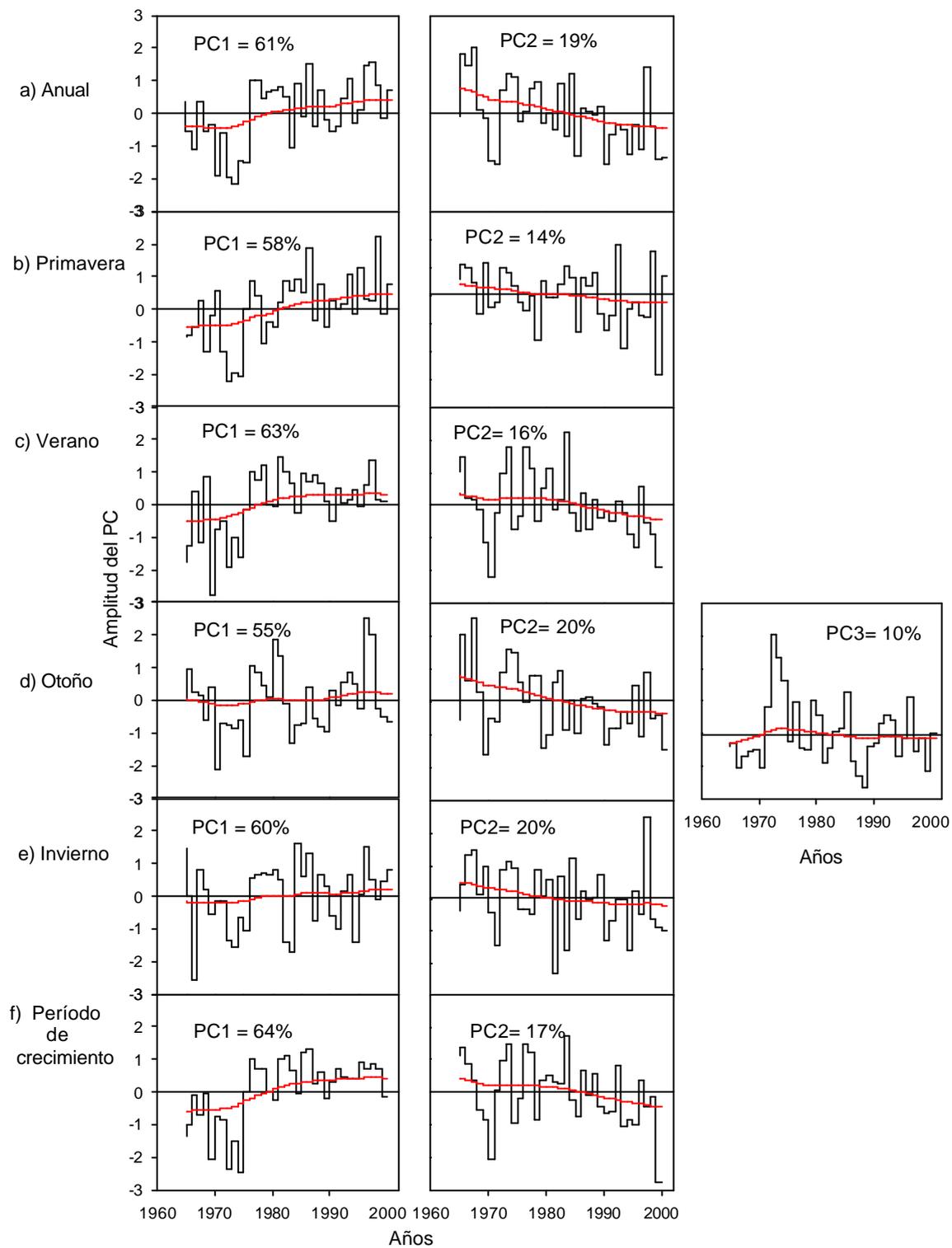


Figura 11. Amplitudes de los PCs resultantes del ACP sobre la temperatura regional a) anual, b) primavera, c) verano, d) otoño, e) invierno y f) período de crecimiento, del período 1965-2001. (La línea de tendencia corresponde a un filtro exponencial de Essenwanger (1986)).

## 4.3 Análisis de las Precipitaciones

### 4.3.1 Distribución geográfica y tendencias.

Las precipitaciones muestran una tendencia Norte-Sur al aumento (Figura 12). Estaciones ubicadas en latitudes intermedias, como Digillín (DIGI), Atacalco (ATAC) y San Lorenzo (LORE) a los 36° S con precipitaciones promedio anuales altas (sobre los 2.000.- mm/año) se deben la altitud en la que se ubican, sobre los 700 m.s.n.m. (Cuadros 3 y 11, Figura 14 ).

Las estaciones con mayor precipitación anual promedio de 40 años son Punta Huano (PHUA) con 3.087 mm, Puerto Aysén (PAYA) con 2.636 mm, Flor del Lago (FLOR) con 2.574 mm, Atacalco (ATAC) con 2.374 mm y San Lorenzo (LORE) con 2.356 mm. Las menores precipitaciones las presenta las estaciones Santiago-Los Cerrillos (STGC) con 310 mm y Terraza Oficinas DGA (ODGA) y Santiago-Quinta Normal (STGQ), ambas con 319 mm (Cuadro 11).

Cuadro 11. Precipitación anual promedio (mm/año), desviación estándar (mm/año) y coeficiente de variación (%) por estación meteorológica, período 1962-2001.

Código	Pp promedio anual de 40 años (mm/año)	Desv. Stándar (mm/año)	CV (%)	Código	Pp promedio anual de 40 años (mm/año)	Desv. Stándar (mm/año)	CV (%)
RUNG	378	229	60	LORE	2.356	618	26
VALP	379	179	47	CRIS	962	259	27
COLL	647	324	50	TAMB	1.201	280	23
ODGA	319	155	48	SBAR	1.549	346	22
STGQ	319	157	49	QUIL	1.563	361	23
STGC	310	165	53	CPAD	2.093	445	21
ROSA	428	203	47	LUMA	974	228	23
RAPE	551	248	45	QLLE	1.156	320	28
RUFI	1.135	427	38	PNUE	1.210	228	19
CURI	712	281	39	TEMU	1.154	213	18
QUEÑ	1.395	510	37	FLOR	2.574	493	19
GUAL	810	293	36	VILL	2.085	348	17
SJAV	785	279	36	PURU	2.118	524	25
CBUN	1.020	327	32	PICH	1.824	377	21
MELO	747	244	33	TEJA	2.266	369	16
NIVI	819	312	38	RBUE	1.129	230	20
ANCO	1.608	497	31	SPAB	1.363	390	29
QLLA	717	227	32	OSOR	1.314	210	16
DIGU	1.492	432	29	PHUA	3.087	442	14
PERQ	1.417	419	30	ENSE	2.207	720	33
BULL	2.110	632	30	MONT	1.729	260	15
SFAB	1.891	688	36	QLLO	2.039	358	18
CHIL	1.079	298	28	FUTA	2.039	317	16
IGNA	1.115	304	27	PAYS	2.636	380	14
NUEV	1.006	290	29	COYH	1.163	399	34
CITO	1.041	301	29	BALM	589	135	23
CONC	1.119	264	24	CHIC	290	90	31
DIGI	2.096	531	25	PARE	382	83	22
ATAC	2.374	596	25				

Existe una relación directa entre la latitud y las precipitaciones mostrando un aumento lineal de los montos de precipitación anual entre los 33° y 43° S con buena correlación (0,7%) para disminuir fuertemente entre los 44° y 53° S (Figura 12), El caso de las estaciones Chile Chico (CHIC) y Punta Arenas (PARE), cuya precipitación anual promedio es de 290 mm y 382 mm respectivamente, se explica por el relieve ya que estas estaciones se encuentran al este de la Cordillera de los

Andes en el área de sombra de lluvia. Por otro lado, el Coeficiente de variación disminuye exponencialmente con la latitud entre los 33° y 43° S y luego aumenta en las mismas estaciones transandinas de Coyhaique, Chile Chico, Balmaceda y Punta Arenas (44° - 53° S) (Figura 13). En relación a la altitud, se aprecia una relación directa muy leve con las precipitaciones (Figura 14), probablemente, entre los 700 y 800 msnm aún no se observa el efecto orográfico (Miller, 1976).

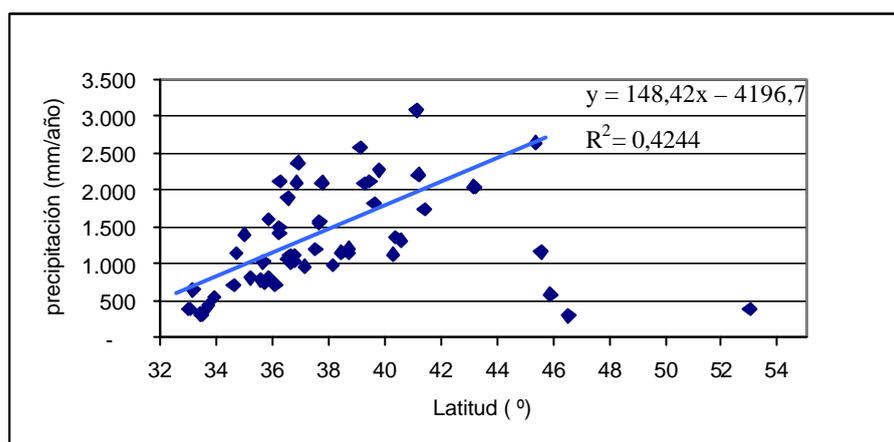


Figura 12. Promedio de la precipitación anual de 40 años, período 1962-2001, según latitud

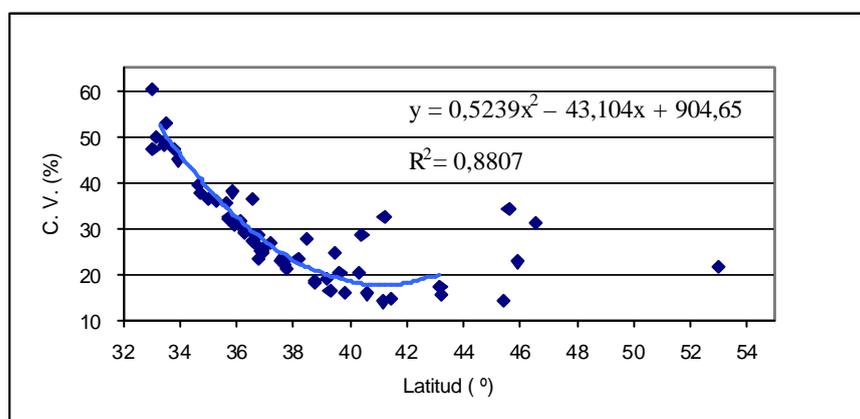


Figura 13. Coeficiente de Variación de la precipitación anual de 40 años, período 1962-2001, según latitud.

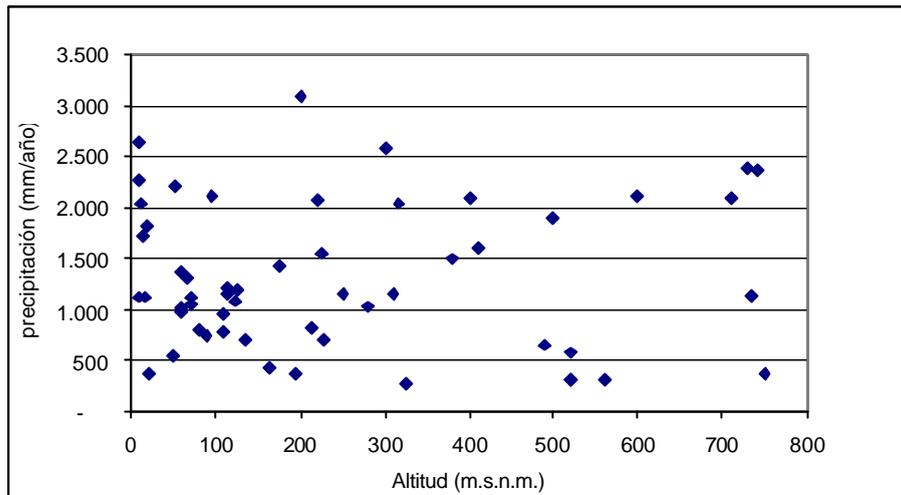


Figura 14. Relación de la precipitación promedio del período 1962-2001, según altitud.

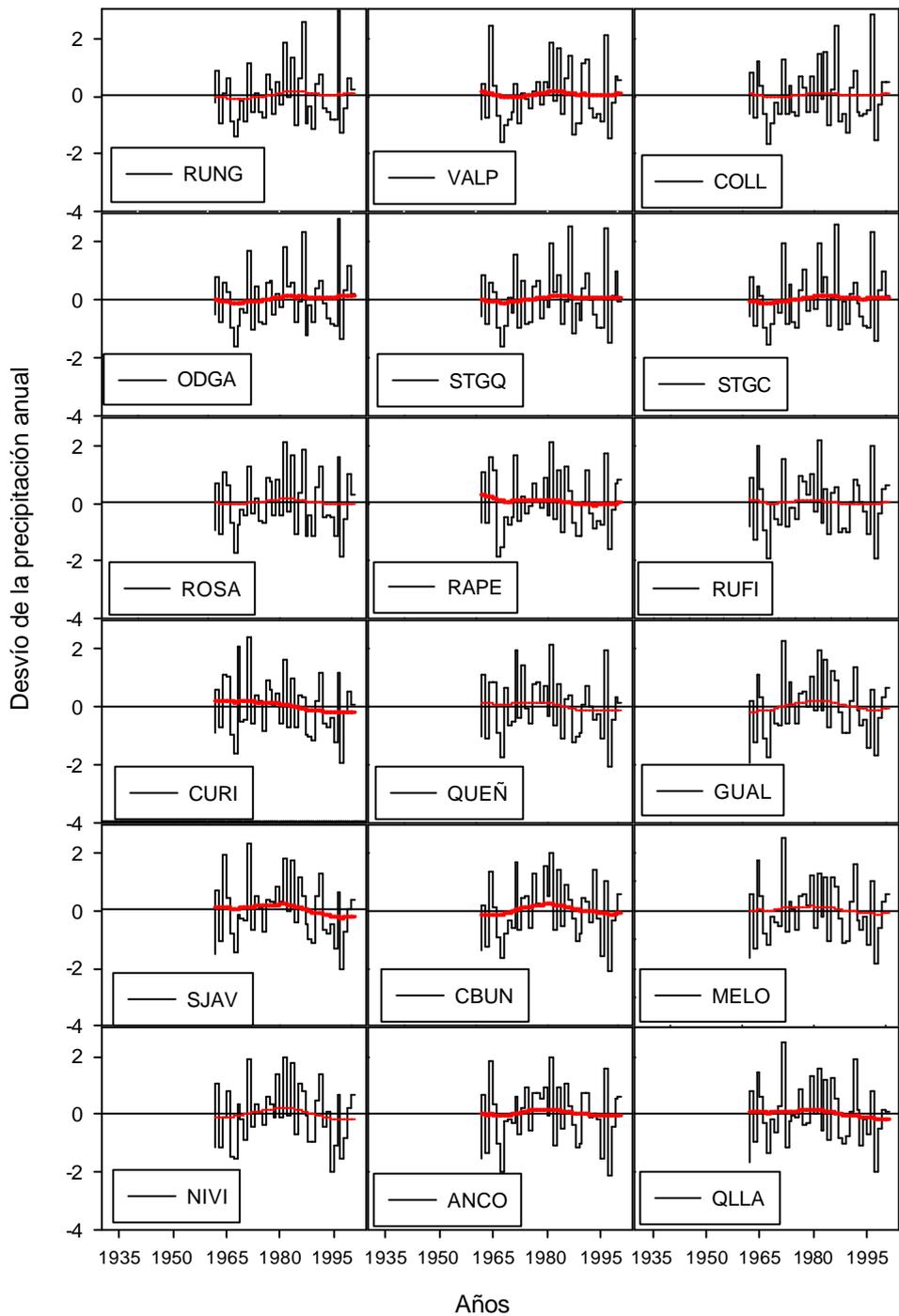


Figura 15a. Variaciones de la precipitación anual, período 1962-2001, para cada estación meteorológica. (La línea de tendencia corresponde a un filtro exponencial de Essenwanger (1986))

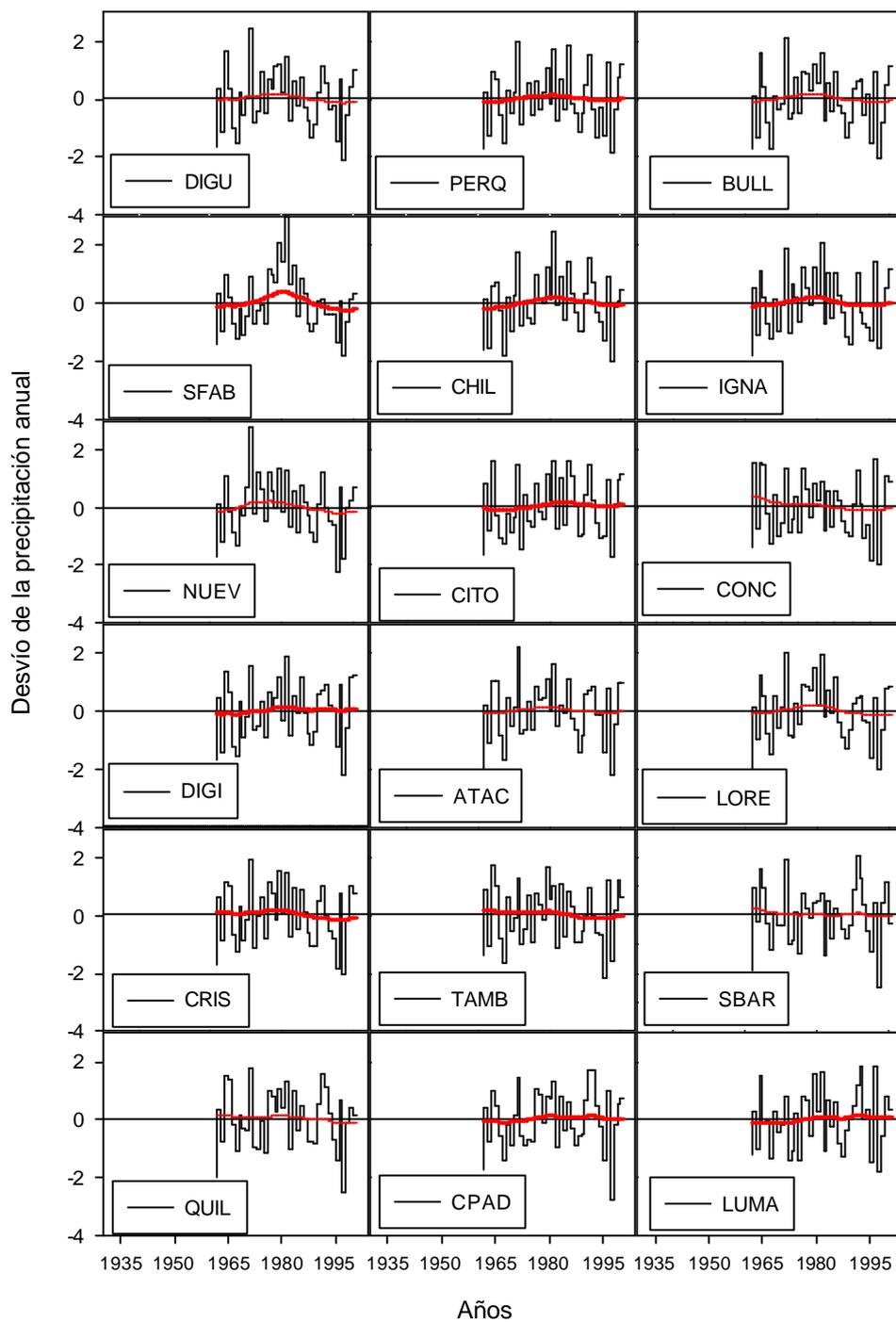


Figura 15b. Variaciones de la precipitación anual, período 1962-2001, para cada estación meteorológica. (La línea de tendencia corresponde a un filtro exponencial de Essenwanger (1986))

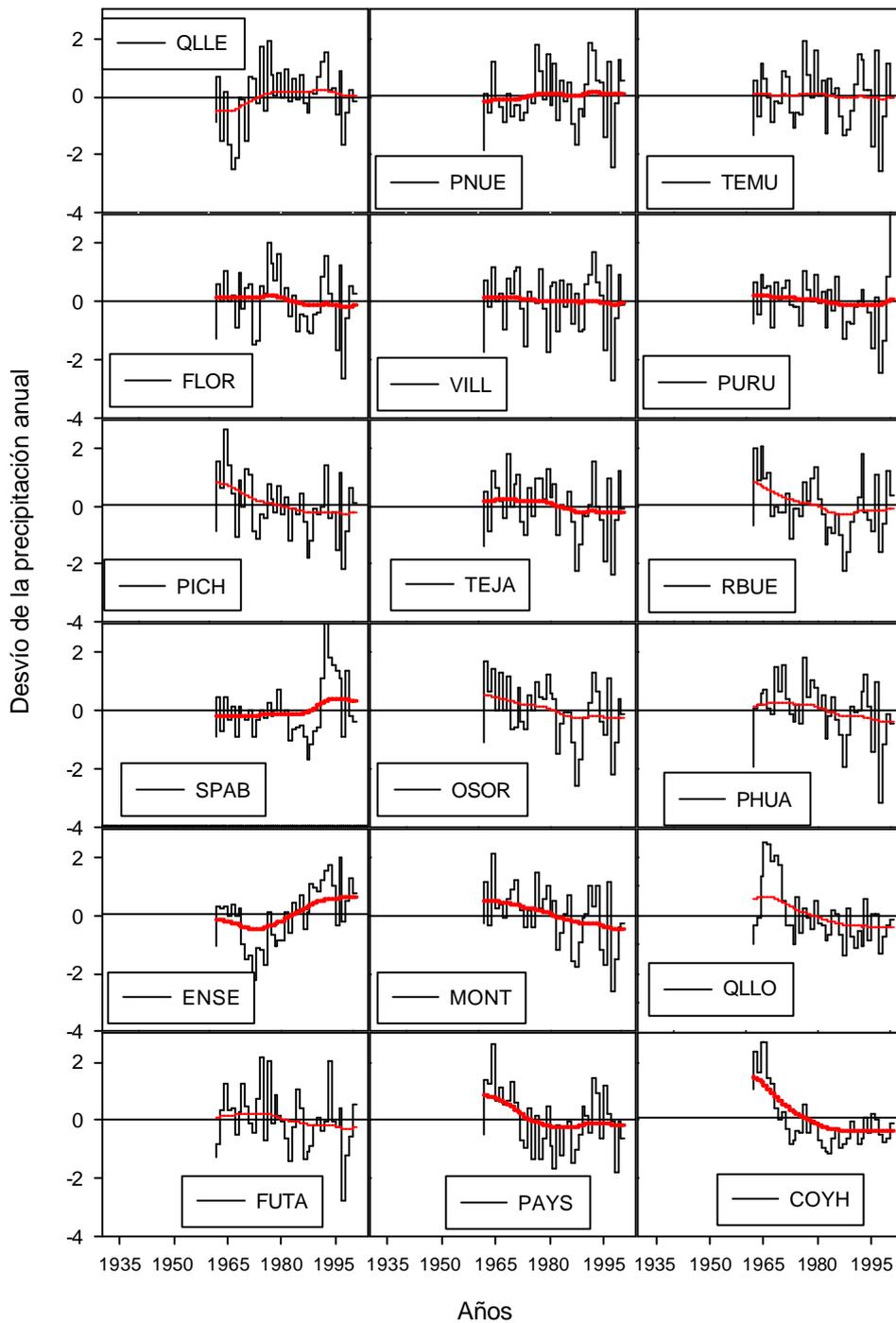


Figura 15c. Variaciones de la precipitación anual, período 1962-2001, para cada estación meteorológica. (La línea de tendencia corresponde a un filtro exponencial de Essenwanger (1986))

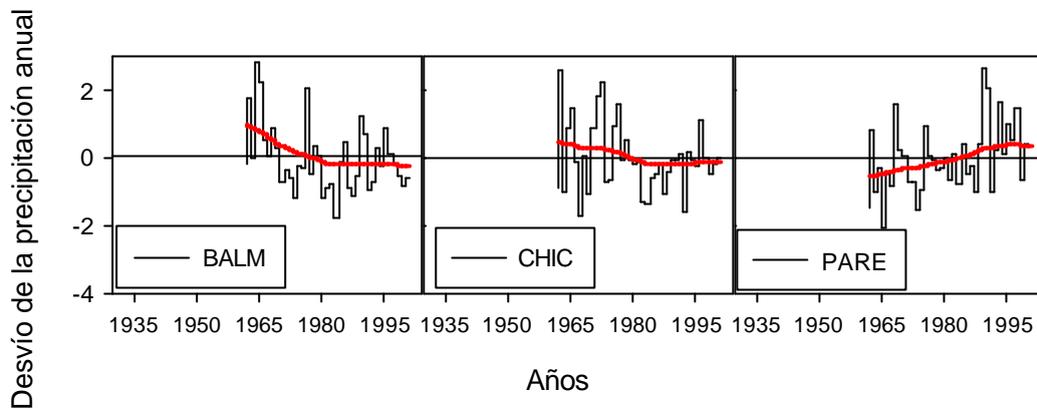


Figura 15d. Variaciones de la precipitación anual, período 1962-2001, para cada estación meteorológica. (La línea de tendencia corresponde a un filtro exponencial de Essenwanger (1986))

Las variaciones de la precipitación anual para cada estación meteorológica muestran que la mayoría oscila en torno a la media con excepciones de Pichoy (PICH), Río Bueno (RBUE), Osorno (OSO), Puerto Montt (MONT), Quellón (QLLO), Puerto Aysén (PAYS), Coyhaique (COYH) y Balmaceda (BALM) que muestran una marcada disminución en los montos anuales de precipitación. Contrario a esta tendencia, las estaciones Ensenada (ENSE) y Punta Arenas (PARE) indican un incremento bien pronunciado (Figura 17).

#### *4.3.2 Determinación de patrones espaciales y temporales de la precipitación, período 1962-2001*

Al igual que para el análisis de las temperaturas, para hacer los datos comparables, se generó una nueva matriz con los valores  $z$  con la cual se realizó los análisis espaciales y temporales y se generó la matriz de correlaciones de la precipitación del período 1962-2001 (ver Anexo 4).

Para determinar los patrones geográficos se realizó un ACP.

El ACP fue aplicado sobre el valor  $z$  de la precipitación de 57 estaciones meteorológicas en 40 años y analizado para seis períodos (anual, primavera, verano, otoño, invierno y período de crecimiento). El Cuadro 12 muestra los PC por estación meteorológica.

Cuadro 12. Matriz de Componentes Principales (PC) de la precipitación, período 1965-2001, por estación meteorológica a nivel anual, período de crecimiento y estacionalmente.

Est.	Anual			Primavera <sup>(1)</sup>			Verano <sup>(2)</sup>			Otoño <sup>(3)</sup>			Invierno <sup>(4)</sup>			Período de crecimiento		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
RUNG	<b>0,74</b>	-0,44	0,24	<b>0,75</b>	-0,48	-0,31	0,40	-0,59	-0,11	<b>0,84</b>	-0,18	-0,04	0,70	-0,48	0,35	<b>0,79</b>	-0,36	0,32
VALP	<b>0,84</b>	-0,26	0,15	<b>0,76</b>	-0,46	-0,25	<b>0,70</b>	-0,36	-0,34	<b>0,83</b>	-0,22	-0,02	<b>0,75</b>	-0,38	0,30	<b>0,78</b>	-0,34	0,39
COLL	<b>0,79</b>	-0,38	0,27	0,68	-0,57	-0,23	<b>0,73</b>	-0,57	-0,27	<b>0,87</b>	-0,16	0,03	<b>0,74</b>	-0,44	0,38	<b>0,74</b>	-0,38	0,39
ODGA	<b>0,76</b>	-0,41	0,21	<b>0,74</b>	-0,48	-0,41	0,52	<b>-0,70</b>	-0,26	<b>0,80</b>	-0,20	-0,17	<b>0,75</b>	-0,41	0,34	<b>0,75</b>	-0,37	0,4
STGQ	<b>0,76</b>	-0,42	0,20	<b>0,74</b>	-0,48	-0,40	0,57	<b>-0,70</b>	-0,23	<b>0,80</b>	-0,20	-0,16	<b>0,73</b>	-0,45	0,33	<b>0,76</b>	-0,35	0,41
STGC	<b>0,75</b>	-0,46	0,19	<b>0,75</b>	-0,42	-0,38	0,52	-0,68	-0,25	<b>0,80</b>	-0,23	-0,04	<b>0,74</b>	-0,43	0,29	<b>0,76</b>	-0,33	0,31
ROSA	<b>0,88</b>	-0,32	0,17	0,67	-0,53	-0,07	<b>0,73</b>	-0,38	-0,23	<b>0,91</b>	-0,16	0,12	<b>0,85</b>	-0,36	0,25	<b>0,73</b>	-0,37	0,26
RAPE	<b>0,89</b>	-0,24	0,22	<b>0,73</b>	-0,53	-0,24	<b>0,76</b>	-0,37	-0,15	<b>0,91</b>	-0,10	0,21	<b>0,84</b>	-0,34	0,19	<b>0,74</b>	-0,40	0,37
RUFI	<b>0,95</b>	-0,07	0,06	<b>0,88</b>	-0,33	-0,13	<b>0,75</b>	-0,50	-0,15	<b>0,92</b>	-0,04	0,12	<b>0,94</b>	-0,13	0,09	<b>0,84</b>	-0,29	0,17
CURI	<b>0,88</b>	-0,07	0,16	<b>0,89</b>	-0,33	0,01	<b>0,85</b>	-0,22	-0,04	<b>0,86</b>	-0,07	0,28	<b>0,88</b>	-0,18	0,11	<b>0,87</b>	-0,31	-0,00
QUEN	<b>0,91</b>	-0,15	0,14	<b>0,90</b>	-0,29	-0,07	<b>0,84</b>	-0,36	-0,10	<b>0,92</b>	-0,11	0,19	<b>0,91</b>	-0,18	0,02	<b>0,85</b>	-0,30	0,04
GUAL	<b>0,90</b>	-0,34	-0,01	<b>0,89</b>	-0,39	-0,03	<b>0,84</b>	-0,39	0,03	<b>0,93</b>	-0,21	0,15	<b>0,85</b>	-0,43	-0,07	<b>0,90</b>	-0,34	0,08
SJAV	<b>0,91</b>	-0,22	0,11	<b>0,92</b>	-0,31	0,03	<b>0,86</b>	0,02	0,03	<b>0,94</b>	-0,20	0,20	<b>0,86</b>	-0,36	0,03	<b>0,92</b>	-0,21	0,05
CBUN	<b>0,88</b>	-0,14	-0,08	<b>0,87</b>	-0,30	0,15	<b>0,89</b>	0,01	0,05	<b>0,93</b>	-0,20	0,16	<b>0,80</b>	-0,16	-0,05	<b>0,83</b>	-0,37	0,07
MELO	<b>0,92</b>	-0,21	0,11	<b>0,93</b>	-0,30	-0,04	<b>0,92</b>	-0,12	-0,01	<b>0,93</b>	-0,19	0,21	<b>0,89</b>	-0,27	0,02	<b>0,93</b>	-0,22	0,05
NIVI	<b>0,83</b>	-0,33	0,07	<b>0,90</b>	-0,24	0,00	<b>0,83</b>	-0,37	0,06	<b>0,95</b>	-0,19	0,17	<b>0,70</b>	-0,53	0,02	<b>0,89</b>	-0,26	0,06
ANCO	<b>0,93</b>	-0,07	-0,04	<b>0,93</b>	-0,19	0,06	<b>0,89</b>	-0,09	-0,01	<b>0,94</b>	-0,16	0,18	<b>0,89</b>	-0,07	-0,14	<b>0,91</b>	-0,24	0,04
QLLA	<b>0,92</b>	-0,09	0,09	<b>0,89</b>	-0,23	0,06	<b>0,89</b>	-0,24	0,03	<b>0,93</b>	-0,16	0,08	<b>0,89</b>	-0,13	0,04	<b>0,87</b>	-0,12	0,01
DIGU	<b>0,94</b>	0,04	-0,10	<b>0,94</b>	-0,10	0,16	<b>0,95</b>	-0,07	0,04	<b>0,96</b>	-0,11	0,15	<b>0,89</b>	0,02	-0,18	<b>0,93</b>	-0,12	-0,17
PERQ	<b>0,91</b>	-0,11	0,00	<b>0,92</b>	-0,14	0,18	<b>0,92</b>	-0,06	0,03	<b>0,93</b>	-0,12	0,16	<b>0,86</b>	-0,14	-0,13	<b>0,87</b>	-0,14	-0,02
BULL	<b>0,95</b>	0,02	-0,13	<b>0,94</b>	-0,03	0,18	<b>0,91</b>	-0,07	0,03	<b>0,95</b>	-0,10	0,14	<b>0,91</b>	0,03	-0,27	<b>0,90</b>	-0,11	-0,24
SFAB	<b>0,82</b>	-0,18	-0,07	<b>0,83</b>	-0,09	0,29	<b>0,91</b>	-0,05	0,02	<b>0,91</b>	-0,11	0,09	<b>0,81</b>	-0,30	-0,10	<b>0,77</b>	-0,11	-0,28
CHIL	<b>0,92</b>	-0,16	-0,09	<b>0,94</b>	-0,07	0,18	<b>0,92</b>	-0,09	0,08	<b>0,95</b>	-0,18	0,04	<b>0,90</b>	-0,09	-0,15	<b>0,87</b>	-0,18	-0,27
IGNA	<b>0,93</b>	-0,19	0,03	<b>0,93</b>	-0,10	0,18	<b>0,90</b>	0,05	0,21	<b>0,93</b>	-0,22	0,04	<b>0,90</b>	-0,15	-0,08	<b>0,90</b>	-0,13	-0,16
NUEV	<b>0,88</b>	-0,15	-0,03	<b>0,87</b>	-0,06	0,24	<b>0,91</b>	0,08	0,06	<b>0,93</b>	-0,26	0,05	<b>0,86</b>	-0,04	-0,14	<b>0,80</b>	-0,07	-0,34
CITO	<b>0,90</b>	-0,23	0,00	<b>0,91</b>	-0,21	0,18	<b>0,86</b>	0,09	0,34	<b>0,94</b>	-0,20	0,01	<b>0,86</b>	-0,14	-0,03	<b>0,87</b>	-0,23	-0,13
CONC	<b>0,93</b>	0,04	0,16	<b>0,92</b>	0,06	0,02	<b>0,93</b>	0,17	0,18	<b>0,94</b>	-0,09	-0,05	<b>0,88</b>	0,07	0,08	<b>0,86</b>	0,12	-0,05
DIGI	<b>0,94</b>	0,03	-0,15	<b>0,94</b>	0,08	0,22	<b>0,91</b>	-0,19	-0,01	<b>0,95</b>	-0,12	0,06	<b>0,90</b>	0,10	-0,26	<b>0,88</b>	0,06	-0,29
ATAC	<b>0,94</b>	0,07	-0,12	<b>0,94</b>	0,08	0,21	<b>0,94</b>	-0,12	0,02	<b>0,95</b>	-0,08	0,05	<b>0,91</b>	0,08	-0,25	<b>0,88</b>	0,08	-0,33
LORE	<b>0,93</b>	0,07	-0,14	<b>0,92</b>	0,14	0,26	<b>0,92</b>	-0,09	0,05	<b>0,94</b>	-0,09	0,05	<b>0,90</b>	0,05	-0,30	<b>0,85</b>	0,13	-0,42
CRIS	<b>0,96</b>	-0,04	0,02	<b>0,92</b>	-0,04	0,23	<b>0,88</b>	0,15	0,27	<b>0,94</b>	-0,14	-0,02	<b>0,91</b>	-0,06	0,02	<b>0,87</b>	-0,06	-0,2

Cuadro 12. Continuación

TAMB	<b>0,94</b>	0,01	0,05	<b>0,89</b>	0,01	0,12	<b>0,78</b>	0,17	0,51	<b>0,95</b>	-0,09	-0,03	<b>0,91</b>	0,10	0,04	<b>0,81</b>	-0,04	-0,10
SBAR	<b>0,87</b>	0,18	-0,09	<b>0,91</b>	0,23	0,15	<b>0,91</b>	0,17	0,20	<b>0,94</b>	0,02	-0,14	<b>0,80</b>	0,15	-0,04	<b>0,79</b>	0,40	-0,23
QUIL	<b>0,93</b>	0,14	-0,08	<b>0,86</b>	0,22	0,25	<b>0,94</b>	0,12	0,21	<b>0,94</b>	0,02	-0,12	<b>0,91</b>	0,09	-0,08	<b>0,77</b>	0,32	-0,37
CPAD	<b>0,91</b>	0,12	-0,25	<b>0,91</b>	0,27	0,13	<b>0,91</b>	0,12	0,21	<b>0,91</b>	0,01	-0,13	<b>0,86</b>	0,17	-0,23	<b>0,82</b>	0,27	-0,24
LUMA	<b>0,86</b>	0,21	-0,27	<b>0,92</b>	0,21	0,12	<b>0,89</b>	0,08	0,20	<b>0,92</b>	0,01	-0,31	<b>0,79</b>	0,40	-0,12	<b>0,89</b>	0,11	-0,18
QLLE	0,62	-0,12	-0,46	<b>0,76</b>	0,12	-0,10	0,66	0,08	0,34	<b>0,80</b>	0,06	-0,24	0,64	0,12	-0,26	0,53	-0,04	0,13
PNUE	<b>0,82</b>	0,26	-0,34	<b>0,84</b>	0,38	-0,07	<b>0,84</b>	0,31	0,20	<b>0,82</b>	0,20	-0,42	<b>0,81</b>	0,31	-0,24	0,68	0,45	0,04
TEMU	<b>0,85</b>	0,33	-0,15	<b>0,87</b>	0,38	-0,03	<b>0,87</b>	0,25	0,13	<b>0,83</b>	0,30	-0,33	<b>0,80</b>	0,39	-0,10	<b>0,74</b>	0,46	-0,07
FLOR	<b>0,77</b>	0,42	-0,18	<b>0,80</b>	0,37	-0,07	<b>0,88</b>	0,31	0,13	<b>0,85</b>	0,23	-0,23	<b>0,78</b>	0,47	-0,18	0,68	0,49	-0,06
VILL	0,66	0,29	-0,25	<b>0,78</b>	0,45	0,01	<b>0,73</b>	0,47	-0,11	<b>0,84</b>	0,19	-0,26	0,65	0,38	-0,23	0,58	0,57	-0,01
PURU	0,70	0,24	0,03	<b>0,83</b>	0,38	-0,04	<b>0,82</b>	0,33	-0,02	<b>0,81</b>	0,29	0,03	<b>0,72</b>	0,20	-0,07	0,70	0,51	-0,13
PICH	<b>0,73</b>	0,55	0,19	<b>0,71</b>	0,51	-0,10	<b>0,91</b>	0,29	0,03	<b>0,81</b>	0,49	-0,03	<b>0,74</b>	0,46	0,17	0,53	0,64	-0,09
TEJA	<b>0,79</b>	0,46	-0,10	<b>0,80</b>	0,48	-0,14	<b>0,89</b>	0,31	-0,06	<b>0,84</b>	0,36	-0,11	<b>0,72</b>	0,47	0,01	0,63	0,66	0,06
RBUE	0,61	0,59	0,17	0,67	0,32	-0,50	<b>0,83</b>	0,29	0,11	<b>0,74</b>	0,42	-0,11	<b>0,70</b>	0,50	0,21	0,47	0,52	0,29
SPAB	0,32	0,38	-0,41	0,33	0,41	-0,48	0,65	0,25	0,03	0,58	0,34	-0,40	0,43	0,55	-0,22	0,07	0,47	0,44
OSOR	0,63	0,64	0,01	0,68	0,48	-0,28	<b>0,77</b>	0,22	-0,20	<b>0,80</b>	0,37	-0,13	0,59	0,56	0,20	0,48	<b>0,72</b>	0,26
PHUA	0,60	0,60	-0,12	0,70	0,51	-0,17	<b>0,73</b>	0,25	-0,34	0,62	0,67	-0,05	0,65	0,52	0,03	0,56	0,60	0,12
ENSE	0,21	0,16	-0,32	0,35	0,41	-0,14	0,36	0,20	-0,56	0,28	0,35	-0,33	0,28	0,25	-0,24	0,05	0,24	0,38
MONT	0,63	0,60	0,09	0,47	<b>0,77</b>	-0,20	<b>0,80</b>	0,23	-0,28	<b>0,77</b>	0,42	-0,06	0,60	0,50	0,29	0,31	<b>0,77</b>	0,14
QLLO	0,10	0,65	0,38	0,42	0,64	0,13	0,54	0,31	-0,25	0,38	0,68	0,13	0,29	0,56	0,28	0,31	0,66	-0,19
FUT	0,38	0,59	-0,13	0,30	<b>0,78</b>	-0,01	0,49	0,47	-0,52	0,54	0,64	0,04	0,41	0,55	-0,07	0,17	<b>0,74</b>	0,2
PAYS	0,03	<b>0,77</b>	0,24	0,15	0,69	-0,13	0,35	0,62	-0,48	0,30	<b>0,84</b>	0,07	-0,04	0,66	0,31	0,17	0,69	0,4
COYH	0,03	0,66	0,67	0,27	0,64	-0,07	0,35	0,62	-0,41	-0,02	<b>0,79</b>	0,38	0,17	0,44	0,65	0,19	0,61	0,3
BALM	0,13	0,64	0,47	0,34	0,64	0,05	0,30	<b>0,74</b>	-0,36	0,09	<b>0,84</b>	0,41	0,07	0,50	0,58	0,24	0,57	0,31
CHIC	0,37	0,17	0,42	0,53	0,25	-0,24	0,14	0,32	-0,07	0,20	0,40	<b>0,73</b>	0,28	0,29	0,65	0,48	0,04	0,31
PARE	-0,155	0,21	-0,33	0,25	-0,19	0,46	0,20	0,11	-0,31	0,02	0,37	-0,08	0,09	0,23	0,32	0,33	0,06	0,31
Prp.Totl <sup>(6)</sup>	61	11	5	62	15	4	61	11	5	68	10	4	57	12	6	53	15	6

(1) pp de septiembre + pp octubre + pp noviembre

(2) pp de diciembre + pp de enero + pp de febrero

(3) pp de marzo + pp de abril + pp de mayo

(4) pp de junio + pp de julio + pp de agosto

(5) S pp de septiembre del año n a pp de marzo del año n+1

(6) Porcentaje del total de la varianza explicada

En rojo: Coeficiente de correlación (r) significativo ( $p < 0,05$ ).

Al igual que en el análisis de las temperaturas, para el análisis de distribución espacial de las precipitaciones también se graficaron los PC de cada una de las estaciones para los tres primeros componentes principales, con autovalores mayores a 1 y se generaron los mapas de isovalores anuales (Figura 18). En el Anexo 5 se indican los patrones espaciales de primavera, verano, otoño, invierno y periodo de crecimiento.

El mapa de distribución espacial del PC1 (Figura 16a) que explica el 61% de la varianza, reúne a las estaciones meteorológicas ubicadas entre los 34° y 39° S, cuyos pesos son especialmente altos (0,74-0,95 con excepción de QLLE), e indican una gran homogeneidad en la variabilidad interanual de las precipitaciones de todas las estaciones localizadas entre estas latitudes.

En cuanto al PC2 (Figura 16b), que da cuenta del 11% de la varianza total, muestra una diferencia entre la zona norte, centro-sur del área de estudio, situación que se repite para primavera, verano, otoño, invierno y para el período de crecimiento. El PC3 que explica un porcentaje muy bajo de la varianza (5%), no es significativo para ninguna estación, pero alcanza valores máximos en Coyhaique y Balmaceda (Cuadro 12).

La Figura 17 señala la variación de la precipitación en el período 1962-2001. El PC1 indica, en general, una oscilación en torno a la media. Mientras que el PC2 anual de otoño, y del período de crecimiento y el PC3 anual de otoño, invierno y período de crecimiento muestran una disminución.

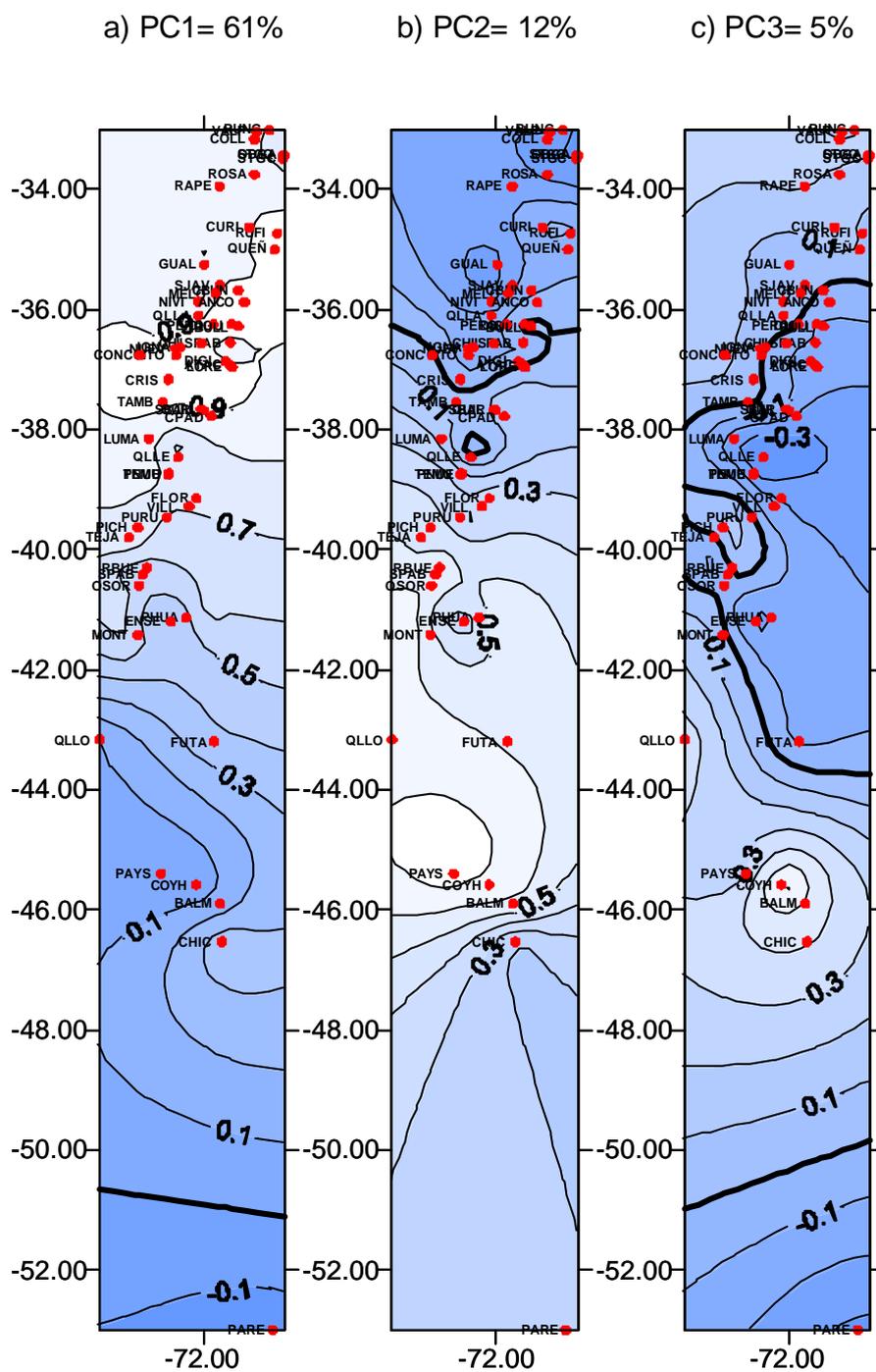


Figura 16. Patrones espaciales de la precipitación anual de 40 años (período 1962-2001) de 57 estaciones meteorológicas. (Valor 0 (cero) se destaca con línea gruesa).

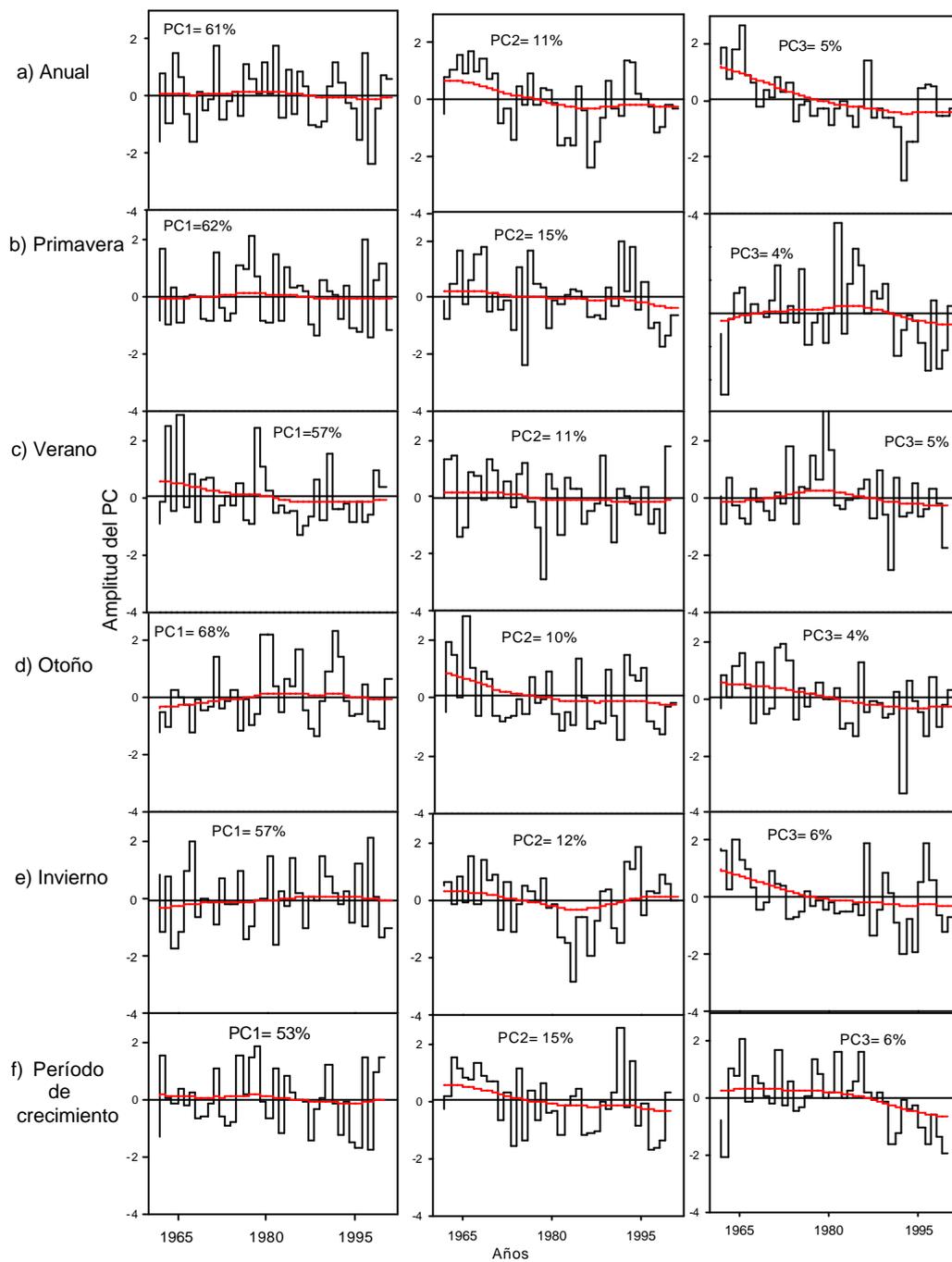


Figura 17. Amplitud de los PCs resultantes del análisis de componentes principales sobre la precipitación a) anual, b) primavera, c) verano, d) otoño, e) invierno y f) período de crecimiento, período 1962-2001. (La línea de tendencia corresponde a un filtro exponencial de Essenwanger (1986))

4.3.3 *Distribución, tendencias y determinación de patrones espaciales y temporales de los promedios regionales de la precipitación del período 1962-2001*

En forma similar a lo realizado para las temperaturas, se generaron las medias regionales de la precipitación, para esto, se promediaron las precipitaciones de estaciones ubicadas en un mismo grado de latitud y correlacionadas significativamente, para así obtener una distribución lo más uniforme posible dentro del área de estudio (ver Cuadros 13 y 14).

Cuadro 13. Grupos de estaciones meteorológicas para los promedios regionales de la precipitación mensual, período 1962-2001.

Nº	Nombre	Código	latitud	longitud	altitud	Códigos regionales
1	Rungue	RUNG	33°01'	70°54'	750	L33
2	Valparaíso	VALP	33°03'	71°38'	194	
3	Colliguay	COLL	33°10'	71°09'	490	
4	Terraza oficinas DGA	ODGA	33°26'	70°39'	560	
5	Santiago-Quinta Normal	STGQ	33°26'	70°41'	520	
6	Santiago-Los Cerrillos	STGC	33°29'	70°41'	519	
7	Carmen de Las Rosas	ROSA	33°45'	71°09'	165	
8	Rapel	RAPE	33°57'	71°44'	50	
9	La Rufina	RUFI	34°44'	70°46'	735	L34
10	Curicó-General Freire	CURI	34°38'	71°14'	228	
11	Los Queñes	QUEÑ	35°00'	70°49'	809	L35
12	Gualleco	GUAL	35°14'	71°59'	80	
13	San Javier	SJAV	35°36'	71°44'	110	
14	Colbún	CBUN	35°41'	71°25'	280	
15	Melozal	MELO	35°44'	71°48'	90	
16	Nirivilo	NIVI	35°52'	72°05'	215	
17	Embalse Ancoa	ANCO	35°53'	71°19'	410	
18	Quella	ELLA	36°06'	72°05'	135	
19	Digua	DIGU	36°15'	71°32'	380	
20	San Manuel en Perquilauquen	PERQ	36°15'	71°50'	175	
21	Bullileo	BULL	36°17'	71°25'	600	L36
22	San Fabian	SFAB	36°33'	71°33'	500	
23	Chillán -Gral. Bernardo O'Higgins	CHIL	36°34'	72°02'	124	
24	San Ignacio de Palomares	IGNA	36°38'	72°23'	15	
25	Nueva Aldea	NUEV	36°39'	72°28'	60	
26	Chillancito	CITO	36°46'	72°27'	70	
27	Concepción	CONC	36°46'	73°03'	10	
28	Diguillín	DIGI	36°52'	71°38'	710	
29	Atacalco	ATAC	36°55'	71°34'	730	
30	San Lorenzo	LORE	36°58'	71°31'	740	

Cuadro 13. Continuación

31	San Cristóbal	CRIS	37°10'	72°35'	110	L37
32	El Tambillo	TAMB	37°33'	72°40'	125	
33	Santa Barbara	SBAR	37°40'	72°02'	225	
34	Quilaco	QUIL	37°41'	72°00'	225	
35	Cerro el Padre	CPAD	37°47'	71°52'	400	
36	Lumaco	LUMA	38°09'	72°54'	60	L38
37	Quillén	QLLE	38°28'	72°25'	250	
38	Pueblo Nuevo (Temuco)	PNUE	38°44'	72°34'	115	
39	Temuco	TEMU	38°45'	72°35'	114	
40	Flor del Lago	FLOR	39°09'	72°07'	300	L39
41	Villarrica	VILL	39°17'	72°14'	220	
42	Purulón	PURU	39°28'	72°36'	95	
43	Pichoy	PICH	39°38'	73°05'	19	
44	Valdivia-Isla Teja	TEJA	39°48'	73°14'	9	
45	Río Bueno	RBUE	40°18'	72°56'	70	L40
46	San Pablo	SPAB	40°25'	73°00'	60	
47	Osorno Cañal bajo	OSOR	40°36'	73°04'	65	
48	Punta Huano	PHUA	41°08'	72°17'	200	L41
49	Puerto Montt	MONT	41°25'	73°05'	13	
50	Quellón-Aeródromo	QLLO	43°10'	73°43'	12	L43
51	Futaleufú	FUT	43°12'	71°49'	317	
52	Puerto Aysén	PAYS	45°24'	72°42'	10	
53	Coyhaique Tte. Vidal	COYH	45°35'	72°07'	310	L45
54	Balmaceda	BALM	45°54'	71°43'	520	
55	Chile Chico	CHIC	46°32'	71°41'	327	L46
56	Punta Arenas	PARE	53°00'	70°51'	20	L53

El Análisis de la precipitación regional se realizó entre los 33° y 53° S, dejando descubierta las áreas ubicadas en los 42°, 44° y entre los 47° a 52° S por no contar con estaciones en dichas latitudes (Figura 18).

Los mayores montos de los promedios regionales de precipitación se ubican entre los 39° y 43° S y los más bajos en el extremo Sur del área de estudio en los 46° y 53° S. Los promedios con mayor variación corresponden a los ubicados en los 33° y 34° S (Cuadro 14).

Cuadro 14. Parámetros de la precipitación regional, período 1962-2001.

Nº	Código	Latitud ( °) <sup>(1)</sup>	Longitud ( °) <sup>(1)</sup>	Pp promedio anual de 40 años (mm)	Desv. Stándar (mm)	CV (%)
1	L33	33°25'	71°04'	416	198	47
2	L34	34°41'	71°00'	924	341	37
3	L35	35°34'	71°35'	1.026	331	32
4	L36	36°35'	71°58'	1.524	404	27
5	L37	37°34'	72°14'	1.474	323	22
6	L38	38°32'	72°37'	1.123	220	20
7	L39	39°28'	72°39'	2.173	367	17
8	L40	40°26'	73°00'	1.269	238	19
9	L41	41°17'	72°41'	2.408	336	14
10	L43	43°11'	72°46'	2.039	290	14
11	L45	45°38'	72°11'	1.463	274	19
12	L46	46°32'	71°41'	290	90	31
13	L53	53°00'	70°51'	382	83	22

(1) Valor promedio de las coordenadas de las estaciones involucradas.

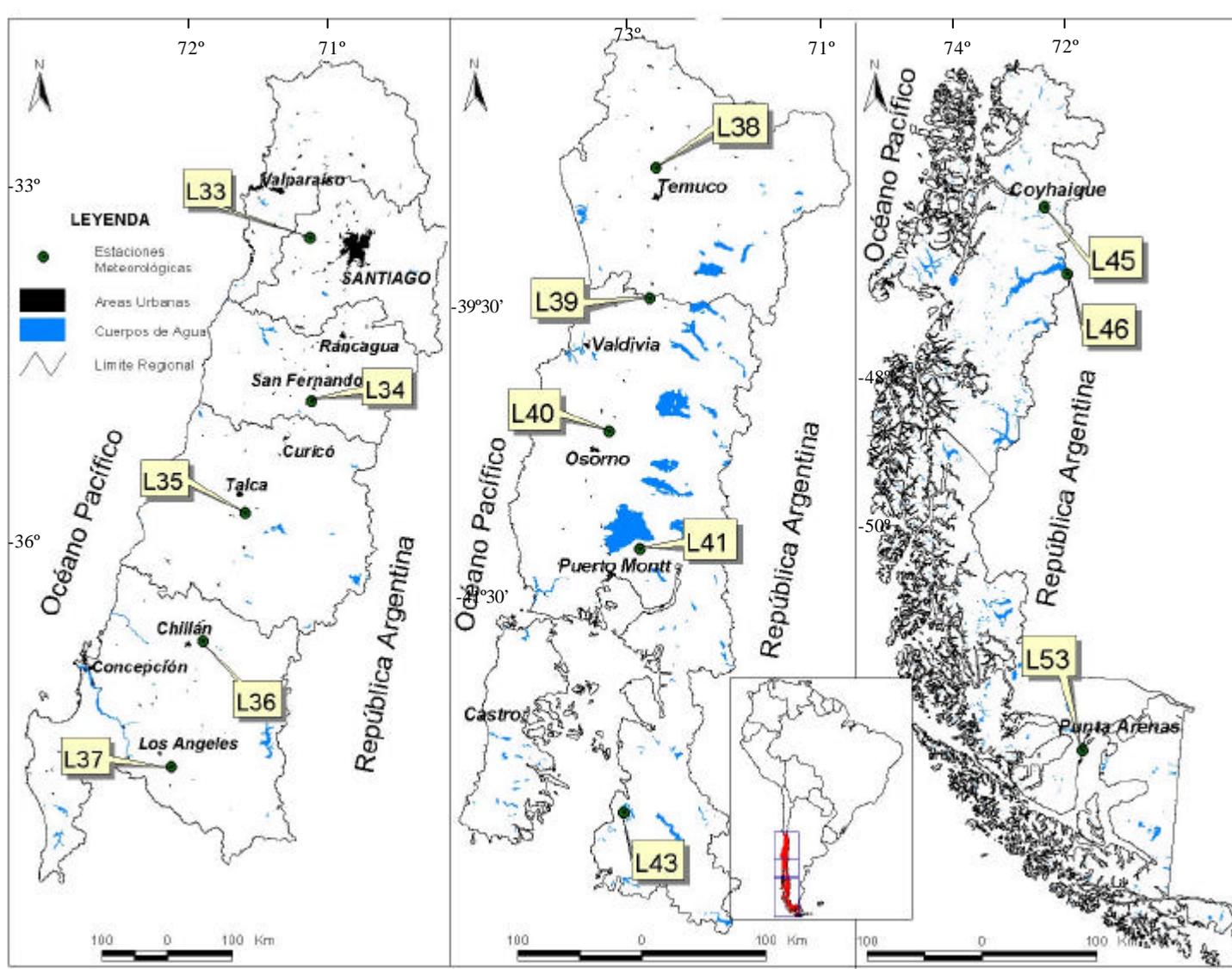


Figura 18. Mapa de ubicación de los promedios regionales de la precipitación de 40 años, período 1962-2001.

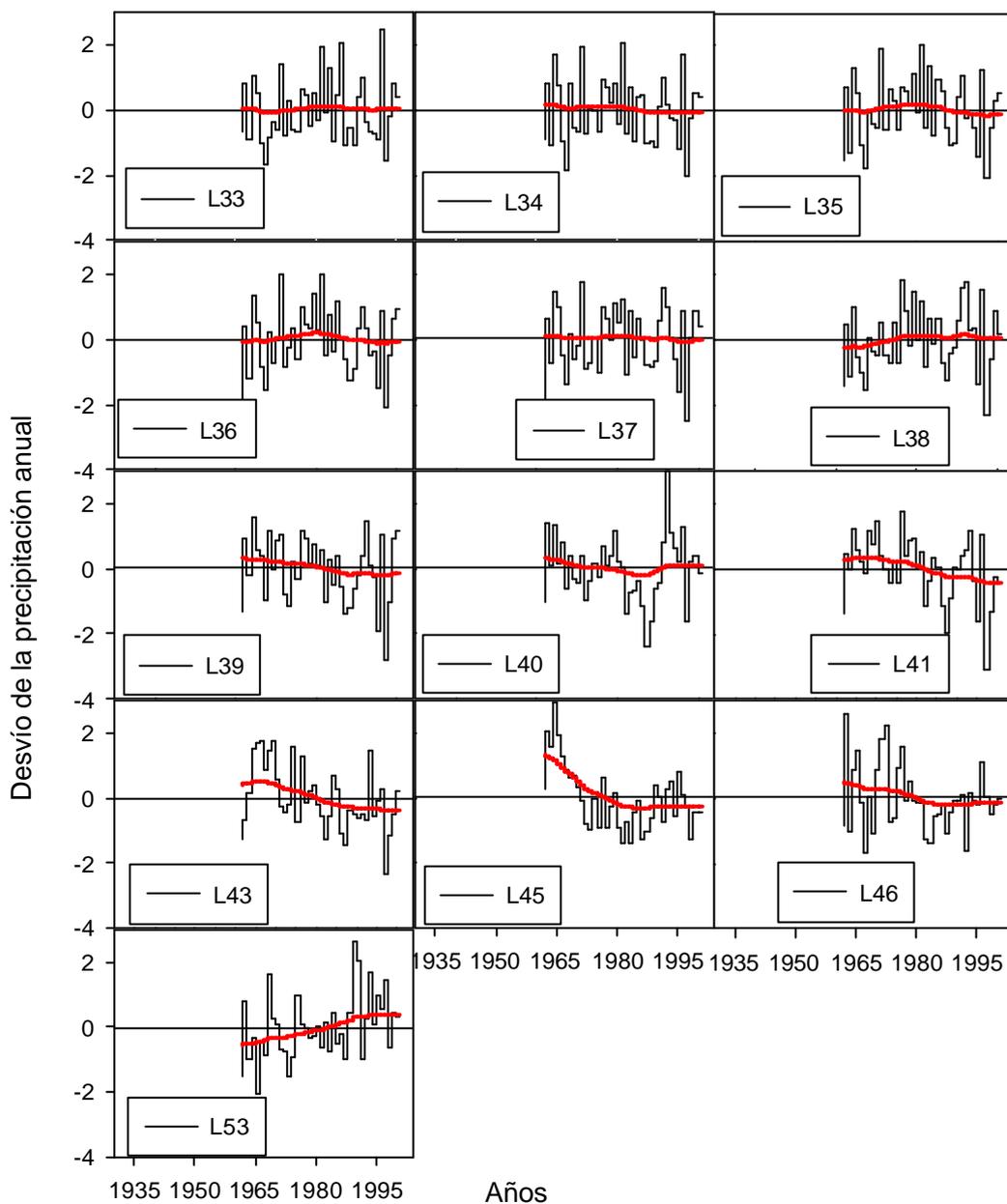


Figura 19. Variaciones de la precipitación regional anual, período 1962-2001. (La línea de tendencia corresponde a un filtro exponencial de Essenwanger (1986))

El análisis regional de las precipitaciones entrega patrones similares a los obtenidos con las estaciones individuales. Hasta los 40° S las precipitaciones se mantienen oscilando en torno a la media con un leve incremento entre los años 1973-1986 para

algunas estaciones. Hacia al Sur, desde los 41° hasta los 46° S las precipitaciones muestran una tendencia a la disminución. Esta disminución es muy pronunciada a los 45° S. Finalmente, en el extremo Sur, a los 53°, se ve un cambio en la tendencia de las precipitaciones, mostrando un incremento notorio a partir del año 1983.

Los patrones espaciales indican que el PC1 anual, con un 54% de la varianza explicada, contribuyendo especialmente las estaciones ubicadas entre los 33° y 41° S con valores significativos, señala una gran homogeneidad en la variación interanual de las precipitaciones. Por otro lado, el PC2 (17% de varianza explicada), está agrupando las estaciones ubicadas entre los 43° y 45° S que son las que tienen tendencia a la disminución de las precipitaciones y, finalmente, el PC3, con un 9% de explicación de la varianza, está explicado por la estación Punta Arenas (L53) que indica un incremento de las precipitaciones (Figura 19 y 20).

Los patrones temporales de las precipitaciones regionales anuales muestran para el PC1 una oscilación en torno a la media. Por otro lado, mientras que el PC2 indica una disminución, el PC3 muestra un aumento de las precipitaciones (Figura 21).

Cuadro 15. Matriz de correlación de la precipitación anual regional, período 1982-2001

Código	L33	L34	L35	L36	L37	L38	L39	L40	L41	L43	L45	L46	L53
L34	<b>0,87</b>	1											
L35	<b>0,87</b>	<b>0,95</b>	1										
L36	<b>0,78</b>	<b>0,92</b>	<b>0,95</b>	1									
L37	<b>0,74</b>	<b>0,89</b>	<b>0,88</b>	<b>0,94</b>	1								
L38	<b>0,64</b>	<b>0,79</b>	<b>0,77</b>	<b>0,83</b>	<b>0,87</b>	1							
L39	<b>0,53</b>	<b>0,76</b>	<b>0,69</b>	<b>0,80</b>	<b>0,85</b>	<b>0,80</b>	1						
L40	<b>0,29</b>	<b>0,52</b>	<b>0,38</b>	<b>0,47</b>	<b>0,60</b>	<b>0,66</b>	<b>0,70</b>	1					
L41	<b>0,30</b>	<b>0,55</b>	<b>0,51</b>	<b>0,58</b>	<b>0,64</b>	<b>0,67</b>	<b>0,82</b>	<b>0,64</b>	1				
L43	-0,04	0,20	0,17	0,22	<b>0,29</b>	0,25	<b>0,51</b>	<b>0,40</b>	<b>0,73</b>	1			
L45	-0,12	0,04	-0,09	-0,04	0,08	0,00	<b>0,30</b>	<b>0,43</b>	<b>0,40</b>	<b>0,58</b>	1		
L46	<b>0,31</b>	<b>0,42</b>	<b>0,34</b>	<b>0,33</b>	<b>0,32</b>	0,24	<b>0,34</b>	0,28	<b>0,37</b>	<b>0,13</b>	<b>0,29</b>	1	
L53	-0,19	-0,16	-0,21	-0,16	-0,14	0,05	-0,03	0,07	0,03	-0,08	0,07	0,11	1

En rojo: Coeficiente de correlación (*r*) significativo (*p* < 0,05).

Cuadro 16. Matriz de Componentes Principales (PC) de la precipitación regional anual, período 1982-2001.

Est.	Anual			Primavera <sup>(1)</sup>			Verano <sup>(2)</sup>			Otoño <sup>(3)</sup>			Invierno <sup>(4)</sup>			Periodo de crecimiento <sup>(5)</sup>		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
L33	<b>0,76</b>	-0,48	0,02	0,65	-0,61	-0,13	0,66	-0,58	0,24	<b>0,86</b>	-0,33	0,71	-0,45	0,35	0,69	-0,54	0,05	
L34	<b>0,93</b>	-0,25	0,01	<b>0,82</b>	-0,52	-0,05	<b>0,80</b>	-0,44	0,25	<b>0,90</b>	-0,21	<b>0,90</b>	-0,32	0,12	<b>0,78</b>	-0,54	-0,00	
L35	<b>0,90</b>	-0,36	-0,05	<b>0,85</b>	-0,49	0,01	<b>0,92</b>	-0,31	0,09	<b>0,90</b>	-0,33	<b>0,84</b>	-0,45	0,10	<b>0,81</b>	-0,54	-0,00	
L36	<b>0,93</b>	-0,26	-0,03	<b>0,92</b>	-0,27	0,08	<b>0,93</b>	-0,20	-0,04	<b>0,92</b>	-0,31	<b>0,90</b>	-0,31	0,00	<b>0,86</b>	-0,32	-0,20	
L37	<b>0,95</b>	-0,13	-0,03	<b>0,93</b>	-0,08	0,07	<b>0,90</b>	-0,07	-0,08	<b>0,93</b>	-0,25	<b>0,91</b>	-0,16	0,02	<b>0,87</b>	-0,08	-0,20	
L38	<b>0,89</b>	-0,07	0,15	<b>0,94</b>	0,02	-0,05	<b>0,90</b>	-0,02	-0,10	<b>0,90</b>	-0,14	<b>0,89</b>	-0,02	-0,20	<b>0,86</b>	-0,02	0,10	
L39	<b>0,91</b>	0,23	-0,01	<b>0,91</b>	0,21	-0,13	<b>0,92</b>	0,18	-0,16	<b>0,94</b>	0,07	<b>0,91</b>	0,14	-0,15	<b>0,83</b>	0,40	-0,30	
L40	0,68	0,42	0,11	<b>0,72</b>	0,30	-0,36	<b>0,85</b>	0,12	-0,15	<b>0,81</b>	0,14	<b>0,76</b>	0,34	-0,23	0,57	0,50	0,06	
L41	<b>0,77</b>	0,50	-0,05	<b>0,81</b>	0,46	0,02	<b>0,86</b>	0,23	-0,11	<b>0,83</b>	0,41	<b>0,78</b>	0,38	-0,10	0,71	0,60	0,01	
L43	0,41	<b>0,72</b>	-0,36	0,56	<b>0,72</b>	0,27	0,66	0,50	-0,16	0,69	0,62	0,55	0,53	-0,42	0,47	0,70	-0,10	
L45	0,19	<b>0,81</b>	-0,07	0,39	<b>0,75</b>	0,19	0,45	<b>0,72</b>	-0,06	0,32	<b>0,83</b>	0,21	<b>0,75</b>	-0,02	0,40	<b>0,70</b>	0,13	
L46	0,43	0,16	0,40	0,62	0,22	-0,03	0,22	0,45	0,59	0,3	0,53	0,39	0,53	0,58	0,55	-0,08	0,61	
L53	-0,11	0,25	<b>0,88</b>	0,22	-0,32	<b>0,86</b>	0,23	0,29	<b>0,75</b>	0,09	0,49	0,17	0,44	0,68	0,42	-0,02	<b>0,73</b>	
P.Tot. <sup>(6)</sup>	<b>54</b>	17	9	<b>56</b>	19	8	<b>57</b>	14	9	<b>60</b>	17	<b>54</b>	17	10	<b>49</b>	21	<b>9</b>	

(1) pp de septiembre + pp octubre + pp noviembre

(2) pp de diciembre del año "n" + pp de enero del año "n+1" + pp de febrero del año "n+1"

(3) pp de marzo + pp de abril + pp de mayo

(4) pp de junio + pp de julio + pp de agosto

(5)  $\sum$  pp de septiembre del año "n" a pp de marzo del año "n+1"

(6) Porcentaje del total de la varianza explicada

En rojo: Coeficiente de correlación (r) significativo ( $p < 0,05$ ).

a) PC1 = 54%

b) PC2 = 17%

c) PC3 = 9%

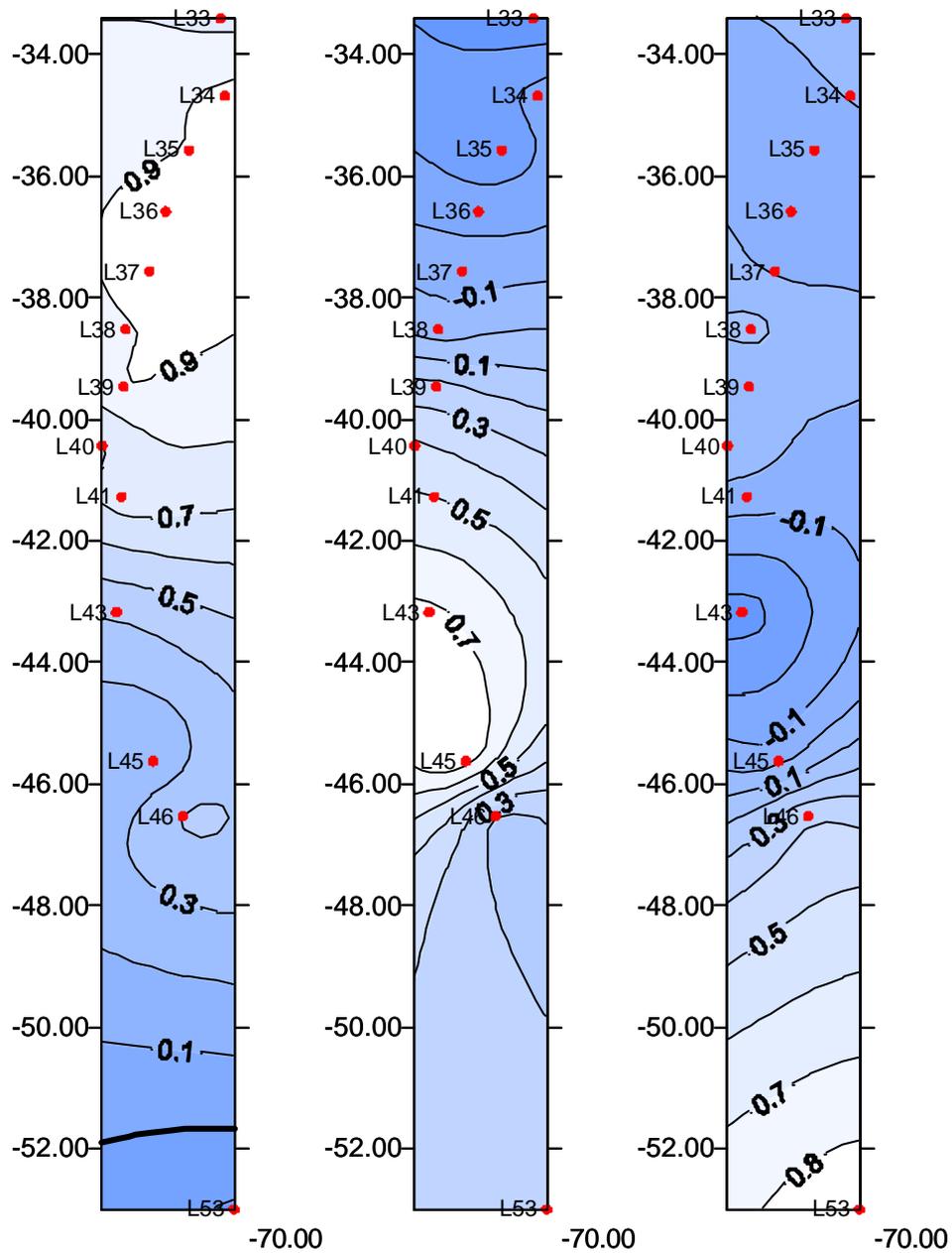


Figura 20. Patrones espaciales de la precipitación regional anual, período 1962-2001.  
(Valor 0 (cero) se destaca con línea gruesa)

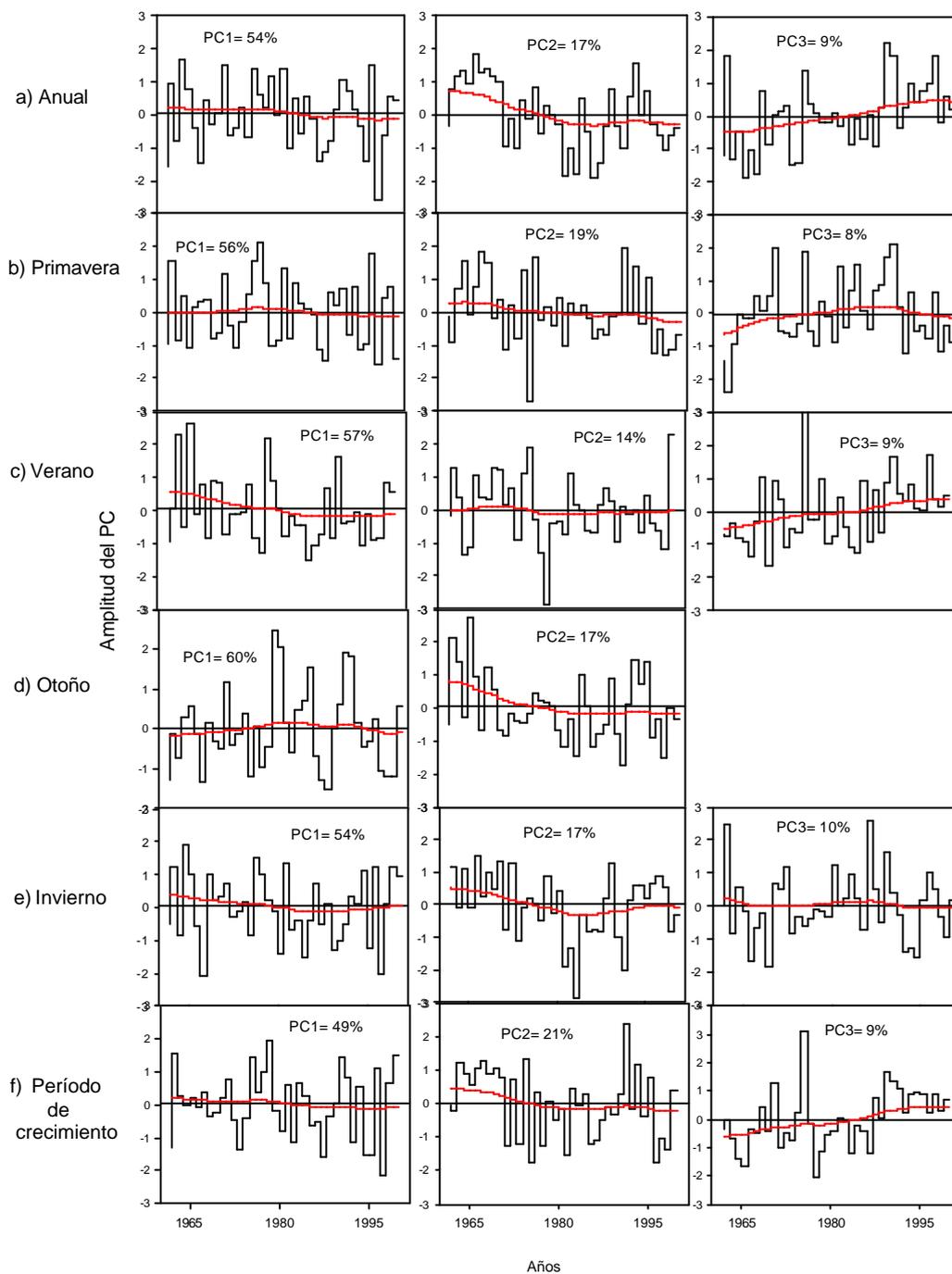


Figura 21. Amplitud de los PCs resultantes del análisis de componentes principales sobre la precipitación regional a) anual, b) primavera, c) verano, d) otoño, e) invierno y f) período de crecimiento, período 1962-2001. (La línea de tendencia corresponde a un filtro exponencial de Essenwanger (1986))

4.3.4 *Distribución, tendencias y determinación de patrones espaciales y temporales de la precipitación, período 1931-2001.*

Se seleccionaron 14 estaciones meteorológicas con registros de precipitación mensual de 71 años, período 1931-2001. Las estaciones seleccionadas se presentan en el Cuadro 17.

Las mayores precipitaciones promedio de 71 años las presenta la estación Puerto Aysén (PAYS) con 2.784 mm/año y la más baja Santiago-Quinta Normal (STGQ) con 323 mm/año. Las estaciones con mayor variación en el monto anual de las precipitaciones se encuentran entre los 33° y los 35° S (Cuadro 18).

Cuadro 17. Estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis de la precipitación mensual, período 1931-2001.

Nº	Nombre	Código	latitud	longitud	altitud
1	Valparaíso	VALP	33°03'	71°38'	194
2	Santiago-Quinta Normal	STGQ	33°26'	70°41'	520
3	Carmen de Las Rosas	ROSA	33°45'	71°09'	165
4	La Rufina	RUFI	34°44'	70°46'	735
5	Los Queñes	QUEÑ	35°00'	70°49'	809
6	Bullileo	BULL	36°17'	71°25'	600
7	Concepción	CONC	36°46'	73°03'	10
8	El Tambillo	TAMB	37°33'	72°40'	125
9	Temuco	TEMU	38°45'	72°35'	114
10	Pichoy	PICH	39°38'	73°05'	19
11	San Pablo	SPAB	40°25'	73°00'	60
12	Puerto Montt	MONT	41°25'	73°05'	13
13	Puerto Aysén	PAYS	45°24'	72°42'	10
14	Punta Arenas	PARE	53°00'	70°51'	20

Cuadro 18. Precipitación anual promedio (mm), desviación estándar (mm) y coeficiente de variación (%) por estación meteorológica, período 1931-2001.

<b>Código</b>	<b>Pp promedio anual de 71 años (mm/año)</b>	<b>Desv. Stándar (mm/año)</b>	<b>CV (%)</b>
VALP	380	158	41
STGQ	323	139	43
ROSA	445	186	42
RUFI	1.040	374	36
QUEÑ	1.247	506	41
BULL	2.145	566	26
CONC	1.210	276	23
TAMB	1.211	284	23
TEMU	1.232	241	20
PICH	2.111	507	24
SPAB	1.352	339	25
MONT	1.783	267	15
PAYS	2.784	531	19
PARE	416	113	27

La Figura 22 muestra el mapa de ubicación de las estaciones seleccionadas para el análisis de la precipitación de 71 años en el período 1931-2001.

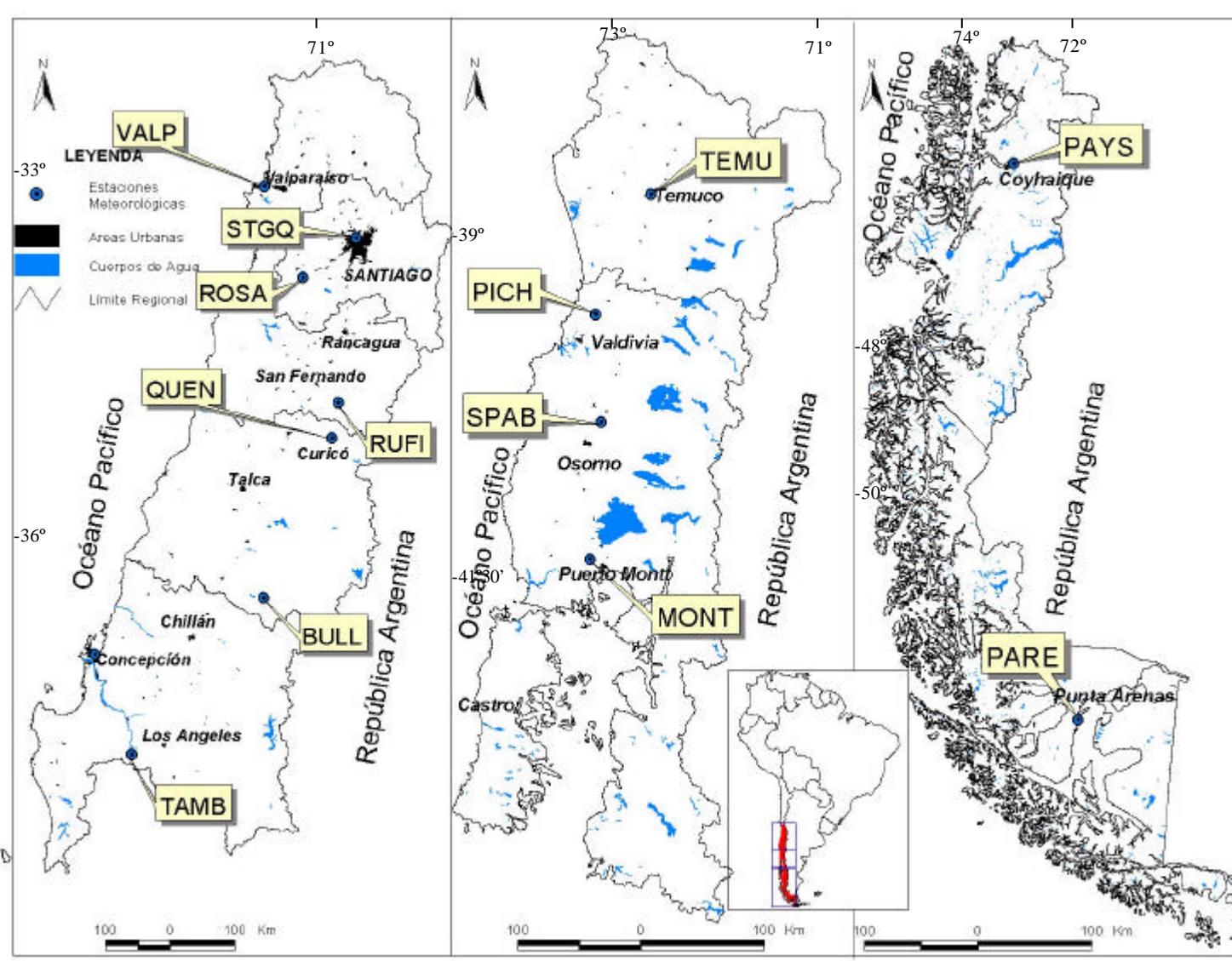


Figura 22. Distribución de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis de la precipitación mensual, período 1931-2001 .

Según la Figura 23, se muestra una relación directa entre el monto de las precipitaciones y la latitud, con la excepción de la Estación Punta Arenas (PARE) en el extremo Austral.

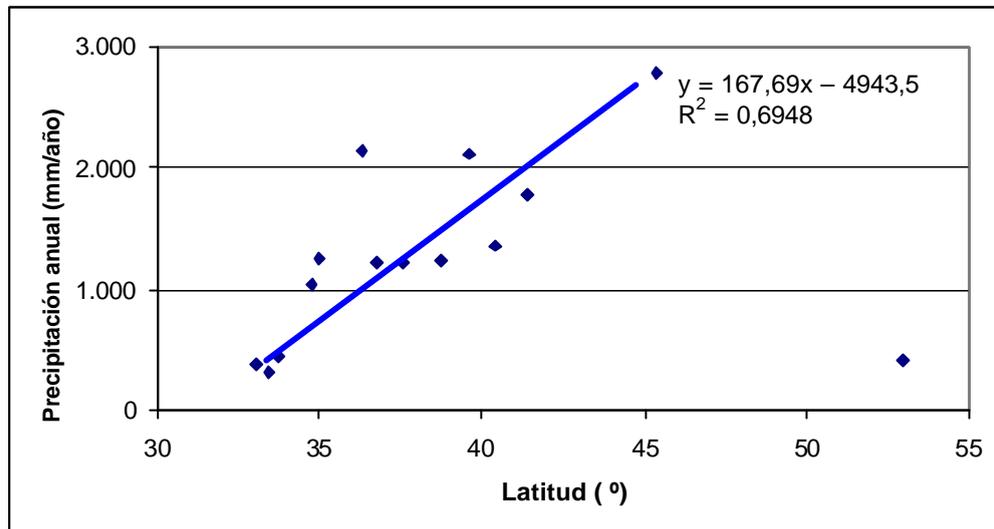


Figura 23. Precipitación anual promedio (mm/año) según latitud ( °), período 1931-2001.

En relación a las variaciones de la precipitación del período 1931-2001 (Figura 24), las estaciones La Rufina (RUF) y Los Queñes (QUEÑ) muestran un aumento en los montos de precipitación mientras que, Concepción (CONC), Temuco (TEMU), Pichoy (PICH) y Puerto Aysén (PAYS) indican una tendencia a la disminución. El resto de estaciones presenta precipitaciones que oscilan en torno a la media con excepción Puerto Montt (MONT) que muestra un período de aumento (1931-1975) y luego de disminución (1975-2001) y Punta Arenas que indica un período de disminución (1931-1965) y luego de aumento (1965-1995).

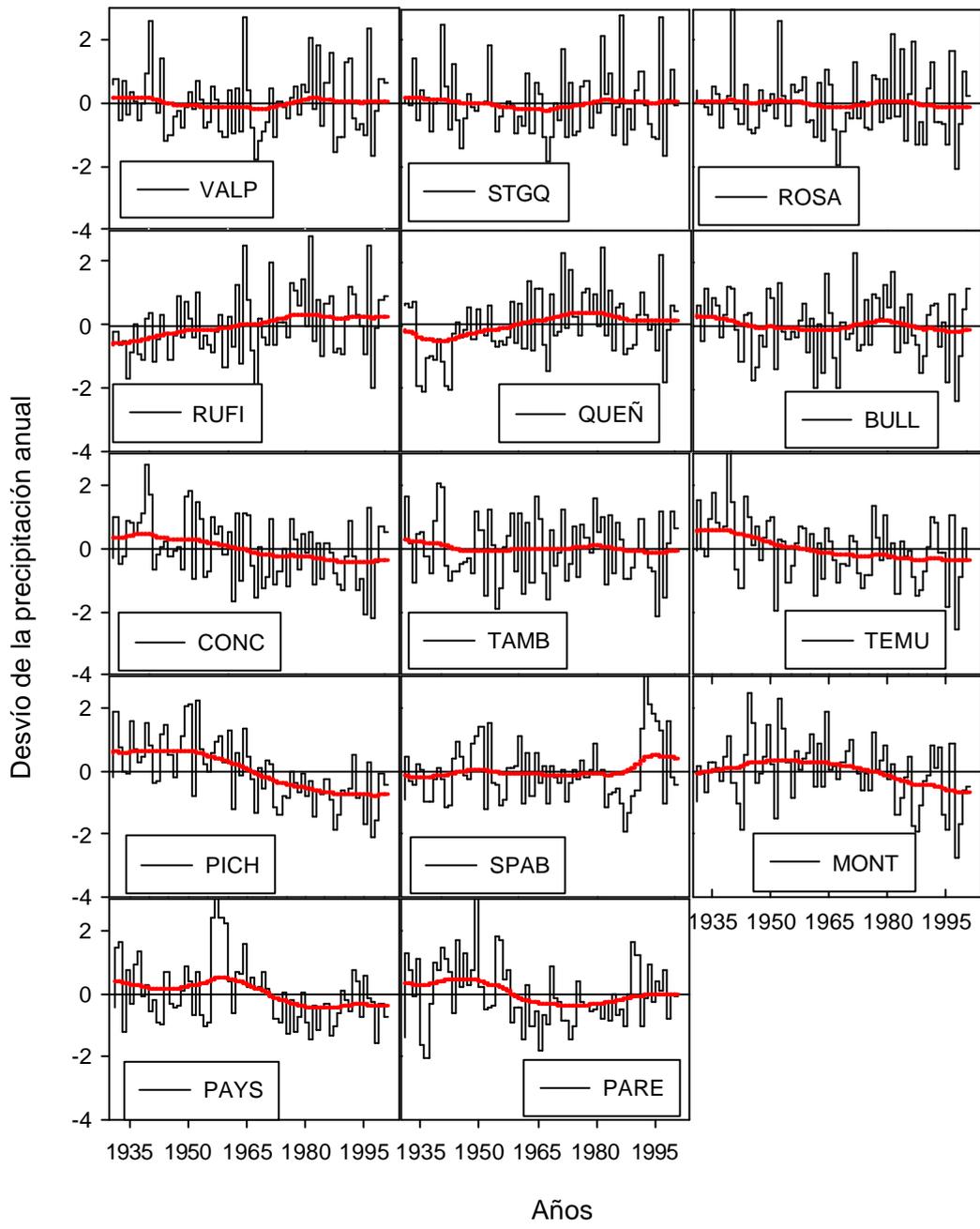


Figura 24. Variaciones de la precipitación anual, período 1931-2001.  
 (La línea de tendencia corresponde a un filtro exponencial de Essenwanger (1986))

El Cuadro 19 muestra la matriz de correlación de la precipitación anual del período 1931-2001. Las estaciones ubicadas entre Valparaíso a los 33° S y Pichoy a los 39° S se encuentran significativamente correlacionadas entre ellas con algunas excepciones. Otro grupo correlacionado son las estaciones Temuco, Pichoy, Puerto Montt y Puerto Aysén. Por último, en el extremo Sur la estación Punta Arenas (PARE) no se correlaciona con ninguna estación.

Los patrones espaciales (Figura 25) indican similares resultados con las precipitaciones individuales y regionales. El PC1 anual con un 49% de explicación de la varianza, reúne a las estaciones meteorológicas ubicadas entre los 33° y 38° S, indicando gran homogeneidad en la variación de la precipitación de las estaciones Valparaíso (VALP), Carmen de las Rosas (ROSA), Bullileo (BULL), Concepción (CONC) y el Tambillo (TAMB) con pesos muy significativos (superiores a 0,75). El PC2 (18% de explicación de la varianza) muestra un límite norte sur con el peso mayor en la estación Puerto Aysén. Y, finalmente el PC3, con un 8% de varianza explicada no es significativo para ninguna estación.

Cuadro 19. Matriz de correlación de la precipitación anual, periodo 1931-2001 ( $p < 0,05$ ).

	VALP	STGQ	ROSA	RUFI	QUEÑ	BULL	CONC	TAMB	TEMU	PICH	SPAB	MONT	PAYS	PARE
STGQ	<b>0,83</b>	1												
ROSA	<b>0,83</b>	<b>0,89</b>	1											
RUFI	<b>0,70</b>	<b>0,68</b>	<b>0,71</b>	1										
QUEÑ	<b>0,49</b>	<b>0,54</b>	<b>0,53</b>	<b>0,82</b>	1									
BULL	<b>0,69</b>	<b>0,61</b>	<b>0,71</b>	<b>0,72</b>	<b>0,55</b>	1								
CONC	<b>0,64</b>	<b>0,53</b>	<b>0,66</b>	<b>0,51</b>	<b>0,33</b>	<b>0,76</b>	1							
TAMB	<b>0,69</b>	<b>0,56</b>	<b>0,70</b>	<b>0,64</b>	<b>0,51</b>	<b>0,79</b>	<b>0,84</b>	1						
TEMU	<b>0,51</b>	<b>0,39</b>	<b>0,51</b>	<b>0,38</b>	<b>0,22</b>	<b>0,68</b>	<b>0,80</b>	<b>0,71</b>	1					
PICH	<b>0,32</b>	<b>0,28</b>	<b>0,41</b>	<b>0,26</b>	<b>0,14</b>	<b>0,54</b>	<b>0,74</b>	<b>0,54</b>	<b>0,76</b>	1				
SPAB	<b>0,12</b>	<b>0,12</b>	<b>0,12</b>	<b>0,39</b>	<b>0,30</b>	<b>0,32</b>	<b>0,25</b>	<b>0,30</b>	<b>0,41</b>	<b>0,36</b>	1			
MONT	<b>0,22</b>	<b>0,15</b>	<b>0,29</b>	<b>0,35</b>	<b>0,32</b>	<b>0,48</b>	<b>0,55</b>	<b>0,47</b>	<b>0,66</b>	<b>0,71</b>	<b>0,41</b>	1		
PAYS	<b>-0,12</b>	<b>-0,15</b>	<b>-0,03</b>	<b>-0,10</b>	<b>-0,06</b>	<b>0,07</b>	<b>0,27</b>	<b>0,20</b>	<b>0,31</b>	<b>0,49</b>	<b>0,21</b>	<b>0,40</b>	1	
PARE	<b>-0,11</b>	<b>-0,10</b>	<b>-0,11</b>	<b>-0,14</b>	<b>-0,20</b>	<b>-0,04</b>	<b>0,07</b>	<b>-0,02</b>	<b>0,11</b>	<b>0,24</b>	<b>0,13</b>	<b>0,12</b>	<b>0,15</b>	1

En rojo: Coeficiente de correlación ( $r$ ) significativo ( $p < 0,05$ ).

Cuadro 20. Matriz de Componentes Principales (PC) de la precipitación anual, período 1931-2001.

Est.	Anual			Primavera <sup>(1)</sup>			Verano <sup>(2)</sup>			Otoño <sup>(3)</sup>			Invierno <sup>(4)</sup>			Período de crecimiento <sup>(5)</sup>	
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2
	VALP	0,80	-0,39	-0,24	0,76	-0,47	-0,05	-0,61	0,59	-0,35	0,73	-0,50	0,80	-0,37	0,23	0,75	-0,42
STGQ	0,75	-0,46	-0,19	0,72	-0,55	-0,14	-0,50	0,82	-0,08	0,73	-0,40	0,77	-0,42	0,18	0,72	-0,48	
ROSA	0,84	-0,34	-0,22	0,71	-0,52	0,05	-0,60	0,73	-0,16	0,83	-0,40	0,84	-0,36	0,18	0,75	-0,41	
RUFI	0,79	-0,38	0,35	0,85	-0,30	0,00	-0,72	0,44	0,24	0,88	-0,27	0,79	-0,40	-0,29	0,78	-0,34	
QUEÑ	0,63	-0,38	0,51	0,85	-0,26	-0,14	-0,78	0,40	0,22	0,78	-0,27	0,66	-0,35	-0,39	0,78	-0,25	
BULL	0,89	-0,05	-0,01	0,90	-0,04	-0,05	-0,87	-0,04	0,22	0,89	-0,15	0,85	-0,03	-0,09	0,83	-0,08	
CONC	0,87	0,23	-0,26	0,85	0,20	0,06	-0,89	-0,21	0,05	0,89	0,03	0,85	0,18	0,23	0,79	0,31	
TAMB	0,88	0,03	-0,08	0,88	0,02	0,12	-0,73	-0,25	0,18	0,91	-0,12	0,87	0,05	0,13	0,77	0,03	
TEMU	0,78	0,41	-0,14	0,81	0,43	-0,01	-0,79	-0,41	0,11	0,80	0,39	0,76	0,42	0,06	0,67	0,51	
PICH	0,67	0,61	-0,14	0,66	0,58	0,08	-0,81	-0,39	-0,02	0,79	0,49	0,66	0,57	0,05	0,53	0,65	
SPAB	0,41	0,32	0,65	0,48	0,52	-0,16	-0,72	-0,36	0,06	0,66	0,31	0,46	0,33	-0,55	0,27	0,60	
MONT	0,60	0,53	0,23	0,44	0,72	-0,02	-0,74	-0,43	0,01	0,76	0,46	0,54	0,60	-0,19	0,34	0,77	
PAYS	0,17	0,71	0,04	0,19	0,66	-0,17	-0,42	-0,40	-0,63	0,43	0,63	0,10	0,67	-0,13	0,14	0,59	
PARE	-0,01	0,47	-0,19	0,19	0,04	0,95	-0,38	-0,12	-0,56	0,27	0,51	0,12	0,44	0,58	0,25	0,19	
P.Tot. <sup>(6)</sup>	49	18	8	50	20	7	49	20	8	58	15	48	17	8	41	21	

(1) pp de septiembre + pp octubre + pp noviembre

(2) pp de diciembre del año "n" + pp de enero del año "n+1" + pp de febrero del año "n+1"

(3) pp de marzo + pp de abril + pp de mayo

(4) pp de junio + pp de julio + pp de agosto

(5)  $\Sigma$  pp de septiembre del año "n" a pp de marzo del año "n+1"

(6) Porcentaje del total de la varianza explicada

En rojo: Coeficiente de correlación (r) significativo ( $p < 0,05$ ).

a) PC1= 49%

b) PC2= 18%

c) PC3= 8%

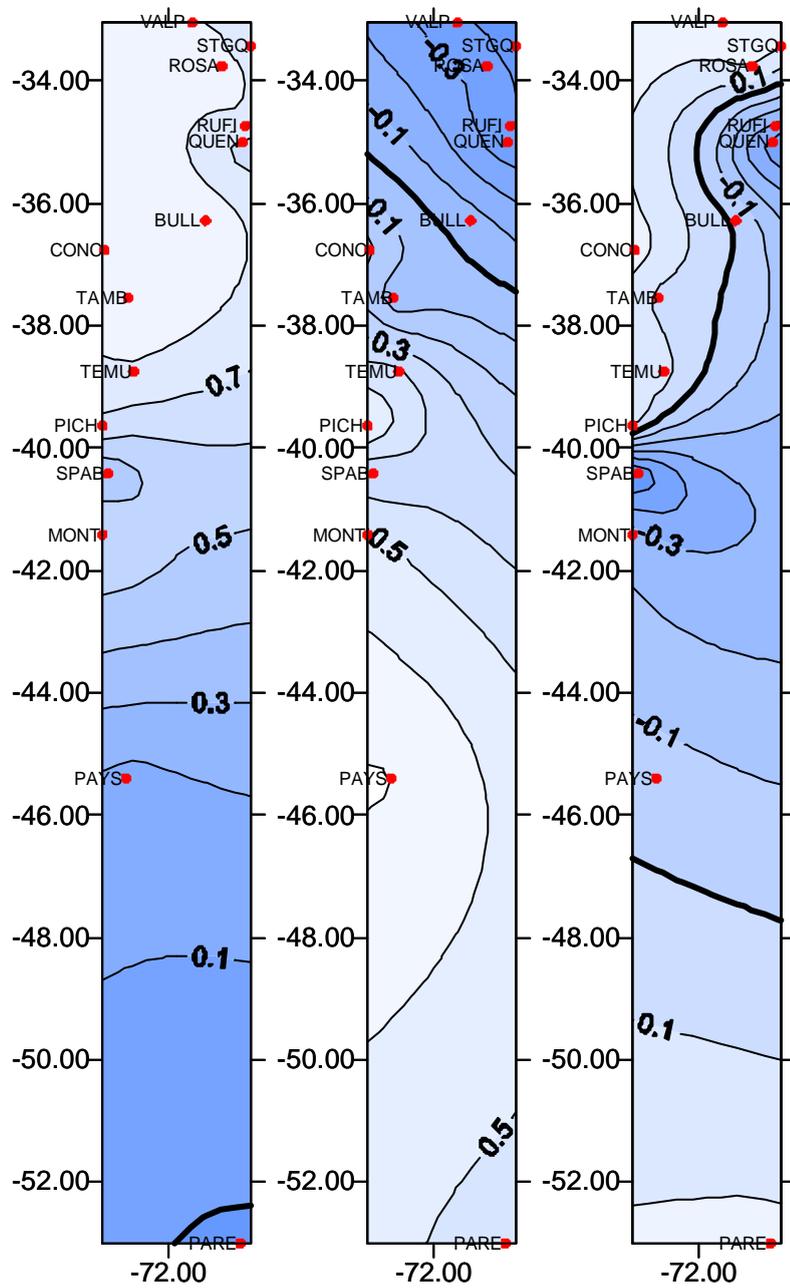


Figura 25. Patrones espaciales de la precipitación anual de 14 estaciones meteorológicas, período 1931-2001. (Valor 0 (cero) se destaca con línea gruesa)

Los patrones temporales del PC1 muestra una variación en torno a la media, explicada por la mayoría de las estaciones ubicadas entre Valparaíso (VALP) y Temuco (TEMU) que son las que le tienen los pesos altos. El PC2, en cambio, señala una fuerte tendencia a la disminución desde el año 1966 (Figura 22) dado por las estaciones Puerto Montt (MONT) a Puerto Aysén (PAYS) que son las que presentan los valores más altos. En el PC3, la variación anual es al aumento, mientras que para primavera, verano e invierno es a la disminución. Esta diferencia ocurre ya que las curvas representan a distintas estaciones, es decir, que el PC3 anual, que se concentra en San Pablo (Figura 25c) muestra un aumento de la precipitación, mientras que el PC3 de primavera e invierno que se concentran en Punta Arenas (Cuadro 20) señala una disminución de las precipitaciones.

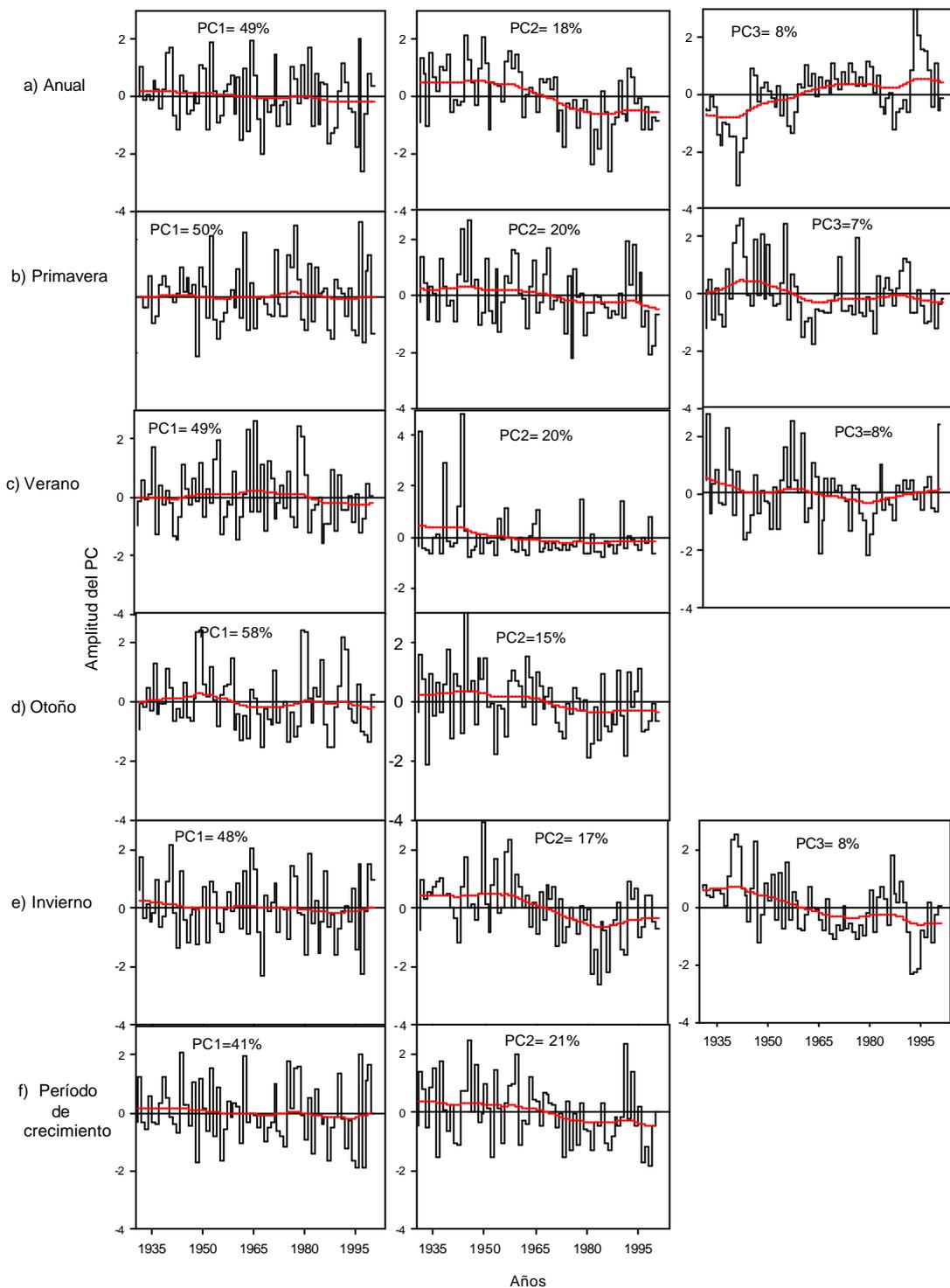


Figura 26. Amplitud de los PCs resultante del análisis de componentes principales sobre la precipitación a) anual, b) primavera, c) verano, d) otoño, e) invierno y f) período de crecimiento, de 71 años, período 1931-2001. (La línea de tendencia corresponde a un filtro exponencial de Essenwanger (1986))

## 5. DISCUSIÓN

En esta tesis se presenta la mayor recopilación de series climáticas provenientes de registros instrumentales realizada en Chile hasta la fecha. Esta recopilación cuenta con un total de 18 series de temperaturas medias mensuales y 54 de precipitación mensual, actualizadas al año 2001, las cuales se encontraban completas o fueron completadas con los métodos usados en los análisis de series climatológicas que considera el relleno estadístico de datos faltantes cuando las estaciones vecinas cumplen con las condiciones de representar gráficamente la misma tendencia de distribución y tienen una correlación "r" igual o superior a 0,9 para un período de tiempo común. Las series que cumplieron con estas condiciones fueron completadas con el método de rectas de regresión o el de las tendencias, descritos en el punto 3.2.4 de la metodología.

Estas series abarcan 37 años en el caso de las temperaturas y hasta 71 años en el de precipitación de estaciones meteorológicas ubicadas entre los 33° y 53° S. Comparado con los períodos, densidad de estaciones y rango latitudinal usados por otros estudios como los de Rosenblüth *et al.* (1997) y Villalba *et al.* (en prensa), este estudio también deja zonas descubiertas entre los 47° y 52° S, donde existen estaciones, pero los archivos son demasiado cortos o fragmentados para su uso en este estudio. Por otro lado, el presente análisis mejora la resolución espacial y confiabilidad de los datos ya que es realizado con un mayor número de series, a una escala de tiempo más corta, actualizado al año 2001 y geográficamente muy completa entre los 33° y 41° S.

Se realizaron análisis considerando todas las series seleccionadas y se compararon con los resultados de los promedios regionales para ver el efecto de la concentración de estaciones en un área versus una distribución más homogénea. Finalmente, se seleccionaron 14 series de precipitación con 71

años de registros, período 1931-2001, se determinaron los patrones espaciales y temporales y se compararon con los obtenidos en 40 años (período 1962-2001).

Las estadísticas utilizadas para caracterizar la temperatura media mensual y la precipitación mensual fueron la media, desviación estándar, coeficiente de variación, correlación y el análisis de componentes principales.

### **5.1 Temperatura media**

Los patrones de temperatura son muy influenciados por la latitud y la altitud (Miller, 1976). La temperatura media anual en las estaciones del norte del área de estudio (33° a 36°S) está sobre los 12°C mientras que al Sur de los 45°S es menor a 6°C (Cuadros 2 y 4). Los resultados indican, además, una tendencia lineal de la temperatura media anual con la altitud hasta Puerto Montt (MONT) a los 41°26'S (Figuras 3 y 4).

Por otro lado, el coeficiente de variación (c.v.), muestra una tendencia muy leve al aumento con la altitud. Las mayores variaciones de temperatura media mensual se encuentran en las estaciones meteorológicas ubicadas a mayor elevación. Las estaciones meteorológicas Balmaceda (BALM), Rungue (RUNG) y Embalse Ancoa (ANCO) ubicadas a 520; 750 y 410 msnm respectivamente presentan c.v. superiores a 6,9%, en tanto las estaciones Valparaíso (VALP), Temuco (TEMU) y Osorno (OSOR) ubicadas a 41; 114 y 65 msnm respectivamente presentan c.v. inferiores a 3,3% (Cuadro 2 y 4).

Las mayoría de las estaciones están altamente correlacionadas entre sí, lo que da cuenta de una gran homogeneidad en la variación interanual de la temperatura media. Las excepciones son la estación Diguillín (DIGI), que a diferencia del resto, presenta temperaturas altas en el período 1969-1971 y Coyhaique (COYH), Balmaceda (BALM) y Punta Arenas (PARE) cuyas

temperaturas obedecen a otro modo de variación ya que están correlacionadas entre si pero no con la mayoría de estaciones ubicadas entre los 33° y 40° S (Figura 5 y Quadro 5).

Todas las estaciones meteorológicas ubicadas al norte de los 41°S indican una tendencia al calentamiento, el cual es más evidente a partir del año 1977. Las estaciones que muestran un mayor calentamiento son Rungue (RUNG), Santiago-Quinta Normal (STGQ), Santiago-Los Cerrillos (STGC) y Diguillín (DIGI). Este cambio climático alrededor del año 1976 es un rasgo bien establecido en la literatura para el área geográfica entre los 37° y 43° de latitud Sur (Ebbesmeyer *et al.*, 1991; Graham, 1994; citado por Villalba *et al.*, en prensa). También está presente en el Índice de Oscilación del Sur como un cambio a valores negativos persistentes durante una década o más (Trenberth, 1990; citado por Villalba *et al.*, en prensa). Rosenblüth *et al.* (1997) describen las temperaturas a lo largo de la costa de Chile como extraordinariamente calurosas a partir de 1976 comparando los últimos 80 años de su estudio y Villalba *et al.* (en prensa) indican que la temperatura del verano siguiente al año 1976 es más acentuada que cualquier otra estación del año y es la principal responsable de éste cambio climático.

En Puerto Montt a los 41°26'S se observan tres tendencias de temperatura. Una tendencia clara al enfriamiento en los períodos 1965-1976 y 1983-1990, un calentamiento en el período 1977-1983 y una oscilación en torno a la media en el período 1990-2001. Estos enfriamientos también han sido observados por Rosenblüth *et al.* (1997) en Valdivia (39°48'S) y Temuco (38°45'S) y por Villalba *et al.* (en prensa) en Puerto Montt.

Al Sur de los 45°S se observa una tendencia de la temperatura en torno a la media con un período claro que tiende al calentamiento entre 1971-1983 el que es más evidente en Punta Arenas a los 53°S. Rosenblüth *et al.* (1997) encontraron para Punta Arenas un enfriamiento pronunciado entre 1991-1992,

particularmente durante los meses del invierno, que coincide con las erupciones de los cerros Pinatubo y Hudson en junio y agosto de 1991, respectivamente. Este enfriamiento no es evidente en este estudio.

En cuanto a los Patrones Espaciales presentados en la Figura 6, los primeros tres componentes explican un 82% de la varianza. El primer componente (PC1) con un 58% de la varianza explicada, indica una gran homogeneidad en la variabilidad interanual de las temperaturas medias, principalmente de las estaciones ubicadas entre los 33° y 42° S. Los componentes obtenidos, con autovalores mayores a 1 y todos con valores positivos que varían entre 0,37 y 0,9 muestran que todas las estaciones utilizadas en el análisis de la temperatura media anual contribuyen a la formación del primer componente (Cuadro 6). Las estaciones con pesos más significativos son Valparaíso (VALP), Santiago-Quinta Normal (STGQ), Santiago-Los Cerrillos (STGC), Curicó, (CURI), Concepción (CONC), Temuco (TEMU), Pichoy (PICH), Valdivia-Isla Teja (TEJA), Osorno (OSOR) y Puerto Montt (MONT).

El PC2, en cambio, con un 18% de explicación de la varianza, muestra un gradiente norte-sur, empezando con valores negativos en la porción norte para aumentar y tornarse positivos (línea 0 aproximadamente entre los 38° y 39° S) y alcanzar valores significativos en Coyhaique (COYH) y Balmaceda (BALM) (Figura 6b).

Los dos primeros componentes coinciden con los encontrados por Villalba *et. al.* (en prensa). En su estudio, ellos describen al primer componente como el que abarca la variabilidad en temperatura para el clima mediterráneo templado con invierno lluvioso a lo largo de la costa del Pacífico y en el segundo como el patrón del Sur del Pacífico costero que representa bien una mezcla de climas más fríos con lluvia distribuida a lo largo del año.

Finalmente, el PC3, con un 6% de explicación de la varianza, indica una división diagonal Nor-Oeste (influencia oceánica) y Sur-Este (influencia continental).

Referente a los patrones espaciales de los promedios regionales de temperatura media (Punto 4.2.3) se observan similares tendencias a las encontradas en los análisis con todas las estaciones meteorológicas (Puntos 4.2.1 y 4.2.2).

Los patrones temporales muestran una tendencia al incremento en las temperaturas medias anuales, tanto en el análisis con las estaciones individuales (Figura 7) como en los promedios regionales de temperatura (Figura 11). El PC1, que está correlacionado positivamente con las estaciones que muestran un incremento de las temperaturas (33° a 41°S) (Cuadro 6), está indicando un calentamiento en la zona norte a partir del año 1977. Este resultado coincide con el calentamiento en la zona norte (29°54' a 33°01'S) reportado por Rosemblyth *et al.* (1997) para el período 1976-1988.

El PC2 (Figura 7b), que está correlacionado positiva y significativamente con las estaciones Coyhaique (COYH), Balmaceda (BALM) y Punta Arenas (PARE) indica una tendencia al enfriamiento, resultado para Punta Arenas que es contrario a lo presentado por Aravena *et al.* (2001) en su trabajo sobre reconstrucción de temperatura en base a cronologías de *Nothofagus pumilio* en la Patagonia Austral de Chile. Los autores muestran que durante la mayor parte del siglo 19 las temperaturas mínimas anuales de Punta Arenas permanecieron por debajo del promedio y aumentaron a valores que fluctuaron sobre la media durante el período 1900-1960, seguido por una clara tendencia sobre la media para el período posterior a 1963. Rosemblyth *et al.* (1997) también encuentran una tendencia al calentamiento entre Aysén y Punta Arenas en el período 1976-1988. Boninsegna *et al.* (1989) en su reconstrucción de la temperatura de verano, usando cuatro cronologías de *Nothofagus pumilio* de Tierra del Fuego (52°-54° S), también encontró una tendencia creciente al calentamiento durante

las últimas décadas. Estas diferencias se deben, probablemente, a los distintos períodos analizados y a que Aravena *et al.* (2001) consideran temperaturas mínimas y no temperaturas medias. Además, los estudios mencionados anteriormente son de una mayor escala de tiempo, pero cubren como máximo el año 1996. El presente estudio analiza 37 años pero actualizado al 2001 y por lo tanto considera períodos que los otros estudios no cubren y que están mostrando, para la zona Sur (41° a 53° S), tendencias al enfriamiento y no un calentamiento como lo indican los estudios citados.

Por otro lado, en este estudio, las estaciones ubicadas entre los 37° y 43° de Latitud Sur también muestran el enfriamiento de la temperatura anual encontrado por Villalba *et al.* (1996) y Rosenblüth *et al.* (1997) entre los años 1950 y 1976, seguido de un período de mayores temperaturas entre 1977 y 2001 (Figura 7).

El PC3, correlacionado negativa y significativamente con la estación Diguillín (DIGI) muestra un incremento en la temperatura media anual (Figura 7). En los promedios regionales (Figura 11) el PC3 tiene un autovalor menor a 1 por lo que no es significativo.

Entre los 33° y 41° S, el período más frío ocurre entre los años 1965-1976. A partir del año 1977, las temperaturas suben sobre la media y aumentan ligeramente en el tiempo hasta alcanzar un máximo en el período 1997-1999 (Figuras 7 y 11). Contrario a lo anterior, entre los 45° y 53° S, se produce primero un período cálido, sobre la media, entre los años 1965-1982 y luego un período frío a partir del año 1983.

A nivel estacional, mientras en verano y primavera las temperaturas medias muestran un fuerte incremento a partir del año 1976, en otoño e invierno se observan valores en torno a la media. Sin embargo, en otoño también se observa un fuerte incremento en la temperatura, pero a partir del año 1977.

Esto daría señales, que posiblemente el cambio climático del año 1976, descrito por varios autores (Ebbesmeyer *et al.*, 1991; Graham, 1994; Trenberth, 1990; Rosenblüth *et al.*, 1997; Aravena *et al.*, 2001; Villalba *et al.*, en prensa) ocurrió entre septiembre de 1976 (inicio del verano de 1976) y mayo de 1977 (término del otoño de 1977).

## 5.2 Precipitación

Los factores que definen anualmente el ciclo estacional de las precipitaciones son el anticiclón subtropical del Pacífico suroriental y la circulación de los vientos del oeste, donde se forman y desarrollan los sistemas frontales y sus bajas presiones asociadas. El primero corresponde a un área de altas presiones de manera casi permanente durante todo el año, presente en la zona norte y central de Chile, con fluctuaciones en su ubicación norte-sur durante el invierno (30° a 35° S) y el verano (35° a 40° S). El segundo factor está determinado por el desplazamiento de las bandas frontales del oeste que ocurren con mayor frecuencia en períodos de invierno, entre abril y septiembre y que aportan más del 70% de la cantidad de precipitación anual (Quinteros, 1999).

Al igual que en las temperaturas, los patrones de precipitación están influenciados por la latitud y altitud, dando origen a dos gradientes de humedad. La primera es el aumento en precipitación norte sur que se refleja por una disminución de la influencia mediterránea hacia el sur, siendo el aumento de la precipitación de verano la principal responsable del aumento de la precipitación anual en las estaciones del sur (Miller, 1976). El segundo gradiente de humedad corresponde al aumento de precipitación con la altitud y alcanza un máximo a la Cordillera Andina, donde es, por lo menos, tres a cuatro veces mayor que en el Valle Central a la misma latitud (Miller 1976). Entre los 33° y 43° S las precipitaciones aumentan linealmente con la latitud con una correlación de  $r=0,7\%$  (Figura 12). En esta misma zona la variación de la precipitación anual disminuye exponencialmente con la latitud (Figura 13). Al

sur de los 44° S, en las estaciones transandinas de Coyhaique, Chile Chico, Balmaceda (45°-46° S) y también más al Sur en Punta Arenas (53° S), las precipitaciones disminuyen fuertemente por tratarse de estaciones ubicadas al este de la Cordillera de los Andes en el área de sombra de lluvia (Figura 12) y aumenta la variabilidad (Figura 13). En relación a la altitud, se aprecia una relación directa muy leve con las precipitaciones (Figura 14).

La precipitación anual, para el período 1962-2001, va desde los 290 mm a los 3.087 mm anuales (Cuadro 11). Las estaciones meteorológicas ubicadas entre los 33° y 39°28' S muestran oscilaciones en torno a la media con variaciones interanuales muy similares. Entre los 39°38' y 46°32' se observa una disminución en las precipitaciones con excepción de las estaciones San Pablo (SPAB) y Ensenada (ENSE) ubicadas a los 40°25' y 41°12' respectivamente. Por último, en Punta Arenas (PARE) a los 53°S las precipitaciones muestran una marcada tendencia al incremento (Figura 15).

En cuanto a los patrones espaciales (Figura 16), los primeros tres componentes principales explican un 77% de la varianza. El primer componente, con un 61% de la varianza explicada, indica que la precipitación anual en Chile está caracterizada por una gran homogeneidad en la variación interanual, con correlaciones significativas (0,99% a 0,40%) entre las estaciones meteorológicas con influencia oceánica ubicadas en el norte y centro del área de estudio entre los 33° y 41° de latitud Sur (Cuadro 12 y Anexo 4). Los menores valores, cercanos a cero, están en el extremo sur del área de estudio. El valor 0 (cero), que puede ser interpretado como un límite entre climas, se localiza cercano a la estación PARE (Punta Arenas). El segundo componente, que explica el 12% de la varianza reúne las estaciones transandinas, ubicadas alrededor de los 45° S, indicando una diferencia entre la zona norte respecto al centro-sur con un límite a los 37° S con la carga positiva más alta sobre Punta Arenas (PARE). Por último, el PC3 está caracterizado por las estaciones Coyhaique y Chile Chico, las cuales aunque no alcanzan valores significativos,

muestran una disminución muy marcada en las precipitaciones e indican una división diagonal Nor-Oeste (influencia oceánica) y Sur-Este (influencia continental). Comparado con los patrones espaciales de los promedios regionales de precipitación (Figura 20) y de la precipitación anual de 71 años, período 1931-2001 (Figura 25), estos presentan similares resultados, con la excepción del PC3, que en los promedios regionales está caracterizado por la estación Punta Arenas (PARE) y en el período 1931-2001 está caracterizado por San Pablo (SPAB).

Respecto a los Patrones Temporales (Figura 17), el PC1, con valores significativos entre los 33° y 41° S, está indicando una oscilación de la precipitación anual en torno a la media. Este patrón podría estar asociado con la estabilidad en el período en que influye la posición del Anticiclón del Pacífico Sur en las precipitaciones en dicho rango de latitud. El PC2 y PC3 muestran una disminución en las precipitaciones anuales, caracterizados por las estaciones Puerto Aysén, (PAYA), Coyhaique (COYH), Balmaceda (BALM) y Chile Chico (CHIC).

Los patrones temporales de los promedios regionales de precipitación (Figura 21) y de la precipitación anual de 71 años, período 1931-2001 (Figura 26), presentan similares resultados, con la excepción del PC3 anual, que en los promedios regionales está caracterizado por la estación Punta Arenas (PARE), la que muestra un incremento en las precipitaciones y en el período 1931-2001 está caracterizado por la estación San Pablo (SPAB), que indica una oscilación en torno a la media con un marcado incremento a partir del año 1992.

Pese a la tendencia general de las estaciones ubicadas al norte de los 40° S de oscilar en torno a la media, existen períodos comunes en que muestran otros modos de variación. En todas las estaciones ubicadas entre los 33° y los 38° S existe un período común entre los años 1968-1982 que muestra un incremento bien pronunciado en las precipitaciones, con el valor más bajo 2 puntos bajo la

media en el año 1968, hasta el año 1982 donde alcanza 2 puntos sobre la media (Figura 15).

En el contexto de 71 años, los promedios de precipitación del período 1931-2001 son, levemente superiores a los del período 1962-2001 (Cuadros 11 y 19). Esta diferencia en los valores medios de la precipitación produjo los cambios en las curvas de tendencias y por lo tanto en las amplitudes. Por otro lado, mientras que en el análisis del período 1962-2001 las estaciones La Rufina (RUF), Concepción (CONC) y Temuco (TEMU) oscilan en torno a la media, al analizar el período de 71 años (1931-2001) la curva de La Rufina tiende al aumento mientras que las de Concepción y Temuco muestran una disminución (Figuras 15 y 24).

El año de mayores precipitaciones en 71 años de registros es 1997, seguido del año de mayor sequía (1998) (Figura 26). En forma individual (Figura 24), las estaciones presentan diferencias en cuanto a los años con mayores precipitaciones de acuerdo a la latitud. Los años más húmedos son 1941 (para las estaciones ubicadas alrededor de los 33°S), 1982 y 1997 (para las estaciones entre 34°-35°S), 1940 (para las estaciones entre 36°-38°S) y 1953 (para las estaciones entre 39°-41°S). La sequía de 1998 está explicada por la precipitación de invierno cuya variación fue de más de dos puntos bajo la media (Figura 26). Por otro lado, la sequía de 1968, descrita por Urrutia *et al.* (1993) como muy fuerte para ciertas localidades pero que sólo abarcó las regiones III a VI, aparece en este estudio como la segunda mayor sequía en 71 años de registros, lo que indica que afectó más al sur que la VI Región. En cuanto a la sequía de 1943, que abarcó desde la VII a la X Región (Urrutia *et al.*, 1993) aún cuando se evidencia en las estaciones meteorológica ubicadas entre los 35° y 45° S, sólo en la estación Los Queñes (QUEÑ) a los 35° S se observa como el año más seco de los 71 años analizados.

Los resultados mencionados anteriormente son coincidentes con los encontrados por Lara *et al.* (2001) donde realizaron una reconstrucción de las precipitaciones en Los Andes centrales (35° - 38° S) para el período 1837-1996 a partir de una cronología de *Nothofagus pumilio*. En ese trabajo, los autores describen el año 1941 dentro del período más húmedo de los 160 años analizados. Similares resultados son encontrados por Villalba *et al.* (1998) quienes desarrollaron una reconstrucción de las precipitaciones a partir de una cronología de *Austrocedrus chilensis* para el ecotono seco bosque-estepa en el norte de la Patagonia Argentina, coincidiendo en el año 1943 como uno de los de mayor sequía y el año 1941 entre los más húmedos. El año 1998, descrito en esta tesis como el de mayor sequía en 71 años analizados, a la fecha no ha sido reportado en una reconstrucción dendrocronológica. Se espera que este resultado sea confirmado en futuras investigaciones de reconstrucción climática, para lograr un mejor entendimiento de la variación del clima, sus patrones y causas asociadas.

## **6. CONCLUSIONES**

En esta tesis se presenta la mayor recopilación de series climáticas provenientes de registros instrumentales realizada en Chile hasta la fecha y actualizadas al año 2001. Se analizan 18 series de temperatura y 57 de precipitación. Estas series se seleccionaron principalmente por estar vigentes al año 2001, tener registros mínimos de 37 años en temperatura o 40 años en precipitación, ser continuas en el tiempo y lo más completas posible, con 6 meses de datos por año ausentes como máximo y estar disponibles para la realización de esta tesis. Esta recopilación es geográficamente muy completa (33°-53° S), dejando descubierta las zonas entre los 47° y 52° S debido a la falta de registros continuos y vigentes en esa área.

Se analizan 37 años en el caso de las temperaturas y hasta 71 años en el de precipitación de estaciones meteorológicas ubicadas entre los 33° y 53° S. Comparado con estudios anteriores, se mejora la resolución espacial y confiabilidad de los datos ya que es realizado con un mayor número de series, actualizado al año 2001 y geográficamente muy completa. No obstante, el período analizado es más breve que otros estudios anteriores.

### **6.1 Temperatura media**

Los rangos de temperatura media anual van desde los 14,5° C en Rungue (RUNG) hasta los 5,9° C en Punta Arenas (PARE) e indican una tendencia lineal con la latitud hasta Balmaceda (BALM). Las mayores variaciones de temperatura media mensual se encuentran en las estaciones meteorológicas ubicadas a mayor altitud.

La alta correlación entre las estaciones meteorológicas ubicadas al norte de 41°S da cuenta de una gran homogeneidad en la variación interanual de la temperatura media.

Las estaciones ubicadas entre los 37° y 43° de Latitud Sur también muestran el enfriamiento de la temperatura anual entre los años 1950 y 1976, descrito por muchos autores, los períodos más fríos ocurren entre los años 1965-1976. A partir del año 1977 la tendencia en esta zona es al calentamiento y alcanza un máximo en el período 1997-1999.

Las estaciones que muestran un mayor calentamiento son Rungue (RUNG), Santiago-Quinta Normal (STGQ), Santiago-Los Cerrillos (STGC) y Diguillín (DIGI).

En Puerto Montt a los 41°26' S se observan tres tendencias de temperatura. Una tendencia clara al enfriamiento en los períodos 1965-1976 y 1983-1990, un calentamiento en el período 1977-1983 y una oscilación en torno a la media en el período 1990-2001.

Entre los 45° y 53° S, se produce primero un período cálido, sobre la media, entre los años 1965-1982, que es más evidente en Punta Arenas y luego un período frío a partir del año 1983.

En cuanto a los Patrones Espaciales, los primeros tres componentes explican un gran porcentaje de la varianza (82%). El primer componente (PC1) indica una gran homogeneidad en la variabilidad interanual de las temperaturas medias entre las estaciones que se ubican entre los 33° y 42° S. El PC2, muestra un gradiente norte-sur, empezando con valores negativos en la porción norte para aumentar y tornarse positivos y significativos en Coyhaique (COYH) y Balmaceda (BALM). Finalmente, el PC3, indica una división diagonal Nor-Oeste (influencia oceánica) y Sur-Este (influencia continental). Los promedios regionales de temperatura media indican similares tendencias.

Los patrones espaciales para la temperatura media anual encontrados en ésta tesis coinciden con las tendencias encontradas por Villalba *et. al.* (en prensa). En su

estudio, ellos describen al primer componente como el que abarca la variabilidad en temperatura para el clima mediterráneo templado con invierno lluvioso a lo largo de la costa del Pacífico y en el segundo como el patrón del Sur del Pacífico costero que representa bien una mezcla de climas más fríos con lluvia distribuida a lo largo del año.

Los patrones temporales muestran una tendencia al incremento en las temperaturas medias anuales, tanto en el análisis con las estaciones individuales como en los promedios regionales de temperatura.

El PC2 indica una tendencia al enfriamiento, para las estaciones Coyhaique (COYH), Balmaceda (BALM) y Punta Arenas (PARE). Este resultado es contrario a otros estudios realizados en la misma zona. Estas diferencias se deben, probablemente, a los distintos períodos analizados y la diferencia en las variables y escala de tiempo.

El PC3, correlacionado negativa y significativamente con la estación Diguillín (DIGI) muestra un incremento en la temperatura media anual.

A nivel estacional, mientras en verano y primavera las temperaturas medias muestran un fuerte incremento a partir del año 1976, en otoño e invierno se observan valores en torno a la media. Sin embargo, en otoño también se observa un fuerte incremento en la temperatura, pero a partir del año 1977. Esto daría señales, que posiblemente el cambio climático del año 1976, descrito por varios autores, ocurrió entre septiembre de 1976 (inicio del verano de 1976) y mayo de 1977 (término del otoño de 1977).

## 6.2 Precipitación

Entre los 33° y 43° S las precipitaciones aumentan linealmente con la latitud con una correlación de  $r=0,7\%$ . En esta misma zona la variación de la precipitación anual disminuye exponencialmente con la latitud.

Al sur de los 44° S, en las estaciones transandinas de Coyhaique, Chile Chico, Balmaceda y Punta Arenas (45° - 53° S), las precipitaciones disminuyen fuertemente por tratarse de estaciones ubicadas al este de la Cordillera de los Andes en el área de sombra de lluvia y aumenta la variabilidad.

En relación a la altitud, se aprecia una relación directa muy leve con las precipitaciones.

La precipitación anual, para el período 1962-2001, va desde los 290 mm a los 3.087 mm anuales. Las estaciones meteorológicas ubicadas entre los 33° y 39°28' S muestran oscilaciones en torno a la media con variaciones interanuales muy similares. Entre los 39°38' y 46°32' se observa una disminución en las precipitaciones. En Punta Arenas (PARE) a los 53°S las precipitaciones muestran una marcada tendencia al incremento.

En cuanto a los patrones espaciales, los primeros tres componentes principales explican un 77% de la varianza. El primer componente, indica que la precipitación anual en Chile está caracterizada por una gran homogeneidad en la variación interanual, con correlaciones significativas ( $r= 0,99\%$  a  $0,40\%$ ) entre las estaciones meteorológicas, con influencia oceánica, ubicadas en el norte y centro del área de estudio entre los 33° y 41° de latitud Sur. El segundo componente, indica una diferencia entre la zona norte respecto al centro-sur con un límite a los 37° S con la carga positiva más alta sobre Punta Arenas (PARE). El PC3 muestra una disminución muy marcada en las precipitaciones e indican una división diagonal Nor-Oeste (influencia oceánica) y Sur-Este (influencia continental).

Respecto a los Patrones Temporales, el PC1, con valores significativos entre los 33° y 41° S, está indicando una oscilación de la precipitación anual en torno a la media. El PC2 y PC3 muestra una disminución en las precipitaciones anuales, caracterizados por las estaciones Puerto Aysén, (PAYS), Coyhaique (COYH), Balmaceda (BALM) y Chile Chico (CHIC).

Los patrones temporales de los promedios regionales de precipitación y de la precipitación anual de 71 años, período 1931-2001, presentan en general similares tendencias que las descritas para el período 1962-2001.

Pese a la tendencia general de las estaciones ubicadas al norte de los 40° S de oscilar en torno a la media, existen períodos comunes en que muestran otros modos de variación. En todas las estaciones ubicadas entre los 33° y los 38° S existe un período común entre los años 1968-1982 que muestran un incremento bien pronunciado en las precipitaciones, con el valor más bajo 2 puntos bajo la media en el año 1968, hasta el año 1982 donde alcanza 2 puntos sobre la media (Figura 15).

En el contexto de 71 años, los promedios de precipitación del período 1931-2001 son, levemente superiores a los del período 1962-2001.

El año con mayores precipitaciones anuales en 71 años (período 1931-2001) fue el año 1997 seguido del año más seco (1998) el cual se extendió desde los 33° hasta 41° S.

## 7. RESUMEN

En Chile, los registros instrumentales raramente exceden los 100 años. La falta de una base de registros meteorológicos largos, completos, vigentes y geográficamente continuos constituye la mayor limitación para caracterizar apropiadamente las variabilidad climática natural en escala de décadas a siglos. En esta tesis se informa sobre la recopilación, validación, llenado y análisis de los patrones espaciales y temporales de 18 series de temperatura y 57 series de precipitación provenientes de registros instrumentales de estaciones ubicadas en Chile entre los 33° y 53° S. Se analizan 37 años en el caso de las temperaturas y hasta 71 años en el de precipitación.

Los patrones espaciales de la temperatura media anual indican para el PC1 una gran homogeneidad en la variabilidad interanual de las estaciones ubicadas en las costas del Océano Pacífico al norte de los 43° S. Este patrón abarca la variabilidad en temperatura para el clima mediterráneo templado con invierno lluvioso a lo largo de la costa del Pacífico. El PC2, en cambio, muestra un gradiente norte-sur, empezando con valores negativos en la porción norte para aumentar y tornarse positivos y alcanzar valores significativos al Sur de los 45° S. Estos resultados coinciden plenamente con los encontrados por Villalba *et al.* (en prensa).

Todas las estaciones meteorológicas ubicadas al norte de los 41°S indican una tendencia al calentamiento, los períodos más fríos ocurren entre los años 1965-1976. A partir del año 1977, las temperaturas suben sobre la media y aumentan ligeramente en el tiempo hasta alcanzar un máximo en el período 1997-1999. Por otro lado, al sur de los 45° y hasta los 53° S, la tendencia es al enfriamiento, con un período cálido, sobre la media, entre los años 1965-1982 y luego un periodo frío a partir del año 1983.

A nivel estacional, mientras en verano y primavera las temperaturas medias muestran un fuerte incremento a partir del año 1976, en otoño e invierno se observan

valores en torno a la media. Sin embargo, en otoño también se observa un fuerte incremento en la temperatura, pero a partir del año 1977. Esto daría señales, que posiblemente el cambio climático del año 1976, descrito por varios autores, ocurrió entre septiembre de 1976 (inicio del verano de 1976) y mayo de 1977 (término del otoño de 1977).

En cuanto a las precipitaciones, los patrones espaciales indican para el PC1 que la precipitación anual en Chile está caracterizada por una gran homogeneidad en la variación interanual, entre las estaciones meteorológicas, con influencia oceánica, ubicadas en el norte y centro del área de estudio entre los 33° y 41° de latitud Sur. El segundo componente, reúne las estaciones transandinas, ubicadas alrededor de los 45° S e indican una diferencia entre la zona norte respecto al centro-sur con un límite a los 37° S con la carga positiva más alta sobre Punta Arenas (PARE).

Respecto a los Patrones Temporales, el PC1 muestra valores significativos entre los 33° y 41° S y está indicando una oscilación de la precipitación anual en torno a la media. El PC2 y PC3 muestra una disminución en las precipitaciones anuales, caracterizados por las estaciones ubicadas al sur de los 45°S.

En el contexto de 71 años, los promedios de precipitación del período 1931-2001 son, levemente superiores a los del período 1962-2001. Mientras que la estación La Rufina tiende al aumento, Concepción, Temuco Pichoy y Puerto Montt muestran una marcada disminución.

El año con mayores precipitaciones anuales fue el año 1997 y el de mayor sequía 1998.

## 7. SUMMARY

Meteorological instrumental records in Chile rarely exceed 100 years. The lack of a long, complete, up-dated and continuous meteorological data base is one of the main limitants to characterise natural climatic variability of the last decades and centuries. This thesis presents the compilation, validation and analysis of the spatial and temporal patterns of 18 complete temperature series for the last 37 years, and 57 complete precipitation series for the last 71 years. These records were compiled from meteorological stations located in Chile between 33° and 53° S.

The spatial patterns for mean annual temperature indicate that PC1 presents a high homogeneity in the interannual variability of the stations located north of 43° S on the Pacific Ocean coast. This pattern covers the temperature variability for a Mediterranean-temperate type of climate, with rainy winters along the Pacific coast. Conversely, PC2 shows a north – south gradient, with negative values in the northernmost portion, increasing and turning to positive significant values south of 45° S. These results coincide with those presented by Villalba *et al.* (in press).

All the meteorological stations located north of 41°S show a warming trend, with a cold period between 1965-1976. The temperature starts to rise above the mean as from 1977, and reaches a maximum in the period 1997-1999. On the other hand, between 45° and 53° S, there is a cooling trend, with a warm period with values above the mean between 1965-1982, and then a cool period as from 1983.

In a seasonal level, the mean temperatures in summer and spring show a strong increment since 1976, and in autumn and winter values vary around the mean. However, there is a strong rise in temperature in autumn, but since 1977. This could be indicating that the climatic change of the year 1976 described by several authors, took place between September 1976 (beginning of summer 1976) and May 1977 (end of autumn 1977).

The spatial patterns for precipitation show that the first principal component indicates that annual precipitation in Chile is characterised by a great homogeneity in the interannual variation among the meteorological stations with oceanic influence, located in the north and central portions of the study area, between 33° and 41° S. The PC2 groups the Andean stations, located around 45° S, and shows a difference between the northern area and the central-south area, with a limit at 37° S, with the highest positive values for Punta Arenas (PARE).

The temporal patterns show that PC1 presents significative values between 33° and 41° S, and indicates that annual precipitation varies around the mean. PC2 and PC3 show a decrease in annual precipitation, characterised by the stations located south of 45°S.

Taking into account the 71-year period, the mean precipitation values for the period 1931-2001 are slightly higher than those for the period 1962-2001. While the La Rufina station shows an increasing trend, Concepción, Temuco, Pichoy and Puerto Montt show a marked decreasing trend.

The year with the highest annual precipitation was 1997, followed by the driest year, 1998.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Aceituno P. 1976. Métodos de análisis de series climatológicas. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geofísica. (apuntes para un curso).
- Aceituno P., H. Fuenzalida y B. Rosenblüth. 1993. Climate along the extratropical West Coast of South América. En: Earth systems responses to global change. HA Mooney, ER Fuentes y B. I. Kronberg (eds). Academic Press, New York. pp. 365.
- Aravena J. C., A. Lara, A. Wolodarsky-Franke, R. Villalba y E. Cuq. 2002 Tree-ring growth patterns and temperature reconstruction from *Nothofagus pumilio* (Fagaceae) forests in the upper tree line of southern Chilean Patagonia. Revista Chilena de Historia Natural. 75: 361-376.
- Blasing T.J., A. M. Solomon y D. N. Duvick. 1984. Response function revisited. Tree-Ring Bulletin, 44:1-15.
- Boninsegna J. A., J. Keegan, G. C. Jacoby, R. D. D'Arrigo R. L. Holmes. 1990. Dendrochronological studies in Tierra del Fuego, Argentina. Quaternary South American Antarctic Peninsula 7:315-326.
- Bradley, R. S. 1990. Global changes of the past. UCAR/office for Interdisciplinary Earth Sciences, Boulder, Colorado.
- Cook E. R., T. Bird, M. Peterson, M. Barberty, B. M. Buckley, R. D. D'Arrigo y R. Francey. 1992. Climatic change over the last millennium in Tasmania reconstructed from tree-rings. The Holocene 2: 205-217.
- Essenwanger, O. 1986. Elements of Statistical Analysis. World Survey of Climatology, Vol. 1B, Elsevier, Amsterdam, 424 pp.
- Ferodov A. V. & Philander, S. G. 2000. Is El NIÑO changing?. Science 280: 1997-2002.
- Fritts, H.C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press, London, England.
- Fuenzalida P. H. 1950. Clima. En geografía económica de Chile. Tomo I. Corporación de fomento de la producción. Editorial Universitaria. Santiago. Chile.
- Glantz M. 1998. Corrientes de cambio: El impacto de "El NIÑO" sobre el clima y la sociedad. Oficina de asistencia para desastres. The United Agency for International Development como contribución al año internacional del oceano. pp. 141.

- Graham N. E. 1995. Simulation of recent global temperature trends. *Science* 267: 666-671.
- Jones P. D., R. S. Bradley y J. Jouzel. 1996. Climatic variations and forcing mechanism of the last 2000 years. NATO ASI Series, Springer.
- Jones P. D., M. New, D. E. Parker, S. Martin & I.G. Rigor. 1999. Surface air temperature and its changes over the past 150. Years. *Rev. Geophys.* 37, 173-199. INTERNET <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info>. (mayo 20, 2002).
- Lara A. y R. Villalba. 1993. A 3620-year temperature record from *Fitzroya cupressoides* tree rings in southern South América. *Science*: 260: 1104-1106.
- Lara A., J. C. Aravena, R. Villalba, A. Wolodarsky-Franke, B. Luckman y R Wilson. 2001. Dendroclimatology of high-elevation *Nothofagus pumilio* forests at their northern distribution limit in the central Andes of Chile. *Canadian Journal of Forest Research* 31:925-936.
- Lozan J., H. GraBl, P. Hupfer. 2001. Climate of the 21st century: Changes and Risks. *Wissenschaftliche Auswertungen*. Germany. Pp 448.
- Miller A. 1976. The climate of Chile. In W. Schwerdtfeger, (ed), *World Survey of Climatology. Climates of Central and South America*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 12,113-131.
- Pittock, 1980. Patterns of climatic variation in Argentina and Chile – I. Precipitation, 1931-60. *Monthly Weather Review*, 108, 1347-1361.
- Pla L. 1986. Análisis multivariado: Método de componentes principales. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C. EE.UU.
- Quinn W. H, V. T. Neal, and S. Antunez de Mayolo. 1987. El Niño occurrences ever the past four and a half centuries. *Jour. Geophys. Res.*, 93 (C13): 14449-14461.
- Quintana, J. 1999. La sequía en Chile y el fenómeno de la NIÑA. [http://www.meteorologos.cl/juan\\_quintana.htm](http://www.meteorologos.cl/juan_quintana.htm) (septiembre 23, 2002)
- Romero H. 1985. Geografía de Chile. Instituto Geográfico Militar. Tomo XI Geografía de los Climas.
- Rosenblüth B., H. A. Fuenzalida y P. Aceituno. 1997. Recent temperature variations in southern South America. *International Journal of Climatology* 17: 67-85.
- Urrutia R. y C. Lanza. 1993. Catástrofes en Chile 1541-1992. Santiago. Editorial La Noria.

- Villalba R. 1990. Climatic fluctuations in Northern Patagonia in the last 1000 years as inferred from tree-ring records. *Quaternary Research* 34: 346-360.
- Villalba R., E. Cook, G. Jacoby, R. D'Arrigo, T. Veblen and P. Jones. 1998. Tree-ring based reconstructions of northern Patagonian precipitation since AD 1600. *Holocene*, 8:659-675.
- Villalba R., J. A. Boninsegna, A. Lara, T. T. Veblen, F. Roig, J. C. Aravena y A. Ripalta. 1996. Interdecadal climatic variations in millennial temperature reconstructions from southern South America. *En Climatic variations and forcing mechanisms of the last 2000 years*. Jones, P. D., R. S. Bradley y J. Jouzel (eds.). NATO ASI Series, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp. 161-189.
- Villalba R., A. Lara, J. A. Boninsegna, M. Masiokas, S. Delgado, J. C. Aravena, F. Roig, A. Schmelter, A. Wolodarsky and A. Ripalta. Large-scale temperature changes across the southern Andes: 20th-century variations in the context of the past 400 years. *Climatic Change* (en prensa).
- Villalba R., A. Lara, J. A. Boninsegna y J. C. Aravena. Millennial temperature reconstructions in South America (en preparación).
- Wolodarsky-Franke A. 2002. Fluctuaciones ambientales de los últimos 1.000 años a partir de anillos de crecimiento de *Fitzroya cupressoides* ((Molina) Johnston) en el área del Volcán Apagado, Décima Región, Chile. Magíster en Ciencias con Mención en Ecología, Universidad Austral de Chile.

## Anexo 1

Detalle de los datos faltantes por estación meteorológica y la estación utilizada para el relleno de los datos.

Completación de series de temperatura a partir de estaciones vecinas.

Estación	Años con meses sin información	Estación vecina para relleno.
RUNG	1965, 1972, 1975, 1976	VALP
STGC	1973	STGQ
CURI	1961, 1979, 1997	CHIL
ANCO	1965, 1972, 1973, 2000	DIGI
CHIL	1965, 1996, 1998, 1999, 2001	CONC
QUIL	1965, 1977	DIGI
TEMU	1978	PICH
PICH	1965, 1968, 1971, 1972, 1977, 1997, 2001	TEJA
TEJA	1972	PICH
OSOR	1965, 1967, 1978, 1979, 1980, 1984, 1996, 2001	MONT
COYH	1968, 1969, 1980, 1987, 1999 (1 mes por año)	Media anual de COYH
BALM	1974 (agosto), 1998, 199, 2000	Media anual de BALM

Completación de series de precipitación partir de estaciones vecinas.

Estación	Años con meses sin información	Estación vecina para relleno.
VALP		RUNG
COLL		VALP
ODGA		STGQ
STGC		STGQ
ROSA	1962	RAPE
RAPE		ROSA
QUEÑ	1974	GUAL, CURI y RUF
GUAL	1963, 1976, 1979, 1981, 1988	QUEÑ, RUF
CBUN	1977, 1978	NIVI
MELO	1967, 1969	NIVI
NIVI	1963, 1965	GUAL
ANCO	1968, 1972, 1974, 1976, 1977	PERQ, DIGU
QLLA	1976, 1978, 1982, 1989, 2001	NIVI
DIGU	1975, 1976, 1979	ANCO
PERQ	1977, 1978, 1979	NIVI, ANCO

BULL	1998	SFAB
SFAB	1970, 1987, 1989, 1990	BULL
CHIL	1962, 1963, 1964, 1965, 1986	PNUE
PNUE	1973, 1976, 1977, 1996, 2000	CHIL
CITO	1966, 1976, 2001	PNUE
ATAC	1962, 1963, 1966, 1971	LORE, DIGI
LORE	1963, 1976, 1988, 1989, 1990, 1993, 1996	DIGI
QUIL	1972	CPAD
LUMA	1973	LORE
QLLE	1970	TEMU
VILL	1974, 1975, 1979	PICH
PURU	1934, 1935, 1964, 1968, 1969, 1974	PICH, VILL
PICH	1962, 1963, 1964, 1965	TEJA
RBUE	1964, 1966, 1974, 1976, 1977	OSOR, SPAB
SPAB	1968, 1970, 2001	RBUE
OSOR	1966	SPAB
PHUA	1975, 1999	SPAB, OSOR
QLLO	1963, 1989, 1994, 1995	Futaleufú
PAYS	1993, 2000, 2001	BALM

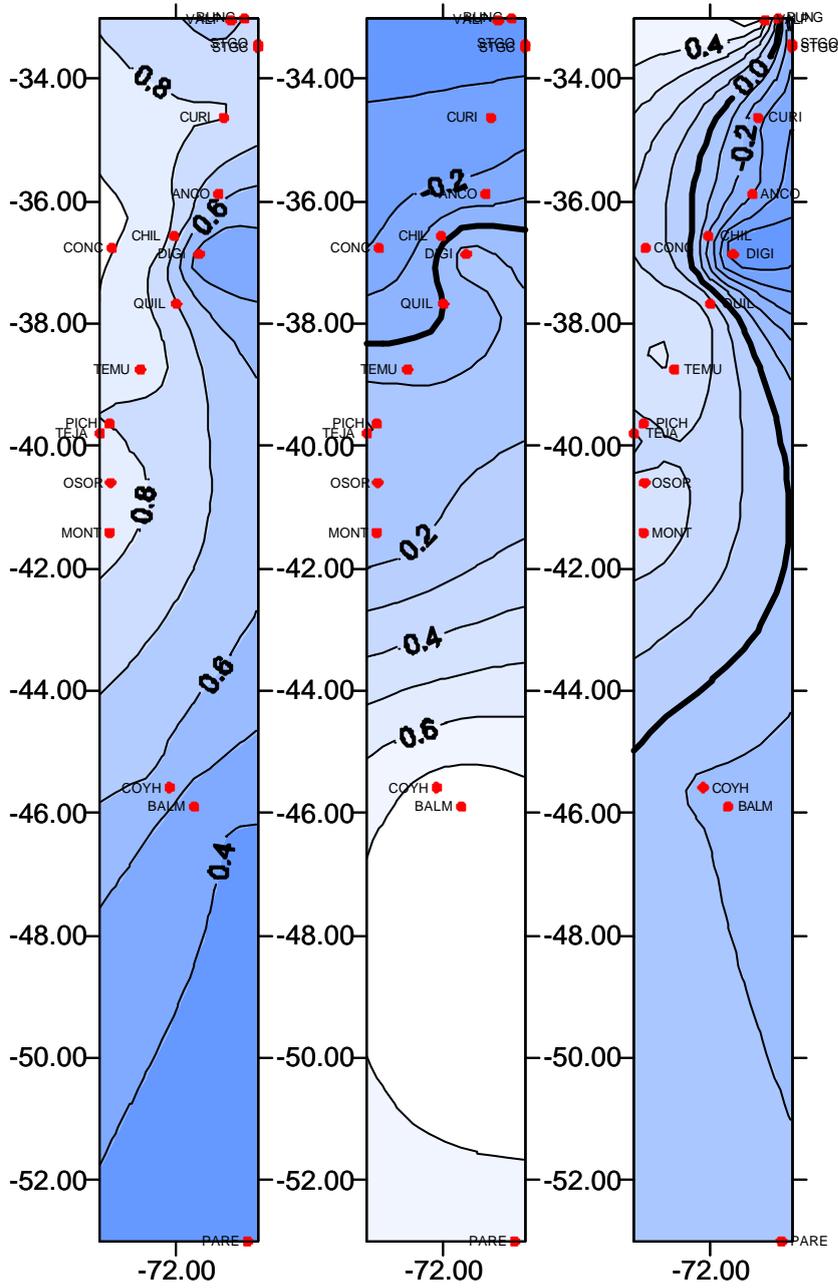
## Anexo 2

Mapas de isovalores de la temperatura media de primavera, verano otoño, invierno y período de crecimiento, período 1965-2001.

a) PC1= 54%

b) PC2= 14%

c) PC3= 9%



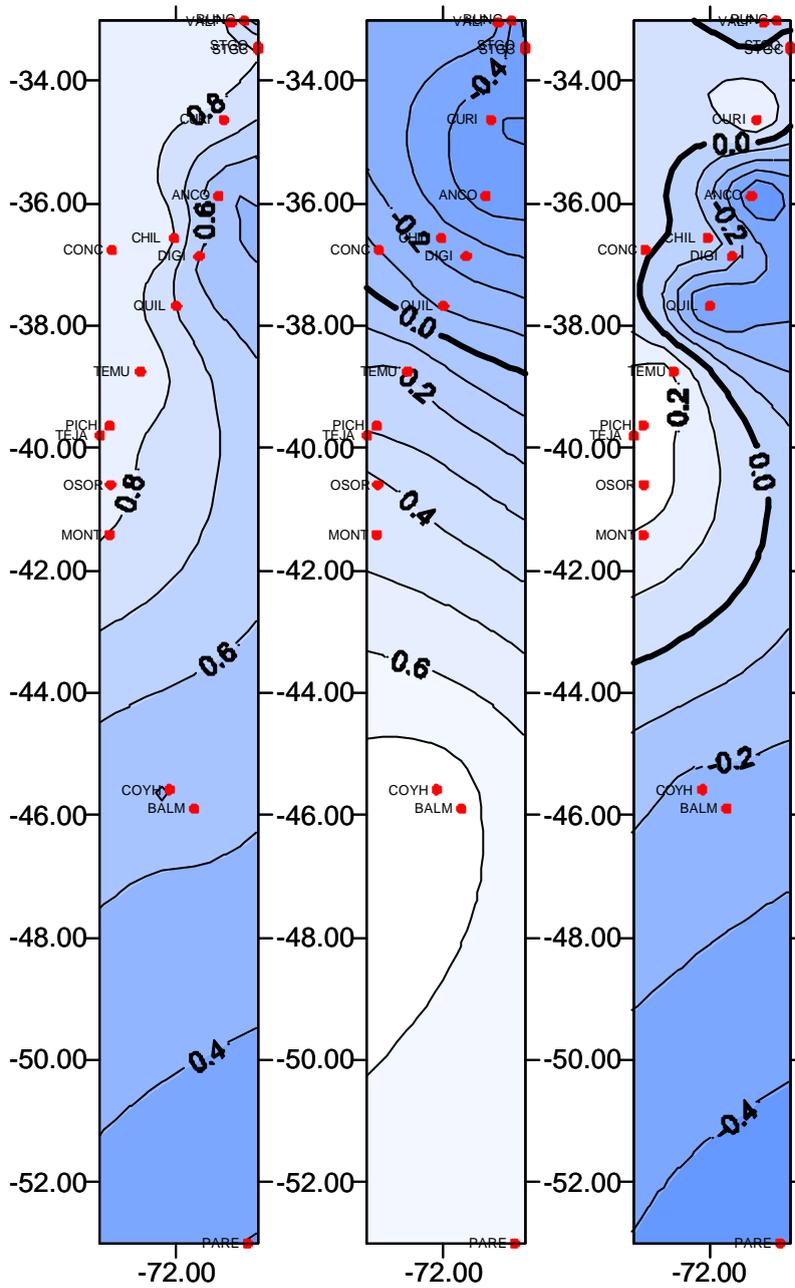
Patrones espaciales de la temperatura media de primavera de 37 años (período 1965-2001) de 18 estaciones meteorológicas.



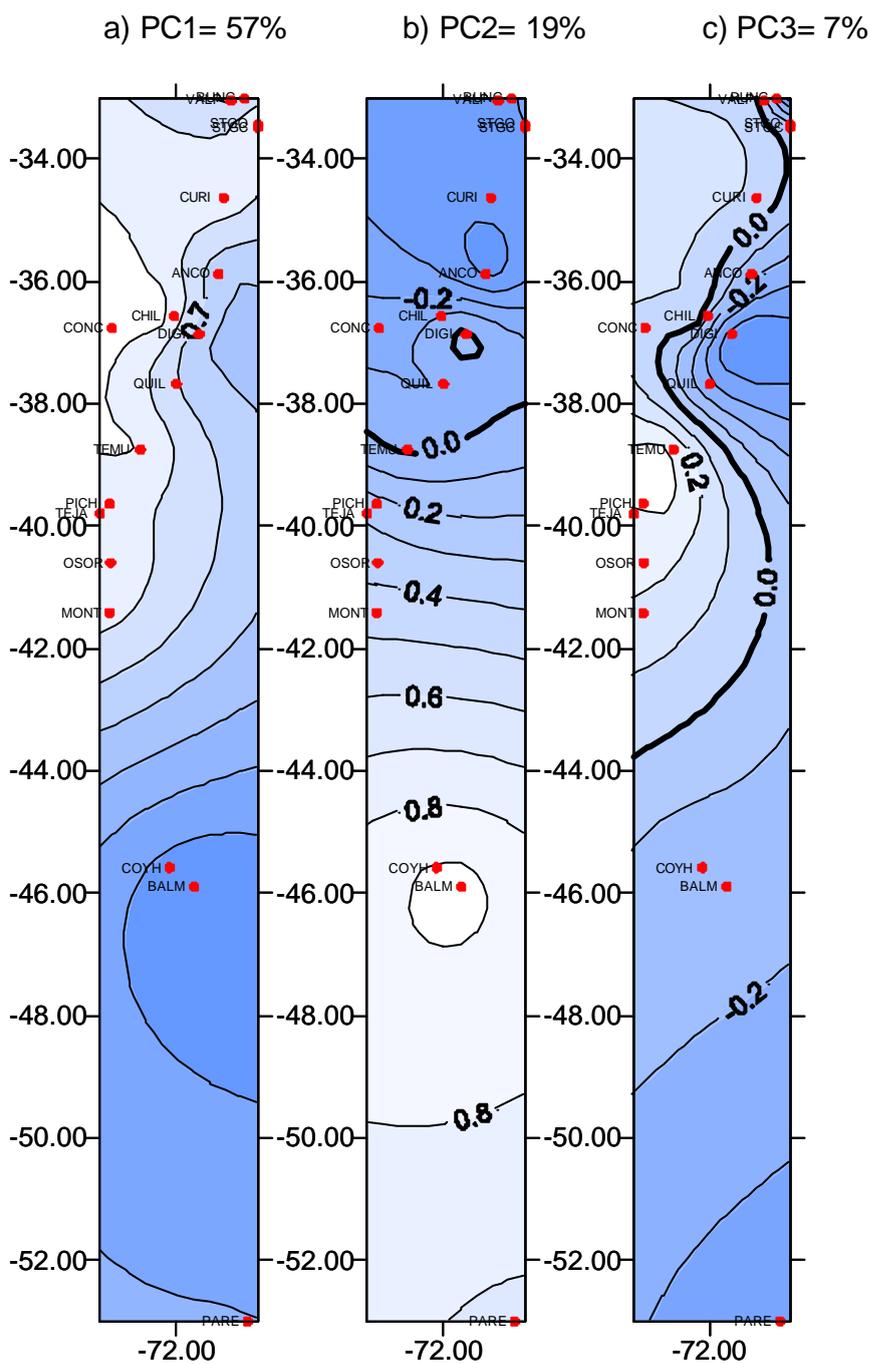
a) PC1= 52%

b) PC2= 19%

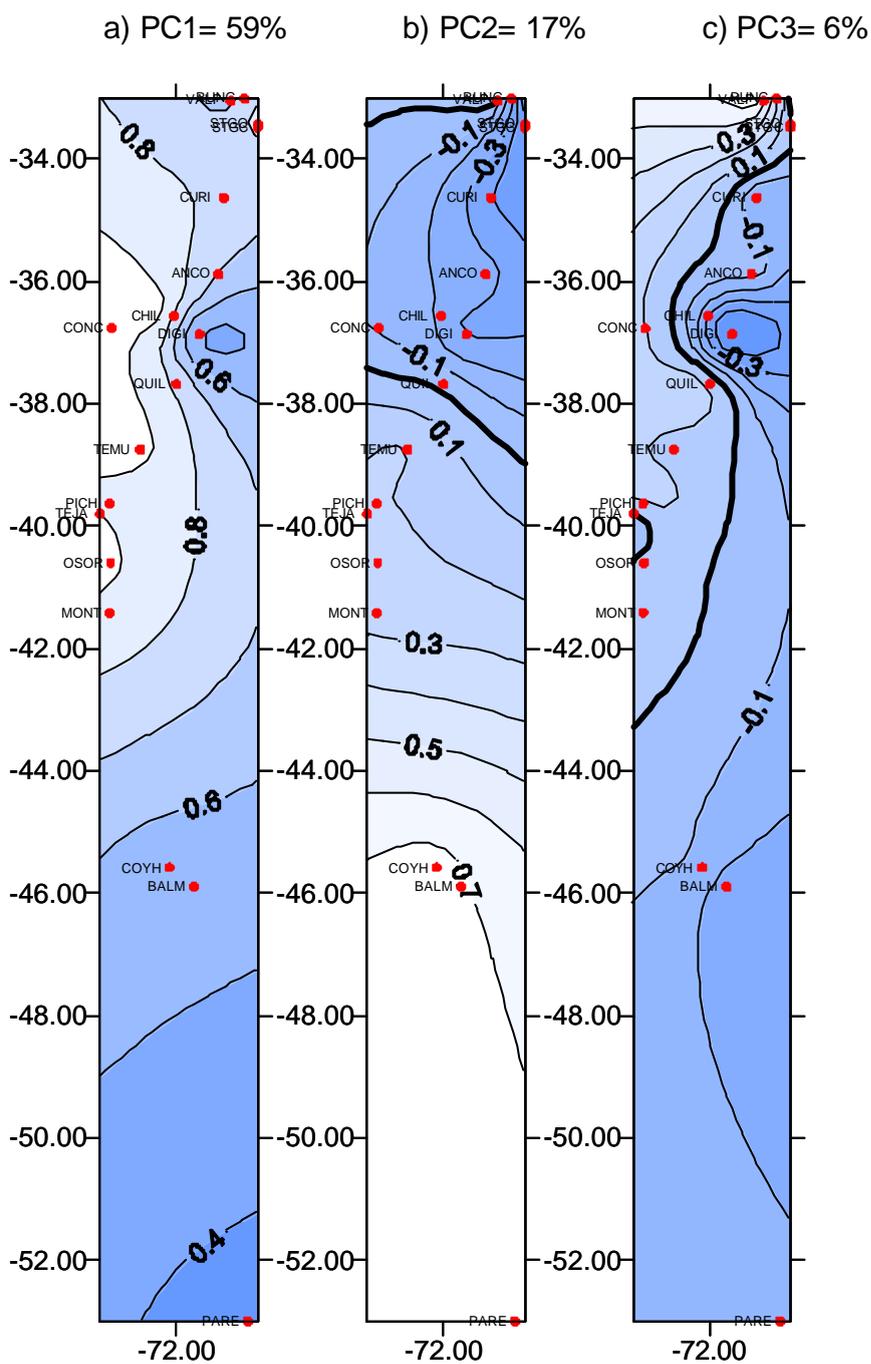
c) PC3= 7%



Patrones espaciales de la temperatura media de otoño de 37 años (período 1965-2001) de 18 estaciones meteorológicas.



Patrones espaciales de la temperatura media de invierno de 37 años (período 1965-2001) de 18 estaciones meteorológicas.

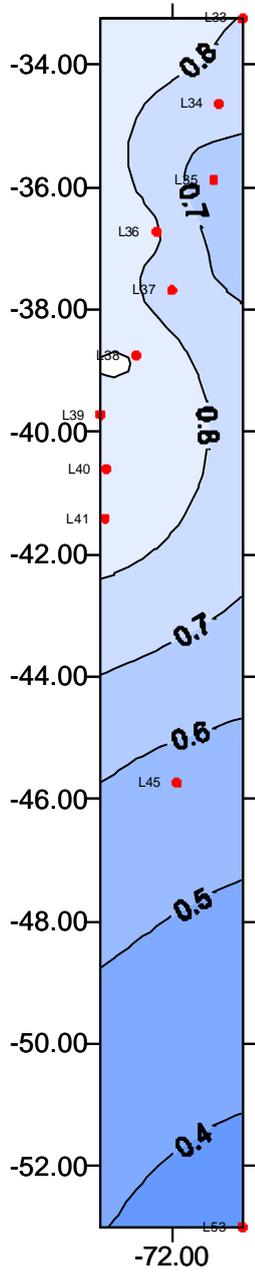


Patrones espaciales de la temperatura media del período de crecimiento de 36 años (período 1965-2000) de 18 estaciones meteorológicas.

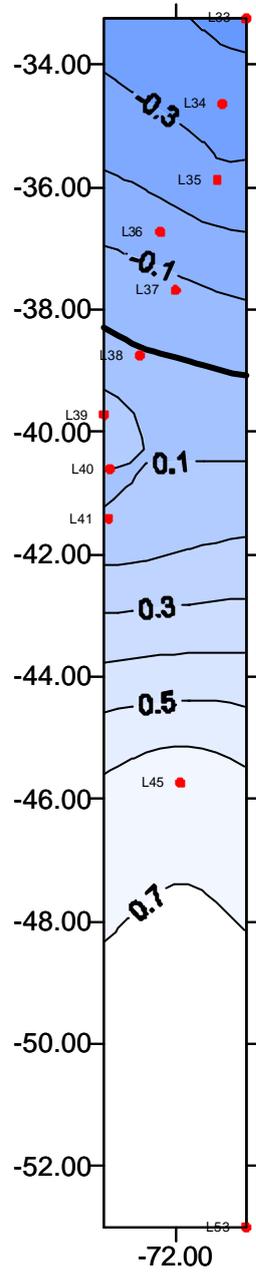
### Anexo 3

Mapas de isovalores de la temperatura regional de primavera, verano otoño, invierno y período de crecimiento, período 1965-2001.

a) PC1= 58%

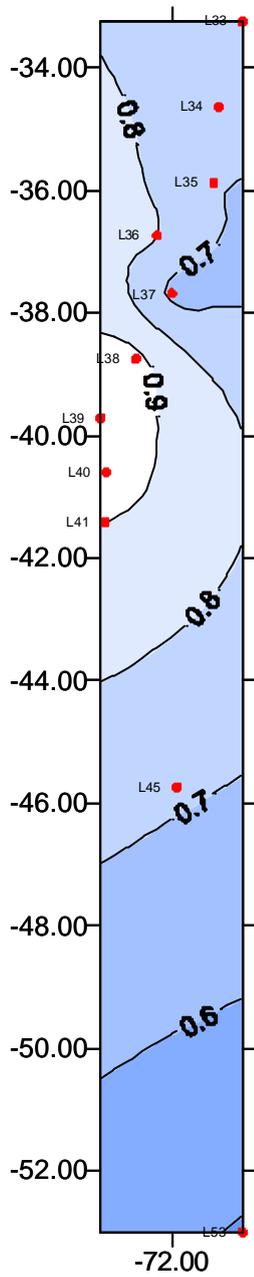


b) PC2= 14%

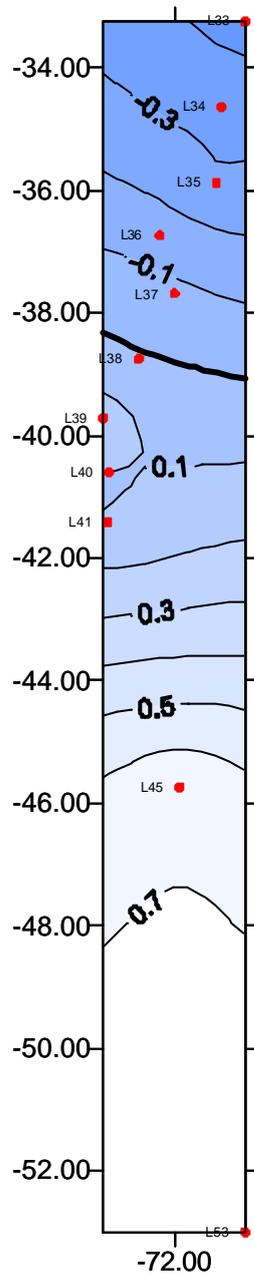


Patrones espaciales de los promedios regionales de la temperatura media de primavera, período 1965-2001.

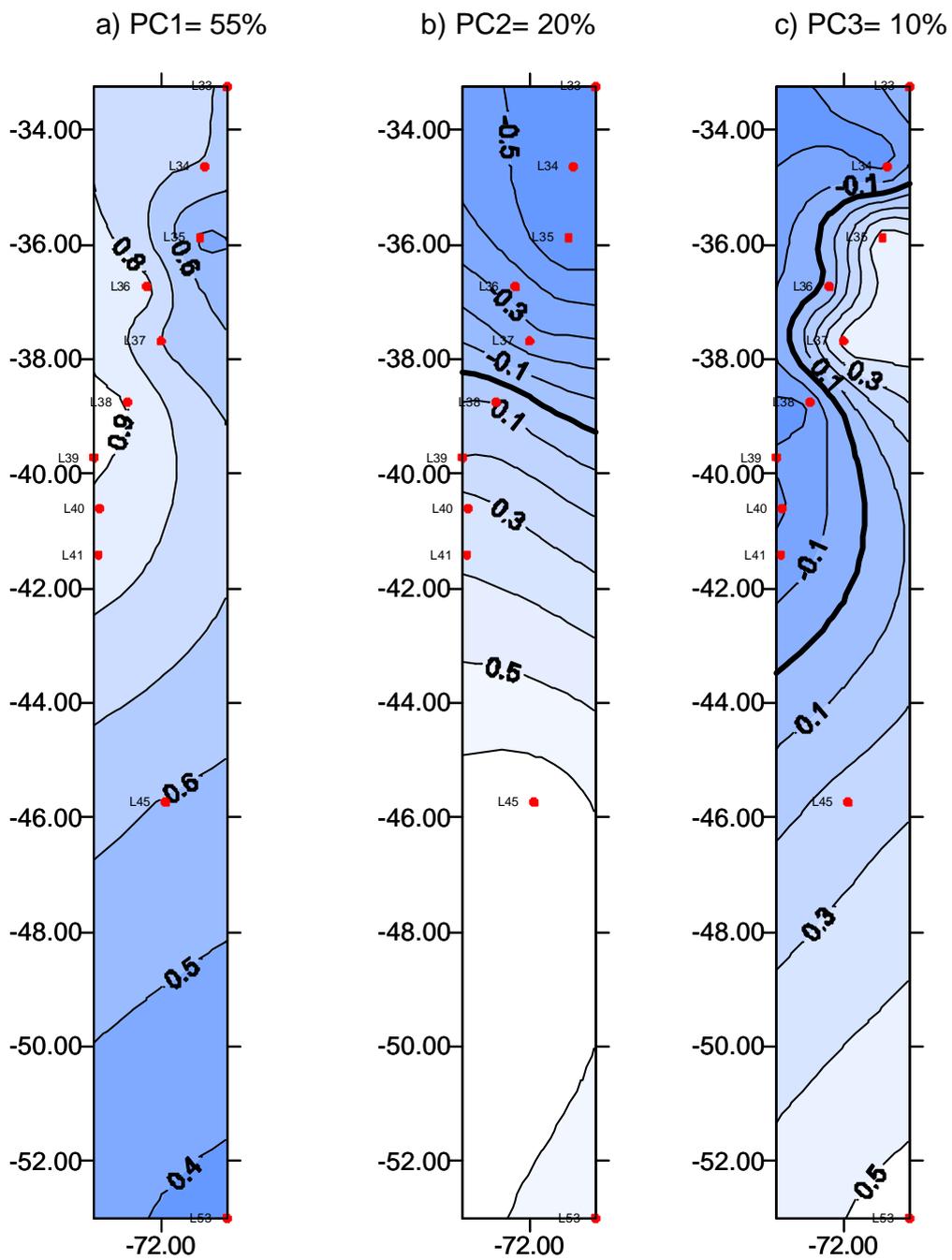
a) PC1= 63%



b) PC2= 16%

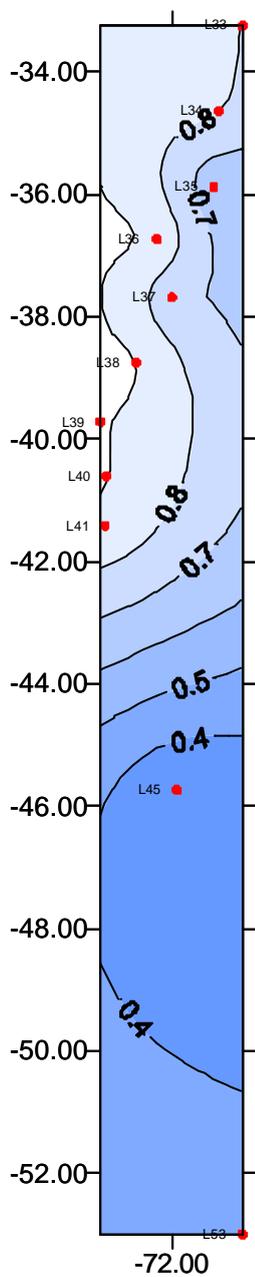


Patrones espaciales de los promedios regionales de la temperatura media de verano, período 1965-2000.

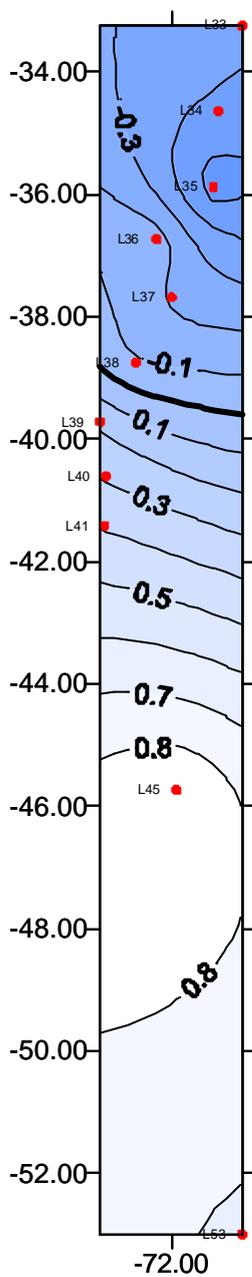


Patrones espaciales de los promedios regionales de la temperatura media de otoño, período 1965-2001.

a) PC1= 60%

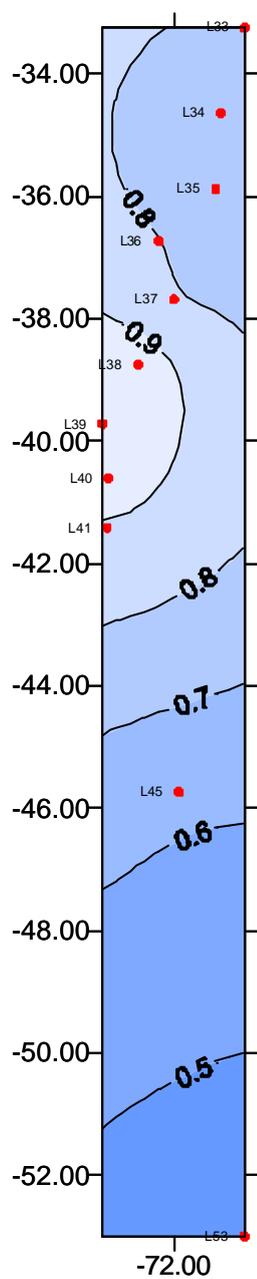


b) PC2= 20%

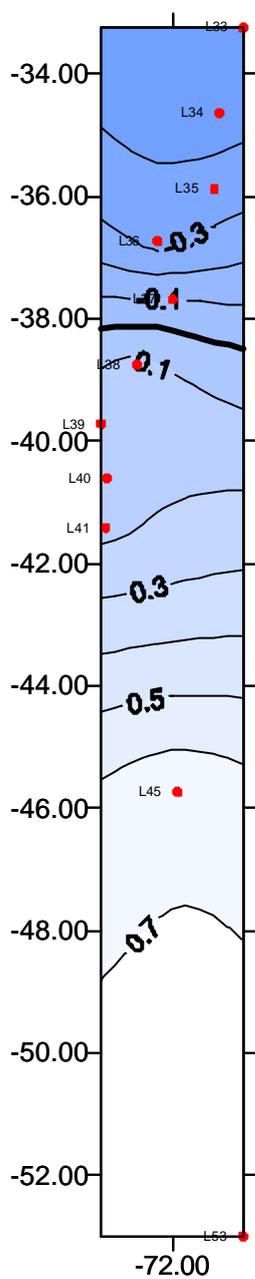


Patrones espaciales de los promedios regionales de la temperatura media de invierno ,  
período 1965-2001.

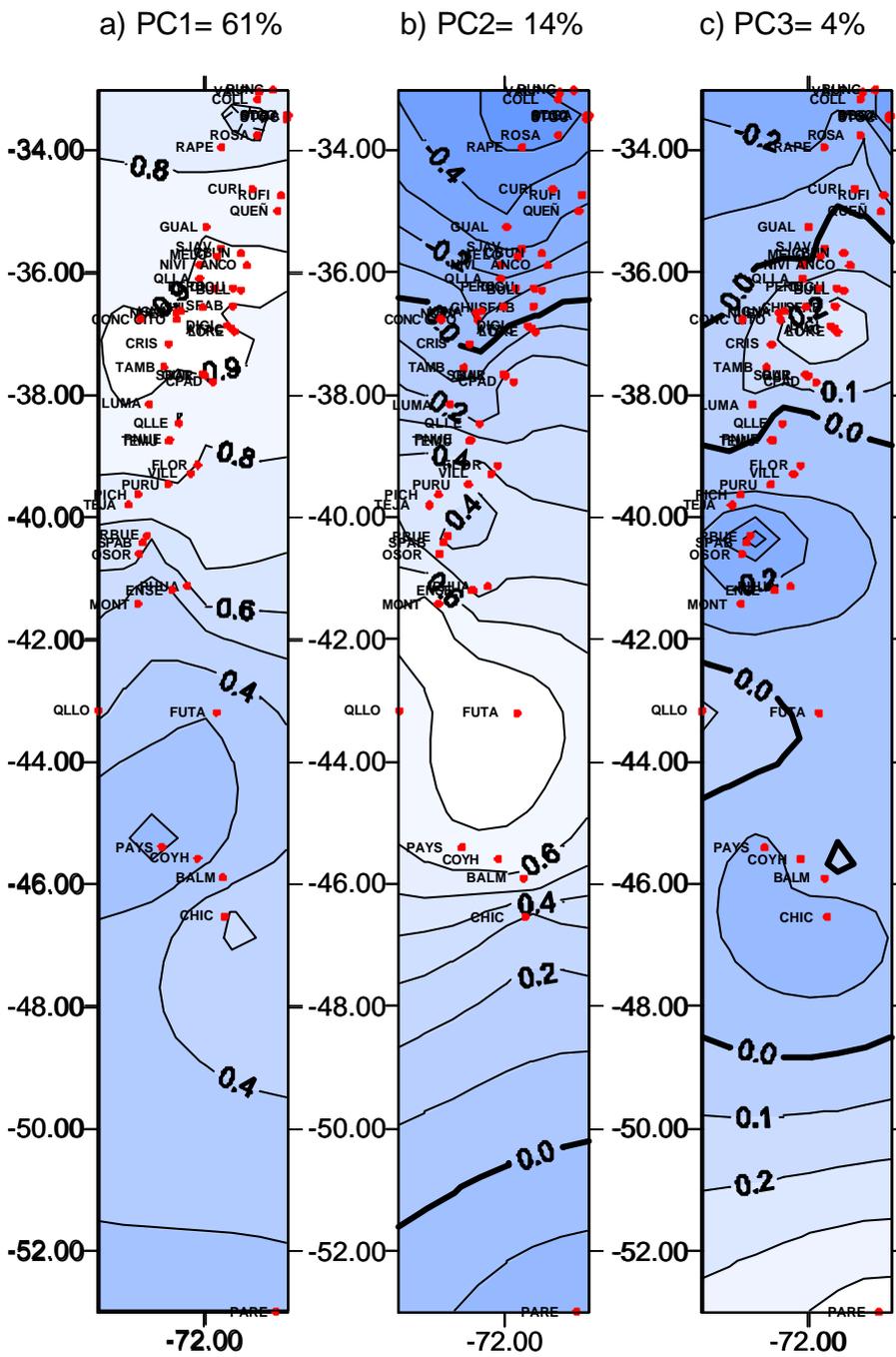
a) PC1= 64%



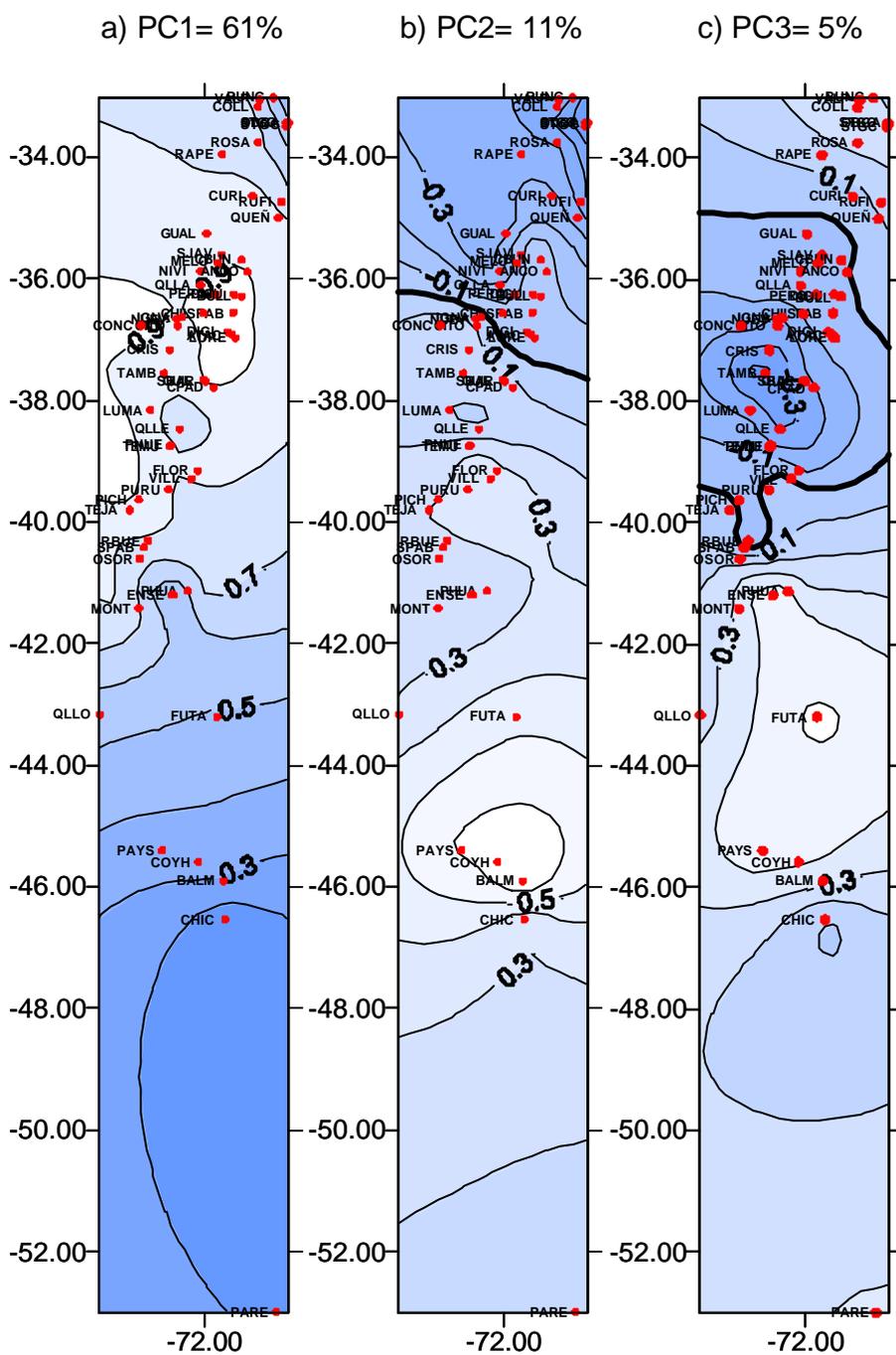
b) PC2= 17%



Patrones espaciales de los promedios regionales de la temperatura media, período de crecimiento de 36 años (período 1965-2000)



Patrones espaciales de la precipitación de primavera de 40 años (período 1962-2001) de 57 estaciones meteorológicas



Patrones espaciales de la precipitación de verano de 39 años (período 1962-2000) de 57 estaciones meteorológicas.

Anexo 4

Matriz de correlación de la precipitación anual, período 1962-2001, de las 57 estaciones seleccionadas.

Matriz de correlación de la precipitación anual, período 1962-2001, de las 57 estaciones seleccionadas para el análisis de la precipitación.  
Coeficiente de correlación ( $r$ ) significativos en rojo ( $p < 0,05$ ).

	RUNG VALP	COLL	ODGA	STGQ	STGC	ROSA	RAPE	RUFI	CURI	QUEÑ	GUAL	SJAV	CBUN	MELO	NIVI	ANCO	QLLA	DIGU	
RUNG	1																		
VALP	0,84	1																	
COLL	0,96	0,90	1																
ODGA	0,94	0,84	0,94	1															
STGQ	0,95	0,84	0,94	0,99	1														
STGC	0,94	0,81	0,93	0,99	0,99	1													
ROSA	0,92	0,91	0,95	0,91	0,92	0,91	1												
RAPE	0,82	0,87	0,86	0,80	0,79	0,79	0,89	1											
RUFI	0,79	0,85	0,84	0,81	0,80	0,81	0,89	0,91	1										
CURI	0,68	0,71	0,73	0,69	0,69	0,71	0,80	0,84	0,85	1									
QUEÑ	0,79	0,78	0,82	0,80	0,80	0,81	0,87	0,88	0,92	0,92	1								
GUAL	0,74	0,81	0,79	0,74	0,76	0,77	0,87	0,88	0,85	0,85	0,87	1							
SJAV	0,71	0,84	0,78	0,71	0,72	0,73	0,86	0,88	0,85	0,86	0,86	0,96	1						
CBUN	0,68	0,76	0,72	0,66	0,66	0,67	0,80	0,80	0,86	0,74	0,81	0,87	0,87	1					
MELO	0,75	0,82	0,82	0,74	0,75	0,76	0,88	0,90	0,88	0,86	0,87	0,96	0,96	0,85	1				
NIVI	0,77	0,72	0,75	0,70	0,72	0,73	0,83	0,84	0,78	0,81	0,82	0,90	0,87	0,82	0,85	1			
ANCO	0,70	0,85	0,76	0,69	0,69	0,69	0,84	0,86	0,92	0,81	0,86	0,87	0,88	0,90	0,87	0,79	1		
QLLA	0,69	0,79	0,76	0,69	0,70	0,68	0,83	0,87	0,84	0,82	0,82	0,90	0,92	0,79	0,93	0,80	0,81	1	
DIGU	0,56	0,72	0,63	0,59	0,58	0,60	0,73	0,82	0,87	0,84	0,82	0,87	0,89	0,85	0,89	0,77	0,90	0,88	1
PERQ	0,65	0,76	0,69	0,64	0,63	0,63	0,77	0,86	0,82	0,84	0,82	0,90	0,89	0,79	0,90	0,80	0,87	0,91	0,91
BULL	0,60	0,74	0,65	0,61	0,60	0,62	0,76	0,81	0,89	0,81	0,82	0,87	0,88	0,86	0,88	0,76	0,91	0,86	0,97
SFAB	0,61	0,73	0,62	0,61	0,60	0,62	0,75	0,74	0,78	0,69	0,74	0,83	0,83	0,84	0,77	0,78	0,79	0,76	0,79
CHIL	0,70	0,75	0,72	0,70	0,71	0,70	0,83	0,84	0,86	0,82	0,84	0,91	0,88	0,84	0,88	0,85	0,84	0,91	0,87
IGNA	0,73	0,80	0,78	0,74	0,73	0,74	0,84	0,89	0,88	0,86	0,88	0,93	0,91	0,87	0,91	0,85	0,89	0,89	0,89
NUEV	0,60	0,67	0,67	0,65	0,65	0,67	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84	0,90	0,87	0,84	0,90	0,79	0,83	0,84	0,88
CITO	0,74	0,83	0,79	0,75	0,75	0,75	0,83	0,88	0,84	0,77	0,78	0,91	0,88	0,82	0,89	0,83	0,85	0,88	0,83
CONC	0,71	0,78	0,75	0,72	0,70	0,69	0,81	0,85	0,87	0,85	0,84	0,80	0,82	0,73	0,85	0,75	0,84	0,84	0,84
DIGI	0,62	0,74	0,66	0,63	0,62	0,62	0,77	0,83	0,89	0,81	0,82	0,85	0,84	0,84	0,86	0,77	0,91	0,83	0,94

Continuación Matriz de correlación de la precipitación anual, período 1962-2001.

	RUNG	VALP	COLL	ODGA	STGQ	STGC	ROSA	RAPE	RUFI	CURI	QUEÑ	GUAL	SJAV	CBUN	MELO	NIVI	ANCO	QLLA	DIGU
ATAC	0,58	0,69	0,62	0,61	0,60	0,61	0,74	0,80	0,86	0,83	0,81	0,85	0,84	0,82	0,86	0,77	0,87	0,86	0,96
LORE	0,54	0,69	0,59	0,58	0,56	0,58	0,73	0,78	0,84	0,81	0,78	0,85	0,85	0,83	0,85	0,77	0,86	0,85	0,95
CRIS	0,68	0,78	0,72	0,69	0,68	0,69	0,82	0,86	0,87	0,88	0,86	0,91	0,90	0,85	0,91	0,85	0,89	0,89	0,93
TAMB	0,67	0,79	0,72	0,68	0,67	0,67	0,80	0,84	0,86	0,85	0,82	0,84	0,85	0,81	0,85	0,78	0,89	0,85	0,89
SBAR	0,53	0,67	0,59	0,59	0,60	0,58	0,70	0,69	0,78	0,75	0,70	0,73	0,75	0,71	0,77	0,65	0,76	0,80	0,82
QUIL	0,59	0,72	0,64	0,61	0,62	0,62	0,77	0,75	0,84	0,80	0,77	0,81	0,83	0,80	0,84	0,75	0,83	0,85	0,89
CPAD	0,58	0,70	0,62	0,61	0,62	0,61	0,74	0,73	0,84	0,72	0,75	0,76	0,76	0,78	0,77	0,69	0,80	0,81	0,85
LUMA	0,55	0,69	0,58	0,57	0,56	0,54	0,67	0,66	0,82	0,67	0,70	0,67	0,68	0,71	0,70	0,57	0,79	0,74	0,79
QLLE	0,47	0,47	0,45	0,45	0,45	0,45	0,53	0,52	0,63	0,51	0,58	0,60	0,54	0,63	0,55	0,58	0,66	0,50	0,62
PNUE	0,47	0,64	0,51	0,49	0,49	0,45	0,64	0,62	0,76	0,62	0,65	0,62	0,61	0,68	0,65	0,53	0,76	0,68	0,75
TEMU	0,51	0,63	0,56	0,52	0,52	0,49	0,67	0,64	0,76	0,65	0,67	0,61	0,64	0,68	0,68	0,55	0,75	0,73	0,77
FLOR	0,38	0,49	0,44	0,42	0,41	0,40	0,53	0,53	0,71	0,62	0,61	0,52	0,53	0,60	0,59	0,48	0,67	0,64	0,74
VILL	0,31	0,45	0,35	0,34	0,37	0,36	0,46	0,44	0,56	0,55	0,50	0,48	0,53	0,49	0,51	0,39	0,62	0,54	0,64
PURU	0,39	0,49	0,45	0,39	0,37	0,38	0,54	0,55	0,61	0,57	0,56	0,56	0,58	0,57	0,59	0,53	0,63	0,56	0,68
PICH	0,37	0,53	0,45	0,42	0,41	0,38	0,51	0,58	0,67	0,63	0,60	0,46	0,55	0,48	0,56	0,38	0,61	0,65	0,68
TEJA	0,37	0,49	0,40	0,42	0,40	0,40	0,52	0,53	0,69	0,69	0,65	0,54	0,57	0,58	0,59	0,50	0,67	0,64	0,76
RBUE	0,27	0,44	0,35	0,33	0,31	0,28	0,38	0,46	0,58	0,46	0,51	0,32	0,39	0,38	0,44	0,27	0,50	0,51	0,57
SPAB	0,08	0,15	0,13	0,14	0,13	0,11	0,12	0,17	0,38	0,17	0,27	0,12	0,08	0,22	0,16	0,02	0,26	0,27	0,31
OSOR	0,23	0,39	0,29	0,26	0,24	0,22	0,35	0,40	0,57	0,51	0,53	0,33	0,41	0,46	0,42	0,32	0,51	0,50	0,60
PHUA	0,19	0,27	0,22	0,21	0,22	0,20	0,35	0,31	0,48	0,51	0,50	0,34	0,40	0,50	0,38	0,32	0,52	0,44	0,58
ENSE	0,20	0,23	0,17	0,21	0,20	0,15	0,16	0,12	0,22	0,08	0,08	0,07	0,02	0,12	0,09	0,02	0,18	0,10	0,07
MONT	0,25	0,39	0,30	0,24	0,25	0,22	0,39	0,44	0,56	0,50	0,51	0,36	0,48	0,53	0,46	0,39	0,58	0,51	0,60
QLLO	-0,11	-0,07	-0,08	-0,16	-0,15	-0,17	-0,04	-0,07	0,01	0,16	0,02	-0,10	0,02	-0,01	0,01	-0,05	0,02	0,06	0,06
FUTA	-0,02	0,14	0,07	-0,03	-0,03	-0,05	0,11	0,13	0,28	0,28	0,27	0,19	0,26	0,45	0,23	0,16	0,43	0,22	0,43
PAYS	-0,22	-0,10	-0,14	-0,19	-0,20	-0,25	-0,18	-0,09	0,00	-0,04	-0,09	-0,21	-0,08	-0,11	-0,05	-0,18	-0,06	0,03	0,02
COYH	-0,11	-0,01	-0,04	-0,12	-0,13	-0,17	-0,08	0,06	0,04	0,06	0,00	-0,21	-0,04	-0,11	-0,04	-0,16	-0,03	0,03	-0,02
BALM	-0,06	0,04	-0,01	-0,07	-0,09	-0,12	-0,02	0,11	0,16	0,14	0,07	-0,10	0,02	0,03	0,06	-0,06	0,10	0,10	0,09
CHIC	0,28	0,24	0,31	0,28	0,25	0,26	0,33	0,40	0,40	0,40	0,43	0,25	0,29	0,28	0,34	0,27	0,32	0,37	0,35
PARE	-0,18	-0,15	-0,21	-0,13	-0,14	-0,15	-0,20	-0,27	-0,13	-0,20	-0,21	-0,25	-0,27	-0,16	-0,25	-0,18	-0,14	-0,22	-0,16



Continuación Matriz de correlación de la precipitación anual, período 1962-2001.

	PERQ	BULL	SFAB	CHIL	IGNA	NUEV	CITO	CONC	DIGI	ATAC	LORE	CRIS	TAMB	SBAR	QUIL	CPAD	LUMA	QLLE	PNUE
CRIS	0,92	0,93	0,83	0,90	0,95	0,90	0,89	0,93	0,91	0,93	0,93	1							
TAMB	0,88	0,89	0,77	0,83	0,89	0,83	0,86	0,93	0,88	0,87	0,88	0,95	1						
SBAR	0,75	0,79	0,61	0,77	0,73	0,72	0,78	0,84	0,81	0,83	0,78	0,84	0,83	1					
QUIL	0,81	0,88	0,75	0,87	0,82	0,78	0,80	0,87	0,88	0,90	0,89	0,91	0,87	0,94	1				
CPAD	0,78	0,87	0,73	0,87	0,79	0,76	0,79	0,82	0,88	0,88	0,86	0,85	0,81	0,90	0,94	1			
LUMA	0,75	0,84	0,68	0,77	0,74	0,66	0,72	0,78	0,84	0,81	0,81	0,79	0,82	0,80	0,85	0,88	1		
QLLE	0,53	0,65	0,54	0,56	0,54	0,58	0,54	0,50	0,65	0,59	0,58	0,56	0,54	0,53	0,54	0,62	0,63	1	
PNUE	0,68	0,77	0,64	0,72	0,70	0,65	0,68	0,74	0,81	0,77	0,78	0,76	0,74	0,77	0,81	0,88	0,88	0,65	1
TEMU	0,71	0,79	0,62	0,74	0,70	0,68	0,66	0,79	0,80	0,80	0,80	0,79	0,78	0,81	0,86	0,89	0,87	0,54	0,91
FLOR	0,59	0,75	0,61	0,64	0,63	0,62	0,56	0,73	0,70	0,74	0,76	0,72	0,72	0,73	0,78	0,79	0,79	0,51	0,84
VILL	0,55	0,66	0,38	0,56	0,51	0,53	0,50	0,61	0,63	0,67	0,64	0,59	0,57	0,73	0,71	0,75	0,65	0,40	0,63
PURU	0,67	0,71	0,54	0,60	0,65	0,61	0,61	0,69	0,72	0,70	0,70	0,69	0,67	0,53	0,63	0,66	0,60	0,31	0,63
PICH	0,60	0,68	0,45	0,56	0,55	0,54	0,54	0,74	0,68	0,71	0,70	0,67	0,72	0,72	0,73	0,71	0,73	0,26	0,67
TEJA	0,66	0,77	0,60	0,65	0,64	0,64	0,56	0,73	0,76	0,80	0,82	0,76	0,78	0,72	0,79	0,76	0,80	0,45	0,78
RBUE	0,45	0,54	0,37	0,41	0,46	0,41	0,45	0,65	0,54	0,56	0,54	0,56	0,60	0,64	0,61	0,59	0,63	0,20	0,64
SPAB	0,15	0,29	0,09	0,28	0,18	0,16	0,20	0,22	0,35	0,33	0,25	0,19	0,22	0,44	0,38	0,47	0,52	0,37	0,55
OSOR	0,45	0,58	0,44	0,44	0,47	0,42	0,41	0,61	0,57	0,58	0,60	0,56	0,57	0,62	0,64	0,63	0,67	0,34	0,69
PHUA	0,45	0,57	0,45	0,47	0,43	0,49	0,31	0,48	0,56	0,61	0,63	0,53	0,51	0,56	0,64	0,63	0,59	0,35	0,68
ENSE	0,14	0,10	-0,01	0,17	0,11	-0,06	0,26	0,26	0,27	0,17	0,11	0,15	0,19	0,36	0,28	0,36	0,48	0,18	0,45
MONT	0,50	0,57	0,43	0,49	0,47	0,53	0,41	0,56	0,56	0,57	0,59	0,55	0,56	0,58	0,63	0,62	0,63	0,36	0,65
QLLO	0,06	0,06	-0,02	0,00	0,02	-0,01	-0,09	0,17	0,04	0,11	0,12	0,12	0,15	0,14	0,23	0,03	0,12	-0,32	0,12
FUTA	0,31	0,42	0,21	0,23	0,27	0,34	0,18	0,28	0,39	0,41	0,39	0,35	0,31	0,36	0,41	0,36	0,38	0,32	0,48
PAYS	-0,06	0,00	-0,21	-0,13	-0,15	-0,12	-0,08	0,05	0,03	0,05	0,02	-0,03	0,02	0,20	0,12	0,04	0,19	-0,11	0,10
COYH	-0,06	-0,05	-0,13	-0,15	-0,08	-0,14	-0,08	0,20	-0,04	-0,02	-0,04	0,03	0,08	0,13	0,09	-0,03	0,02	-0,39	-0,01
BALM	0,06	0,08	-0,02	-0,02	-0,02	-0,08	-0,01	0,22	0,12	0,13	0,10	0,09	0,14	0,20	0,17	0,06	0,14	-0,04	0,12
CHIC	0,33	0,33	0,20	0,28	0,32	0,35	0,20	0,43	0,32	0,36	0,31	0,32	0,35	0,30	0,28	0,30	0,16	0,18	0,18
PARE	-0,18	-0,13	-0,17	-0,20	-0,24	-0,28	-0,15	-0,23	-0,05	-0,09	-0,07	-0,22	-0,16	-0,11	-0,18	-0,05	0,05	0,13	0,02

Continuación Matriz de correlación de la precipitación anual, período 1962-2001.

	TEMU	FLOR	VILL	PURU	PICH	TEJA	RBUE	SPAB	OSOR	PHUA	ENSE	MONT	QLLO	FUTA	PAYS	COYH	BALM	CHIC	PARE
CRIS																			
TAMB																			
SBAR																			
QUIL																			
CPAD																			
LUMA																			
QLLE																			
PNUE																			
TEMU	1																		
FLOR	0,86	1																	
VILL	0,70	0,67	1																
PURU	0,65	0,63	0,49	1															
PICH	0,80	0,78	0,68	0,66	1														
TEJA	0,84	0,86	0,69	0,67	0,85	1													
RBUE	0,71	0,74	0,46	0,59	0,84	0,74	1												
SPAB	0,46	0,48	0,36	0,13	0,38	0,42	0,51	1											
OSOR	0,72	0,78	0,56	0,57	0,80	0,83	0,88	0,51	1										
PHUA	0,76	0,77	0,61	0,55	0,72	0,82	0,59	0,36	0,75	1									
ENSE	0,32	0,21	0,29	0,14	0,21	0,14	0,20	0,41	0,17	0,09	1								
MONT	0,77	0,71	0,57	0,58	0,78	0,76	0,69	0,29	0,77	0,82	0,06	1							
QLLO	0,21	0,25	0,17	0,29	0,41	0,42	0,34	0,02	0,42	0,49	-0,01	0,48	1						
FUTA	0,48	0,50	0,40	0,47	0,45	0,51	0,43	0,28	0,56	0,75	0,06	0,68	0,48	1					
PAYS	0,20	0,22	0,16	0,14	0,51	0,28	0,53	0,31	0,47	0,33	0,19	0,47	0,53	0,41	1				
COYH	0,14	0,18	0,06	0,19	0,53	0,20	0,56	0,03	0,44	0,24	0,04	0,43	0,61	0,25	0,68	1			
BALM	0,21	0,22	0,03	0,13	0,48	0,26	0,46	0,13	0,41	0,32	0,14	0,46	0,51	0,36	0,66	0,78	1		
CHIC	0,36	0,26	0,22	0,27	0,43	0,30	0,35	0,07	0,37	0,32	-0,19	0,41	0,11	0,12	0,12	0,33	0,47	1	
PARE	-0,04	0,00	0,01	-0,10	-0,04	0,02	-0,08	0,15	0,06	0,06	0,33	-0,04	-0,12	-0,02	0,21	-0,14	0,23	0,11	1

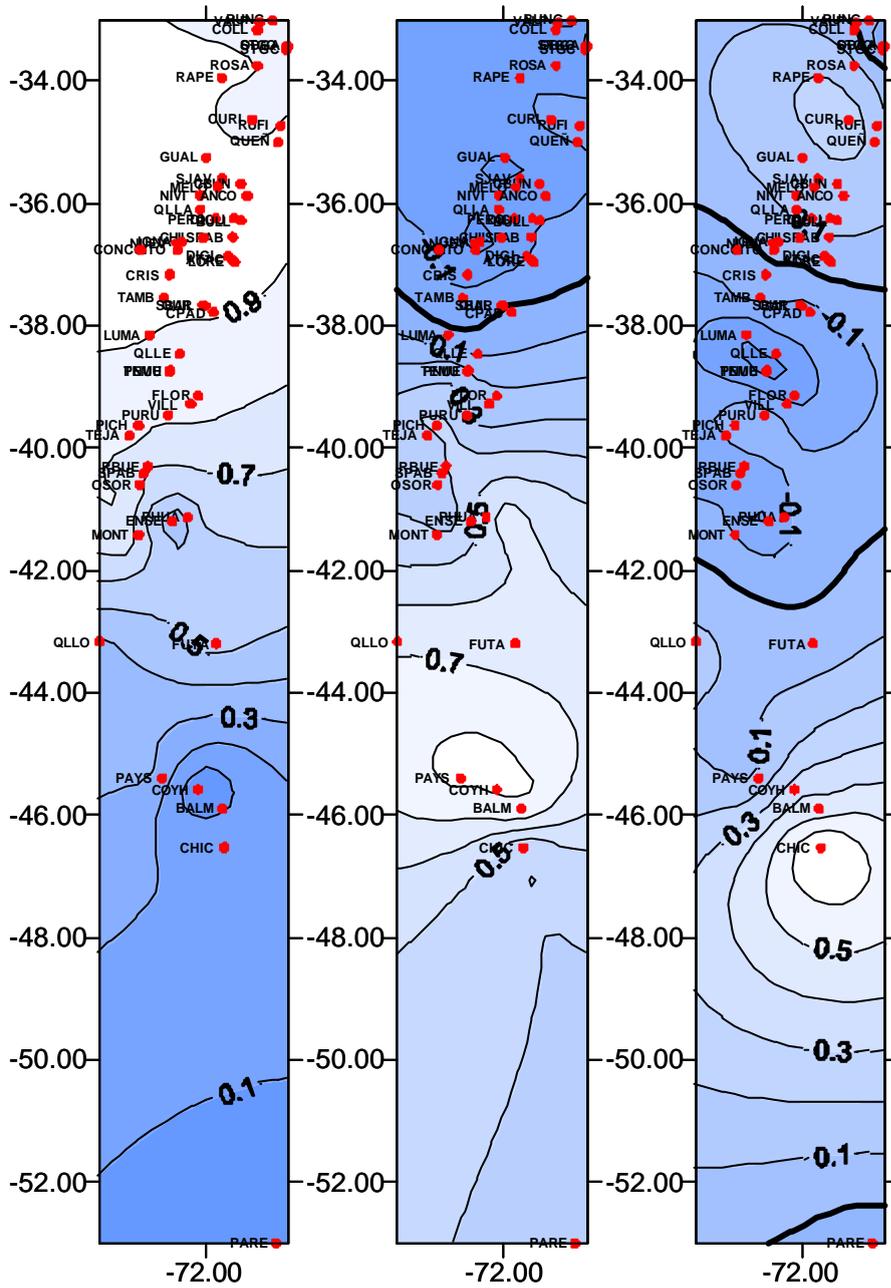
### Anexo 5

Mapas de isovalores de la precipitación de primavera, verano otoño,  
invierno y período de crecimiento, período 1962-2001.

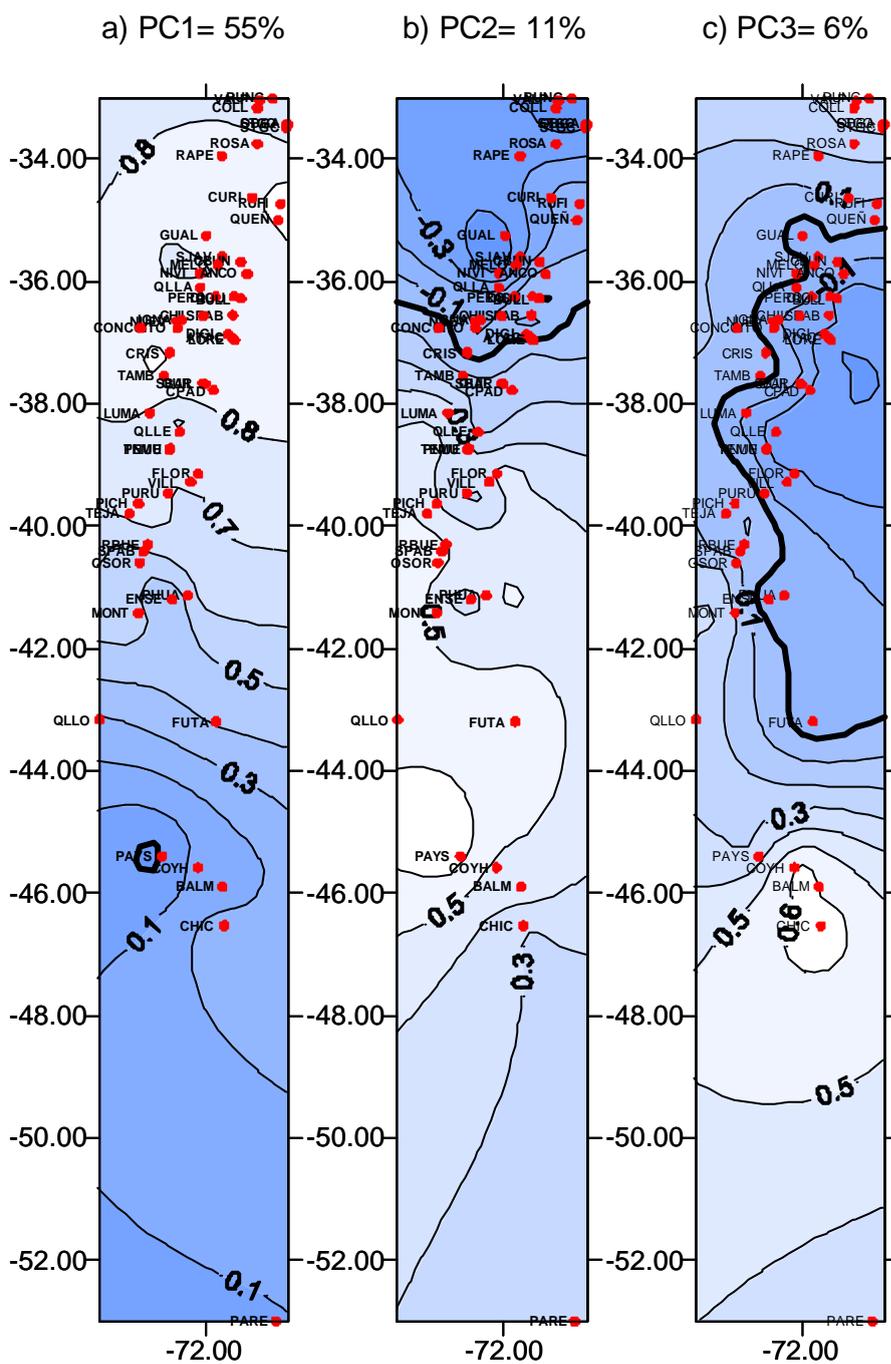
a) PC1= 68%

b) PC2= 10%

c) PC3= 4%



Patrones espaciales de la precipitación de otoño de 40 años (período 1962-2001) de 57 estaciones meteorológicas.

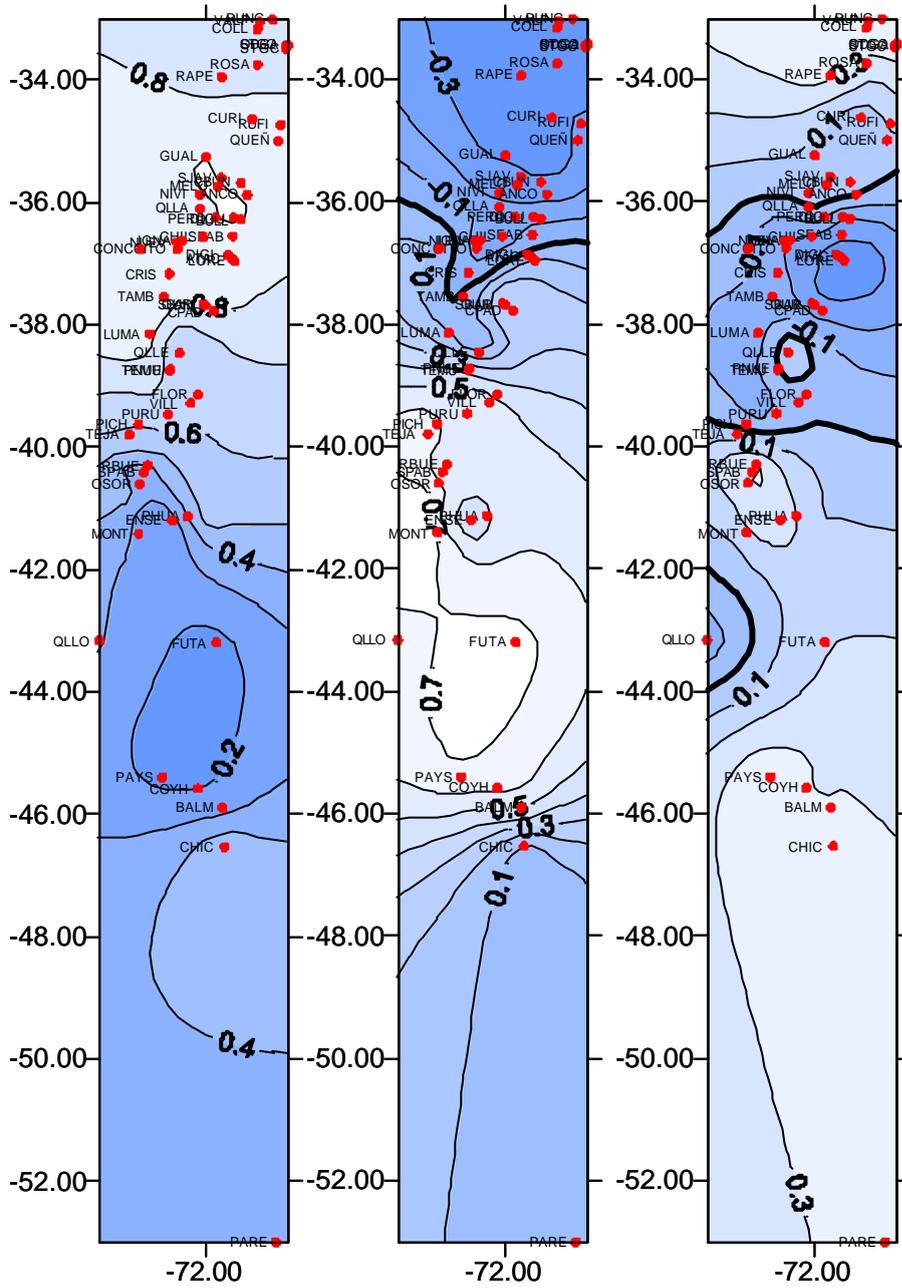


Patrones espaciales de la precipitación de invierno de 40 años (período 1962-2001) de 57 estaciones meteorológicas.

a) PC1= 53%

b) PC2= 15%

c) PC3= 6%

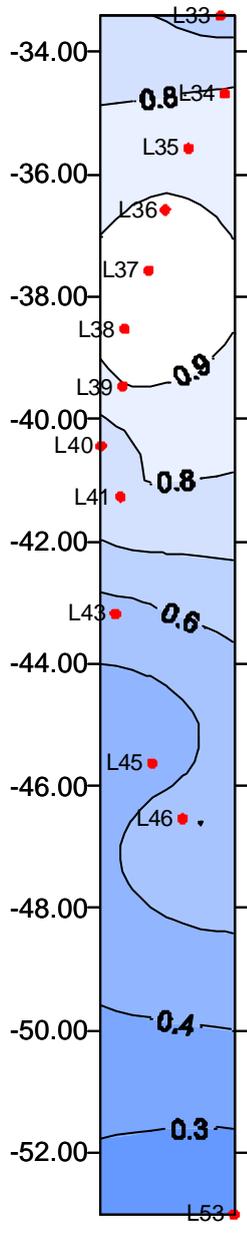


Patrones espaciales de la precipitación del período de crecimiento de 39 años (período 1962-2000) de 57 estaciones meteorológicas

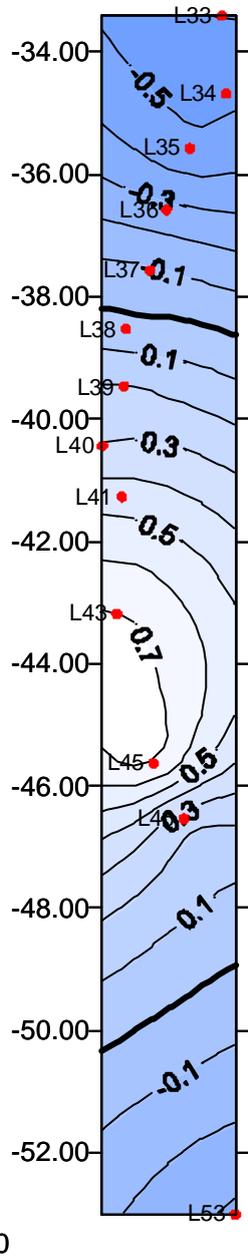
Anexo 6

Mapas de isovalores de la precipitación regional de primavera, verano otoño,  
invierno y período de crecimiento, período 1962-2001

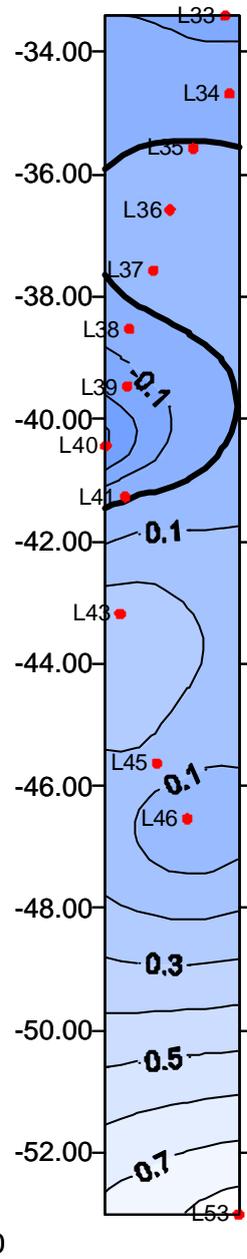
a) PC1 = 56%



b) PC2 = 19%

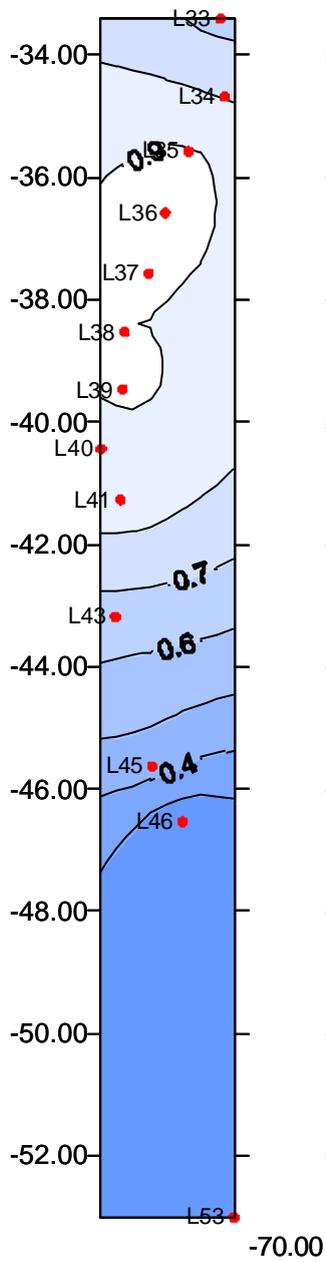


c) PC3 = 8%

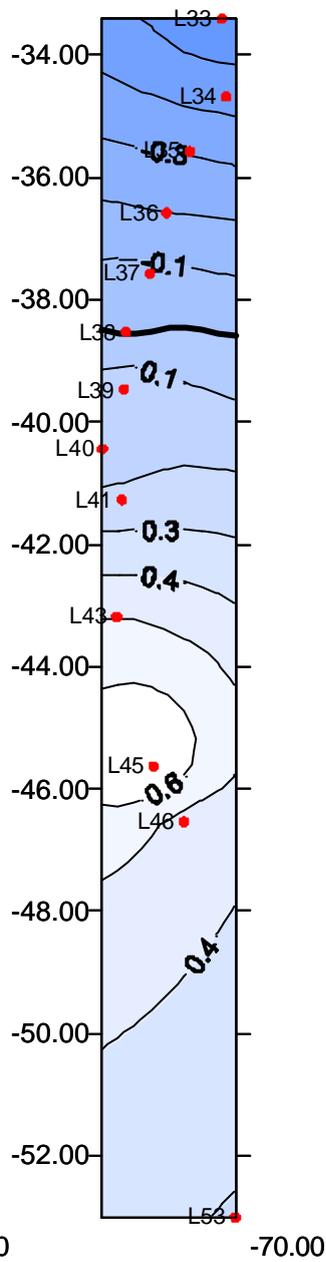


Patrones espaciales de la precipitación regional de primavera, período 1962-2001.

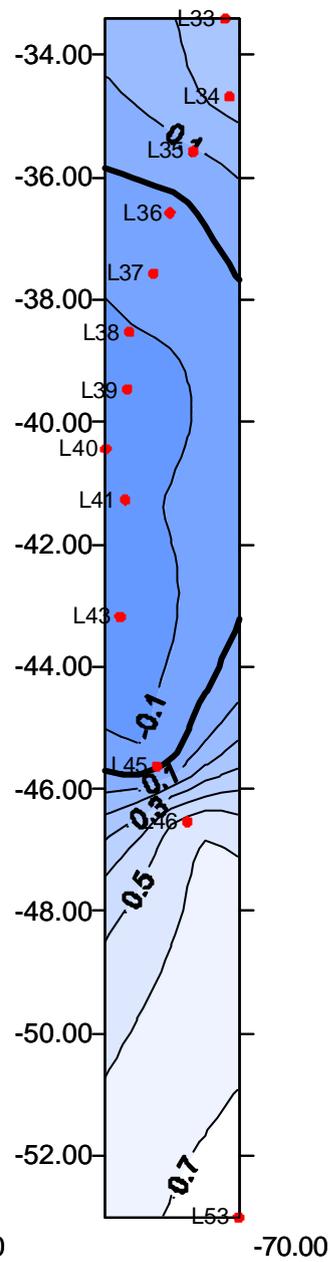
a) PC1 = 57%



b) PC2 = 14%



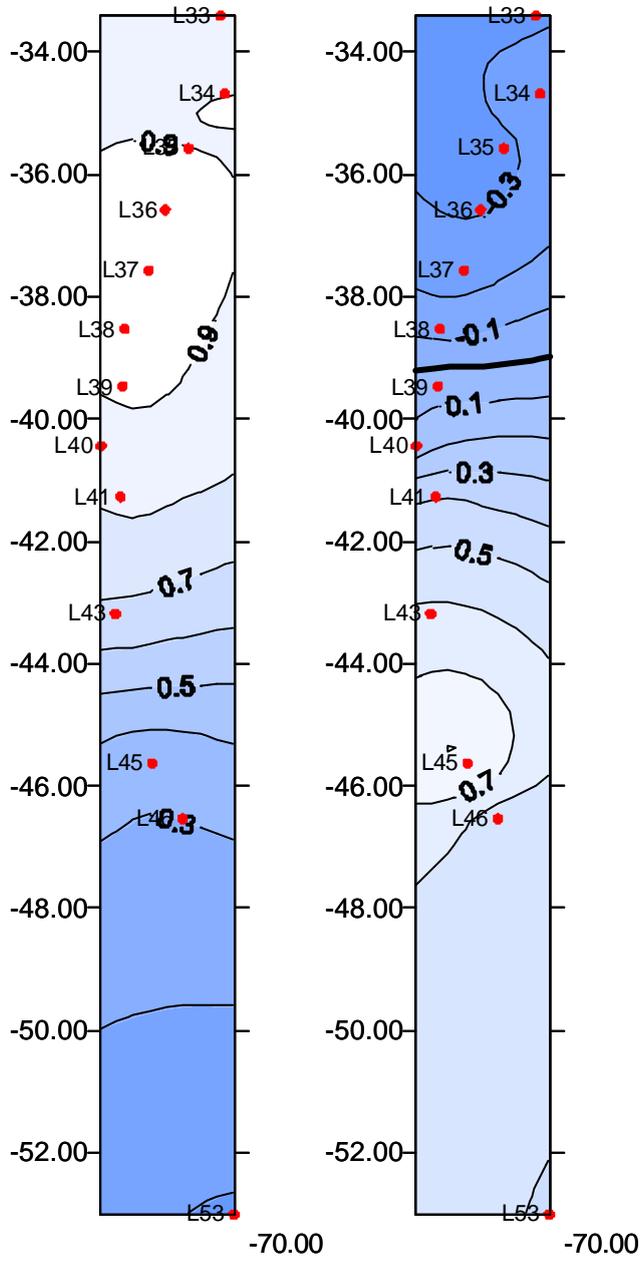
c) PC3 = 9%



Patrones espaciales de la precipitación regional de verano, período 1962-2000.

a) PC1 = 60%

b) PC2 = 17%

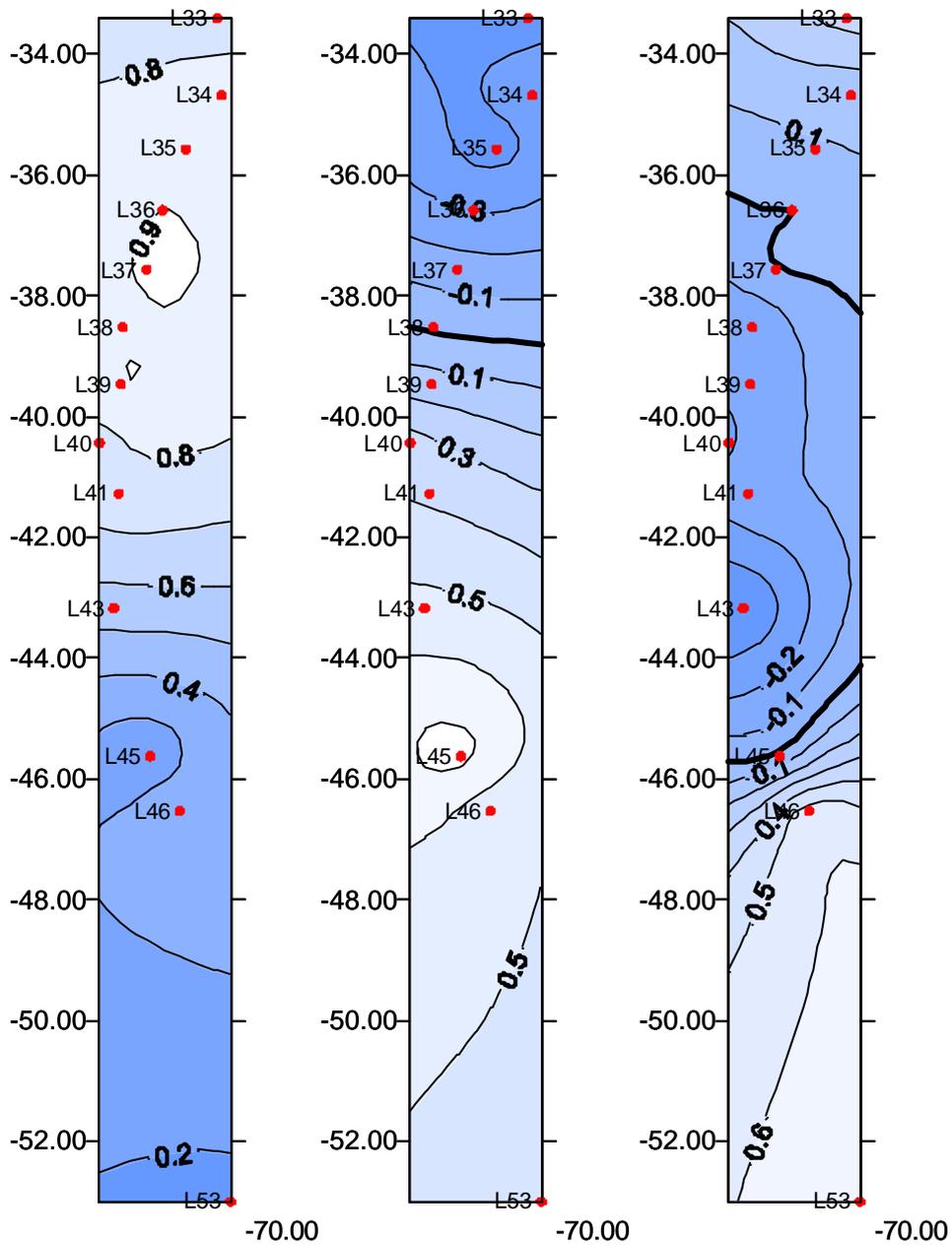


Patrones espaciales de la precipitación regional de otoño, período 1962-2001.

a) PC1 = 54%

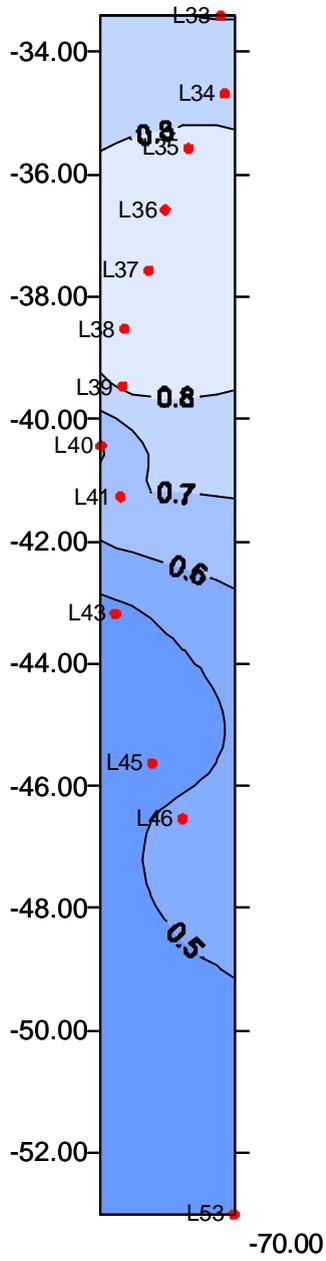
b) PC2 = 17%

c) PC3 = 10%

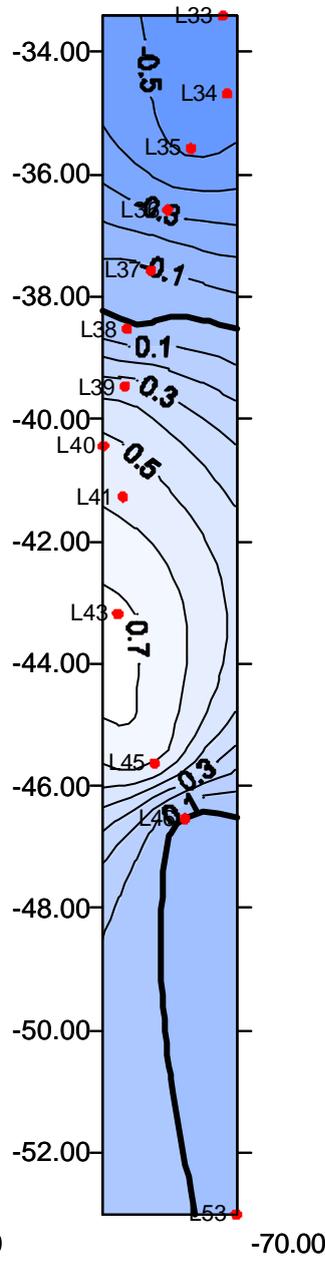


Patrones espaciales de la precipitación regional de invierno, período 1962-2001.

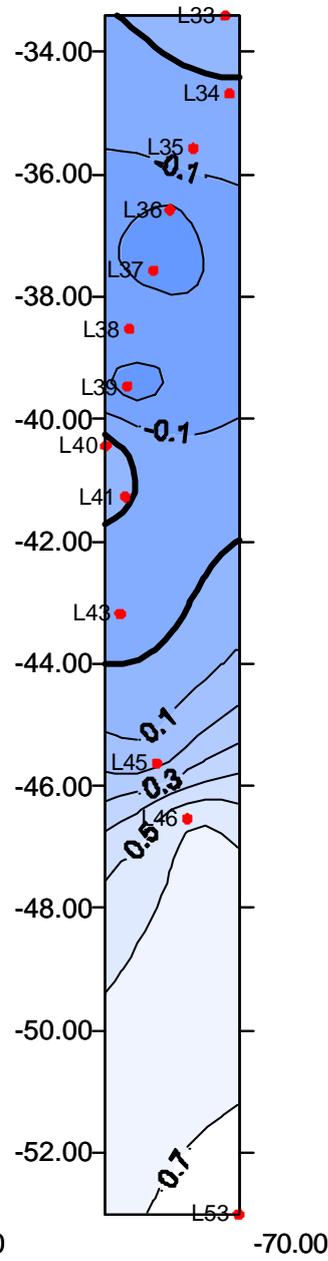
a) PC1 = 49%



b) PC2 = 21%



c) PC3 = 10%



Patrones espaciales de la precipitación regional del período de crecimiento, período 1962-2000.

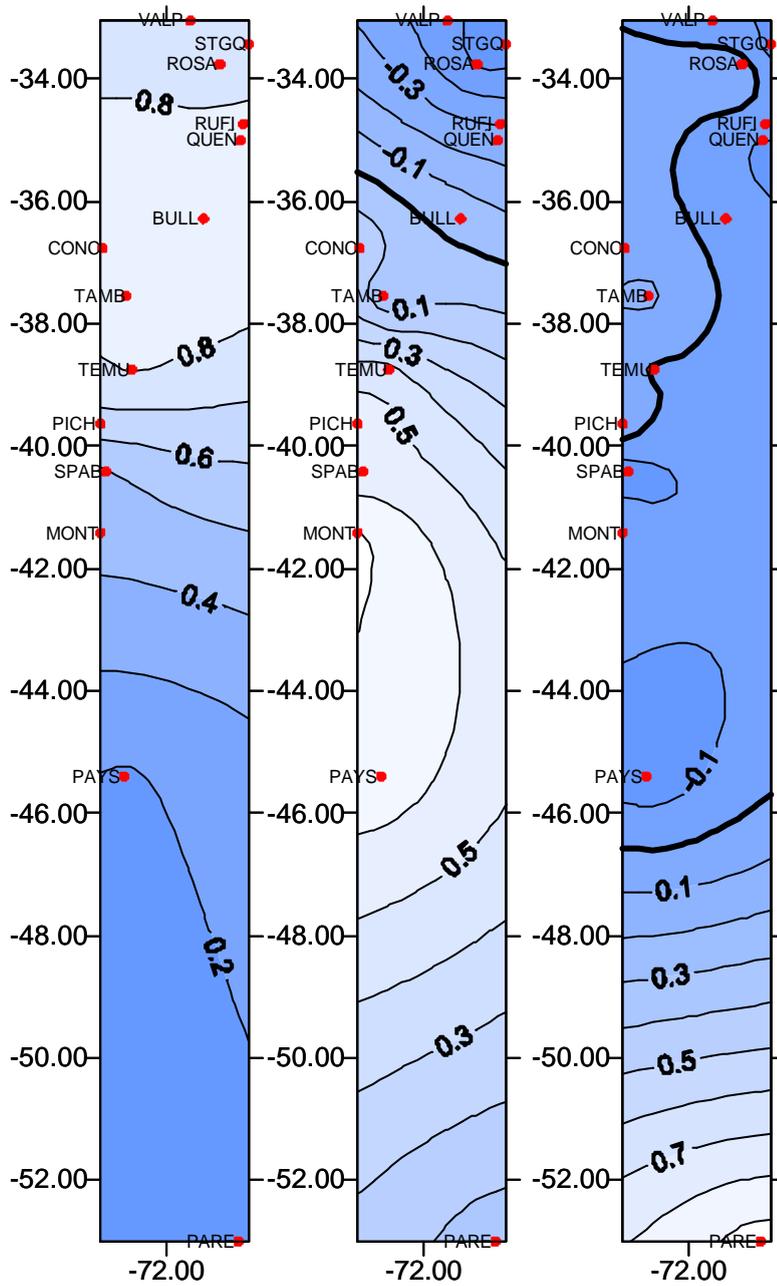
Anexo 7

Mapas de isovalores de la precipitación de primavera, verano otoño, invierno y período de crecimiento, período 1931-2001

a) PC1= 50%

b) PC2= 20%

c) PC3= 7%

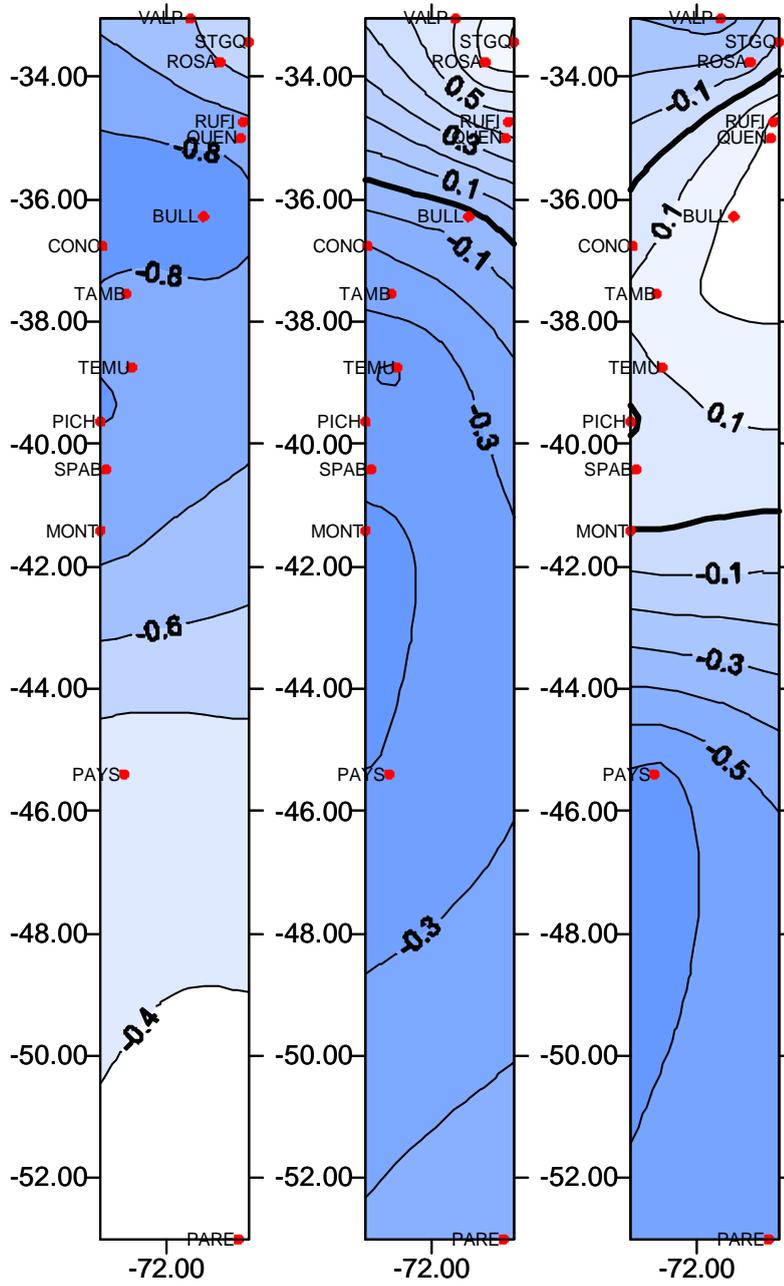


Patrones espaciales de la precipitación de primavera de 14 estaciones meteorológicas, período 1931-2001.

a) PC1= 49%

b) PC2= 20%

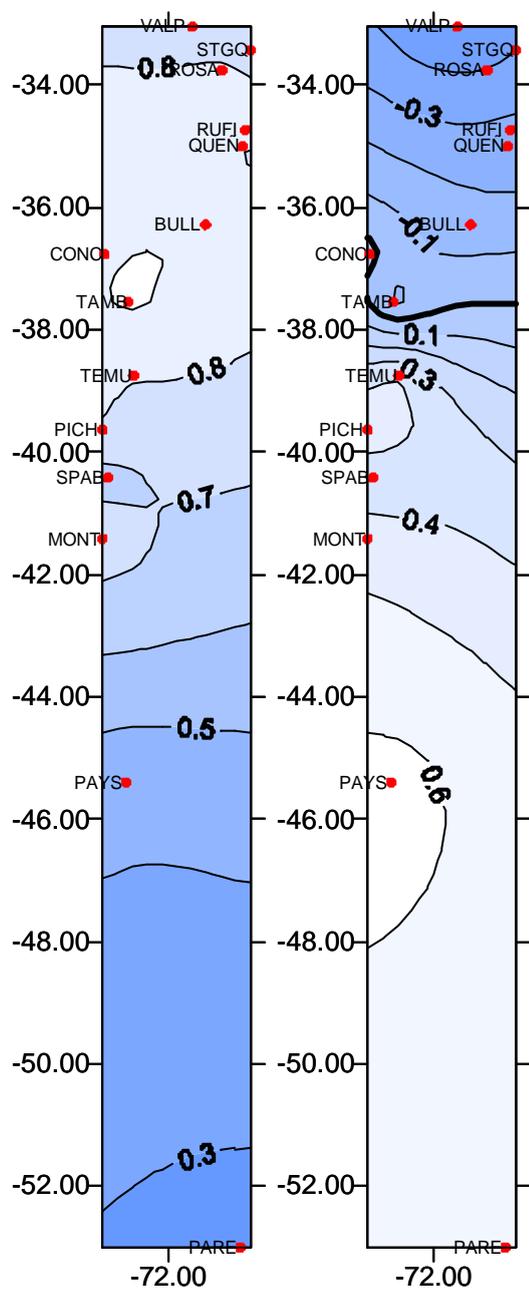
c) PC3= 8%



Patrones espaciales de la precipitación de verano de 14 estaciones meteorológicas, periodo 1931-2000.

a) PC1= 58%

b) PC2= 15%

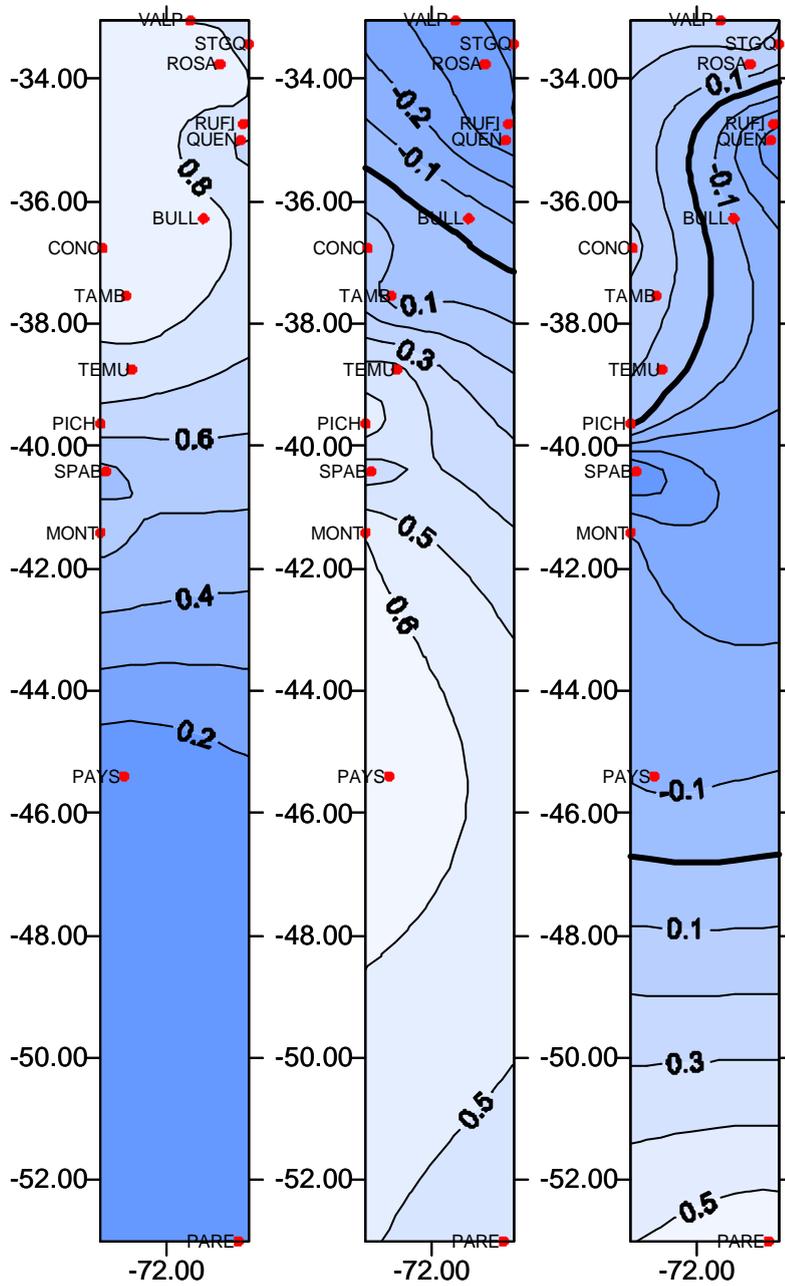


Patrones espaciales de la precipitación de otoño de 14 estaciones meteorológicas, período 1931-2001.

a) PC1= 48%

b) PC2= 17%

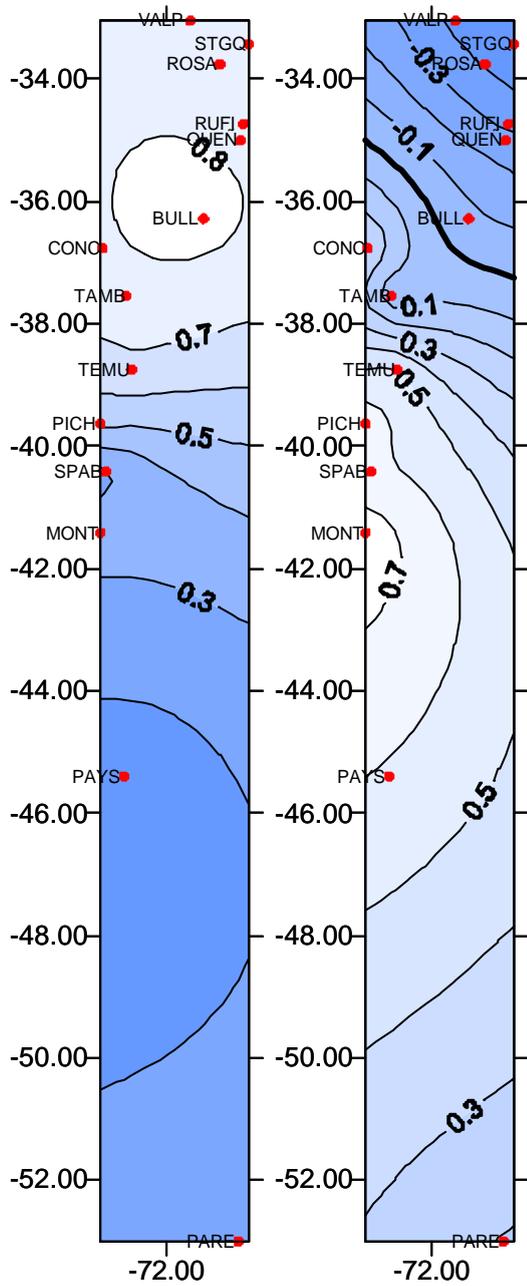
c) PC3= 8%



Patrones espaciales de la precipitación de invierno de 14 estaciones meteorológicas, periodo 1931-2001.

a) PC1= 41%

b) PC2= 21%



Patrones espaciales de la precipitación del período de crecimiento de 14 estaciones meteorológicas, período 1931-2000.