



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales

Rescate y análisis de datos históricos de la precipitación de Chile central a partir de Anuarios Meteorológicos

Patrocinante: Sr. Carlos Le-Quesne

Copatrocinate: Sr. Juan Quintana

Trabajo de Titulación presentado como parte
de los requisitos para optar al Título de
Ingeniero en Conservación de Recursos Naturales

CARLA DANIELA FLORES VÁSQUEZ

VALDIVIA

2012

Calificación del Comité de Titulación

Nota

Patrocinante:	Sr. Carlos Le-Quesne	__ 69 __
Informante:	Sr. Juan Quintana	__ 69 __
Informante:	Sr. Duncan Christie	__ 69 __

El patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación 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 los demás integrantes del Comité de Titulación.

Sr. Carlos Le-Quesne G

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primero que todo a mi profesor patrocinante Sr. Carlos Le-Quesne, quien confió en mi para formar parte del proyecto FONDECYT N° (1121106) “High resolution hydroclimate variability in the central Andes of Chile and Argentina during the last millennium: A tree-ring and modeling perspective”. También, quiero destacar el apoyo económico que me entregó el proyecto en el transcurso de mi trabajo. Muchas gracias profesor por su gran apoyo y paciencia.

A mi copatrocinante Sr. Juan Quintana quiero agradecerle por su gentileza de recibirme en La Dirección Meteorológica de Chile (DMC), donde me acogió y apoyó en todo momento.

A mi profesor informante Sr. Duncan Christie quien me entregó un gran apoyo y fuerza para seguir en este proyecto.

A La Dirección Meteorológica de Chile y Dirección de Aguas de Chile, por todo el material entregado para realización de este proyecto.

A mis Amigos de la infancia y a los que conocí en la universidad, que han tenido uno de los papeles fundamentales en mi vida, ya que están siempre conmigo sobretodo en épocas difíciles, por eso siempre estarán en mi corazón.

A La familia de mi Amigo Felipe, quienes me acogieron en su departamento durante mi estadía en Santiago y por su gran apoyo.

A mis Abuelos Fermín y Lucerina, que me entregaron valores importante para mi vida y que desde el cielo me guían en todos mis nuevos desafíos.

A la Tía Atala y su familia, quienes me acogieron desde mi primer día de universidad en su casa y que siempre me han entregado sus palabras de aliento.

A mi Abuela Dina y la Familia Albornoz – Roja, quienes siempre me apoyaron en todo momento y entregaron su cariño incondicional.

A mi padre Adrián, hermana Francisca y tía Patricia, quienes me animaron en todo momento para lograr esta meta y entregaron su gran cariño.

Finalmente, A mi madre Walesa, padrinos (Gabriel y Silvana), Erna, Isadora y Carola, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida, por su eterno amor y apoyo, muchas gracias

Dedicado a mis grandes amores

Mi madre y familia

Índice de materias		Página
I	Calificación del Comité de Titulación	i
ii	Agradecimientos	ii
iii	Dedicatoria	iii
iv	Resumen	iv
1	INTRODUCCIÓN	1
2	ESTADO DEL ARTE	3
2.1	Descripción de la climatología histórica	3
2.1.1	Descripción de la climatología y meteorología en Chile	4
2.2	Clima de Chile central	4
2.3	Relaciones entre regímenes hidroclimáticos (Precipitación-Nieve-Caudales) y El Niño	5
2.4.	Estudios sobre la variabilidad de precipitaciones de Chile según registros instrumentales y Anillos de arboles	5
2.5	Proyecciones climáticas en Chile central	6
3	MATERIALES Y MÉTODOS	7
3.1	Área de estudio	7
3.2	Método	7
3.2.1	Creación de la base de datos	7
3.2.2	Relleno de series de tiempo	8
3.2.3	Análisis de los datos	9
3.3	Filtro de baja frecuencia	10
4	RESULTADOS	10
4.1	Datos de las estaciones meteorológicas	10
4.2	Análisis mensual de las precipitaciones	14
4.2.1	Distribución geográfica y análisis tendencia	14
4.2.3	Determinación de patrones geográficos y temporales de la precipitación	18
5	DISCUSIÓN	22
6	CONCLUSIÓN	24
7	REFERENCIAS	25
Anexos	1 CD con Estaciones sin rellenar y completadas	
	2 Estaciones y sus datos faltantes.	
	3 Análisis de las Componentes Principales.	

RESUMEN

En Chile, se observa un escaso número de registros meteorológicos que sean largos, completos y geográficamente continuos, siendo un problema determinante para poder caracterizar las variaciones climáticas, en especial en zonas altamente vulnerables a la disponibilidad de agua como es el caso Chile central, es por esto que se construyó una base de datos históricos de la precipitación de Chile central, a partir de los Archivos de Anuarios de la Dirección Meteorológica de Chile, con el fin de rescatar los datos históricos que precedieron a 1931. Se realizó una recopilación y actualización de los datos de las estaciones meteorológicas y se efectuó una serie de análisis para la caracterización de las variaciones de series de tiempo pluviométricas. Se registraron 42 estaciones pero finalmente se utilizaron 33 estaciones (1930 -2000), el promedio en el monto de la precipitación total anual revela un patrón de aumento de Norte a Sur. Asimismo, se observó que la variación de la precipitación promedio anual de las estaciones meteorológicas, mostraron una alta variabilidad interanual y las cargas en sus tres primeros componentes principales explicaron un 84% de la varianza, siendo el primer componente muy importante por presentar un 70 % de la varianza explicada, indicando que la precipitación de la zona central está determinada por una gran homogeneidad. Finalmente, este trabajo logro una de las mayores recopilaciones de datos de precipitaciones provenientes de anuarios de la DMC, DGA y documentos históricos, la cual fue realizada desde La Serena hasta Concepción actualizadas hasta el año 2011.

Palabras claves: Anuarios, estaciones meteorológicas, precipitaciones, zona central, variaciones climáticas

1. INTRODUCCIÓN

Los registros históricos de América comienzan con la fecha de establecimiento de cada pueblo. En el caso de Santiago de Chile, la colonización por parte de los españoles se realizó en el año 1541, este año fue el punto de inicio en la generación de información y preservación de datos históricos; cuyo registros se encuentran depositados en el Archivo General de Indias (AGI) en Sevilla (Prieto y Herrera 2009).

Los comienzos de la climatología y meteorología en Chile se remontan a la época de Don Pedro de Valdivia. Sin embargo, fueron los antiguos navegantes que exploraron las costas y canales de nuestro territorio los precursores de la meteorología en nuestro país. El primer observatorio meteorológico fue instalado en el cerro Santa Lucía de Santiago, durante la estadía en Chile de una expedición científica norteamericana a cargo del teniente Sr. J.M. Gilliss y comienza en Santiago a medirse el agua caída en milímetros con un instrumento llamado pluviómetro. Actualmente, una de las fuentes documentales más importantes para nuestro país son los anuarios de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), los cuales se han generado a partir de la recopilación y el procesamiento de datos realizados por la misma DMC. Los anuarios consideran diferentes estaciones meteorológicas presentes en el país, con el objetivo de poder realizar una contribución para los diferentes organismos científicos u otros que requieran de este tipo de información.

Geográficamente Chile es un país que está formado por una angosta y larga faja, que posee como límites naturales el mar, el desierto y la cordillera. La gran extensión latitudinal de Chile tiene como consecuencia una amplia variedad de climas a lo largo del país, presentando desde un clima desértico con déficit de precipitación hasta un clima lluvioso como el del extremo austral.

Además, es uno de los países favorecidos en cuanto a los recursos hídricos a nivel mundial, y posee una de las mayores reservas de este recurso en Campos de Hielo Sur, en la zona austral. Este hecho es relevante, ya que el agua es un elemento vital para los sistemas de vida del planeta. Es un recurso natural, único, finito e indispensable para todo organismo viviente y para gran parte de las actividades económicas y productivas del ser humano. Sin embargo, está irregularmente distribuido en el territorio nacional, debido a las diversas condiciones físicas y climáticas, encontrándose zonas de gran abundancia en la zona sur, y otras zonas altamente vulnerables a la disponibilidad de agua, como la zona central

La variabilidad interanual de las precipitaciones en Chile central y sur, está fuertemente asociada a los mecanismos de interacción océano-atmósfera de origen tropical llamados ciclo El Niño / Oscilación del Sur (ENOS) y el fenómeno de La Niña. Mientras que, El Niño presenta una temperatura superficial en el mar más alta que lo normal. La Niña es inversa, es decir el agua es más fría que lo normal en el Pacífico Ecuatorial. En años El Niño, se identifican los años más lluviosos en Chile central como fueron en 1982, 1987, 2007 y en años de La Niña, los más secos como 1988, 1998, 2007. Otro mecanismo de circulación atmosférica, llamada Oscilación Antártica, presente en latitudes altas del hemisferio sur, sería otro regulador de las precipitaciones en las zonas centro sur, sur y austral del país (Quintana, 2004, Quintana y Aceituno, 2012).

Las variaciones climáticas y en especial la disponibilidad de agua tienen una gran influencia sobre los ecosistemas y el desarrollo socioeconómico de nuestro país. A lo largo de Chile, los registros meteorológicos de 60 años o más son sumamente escasos, lo cual constituye una gran limitación para caracterizar la variabilidad climática en escalas de décadas o siglos, y comprender las actuales tendencias climáticas dentro de un mayor contexto temporal. Por otro lado, este tipo de registros son de gran interés para la realización de diferentes estudios científicos sobre el comportamiento del clima pasado como es el caso de la dendrocronología. Disciplina que estudia los cambios ambientales del pasado basándose en el estudio de los anillos de crecimiento anual de los árboles. Para ello, se requiere de datos meteorológicos de alta calidad que abarquen varias décadas e idealmente más allá del siglo XX, con el fin de calibrar los anillos con datos instrumentales y realizar reconstrucciones climáticas. Es por eso que la recopilación y uso de fuentes documentales históricas sobre la variabilidad del clima tiene cada día una mayor importancia para la conservación y manejo de los recursos naturales.

El presente trabajo de titulación se enmarca dentro del proyecto de investigación “High resolution hydroclimate variability in the central Andes of Chile and Argentina during the last millennium: A tree ring and modeling perspective” por lo que su objetivo será crear una base de datos históricos de las estaciones meteorológicas ubicadas entre La Serena (29° 54' S) y Concepción (36° 47' S), recopilando y verificando de forma acuciosa las precipitaciones registradas en Chile central. Esta zona presenta un ciclo anual bien definido caracterizado por un máximo invernal y una etapa estival con ausencia de precipitación lo cual va aumentando hacia el sur. Este ciclo anual se encuentra fuertemente influenciado por la Oscilación del Sur (OS) que presenta una alta variabilidad interanual en las precipitaciones invernales y primaverales, con sequías intensas en años de La Niña y frecuentes inundaciones durante los años lluviosos El Niño (Rutllant 2000).

Algunas posibles limitantes del presente trabajo podrían estar relacionadas con la dispersión de los datos antiguos de precipitación a cargo de diferentes organismos e instituciones de Chile, y con los datos históricos que se encuentran en los Anuarios de la Dirección de Meteorología Chile incompletos.

Objetivo general:

Crear una base de datos de precipitación en formato digital de más de 60 años de extensión basado en los Anuarios de la Dirección Meteorológica de Chile y que sea de utilidad para el diagnóstico climático en Chile.

Objetivos específicos:

1. Actualizar los datos de precipitación en Chile central desde las primeras décadas del Siglo XX a partir de los Anuarios de la Dirección Meteorológica de Chile.
2. Aplicar métodos de relleno estadístico a las series de precipitación compiladas para luego analizar su variabilidad.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Descripción de la climatología histórica

La climatología histórica afronta la reconstrucción climática desde las fuentes documentales históricas. Estas herramientas de registros históricos muestran diferencias en la calidad y cantidad de los datos, dependiendo directamente del período en que fueron realizados. También, existen diferentes tipos de fuentes, como las primarias, que son relatos de primera mano. Esto incluye información que se registra simultáneamente o inmediatamente después de un evento climático, tales como colecciones de cartas, diarios de los sacerdotes o bitácoras de los barcos, y por último, las fuentes secundarias siendo estos relatos de segunda mano, los cuales tienen un nivel de elaboración que en algunos casos conduce a la distorsión de la información. Teniendo su mayor representatividad en las crónicas, por ejemplo, los relatos de los cronistas y los soldados escritos por los sacerdotes que participan en la conquista y colonización de la América (Prieto y Herrera 2009). Sin embargo, para el estudio de la atmósfera y fenómenos de la meteorología fue necesario contar con los sensores de mediciones de las variables atmosféricas, los cuales durante siglos han sido la base del estudio del tiempo atmosférico y el clima.

Los primeros pluviómetros son descritos en 1247 por el matemático chino Ching –Shao, empezándose a usar desde siglo XVIII por los chinos en Corea, que realizaron mediciones esporádicas. Además se conservan registros eventuales de temperatura y presión atmosférica desde comienzos del siglo XVII (Martín-Vide y Olcina 1996). Estas herramientas han sido muy útiles para el estudio de la climatología y la meteorología durante siglos.

2.1.1 Descripción de la climatología y meteorología en Chile

Los comienzos de la climatología y meteorología en Chile se remontan a Don Pedro de Valdivia, quien, en 1545, en una carta a su compañero de armas Hernando Pizarro, define el clima de Chile con similares características a las que tiene hoy (Vicuña Mackenna 1970). Aunque, fueron los antiguos navegantes que exploraron las costas y canales de nuestro territorio los precursores de la meteorología en nuestro país. Como las condiciones de seguridad de su navegación dependían de los fenómenos atmosféricos, en sus libros y bitácoras dejaron observaciones visuales prolijas y precisas de las zonas que exploraban. En algunos casos estas informaciones meteorológicas son verdaderos estudios climáticos (Prieto y Herrera 2009).

En octubre de 1849 llegó a Santiago una misión norteamericana encabezada por J.M. Gilliss, astrónomo agregado al Observatorio de Washington, y el gobierno de Chile les permitió que se instalaran en el Cerro Santa Lucía (antes Huelén). Los investigadores permanecieron hasta 1852 y practicaron valiosas observaciones astronómicas y meteorológicas. El 17 de agosto de 1852 se inicia el Observatorio Astronómico Nacional, y se comienza en Santiago la medición del agua caída en milímetros con un pluviómetro. El año 1866, a mediados de junio, don Luís Zegers llevó un pluviómetro al Observatorio Astronómico de la Quinta Normal, sitio que se mantiene hasta el día de hoy con más de 145 años de observación de la precipitación (Ministerio de Defensa 1943). La estación meteorológica Quinta Normal de Santiago, es la más longeva del país, no presenta interrupciones en sus observaciones, se ha ubicado siempre en el mismo lugar y operada por personal técnico calificado. Esta son algunas de las características que la clasifican como una estación climática de referencia climática de Chile, Sudamérica y a nivel mundial.

2.2 Clima de Chile central

La zona de clima mediterráneo de Chile central es de transición entre los desiertos de latitudes medias hiperáridas en el norte de Chile y la humedad del mar de la costa oeste hacia el sur (30 y 38° S). Esta faja latitudinal limita al norte con la zona casi permanentemente sometida a la influencia del

anticiclón subtropical del Pacífico Suroriental (anticiclón subtropical), y al sur con el área dominada por el cinturón de los vientos del oeste, en el cual se alternan altas y bajas presiones móviles que perturban localmente el frente polar intensificando la precipitación. Esta transición geográfica entre dos regímenes característicos de la circulación general de la atmósfera implica una estacionalidad marcada en el clima, con una influencia anticiclónica creciente de sur a norte y de invierno a verano. El grado de influencia del régimen de los oestes en el espacio y tiempo resulta a la inversa de la anticiclónica (Rutllant2000).

Como consecuencia de lo anterior, la precipitación en Chile central es casi exclusivamente invernal, producto del desplazamiento hacia el ecuador del anticiclón subtropical y el consecuente traslado del cinturón de los oestes, el que además se intensifica en esta estación por el máximo contraste de radiación solar entre los trópicos y la región circumpolar antártica (Rutllant 2000).

2.3 Relaciones entre regímenes hidroclimáticos (Precipitación-Nieve-Caudales) y El Niño.

La variabilidad interanual de la precipitación en la región central de Chile es relativamente alta, debido al carácter transicional del régimen pluviométrico entre la condición extremadamente árida al norte de 25°S y el clima húmedo al sur de 40 ° S. Ésta se encuentra parcialmente condicionada por la ocurrencia de las fases extremas de Oscilación del Sur correspondientes a los fenómenos EL Niño que se asocia a un aumento excesivo de precipitaciones y La Niña que generalmente está relacionada al déficit de precipitaciones (Aceituno 1988).

Por otro lado, el deshielo estacional de la nieve acumulada es el principal control de la escorrentía de los ríos de estas regiones y proporciona la mayor parte del agua necesaria para el consumo humano, la agricultura, las industrias, la generación hidroeléctrica y la recarga de acuíferos. Además, los glaciares contribuyen a la escorrentía, siendo particularmente importantes durante años de sequía. Cabe indicar que, sus aportes son muy variable dependiendo tanto del tamaño como del área de las cuencas y los glaciares que contienen (Masioka *set al.*2012).

2.4 Estudios sobre la variabilidad de precipitaciones de Chile según registros instrumentales y Anillos de arboles

El registro meteorológico de la precipitación es fundamental al ser representativo de las variaciones climáticas a nivel regional o local. La precipitación en Chile es uno de los elementos del clima que mayor variación presenta en su extensión latitudinal, temporal y estacional. Chile central

exhibe una marcada característica estacional, siendo los meses de abril a septiembre los más lluviosos, con 60% a 70% de las precipitaciones anuales. Al sur de la latitud 30°S la evolución de la precipitación, está condicionada por una fuerte variabilidad en la escala de tiempo decadal, la cual se vincula a cambios en esa misma escala con la Oscilación Decadal del Pacífico (Quintana 2004).

Existe una disminución regional de las precipitaciones registrada desde 1931 a partir de registros instrumentales, y descrito para el norte de la Patagonia chilena (Daniels y Veblen 2000). Asimismo, una disminución constante de las precipitaciones en el período de 1931-2001 se registra en la mayoría de las estaciones meteorológicas en Chile entre 37° y 45° S, que ha sido descrito como el patrón de precipitación regional dominante (Pezoa 2003).

De otra parte, los árboles registran muy bien las variaciones climáticas a través del ancho de sus anillos. Al realizar 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 en el caso de especies longevas como el Alerce (*Fitzroya cupressoides*) que puede llegar a vivir más de 3600 años (Lara y Villalba 1993).

Finalmente, existen diversos estudios sobre reconstrucción climática a través de las cronologías de los árboles como (Villalba 1994) donde los registros dendrocronológicos y glaciológicos a lo largo de los Andes se usaron para reconstruir en forma conjunta las fluctuaciones climáticas en latitudes medias de América del Sur durante los últimos 1000 años, y Le Quesne *et al.* (2006). que desarrollaron amplias series de anillos de Ciprés de la Cordillera (*Austrocedrus chilensis*) en la zona central de Chile, con la finalidad de reconstruir las variaciones climáticas del pasado. Para ello utilizaron los registros más largos de precipitación hasta el 2000. Al mismo tiempo, compararon la recurrencia de sequías durante el siglo XX con los últimos siete siglos.

2.5 Proyecciones climáticas en Chile central.

En el siglo XX se verificó una significativa disminución de la precipitación en la región subtropical de Chile (Aceituno *et al.* 1992). Esta situación contrasta fuertemente con lo ocurrido en el margen oriental de la región subtropical del continente donde la precipitación ha mostrado un significativo incremento. En un estudio reciente de Quintana (2012) se muestra que la evolución de la precipitación en Chile, a los 30°S, está condicionada por una fuerte variabilidad en la escala de tiempo decadal, la cual se vincula a la escala interanual con la Oscilación del Sur así como en las condiciones atmosféricas y oceánicas en toda la cuenca del Pacífico. Además, resultados preliminares del mismo estudio sugieren que la disminución de la precipitación en la región centro-sur del país durante las

décadas más recientes se asocia a una disminución en la frecuencia de días con precipitación así como de la intensidad de la precipitación en los días con lluvia

Finalmente, se realizaron proyecciones climáticas futuras por la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) (2009) que indican una alta probabilidad de ocurrencia en la disminución de precipitaciones entre los paralelos 30°S y 42°S, en consecuencia se puede esperar que la señal de cambio climático sea mayor a la variabilidad incluso en un futuro cercano, siendo esto aún más preocupante por ser la zona de mayor población por ende posee una alta productividad económica.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

El trabajo se realizó recopilando datos mensuales de precipitación de 42 estaciones meteorológicas, ubicadas entre La Serena (29° 54' latitud sur) y Concepción (36° 47' latitud sur) a partir de las primeras décadas del siglo XX.

La recopilación de los datos se realizó desde los archivos de Anuarios en papel como también de los digitalizados, localizados en la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), Dirección General de Agua (DGA) y en documentos históricos de la zona central.

Además, se trabajó con planillas Excel con detalle año/mes. Las series de precipitaciones fueron completadas por el programa de libre distribución llamado AnClim, en cual fue diseñado y desarrollado por Petr Stepanek. Para las representaciones gráficas se utilizó Grapher 9 y Microsoft Excel 2010. Los datos fueron analizados en los programas SPSS y AnClim. Finalmente, se utilizó Arcgis 9.3 para generar el mapa que contiene la localización de las estaciones meteorológicas.

3.2. Métodos

3.2.1 Creación de la base de datos

La precipitación medida en cada estación meteorológica, expresada en milímetros (mm) fue seleccionada y digitada mensualmente, estos datos fueron registrados en formularios e ingresados en una planilla Excel, donde cada una se renombró con el nombre de la estación y latitud respectiva

(ejemplo: La Serena 29°54'S), lo que aseguró la localización eficiente de la información meteorológica. En dichas planillas se registraron parámetros como: la latitud, longitud, altura m snm y el nombre de la estación. Los años sin información para un mes dado se indicaron en la celda con (.) y cuando no se producía el fenómeno se representó con (-), tal como es utilizado por la DMC en sus archivos de datos meteorológicos.

Los requisitos para recopilar y digitar los registros de cada estación pluviométrica fueron presentar registros previos al año 1931. Sin embargo, las estaciones de Salamanca y Lago Peñuelas no cumplieron con este requisito pero igualmente se consideraron en la base de datos, debido a que sus registros sirvieron para completar otras series.

3.2.2 Relleno de series de tiempo

Los datos de precipitación fueron completados mediante el programa AnClim, primero se seleccionaron las estaciones a rellenar según los siguientes criterios de calidad:

- Presentar un porcentaje de valores missing (años sin datos) menor al 15 %, para el período de análisis.
- En las estaciones cuyo primer o el último año registrado, tenían menos de 6 meses no se consideraba año completo.
- Garantías de una adecuada técnica de medición a cargo de un observador meteorológico o personal técnico calificado

Con las estaciones seleccionadas se trabajó con la precipitación medida en mm, ya que el programa calculaba el valor faltante como una razón con respecto al promedio mensual de la estación a rellenar, conocido como el método de las razones o proporciones, por lo cual este método no estaría sobre o sub-estimando el valor del dato faltante. La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$VC(xn) = \left(\frac{VR(xn)}{PRn} \right) \times PCn[1]$$

Dónde:

VC (xn): Valor a rellenar en el mes X del año N, en la estación candidata (C)

VR (xn): Valor en el mes X del año N, en la estación de referencia (R)

PR(x): Promedio mes X en la estación de referencia

PC(x): Promedio del mes X en la estación candidata

$$\text{Enero de 1990 EC} = \left(\frac{\text{ER}}{\text{Promedio ER}} \right) \times \text{promedio EC}$$

Dónde:

Todos los datos utilizados son en base a enero de 1990

ER: estación de referencia

EC: estación candidata

Por otro lado, el criterio utilizado para elegir la estación de referencia con la cual se completó la estación candidata, se basa en la existencia de una alta correlación entre ambas, especialmente en los meses que se querían complementar. Como las altas correlaciones tienden a darse entre estaciones geográficamente cercanas, estas fueron mapeadas en Argis 9.3 con el fin de facilitar las búsqueda de correlaciones altas entre estaciones, Las correlaciones fueron obtenidas con el programa AnClim, el cual originó un archivo de texto (*.txt) con las correlaciones mensuales entre ambas estaciones. Esta información se ordenó en una planilla Excel, donde se resaltó con amarillo los meses que se rellenaron.

Otro punto importante es que la estación de referencia posea la menor cantidad posible de datos faltantes (missing values) y que por supuesto tenga los valores en el o los meses/ años que se necesita en particular. Finalmente, en algunos casos se ocupó más de una estación de referencia para rellenar una estación de candidata, con el fin de rellenar períodos diferentes, no cubiertos por una sola estación referencia (Peña 2012) (comunicación personal)

3.2.3 Análisis de los datos

Para el análisis de los datos se utilizó el método estadístico llamado Análisis de componentes principales (ACP). El ACP es uno de los métodos de análisis más difundidos, que permite la estructuración de un conjunto de datos multivariados obtenidos de una población, cuya distribución de probabilidades no necesita ser conocidas, los objetivos más importantes de todo ACP son:

- Generar nuevas variables (componentes principales) que pueden expresar la información contenida en el conjunto original de datos.
- Reducir la dimensionalidad del problema que se está estudiando, como paso previo para futuros análisis.
- Eliminar, cuando sea posible, algunas de las variables originales si ellas aportan poca información (Pla 1986).

También, 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 (Pezoa 2003).

Para realizar ACP, se realizó una matriz simétrica, es por eso, que la mejor alternativa para este caso fue limitar los años desde 1930 hasta el 2000 para todas las estaciones, quedando finalmente solo 33 estaciones que cumplían con este criterio. Posteriormente, la matriz simétrica fue ingresada al programa estadístico SPSS para realizar el ACP, donde se obtuvo el Componente Principal (PC) de cada estación meteorológica y el porcentaje de la varianza explicada. Para el análisis se consideraron los PCS que tuvieran valores ≤ 1 .

Las cargas de tres primeros componentes principales se graficaron con Microsoft Excel 2010, su amplitud con Grapher 9.

Del total de estaciones de precipitación anual se seleccionaron 33 estaciones meteorológicas, ya que para realizar ACP se requiere una matriz simétrica, con un período común. Además, se estimó el promedio anual, la desviación estándar y coeficiente de variación (%) de cada estación.

3.3 Filtro de baja frecuencia.

Para analizar de mejor manera las tendencias, se utilizó un filtro gaussiano de baja frecuencia (10 años), el cual permite suavizar las series y ver las anomalías importantes con mayor claridad (Stepanek 2003)

4. RESULTADOS

4.1 Datos de las estaciones meteorológicas

Se seleccionaron un total de 42 estaciones (Anexo 1) pero solo se trabajó con los datos de precipitación de 40 para el relleno por el hecho que las otras dos estaciones superaron el 15% de datos faltantes (Anexo 2) y finalmente, para el Análisis de componentes principales se utilizaron sólo 33 estaciones por el período común que hay entre ellas (1930 -2000).

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas de precipitación mensual para el período 1900-2011.

Estaciones	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Fuente	Años registrados
La Serena	29°54'	71°12'	142	DMC*	1900-2011
P. Tortuga	29°57'	71°22'	25	DMC*	1900-1987
Rivadavia	29°58'	70°35'	820	DGA*	1916-2011
Vicuña	30°02'	70°44'	600	DMC	1918-2006
Ovalle	30°36'	71°12'	220	DGA	1900-2011
Combarbalá	31°11'	71°00'	904	DMC	1918-2011
P. Oscuro	31°25'	71°35'	140	DMC	1911-2011
Illapel	31°36'	71°11'	310	DMC	1913-2003
Salamanca	31°48'	70°55'	570	DMC	1942-2011
Petorca	32°15'	70°58'	501	DMC	1927-2006
Huaquén	32°18'	71°28'	200	DMC	1927-2011
La ligua	32°27'	71°16'	58	DMC	1912-2010
Catapilco	32°34'	71°18'	95	DMC	1924-2011
San Felipe	32°45'	70°44'	630	DMC	1930-2000
Los Andes	32°50'	70°36'	816	DMC	1907-2011
Limache	33°01'	71°18'	120	DMC	1912-2000
Valparaíso	33°01'	71°38'	41	DMC	1900-2000
Quilpué	33°04'	71°28'	101	DMC	1918-2011
L. Peñuelas	33°08'	71°33'	360	DGA	1974-2011
Santiago	33°27'	70°41'	520	DMC	1900-2011
L.Obra de Maipo	33°35'	70°30'	799	DMC	1912-2001
C. Queltehues	33°49'	70°12'	1365	DMC	1928-2011
Aculeo	33°50'	70°57'	370	DMC	1913-2009
Teniente	34°06'	70°08'	2134	DMC	1912-1953
Barahona	34°07'	70°31'	1672	DMC	1921-2001
Rancagua	34°10'	70°45'	500	DGA	1910-2011
Coya	34°12'	70°33'	785	DMC	1921-2005
San Fernando	34°35'	71°00'	350	DGA	1911-2011
Pumanque	34°37'	71°40'	112	DMC	1924-2011
Lolol	34°45'	71°40'	170	DMC	1918-2011
Curicó	34°58'	71°14'	228	DMC	1911-2011
Talca	35°25'	71°40'	100	DGA	1907-2011
P. Carranza	35°36'	72°38'	33	DMC	1900-1985
Linares	35°50'	71°36'	137	DMC	1925-2001
Cauquenes	35°58'	72°20'	142	DMC	1918-2011
Parral	36°09'	71°50'	170	DMC	1919-2000
Bullileo	36°17'	71°25'	600	DMC	1930-2011
San Carlos	36°25'	71°55'	172	DMC	1919-2003

Chillán	36°34'	72°02'	124	DMC	1919-2011
P. Tumbes	36°36'	73°06'	90	DMC	1900-1978
Bulnes	36°45'	72°19'	83	DMC	1924-2009
Concepción	36°46'	73°03'	12	DMC	1900-2011

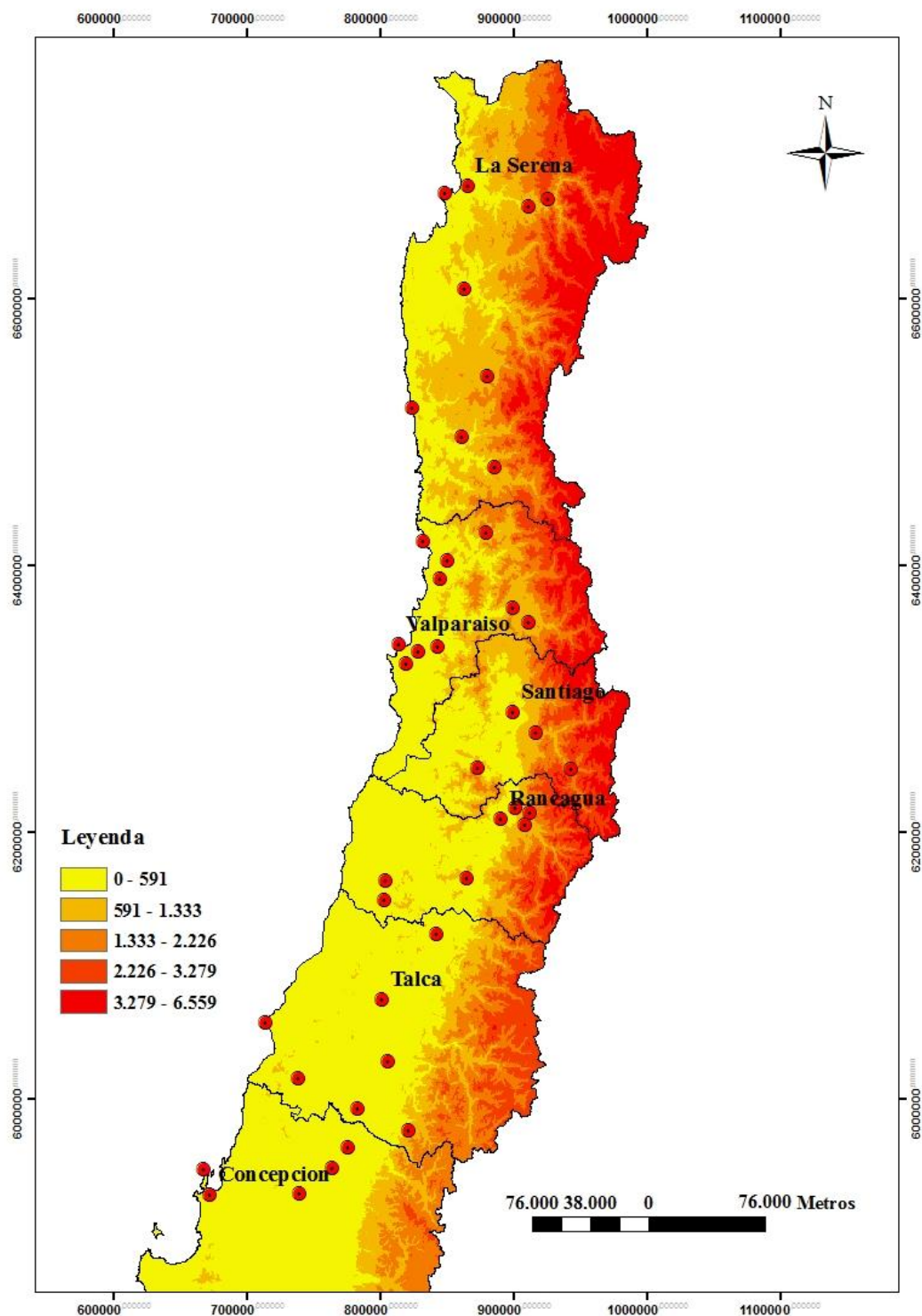


Figura1. Ubicación de las estaciones meteorológicas desde La Serena a Concepción, período 1900

La distribución de las estaciones meteorológicas va desde La Serena a los (29°54'S, 71°12'O) hasta Concepción a los (36°46'S, 73°03'O). En relación a la ubicación de las estaciones según su altitud, van desde 12 m snm hasta 2313 m snm (Cuadro 1)

4.2 Análisis mensual de la precipitación.

4.2.1 Distribución geográfica y análisis tendencias

La precipitación muestra una tendencia de Norte a Sur en aumento (Cuadro 2). Sin embargo, se presentan estaciones como Combarbalá y Barahona, que rompen la tendencia debiendo a la altitud en que se ubican, puesto que se sitúan sobre los 900 msnm (Cuadro 1 y Figura 1).

Las estaciones con mayor precipitación anual promedio de los 71 años analizados, fueron Bullileo con 2122 mm, Concepción con 1208 mm y San Carlos con 1169 mm. Por otra parte, las menores precipitaciones medias anuales se registraron en La Serena con 93 mm, Rivadavia con 107 mm y Ovalle con 118 mm (Cuadro 2)

Cuadro 2. Estaciones meteorológicas con valores de precipitación anual promedio (mm), Desviación Estándar (mm) y Coeficiente de Variación (%), período 1930-2000

Estaciones	Pp promedio anual de 71 años (mm)	Desv. Estándar (mm)	CV (%)
La Serena	93	62	67
Rivadavia	107	80	75
Vicuña	119	84	71
Ovalle	118	74	62
Combarbalá	233	130	56
P.Oscuro	184	110	59
Huaquén	285	141	50
La Ligua	331	160	48
Catapilco	376	178	47
San Felipe	227	119	52
Los Andes	279	146	52

Valparaíso	382	161	42
Quilpué	452	217	48
Santiago	325	141	43
L.Obra de Maipo	634	272	43
C. Queltehues	662	365	55
Aculeo	574	274	48
Barahona	892	421	47
Rancagua	426	166	39
Coya	702	284	41
San Fernando	725	284	39
Pumanque	617	223	36
Lolol	738	265	36
Curicó	700	246	35
Talca	667	217	33
Linares	955	296	31
Cauquenes	671	237	35
Parral	1030	318	31
Bullileo	2122	576	27
San Carlos	1169	361	31
Chillán	1060	269	25
Bulnes	1007	270	27
Concepción	1208	289	24

Se verificó una relación directa entre la latitud y precipitaciones totales, con un aumento en sus valores anuales entre los 33° y 37°S (Figura 2). Además, el coeficiente de variación exhibió una disminución con respecto a la latitud (Figura 3). En relación de la precipitación promedio anual según altitud, se apreció una leve relación positiva entre ellas (Figura 4), ya que el 3 % de las estaciones analizadas fueron de altura (785-1672 msnm).

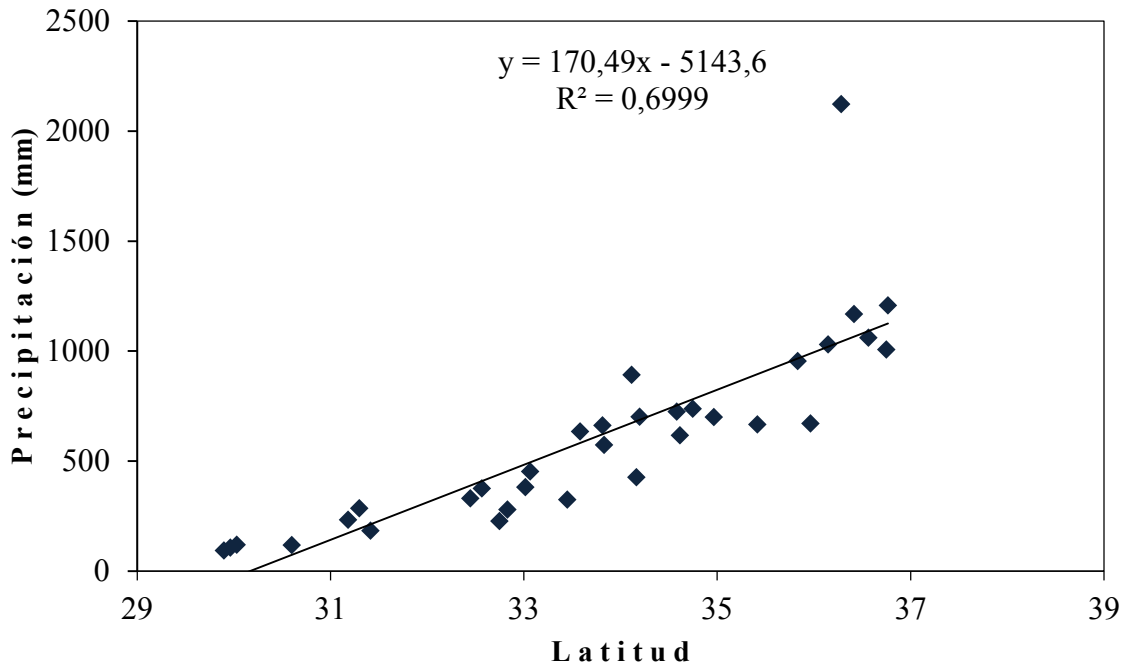


Figura 2. Promedio anual de las precipitaciones de 71 años (1930-2000), según latitud (Grados centesimales).

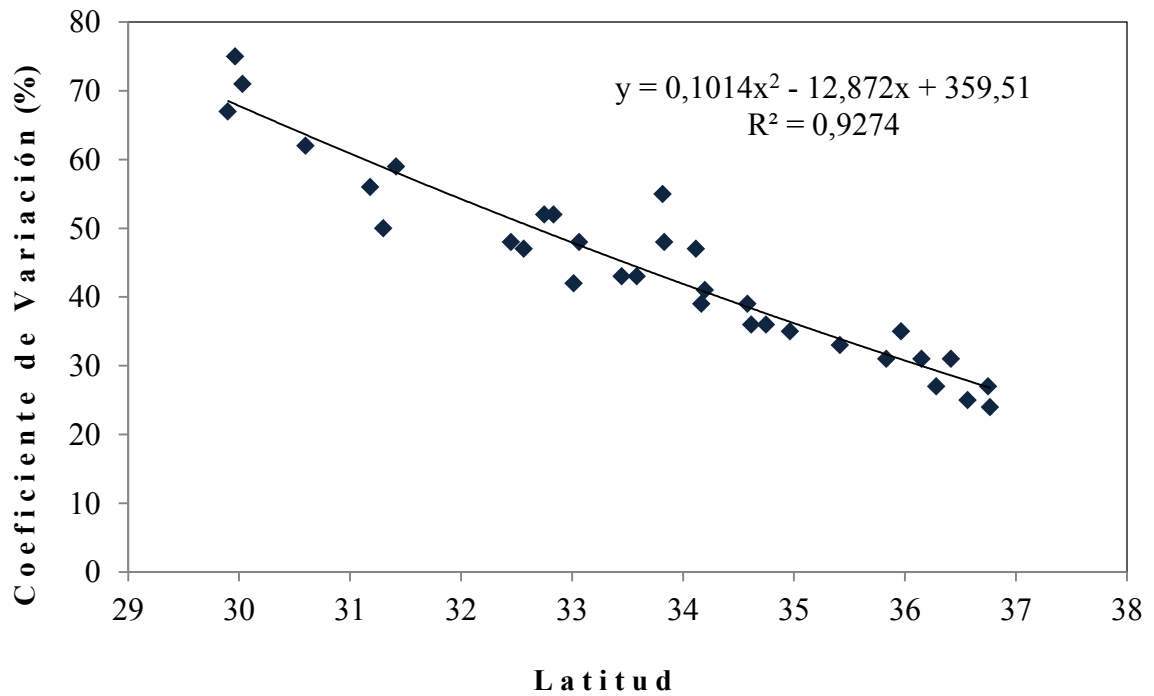


Figura 3. Coeficiente de Variación de la precipitación promedio anual de 71 años (1930-2000), según latitud (Grados centesimales).

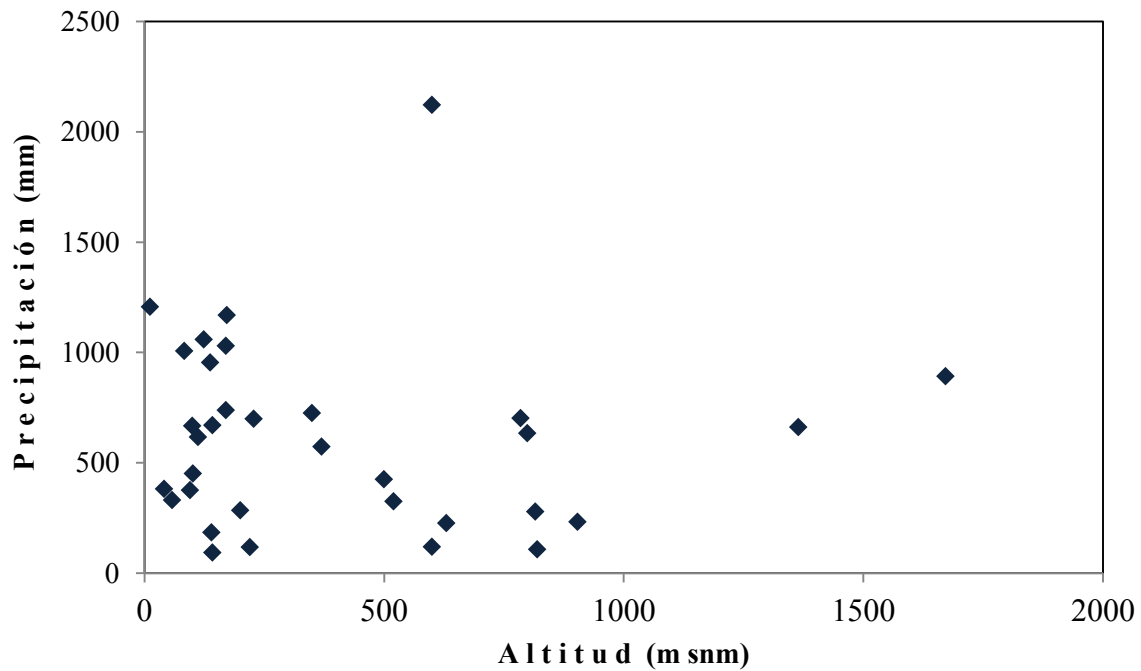


Figura 4. Relación de la precipitación promedio anual de 71 años (1930 – 2000), según altitud.

La variación de la precipitación promedio anual de las estaciones meteorológicas, presentó una alta variabilidad interanual. Además, se observó que 1998 fue el año con menos precipitación y 1941 fue el año con más precipitación de los 71 años analizados. La tendencia mostró períodos con anomalías positivas de precipitación que van entre los años 1939-1942 y los años 1976-1983. Por último, los períodos con anomalías negativas de precipitación se encontraron especialmente entre los años 1966-1969 y los años 1993-1996.

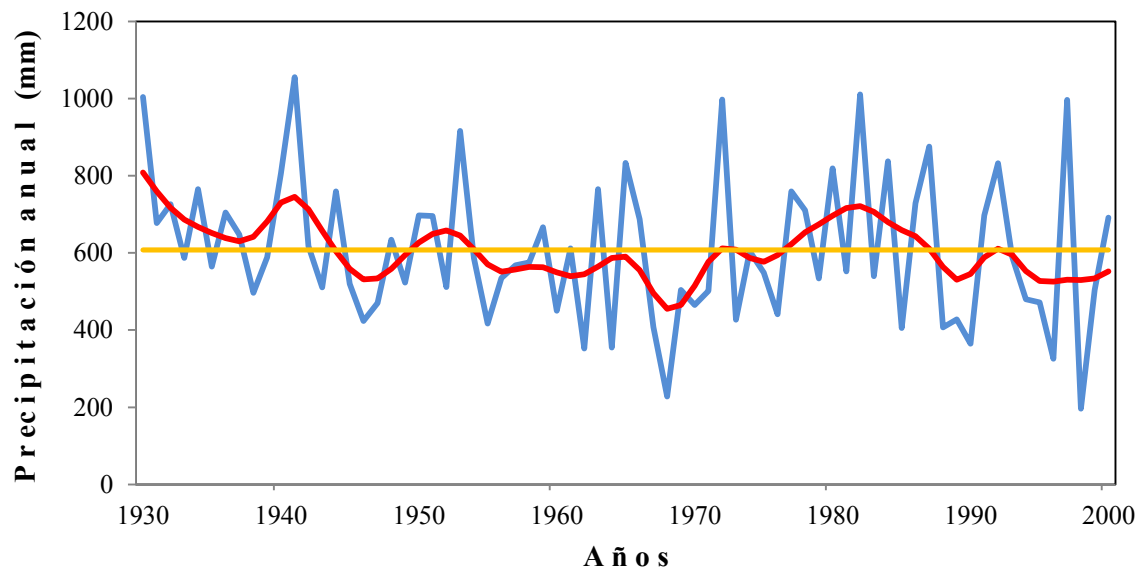


Figura 5. Varación de la precipitación promedio anual (1930-2000), de las 33 estaciones meteorológicas; la línea de tendencia corresponde al filtro Gaussiano (rojo),y la línea de la media (naranja).

4.2.3 Determinación de patrones geográficos y temporales de la precipitación.

Para analizar los patrones geográficos y temporales de la precipitación, se aplicó el ACP para las 33 estaciones meteorológicas que comprenden 71 años (período común 1930-2000).

Las cargas de las distintas estaciones para el CP1 (Figura 6) explican el 70 % de la varianza, y reúnen estaciones meteorológicas ubicadas entre La Serena y Concepción. Los valores son relativamente altos (0,651 -0,938), e indican una gran homegenidad en la variedad interanual de las precipitación a pesar del amplio rango latitudinal que abarcan (Anexo 3)

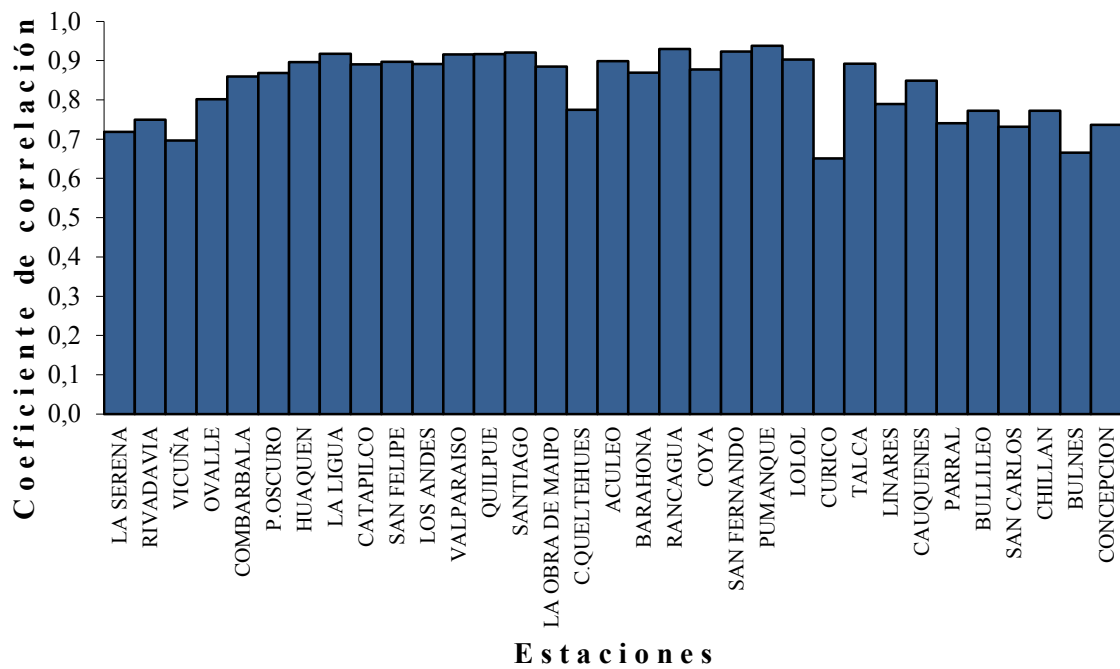


Figura 6. Las cargas de cada estación meteorológica del CP1

El CP2 (Figura 7), que explica el 9 % de la varianza total, muestra una diferencia entre las estaciones de la zona centro-norte y centro-sur. Por otra parte, se observa un quiebre en la estación Central Queltehues por presentar una carga excepcional alta (0,64). Por último, el CP3, con sólo un 5 % de la varianza explicada, no es significativo para ninguna estación, con valores máximos en las estaciones de Concepción y La Serena.

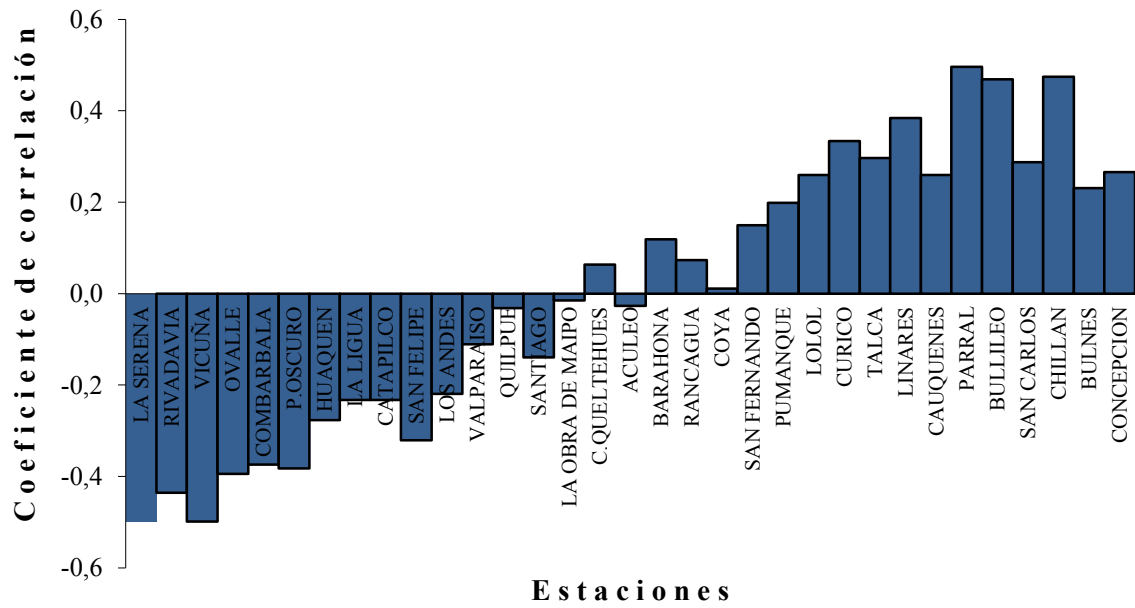


Figura 7. Las cargas de cada estación meteorológica del CP2.

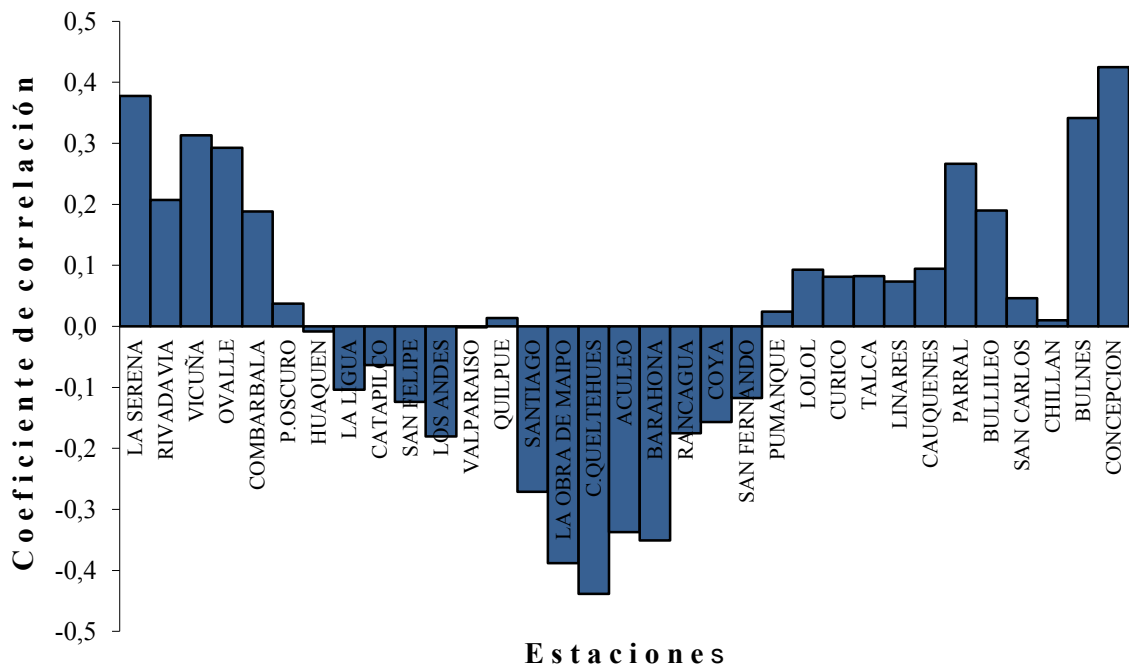


Figura 8. Las cargas de cada estación meteorológica del CP3.

La variación de la precipitación en el período 1930-2000. El CP1 indicó, en general una alta variación en la precipitación entre los años 1980-1986 y un aumento considerable entorno al año 2000. Por otro lado, CP2 presentó valores extremos negativos en 1957 y 1987. El CP3 (Figura 9) tuvo un valor extremo positivo en el año 1940, igualmente exhibió valores negativos en los años 1982 y 1997. Finalmente, CP3 tuvo una marcada tendencia negativa en la precipitación.

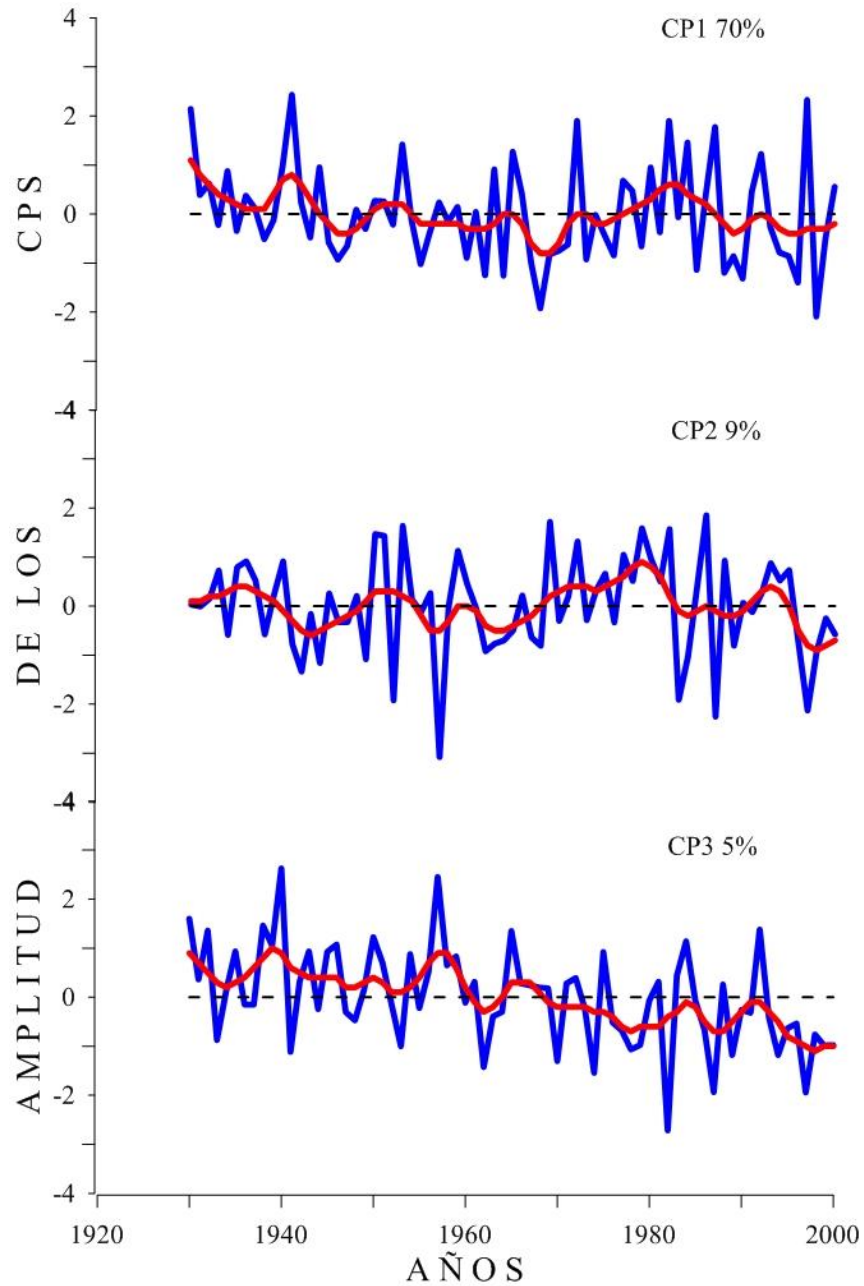


Figura 9. Amplitud de los CPs resultantes del Análisis de Componentes Principales sobre la precipitación. (La línea de tendencia corresponde al filtro de baja frecuencia Gaussiano).

5. DISCUSIÓN

En esta tesis se presenta una de las mayores bases de datos de precipitación de Chile central provenientes de los Anuarios de la DMC, DGA y documentos históricos. Esta recopilación, cuenta con un total de 42 estaciones, algunas de ellas actualizadas hasta el año 2011. Sin embargo, el análisis de abarca 71 años por la restricción que impone trabajar con período común (1930-2000). Se agregan 12 estaciones no consideradas en el estudio de Le Quesne *et al.* (2006). Por otro lado, el presente trabajo mejora la confiabilidad de los datos por el hecho de contar con un mayor número de estaciones, y por ser rellenadas con un método común.

Esta zona es una región de transición climática entre la extrema aridez hacia el norte y una región con lluvias abundantes en latitudes más altas (Aceituno 1992). Ello queda patente en la Figura 2, ya que las precipitaciones presentan una relación directa con las latitudes y como resultado de esta condición geográfica, el régimen de precipitaciones presenta una alta variedad interanual (Figura 3). Igualmente, otro factor que influye en la precipitación es la altitud, sin embargo, en el presente trabajo se aprecia una relación débil entre ellas (Figura 4), debido a que se presenta un número muy reducido (tan solo dos) estaciones por sobre los 1.000 metros. En este sentido, entre los 700 y 800 m.snm, se observa un efecto orográfico atenuado, como lo encontrado por Pezoa (2003).

El promedio regional de precipitación anual, para el período 1930-2000, va desde 93 mm a los 2112 mm anuales (Cuadro 2), lo cual revela condiciones pluviométricas extremas en Chile central. Estas, son parte consecuencia de las anomalías que se producen por el acoplamiento del sistema océano-atmósfera en el Pacífico Ecuatorial central, asociados a los fenómenos de ENOS (Inzunza 2012). Las anomalías se pueden apreciar claramente con el filtro Gaussiano (Figura 5). Un ejemplo de ello se aprecia cerca del año 2000, en que se observa una disminución considerable de la precipitación anual, coincidente con la sequía que enfrentó Chile en los años 1998-1999, atribuible al fenómeno La Niña.

Por otro lado, las estaciones ubicadas entre los 29° y 36° S, muestran que el coeficiente de variación presenta un aumento hacia al norte, lo cual puede estar relacionado a la disminución de la precipitación. (Figura 3).

En los 71 años de registro, el valor de precipitación extremo superior, tuvo lugar en el año 1941, año que coincide con el fenómeno El Niño (Aceituno 1988). Por otro lado, el año que presenta la mayor sequía es 1998 (Figura 5), asociado a un año La Niña. Dicho evento, se caracterizó por la presencia de una alta subtropical que incursionó entre los meses de mayo y julio de 1998 hasta la latitud de los 40 a

45° latitud sur, lo cual redujo las precipitaciones durante la estación de lluvias en Chile central en los años 1998 y 1999 (Quintana1991). Otro evento extremo corresponde a la sequía de 1968, la cual fue muy intensa para ciertas localidades y abarcó las regiones III a VI Urrutia *et al* (1993), ubicándose como la segunda mayor sequía en los 71 años de estudio.

Por otro lado, las cargas de los CPs (Figura 6), muestran que los tres primeros componentes representan un 84% de la varianza. El CP1 indica que la precipitación de la zona central está determinada por una gran homogeneidad en la variación interanual, fuertemente influenciadas del por el anticiclón subtropical y del cinturón de los Oestes. En cambio, el CP2 (Figura 7) indicaría una diferencia entre la zona centro-norte respecto al centro-sur, teniendo como límite la latitud 33°S, donde las cargas adoptan un valor positivo. Finalmente, CP3 (Figura 8) está caracterizado por las estaciones de La Serena y Concepción, las cuales presentan las mayores cargas. También, es importante mencionar el quiebre que se presenta entre Puerto Oscuro y Huaquén, lo cual podría indicar el límite geográfico entre de clima semiárido y el típicamente mediterráneo.

Respecto a los patrones temporales (Figura 9), el CP1 presenta valores significativos entre 29° y 36° S, indicando una alta variación en la precipitación entre los años 1980-1986. Este patrón estaría dado por la influencia del Anticiclón del Pacífico Suroriental y cinturón de los vientos del Oeste en dicho rango de latitud (Aceituno y Montecinos 1992). Por otro lado, CP2 presentó valores extremos negativos en 1957 y 1987, mientras que el CP3 muestra una tendencia a la disminución en la precipitación promedio anual de la zona central que podría ser consecuencia del cambio climático.

Los resultados son coincidentes con el trabajo realizado por Le Quesne *et al.* (2006), donde los autores realizaron reconstrucciones de las variaciones climáticas del último milenio mediante anillos de crecimiento de *Austrocedrus chilensis* en el Chile central. En este trabajo se indican los años 1938, 1949, 1968, 1981, y 1998, como los cinco años más secos de Chile central. Otro punto a destacar es que los análisis de la reconstrucción proporcionan cierto apoyo a una influencia de ENOS en la precipitación del centro de Chile y crecimiento de los árboles.

6. CONCLUSIONES

En éste trabajo, se presenta una de las mayores recopilaciones de datos de precipitación provenientes de anuarios de la DMC, DGA y documentos históricos, desde La Serena hasta Concepción. Sin embargo, solo se analizaron las estaciones que presentan registros para el período común 1930-2000, debido a las restricciones que supone el ACP.

Por otra parte, a pesar del gran esfuerzo invertido en la recopilación de los datos y el valioso apoyo de la DMC, no se logró compilar un registro actualizado. Esta limitación obedece en buena medida a la gran dispersión de datos meteorológicos, a cargo de diferentes organismos del Estado.

Existe una fuerte relación entre la latitud y el total de precipitaciones anuales en el área de estudio, donde la precipitación promedio anual aumenta positivamente con la latitud. Además, respecto a la altitud se aprecia una débil relación entre ellas, debido a las escasas estaciones de altura que presenta Chile.

La variación de la precipitación promedio anual de las estaciones meteorológicas, ubicadas entre 29° y 36°S, presenta una gran variabilidad interanual. Además, se observa en la tendencia general períodos con fuertes anomalías positivas y negativas de precipitación, lo cual demuestra las condiciones pluviométricas extremas en Chile central.

Por otro lado, al agrupar las estaciones por medio de ACP se logró observar de mejor manera las cargas de cada una de las estaciones para los primeros tres CP, los cuales explican el 84 % de la varianza explicada. Ello indica en forma general la gran homogeneidad de la variedad interanual que existe en el área de estudio.

Finalmente, los patrones temporales muestran una tendencia positiva en la precipitación según el CP1 y CP2, sin embargo, este último exhibe a alrededor del año 2000 una tendencia negativa en la precipitación. El CP3, que presenta una tendencia negativa en la precipitación a lo largo de toda la serie.

7. REFERENCIAS

- Aceituno P.1988. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface Climate. Monthly Weather Review. 116: 505-524.
- Aceituno P, A Montecinos.1992.Precipitación en el altiplano sudamericano: variabilidad interanual e intraestacional y mecanismos asociados. Primer congreso Iberoamericano de meteorología. España.10p.
- Aceituno P.1992.Anomalías de precipitación en Chile central relacionadas con la oscilación del Sur: Mecanismos asociados. Consultado 10 jun.2013.Disponible en http://www.dgf.uchile.cl/biblio/paperfenomenoni%flo/index_papers_meteo.html.
- Aceituno P, M Prieto, M Solari, A Martínez, G Poveda, M Falvey.2008.The 1877–1878 El Niño episode: associated impacts in South America. Climatic Change 92 (3): 389-416.
- CEPAL.2009.Estudio Regional de la Economía del Cambio Climático en Chile. Consultado 25 jul. 2012. Disponible en http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/0/47220/La_economia_del_cambio_climatico_en_Chile_Completo.pdf.
- Daniels L. T Veblen. 2000. ENSO effects on temperature and precipitation of the Patagonian-Andean region: Implications for biogeography. Physical Geography 21: 223-243.
- Lara A, R Villalba.1993. A 3620 year temperature record from *Fitzroya cupressoides* tree rings in southern South América. Science 260: 1140-1106
- Le Quesne C, D Sthale, M Cleaveland, M Therrell, J Arevena, J Barichivich.2006.Ancient *Austrocedrus* Tree-Ring Chronologies Used to Reconstruct Central Chile Precipitation Variability from A.D. 1200 to 2000. Journal of Climate 19, 5731-5744
- Martín - Vide J, Olcina J.1996.Tiempos y climas mundiales. climatología a través de mapas del tiempo e imágenes satelitales.Barcelona.Oikos-Taus.308 p.

- Masiokas L, R Villalba, D Christie, E Betman, B Luckman, C Le Quesne, M Prieto, S Mauget.2012.Snowpack variations since AD 1150 in the Andes of Chile and Argentina (30°–37°S) inferred from rainfall, tree-ring and documentary records. *Journal of Geophysical Research* 117: 1-11.
- Ministerio de Defensa.1943.Barografía de Chile. Consultado 19 jul.2012. Disponible en http://www.dgf.uchile.cl/biblio/anuarios/Anales/barografia_de_chile.pdf.
- Pezoa L. 2003. 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. Tesis de Ingeniero Forestal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia. 99 p.
- Pla L.1986. Análisis multivariado: Método de Componentes Principales.Venezuela. 86p.
- Prieto M. R Herrera.2009.Documentary sources from South America: Potential for climate reconstruction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281: 196–209.
- Rutllant J. 2000. Aspectos de la circulación atmosférica de gran escala asociada al ciclo ENOS 1997-1999 y sus consecuencias en el régimen de precipitación en Chile central. Consultado 18 jul. 2012. Disponible en <http://www.dgf.uchile.cl/GF750/frontogenesis/R04-CONAENOS.pdf>.
- Stepanek P.2003. AnClim. Software for time series analysis. Consultado 15 mayo. 2013. Disponible en <http://www.sci.muni.cz/~pest/>.
- Quintana J., 2004: Estudio de los factores que explican la variabilidad de la precipitación en Chile en escalas de tiempo interdecadal. Tesis de Magíster en Geofísica, Universidad de Chile, 2004.
- Quintana J. P. Aceituno, 2012: Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30 - 43°S. *Atmósfera* 25 (1): 1-22.
- Villalba R.1994.Fluctuaciones climáticas en latitudes medias de América del Sur durante los últimos 1000 años: sus relaciones con la Oscilación del Sur. Consultado 18 jul.2012.Disponible en http://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1994/4/Villalba_1994.pdf.
- Vicuña Mackenna B.1970. El clima de Chile. Santiago, Chile. Francisco Aguirre. 399p.

ANEXOS

Anexo 1. CD con Estaciones sin rellenar y completadas

Ver en CD adjunto. Biblioteca Central, Universidad Austral de Chile.

Anexo 2. Estaciones y su porcentaje de datos faltantes.

Cuadro 1. Estaciones y su porcentaje de datos faltantes.

Estaciones	Total de meses	Datos faltantes	(%)
La Serena	1344	1	0,1
P. Tortuga	1056	28	2,1
Rivadavia	1152	65	5,6
Vicuña	1068	84	8
Ovalle	1344	47	3,5
Combarbalá	1128	50	4,4
Puerto oscuro	1212	16	1,3
Illapel	1092	171	16
Salamanca	840	72	8,6
Petorca	960	232	24
Huaquén	1020	83	8,1
La Ligua	1188	6	1
Catapilco	1056	89	8,4
San Felipe	886	0	0
Los Andes	1260	138	11
Limache	1056	51	4,8
Valparaíso	1212	2	0,2
Quilpué	1128	47	4,2
L. Peñuelas	456	2	0,4
Santiago	1344	0	0
Obra de Maipo	1080	18	2
Queltehues	1008	40	4
Aculeo	1164	56	5
El Teniente	480	44	11,7
Barahona	972	21	2,2
Rancagua	1092	8	1
Coya	1008	55	5,5
San Fernando	1212	74	6,1
Pumanque	1056	64	6,1
Lolol	1128	45	4
Curicó	1092	150	13,7
Talca	1260	0	0
P. Carranza	1032	205	24,2
Linares	924	11	1,2
Cauquenes	1128	162	14,4
Parral	1080	124	11,5
Bullileo	984	13	1,3
San Carlos	1032	37	3,6
Chillán	1176	23	2
Bulnes	912	21	2,3
P. Tumbes	816	24	2,9
Concepción	1344	5	0,4

Anexo 3. Análisis de las Componentes Principales

Cuadro 1: Cargas de cada una de las estaciones y sus diferentes CP1

AÑOS	CP1	CP2	CP3
1930	2,142	0,031	1,599
1931	0,387	-0,008	0,361
1932	0,621	0,150	1,359
1933	-0,224	0,727	-0,875
1934	0,877	-0,588	0,125
1935	-0,345	0,793	0,935
1936	0,375	0,914	-0,151
1937	0,108	0,520	-0,153
1938	-0,512	-0,579	1,461
1939	-0,132	0,227	1,053
1940	0,983	0,914	2,627
1941	2,433	-0,775	-1,115
1942	0,239	-1,335	0,327
1943	-0,481	-0,159	0,936
1944	0,954	-1,160	-0,244
1945	-0,579	0,258	0,926
1946	-0,928	-0,323	1,075
1947	-0,656	-0,326	-0,302
1948	0,090	0,209	-0,470
1949	-0,305	-1,084	0,158
1950	0,270	1,469	1,226
1951	0,259	1,433	0,697
1952	-0,218	-1,923	-0,160
1953	1,420	1,638	-1,002
1954	-0,120	0,134	0,880
1955	-1,023	-0,119	-0,223
1956	-0,372	0,266	0,516
1957	0,237	-3,080	2,452
1958	-0,158	0,003	0,649
1959	0,146	1,129	0,830
1960	-0,896	0,454	-0,114
1961	0,045	-0,054	0,315
1962	-1,252	-0,921	-1,426
1963	0,913	-0,766	-0,393
1964	-1,259	-0,701	-0,299
1965	1,273	-0,495	1,351
1966	0,410	0,217	0,285
1967	-0,988	-0,639	0,243
1968	-1,923	-0,810	0,199
1969	-0,826	1,722	0,180
1970	-0,751	-0,302	-1,305
1971	-0,622	0,197	0,281

1972	1,903	1,319	0,390
1973	-0,926	-0,288	-0,244
1974	-0,016	0,310	-1,545
1975	-0,435	0,662	0,922
1976	-0,845	-0,334	-0,514
1977	0,681	1,047	-0,679
1978	0,476	0,511	-1,066
1979	-0,662	1,588	-0,976
1980	0,952	0,959	-0,067
1981	-0,374	0,502	0,316
1982	1,901	1,571	-2,718
1983	-0,067	-1,912	0,448
1984	1,461	-1,032	1,141
1985	-1,141	0,390	-0,070
1986	0,401	1,854	-0,669
1987	1,777	-2,255	-1,938
1988	-1,199	0,928	0,261
1989	-0,858	-0,808	-1,180
1990	-1,317	0,068	-0,257
1991	0,462	-0,121	-0,319
1992	1,226	0,253	1,381
1993	-0,265	0,875	-0,416
1994	-0,785	0,521	-1,181
1995	-0,858	0,733	-0,637
1996	-1,397	-0,726	-0,536
1997	2,331	-2,130	-1,944
1998	-2,092	-0,916	-0,759
1999	-0,499	-0,249	-0,986
2000	0,556	-0,579	-0,976

Cuadro 2: Amplitudes de los CPs

ESTACIONES	CP1	CP2	CP3
La Serena	0,719	-0,499	0,378
Rivadavia	0,750	-0,435	0,207
Vicuña	0,697	-0,499	0,313
Ovalle	0,802	-0,395	0,293
Combarbalá	0,860	-0,374	0,188
P. Oscuro	0,869	-0,382	0,037
Huaquén	0,896	-0,277	-0,008
La Ligua	0,917	-0,232	-0,104
Catapilco	0,890	-0,233	-0,064
San Felipe	0,897	-0,320	-0,124
Los Andes	0,892	-0,219	-0,180
Valparaíso	0,916	-0,111	-0,001
Quilpué	0,916	-0,031	0,014
Santiago	0,921	-0,140	-0,271
Obra de Maipo	0,885	-0,015	-0,388
C. Queltehues	0,774	0,064	-0,438
Aculeo	0,899	-0,027	-0,337
Barahona	0,870	0,119	-0,351
Rancagua	0,930	0,073	-0,175
Coya	0,877	0,011	-0,157
San Fernando	0,923	0,150	-0,118
Pumanque	0,938	0,199	0,024
Lolol	0,903	0,259	0,093
Curicó	0,651	0,333	0,081
Talca	0,892	0,296	0,082
Linares	0,789	0,384	0,073
Cauquenes	0,849	0,260	0,094
Parral	0,741	0,496	0,266
Bullileo	0,772	0,469	0,190
San Carlos	0,732	0,288	0,046
Chillán	0,772	0,474	0,010
Bulnes	0,665	0,231	0,341
Concepción	0,737	0,266	0,425