



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

**Análisis Geográfico y tendencias de la irregularidad temporal y espacial de las precipitaciones diarias en Chile central, entre los 30°S y 35°S de latitud. (Período 1965-2010).**

**Memoria para optar al título de Geógrafo.**

Cristián Escobedo Catalán.

Profesor Guía Pablo Sarricolea Espinoza.

Santiago – Chile; 2014

## Agradecimientos.

Son muchas las personas a quienes debo agradecer en este momento importante. Todos ellos, padres, amigos, colegas, profesores, compañeros y funcionarios de la Facultad, quienes, con sus constantes apoyos, consejos y palabras de alientos contribuyeron a que diera este paso.

Destaco al profesor Pablo Sarricolea, quien no dudó en aceptarme como memorista, conduciendo este trabajo con conocimiento y paciencia. También, a la profesora Lily Allimiras, quien siempre me instó a obtener el título profesional de Geógrafo. A mi amigo Sergio Yañez, por la ayuda brindada en el desarrollo de esta memoria.

A mis padres, esposa e hijo.

## Tabla de Contenidos.

Resumen	6
Summary	6
<b>Capítulo 1 : Presentación.</b>	<b>7</b>
1.1 Planteamiento del Problema	7
1.2 Objetivos Generales y Específicos.	10
1.3 Antecedentes del Área de estudio.	11
<b>Capítulo 2 : Metodología de la Investigación.</b>	<b>21</b>
2.1 Planteamiento Metodológico.	21
2.2 Datos y Métodos estadísticos utilizados.	23
<b>Capítulo 3 : Marco Teórico.</b>	<b>29</b>
3.1 Sistema Climático.	29
3.2 Sobre los estudios de las precipitaciones y su variabilidad.	33
3.3 Precipitaciones.	35
3.4 Factores que explican la variabilidad de las precipitaciones en Chile.	37
3.6 Fenómeno del Niño.	38
3.7 Regimen Pluviométrico en Chile.	42
<b>Capítulo 4 : Análisis de los Resultados.</b>	<b>44</b>
4.1 Homogeneidad de las series en estudios.	44
4.2 Caracterización regional de los patrones de precipitación: montos anuales y promedios.	45
4.3 Distribución espacial del Coeficiente de variación.	50
4.4 Análisis del índice de irregularidad temporal de precipitación.	53
4.5 Análisis de la tendencia de las precipitaciones.	55
4.6 Relación entre el coeficiente de variación e índice de irregularidad Temporal.	64
<b>Capítulo 5 : Discusión y Conclusiones.</b>	<b>65</b>
5.1 Discusión sobre los resultados.	65
5.2 Conclusiones.	68
6 Referencias Bibliográficas.	70
7 Anexos.	74

## Índice de Figuras.

- Figura 1 : Área de estudio.
- Figura 2 : Mapa Región de Coquimbo.
- Figura 3 : Mapa Región de Valparaíso.
- Figura 4 : Mapa Región Metropolitana.
- Figura 5 : Mapa Región del Libertador Bernardo O`Higgins.
- Figura 6 : Distribución relativa de las estaciones metereológicas por región administrativa.
- Figura 7 : Ubicación espacial de las estaciones metereológicas en el área de estudio.
- Figura 8 : Esquema de las etapas del estudio.
- Figura 9 : Ejemplo ficticio del cálculo del índice de irregularidad temporal.
- Figura 10 : Esquema inclinación de los rayos solares en diferentes latitudes.
- Figura 11 : Esquema de la circulación general de la atmósfera.
- Figura 12 : Esquema de las regiones generadoras de masas de aires.
- Figura 13 : Imagen del fenómeno del niño a nivel planetario.
- Figura 14 : Imagen de la anomalía de la temperatura superficial del mar: Fenómeno del niño.
- Figura 15 : Imagen de la anomalía de la temperatura superficial del mar. Fenómeno de la niña.
- Figura 16 : Distribución espacial y ciclo anual de las precipitaciones.
- Figura 17 : Distribución de los porcentajes de días de lluvia para el total de estaciones.
- Figura 18 : Distribución de los montos promedios de precipitaciones.
- Figura 19 : Distribución espacial de las precipitaciones anuales período 1950 – 2000.
- Figura 20 : Distribución de la dispersión relativa, mediante el coeficiente de variación.
- Figura 21 : Distribución espacial del coeficiente de variación agrupados en clúster.
- Figura 22 : Distribución del índice de irregularidad temporal.
- Figura 23 : Distribución índice de irregularidad temporal, arupado por clúster.
- Figura 24 : Distribución del coeficiente de variación para las estaciones períodos (1965 – 1987) y ( 1988 – 2010).
- Figura 25 : Distribución espacial del coeficiente de variación 1965 – 1987.
- Figura 26 : Distribución espacial del coeficiente de variación 1988 – 2010.
- Figura 27 : Distribución índice irregularidad temporal período (1965 – 1987) y (1988 – 2010).
- Figura 28 : Distribución espacial del índice de irregularidad temporal período 1965 – 1987.
- Figura 29 . Distribución espacial del índice de irregularidad temporal período 1988 – 2010.
- Figura 30 : Diagrama de dispersión y ajuste lineal para las estaciones en estudio.
- Figura 31 : Diagrama de dispersión y ajuste lineal período 1988 – 2010.
- Figura 32 : Diagrama de dispersión y ajuste lineal período 1965 – 1987.

## **Índice de tablas.**

Tabla 1 : Cuadro resumen precipitaciones.

Tabla 2 : Precipitaciones promedio anuales, mínimos, máximos y su variación.

Tabla 3 : Porcentaje de días de lluvias, valores extremos y diferencias positivas.

Tabla 4 : Parámetros estadísticos para la totalidad de las estaciones en el período 1965 – 2010.

Tabla 5 : Categorización de acuerdo al Coeficiente de variación según Llasat et al.

Tabla 6 : Clasificación del índice de irregularidad temporal según Llasat et al.

Tabla 7 : Descripción de las estaciones en términos de los montos promedios, desviación estándar y coeficiente de variación períodos 1965 – 1987 y 1988 – 2010.

**Resumen<sup>1</sup>:** La presente memoria centra su estudio en el análisis de la distribución espacial y temporal de las precipitaciones. En este contexto, se analizaron las tendencias de la irregularidad temporal y espacial de las precipitaciones, para el área geográfica comprendida entre los 30° S y 35° S de latitud, en el período 1965 y 2010. Para este propósito se utilizó registros pluviométricos diarios de un total de 55 estaciones meteorológicas distribuidas aleatoriamente en la zona de estudio. Mediante dicha información se construyeron indicadores estadísticos, obteniendo patrones del promedio de las precipitaciones, y otros de irregularidad de estas, destacando el índice de irregularidad temporal (S1) y el coeficiente de variación (CV). En este contexto se confirmó que si bien los montos de precipitaciones se incrementan a medida que se avanza en latitud y altitud, es decir, norte-sur y oeste-este, hay algunas singularidades geográficas a destacar, por ejemplo, en el sector de Tilttil.

Por su parte, la irregularidad y variabilidad de las precipitaciones se analizaron a través del coeficiente de variación y el índice de irregularidad. Estos indicadores, disminuyen a medida que la latitud aumenta, pero no longitudinalmente. Así, y de acuerdo a la clasificación realizada por Llasat et al (2010), el área de estudio presentan coeficiente de variación e índice de irregularidad muy altos, obteniendo una sola tipología, lo cual es insuficiente para explicar la variabilidad de las precipitaciones en esta región. Es por esto que, a través del análisis clúster, se obtuvo una nueva clasificación, mucho más cercana a los climas regionales. Finalmente, es necesario señalar que ambos indicadores se correlacionan fuertemente, presentando coherencia con la evidencia internacional.

**Summary:** The actual research is an analysis of the distribution of rainfalls in relation to time and space. Within this context, analysis of rainfall irregularities in time and space were made in a geographic area extended between the 30°S and 35°S. The analysis was made between 1965 and 2010. During the analysis daily pluviometric records were used. There were 55 weather stations distributed at random along the studied area. Starting from the data collected, statistics indicators were defined, obtaining patterns in the average rainfall as well as in the irregularities, emphasizing the temporal irregularity indicator (S1) and the variation coefficient (VC).

The main conclusion confirmed the fact that, in spite of an increase of rainfall as you move forward in latitude and height; north south and west east direction; there are some geographical singularities that have called our attention, for example the one found in Tilttil area, to mention one. The irregularities and variation of rainfalls were also analyzed using the irregularity indicator and variation coefficient. These indicators decrease as latitude increases, but there is no variation when we move lengthwise.

According to the classification done by Llasat et al (2010) the studied area presents a very high irregularity indicator and variation coefficient, obtaining one single typology. This result is not enough to explain the variability in rainfalls in this area. For this reason by means of cluster analysis, a new taxonomy was obtained. This new classification is more representative of the regional weather. It is also important to point out that both indicators were highly correlated and highly coherent with the international evidence.

---

<sup>1</sup> Memoria inserta en el Proyecto Fondecyt de Inicicación N°11130629

## Capítulo 1 : Presentación.

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Entre los aspectos más importantes del cambio climático, y del cual se requieren investigaciones más completas, se encuentra la distribución de la lluvia y sus respectivos cambios a través del tiempo. Es precisamente éste fenómeno, la variable más importante en este contexto, puesto que, está sometida a numerosas incertidumbre y a una mayor dependencia regional o local, lo que conlleva a fenómenos tan distintos que van desde situaciones de sequías hasta inundaciones (Zubieta, R & Saavedra, M; 2009). Además, por ser un fenómeno que se deriva de la relación dinámica de la atmósfera que, sumado a la topografía y el relieve, introducen potenciales desequilibrios en la distribución espacial y temporal de las precipitaciones. Estos desequilibrios conllevan a que el fenómeno pluviométrico se disponga de forma irregular en los distintos territorios, provocando, con esto, la variabilidad pluviométrica.

Ciertamente, la variabilidad pluviométrica se presenta en diferentes escalas temporales y espaciales, en donde, a escala sinóptica es posible de observar patrones de variabilidad de distintas frecuencias. Siendo la de mayor interés, desde el punto de vista climático, las teleconexiones o de baja frecuencia, correspondiente a los vínculos a grandes distancias de condiciones climáticas (Barry & Chorley, 1999), citado en Figueroa (2014).

En lo que respecta a Chile central, los elementos que ejercen influencia sobre las precipitaciones son: la Oscilación Antártica (AAO), Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y el fenómeno del Niño Oscilación del Sur (ENSO), los cuales, a través de sus fluctuaciones periódicas, y en conjunto con el factor orográfico y latitudinal, van configurando la distribución irregular temporal y espacial de las precipitaciones.

Por su parte, la diversidad de climas también es un elemento que incide en la distribución pluviométrica a nivel espacial y temporal. En lo que respecta a Chile, es posible observar una gran diversidad de climas<sup>2</sup>, nuevamente debido a la interacción de los factores geográficos, tales como, la altitud y latitud y de la influencia oceánica (Sarricolea & Martín – Vide, 2012). Estos factores explican que, en nuestro territorio, sea posible observar extremos climáticos a lo largo de su extensión, que van desde los más áridos y desérticos del mundo en la zona norte, hasta uno de los climas más húmedos del Hemisferio Sur en la zona austral (Muñoz, 2009).

Es por esto que, dependiendo de la cantidad total de lluvia caída, es posible caracterizar los inviernos en: secos o lluviosos, respecto a lo que debería precipitar en

---

<sup>2</sup> En Chile podemos encontrar climas áridos, mediterráneos, templados lluvioso, marítimo lluvioso y de estepa frío.

un año normal<sup>3</sup>. De este modo, es dable observar distintos escenarios de déficit o superávit de lluvias<sup>4</sup>, los cuales dependiendo de la intensidad con que se presentan, traen como consecuencia, grandes pérdidas en diversos sectores económicos y productivos como agricultura, ganadería, pesca y turismo, las que impactan directamente sobre la población, y recursos hídricos en general. Para Muñoz (2009), en los años especialmente lluviosos, además, se pueden observar frecuentemente, situaciones de inundaciones y aludes. También menciona, que en años de extremo sequía, se encuentra latente el riesgo de racionamiento eléctrico<sup>5</sup> (Muñoz, 2009).

Por otro lado, y como consecuencia de las externalidades que genera la irregularidad pluviométrica, los esfuerzos de la Climatología, específicamente de la Climatología Analítica, han estado orientados en obtener información pluviométrica, a través de medidas descriptivas como montos de precipitación medios mensuales o anuales. Sin embargo, deja fuera del análisis niveles de información más detallado como los montos diarios precipitados. Para Sarricolea *et al.* (2012, 2014), es justamente éste nivel el que, **posee y entrega riqueza a las investigaciones en esta línea, ya que, permiten caracterizar las precipitaciones, en términos de la frecuencia o número de días de lluvia** (Sarricolea & Martín – Vide, 2012). Por su parte, Sánchez *et al.* (2006), agregan que este tipo de análisis permiten, además, configurar el complejo mosaico climático espacial de un territorio (Sánchez - Lorenzo & Martín – Vide, 2006).

Es por esto que, la variabilidad pluviométrica, a nivel mensual o anual, han sido calculadas y resumidas por mucho tiempo, a través de estadígrafos que permitan representar la dispersión absoluta o relativa del fenómeno, tales como la varianza y el coeficiente de variación por nombrar algunos. No obstante, en el último tiempo, se han adecuado e introducido nuevos indicadores a estos análisis, como son los **índices de: irregularidad temporal y concentración pluviométrica**, los que han permitido avanzar en la caracterización de la variabilidad de las precipitaciones. El primero de ellos, se enfoca en determinar la irregularidad de las lluvias, a través de considerar el orden de los valores en la serie estudiada. Por su parte, el índice de concentración es un estimador del grado de agresividad o torrencialidad pluviométrica, y que asume valores totales pluviométricos y el número de días en que se registran (Sarricolea & Martín – Vide, 2012).

Esta solución de naturaleza bidimensional, pretende en cierta medida, establecer y evaluar la desigualdad en la distribución de las precipitaciones a nivel diario, siendo indicadores que permiten determinar el grado de agresividad o torrencialidad pluviométrica sobre el territorio, los que han sido utilizados en diferentes países. Al

---

<sup>3</sup> Correspondiente a la cantidad en milímetros que corresponde al promedio anual de agua caída desde (1961 a 1990).

<sup>4</sup> Diferencia en milímetros considerando el total acumulado a la fecha y el correspondiente al índice diario del año promedio para la misma fecha. Si la diferencia resulta positiva, ésta corresponderá a superávit, si es negativa, a déficit.

<sup>5</sup> Tal situación se debe a que Chile es un país cuya energía proviene principalmente de estaciones hidroeléctrica.



respecto, estudios realizados en España han obtenido resultados de alta concentración diaria de precipitaciones con valores que van desde 0,63 a 0,70 en el sector de la fachada oriental de la Península ibérica (Martín – Vide 2004; Sánchez – Lorenzo & Martín – Vide, 2006). Para el resto del territorio, el indicador fue menor a 0,58 (De Luis *et al*; 1997). En Irán se obtuvo un CI mayor de 0,70. Recientemente en China, se calculó para dos regiones litorales, obteniéndose alta desigualdad pluviométrica con valores superiores a 0,78.

En Chile, destacan los trabajos desarrollados por Sarricolea (2012); quien en base a los registros pluviométricos de 16 estaciones ubicadas a lo largo del territorio, analizó la distribución espacial de las precipitaciones, confirmando la existencia de alta concentración de ellas en el sector central, específicamente en las ciudades de La Serena Copiapó Valparaíso y Santiago con valores de 0,76 (máximo valor obtenido) 0,68 ; 0,64 y 0,63 respectivamente, disminuyendo progresivamente hacia áreas desérticas del norte o templadas lluviosas del sur de nuestro país.

En otro estudio, el mismo autor, analizó la concentración diaria de las precipitaciones en Chile central constatando además, las altas concentraciones de precipitaciones, y la irregularidad de la pluviometría en esta área. Siendo este un resultado consistente en zonas sometidas a precipitaciones frontales de carácter invernal. (Sarricolea, *et al*, 2013).

En consecuencia, surge la necesidad de avanzar en el conocimiento detallado de la distribución de las precipitaciones, en lo que respecta a su irregularidad temporal y espacial. Lo anterior, debido a la diversidad de climas que se encuentran en nuestro país, producto de la amplia extensión latitudinal del territorio que, sumada a las condiciones del relieve, conlleva a comportamientos y distribución diferenciados de la precipitación, a nivel espacial y temporal. El estudio, entonces, acerca del comportamiento de esta variable, permitiría realizar una regionalización sobre el comportamiento de la precipitación, a través, de la complementariedad de estos indicadores, comprendiendo de mejor forma, los eventos extremos asociados a este fenómeno, tales como deslizamientos, inundaciones, sequías y períodos cortos con o sin lluvia.

Es por esto que, el presente trabajo se contextualiza en las investigaciones acerca del comportamiento de las precipitaciones a nivel espacial. Generando, un continuo sobre estudios precedentes en esta temática, los que permitan complementar con información más actualizada sobre el comportamiento de las precipitaciones, específicamente, en el sector central de Chile comprendido entre los 30°S y 35°S de latitud. Para ello, se trabajará con datos a nivel diario de precipitaciones, los que se utilizarán para realizar descripciones (medias anuales, desviación estándar y coeficiente de variación) y posterior a esto, construir el índice de irregularidad de precipitaciones para la serie comprendida entre los años 1965 – 2010.

## 1.2 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS

- **Objetivo General:**

Analizar las tendencias de irregularidad temporal y espacial de las precipitaciones diarios en Chile central entre los 30°S y 35°S de latitud, para el período comprendido entre los años 1965 y 2010.

- **Objetivos Específicos:**

- a) Caracterizar regionalmente los patrones de precipitación en términos de sus montos anuales y promedios.
- b) Determinar la irregularidad temporal y espacial de las precipitaciones diarias en el sector de Chile central entre los 30° S y 35°S.
- c) Analizar las tendencias de la irregularidad pluviométrica en base a dos sub – períodos (1965 – 1987 y 1988 – 2010).
- d) Correlacionar el índice de irregularidad temporal con el coeficiente de variación, tanto para el período y los sub - períodos.

### 1.3 ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio corresponde a la zona comprendida entre los 30°S y 35°S de latitud. Abarcando las Regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana y del libertador Bernardo O'Higgins. La extensión del área es de 88.893,3 km<sup>2</sup>, equivalente al 11,76% de la superficie del territorio nacional. De acuerdo al CENSO 2012, en su versión revisada, en estas cuatro regiones se concentran, aproximadamente, el 60 % de la población nacional. Es decir, 9.841.628 de un total nacional de 16.341.929 habitantes<sup>6</sup>. Económicamente, esta zona produce 60.766.583 millones de pesos, equivalente al 58,44% de la riqueza que produce el país<sup>7</sup>.

En relación a la geografía, el área de estudio está constituida por cuatro unidades del relieve bien definidos; **1) las planicies litorales**, que se localizan entre el océano Pacífico por el Oeste y la Cordillera de la Costa por el Este, **2) la Cordillera de la Costa**, que se inicia al Norte del país formando una cadena montañosa alta que declina en altitud, a medida, que avanza hacia el Sur del territorio, constituyéndose en una importante barrera natural contra las influencias oceánicas, **3) la Depresión Intermedia**, llamada también valle central, que corresponde a una faja de relieve deprimido que se extiende latitudinalmente, entre ambas cordilleras y **4) la Cordillera de Los Andes**, que se presenta a lo largo de todo Chile, con altitudes que bordean los 5.000 metros en la zona central. Estas unidades del relieve son determinantes en las características climáticas de Chile. Particularmente ambas Cordilleras, ya que estas, afectan considerablemente, de manera local, la distribución de las precipitaciones.

Por su parte el clima del área de estudio, también se presenta con diversidad. De acuerdo a Santibáñez (1993) la zona central de Chile, en general, presenta un clima mediterráneo, cuya característica principal es la presencia de una estación seca prolongada y un invierno bien marcado con temperaturas extremas que oscilan entre los 0° C y 30° C; con una media de 19°C en el período de verano; en cambio, en invierno, la temperatura promedio disminuye a 7°C.

En cuanto a las precipitaciones, Insulza (2005) señala que el promedio anual alcanza a los 350 mm, presentándose con bastante irregularidad o dispersión, debido a que pueden haber años muy lluviosos y otros muy secos. Por otro lado, las precipitaciones decrecen desde la costa hacia la Depresión intermedia, y nuevamente aumentan hacia la Cordillera de Los Andes. También, las precipitaciones aumentan a medida que se avanza latitudinalmente (figura, 1). Por su parte, estudios realizados por MIDEPLAN (1998), señalan que aproximadamente el 80% de los montos anuales de

---

<sup>6</sup> Fuente: Instituto Nacional de Estadística. Censo 2012, versión revisada. Disponible en [www.ine.cl](http://www.ine.cl).

<sup>7</sup> Fuente: Instituto Nacional de Estadística. Compendio 2013. Disponible en: [http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/calendario\\_de\\_publicaciones/pdf/COMPENDIO\\_2013.pdf](http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/calendario_de_publicaciones/pdf/COMPENDIO_2013.pdf)

precipitaciones se concentran entre los meses de mayo a septiembre, siendo los meses de junio y julio, los que registran mayor pluviosidad.



Figura 1. Área de estudio

- **Región de Coquimbo.**

Desde el punto de vista administrativo, el área de estudio abarca cuatro regiones. Como se observa en la Figura 2, la región de Coquimbo, se ubica territorialmente entre los paralelos 29°20' y 32° 15' de latitud sur; y desde los 69° 49' longitud oeste hasta el océano Pacífico. Aproximadamente, su extensión es de 40.707 km<sup>2</sup>, correspondiente al 5,4% de la superficie de Chile continental, y concentra un 4,2% de la población nacional equivalente a 739.200 habitantes (INE, 2012).



**Figura 2.** Mapa Región de Coquimbo Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional<sup>8</sup>.

Geográficamente, esta zona del país presenta relieve bastante accidentado. La presencia de cordones montañosos, orientados de este a oeste, rompen el desarrollo de la Depresión Intermedia, elemento predominante en el resto del territorio. De este modo, surgen los valles transversales, cuya importancia, como unidad geomorfológica desprendida de la Cordillera de Los Andes<sup>9</sup>, es permitir el desarrollo de la actividad agrícola.

<sup>8</sup> En línea, disponible en <http://siit2.bcn.cl/nuestropais/region4>

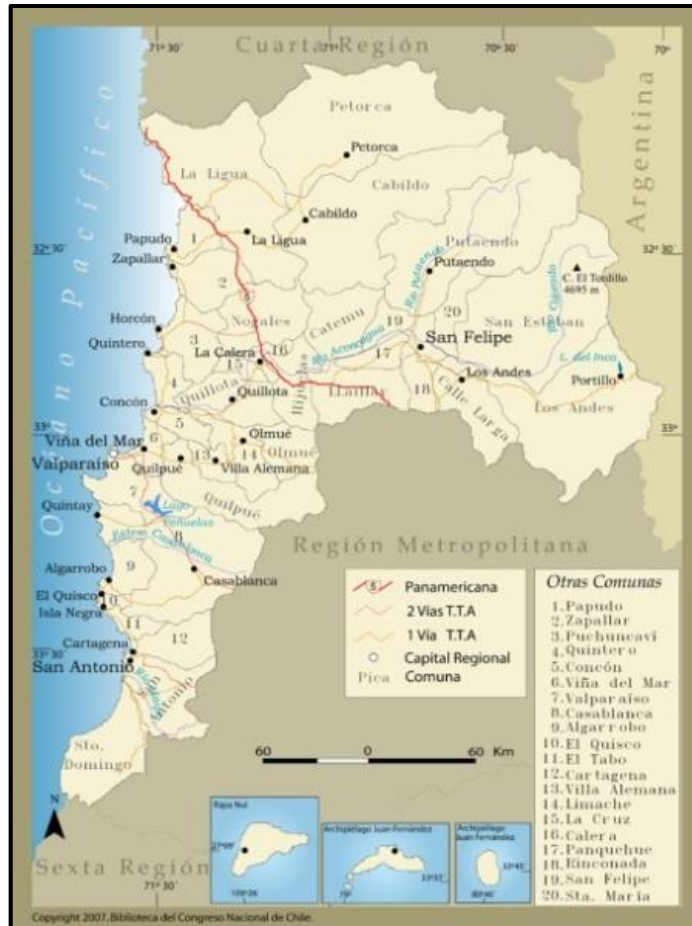
<sup>9</sup> Los valles transversales en esta región de norte a sur son los valles de Elqui, Limarí y Choapa.

Así mismo es una zona asociada a una zona de transición climática de tipo desértica, donde la presencia de una mayor humedad condiciona la aparición de la vegetación. De esta forma, se distingue un clima desértico marginal bajo y de altura, además, de un clima de estepa con nubosidad abundante o caracterizado por gran sequedad atmosférica, finalizando con un clima de tipo templado cálido en la zona sur de esta región.

De acuerdo a la Dirección Meteorológica de Chile, en la región de Coquimbo existen marcados contrastes en la cantidad de precipitaciones, existiendo zonas donde se presentan lluvias inferiores a los 40 mm, llegando en otros lugares a 1.000 mm de precipitación anual. Debido a ello en períodos estivales, el aporte de agua proviene fundamentalmente de La Cordillera de Los Andes, a través, de los principales ríos de la región, cuyo régimen de alimentación es mixto.

- **Región de Valparaíso.**

La Región de Valparaíso, se sitúa entre los 32° 02' y 33° 57' de latitud sur y entre los meridianos 70° y 72° W. La Figura 3, nos muestra que la región limita al norte con la Región de Coquimbo, al sudeste con la Región Metropolitana y en su extremo sur con la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins; en los límites este y oeste se encuentra referenciada por el límite nacional con Argentina ubicado en la Cordillera de Los Andes y por el Océano Pacífico, respectivamente. La superficie total de la región es de 16.303,4 Km<sup>2</sup> que representa el 0,8% del territorio nacional. En términos del número de habitantes, concentra el 10,3% de la población nacional, equivalente a 1.795.800 habitantes (INE, 2012).



**Figura 3.** Mapa Región de Valparaíso. Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional<sup>10</sup>.

Desde el punto de vista morfológico y climático, la región de Valparaíso es caracterizada como una zona de transición. En la parte norte de ésta, se presentan las últimas manifestaciones de los valles transversales del Norte Chico, como los ríos Petorca y la Ligua, y además, de presentarse con poca claridad las unidades orográficas que caracterizan al país, especialmente la Depresión Intermedia, que aparece reemplazada por una serie de cuencas tectónicas al pie occidental de la Cordillera de Los Andes.

Dicha cordillera, se presenta como un gran macizo que alcanza los 5.000 m.s.n.m. La retención de nieve en la parte alta de la cordillera permite el aporte de agua a los ríos en temporadas estivales, siendo el más importante el Aconcagua. Por su parte, los valles transversales, son angostos con laderas de pendientes fuertes y se encuentran separados por un pequeño cordón de cerros en sentido transversal

Desde el borde occidental de la Cordillera de los Andes aparecen cordones transversales que se prolongan hasta la Cordillera de la Costa enmarcando de esa

<sup>10</sup>En línea, disponible en <http://siit2.bcn.cl/nuestropais/region5>

manera a estas cuencas interiores. Otro cordón importante es el de Chacabuco que se encuentra al sur de la región y que separa a ésta de la Región Metropolitana.

La Cordillera de la Costa, aparece en el sector occidental del valle del Aconcagua con altitudes que alcanzan los 2.000 metros. El contacto de esta cordillera con la zona deprimida interior se hace a través de pequeñas cuencas delimitadas por serranías. Las principales cuencas son las de La Ligua, al norte del cordón montañoso del El Melón y separada por éste de la cuenca Catemu Nogales. Esta última está limitada al sur por el río Aconcagua y los cerros de la Calera.

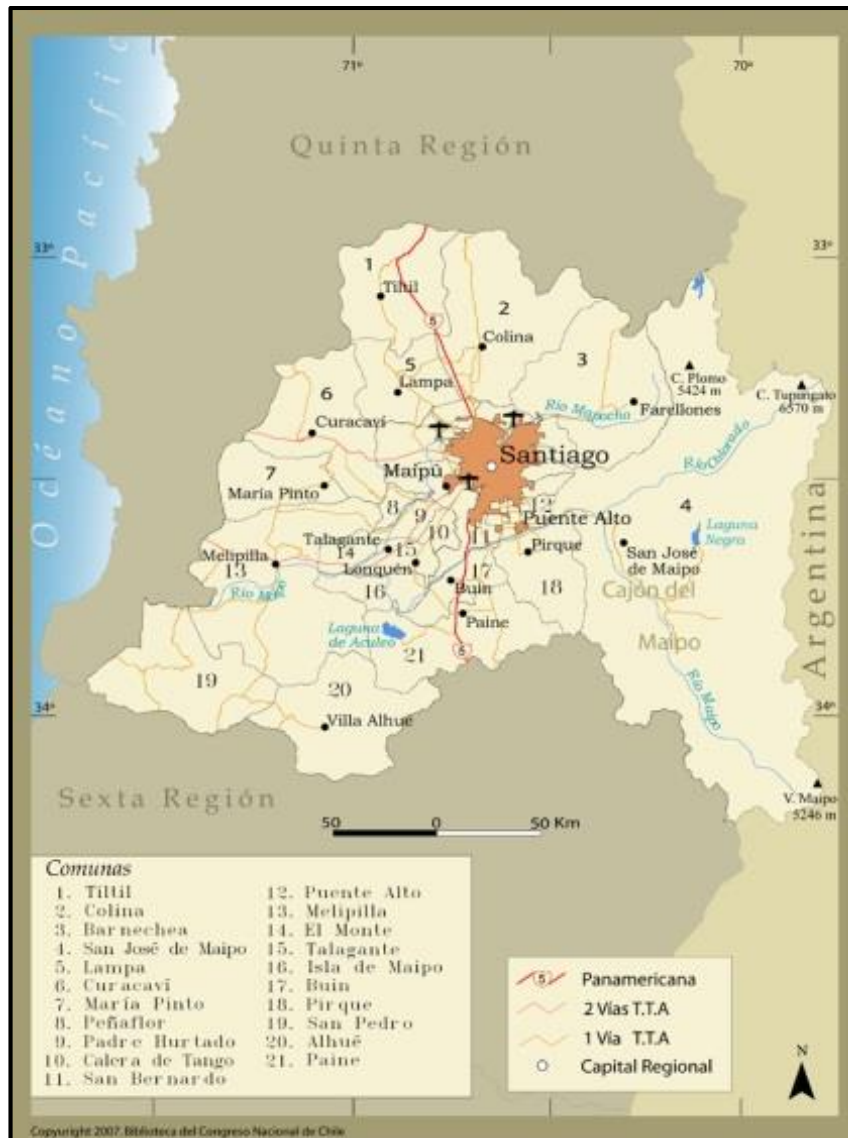
Por su parte, las Planicies litorales, se desarrollan ampliamente en esta región y llegan a presentar hasta cuatro niveles de escalonamiento al pie de la Cordillera de la Costa confundiendo con las terrazas fluviales en los valles y desembocaduras. Esta unidad se presenta generalmente plana a ligeramente ondulada y su ancho máximo es de 20 a 30 Km hacia el interior con altitudes de hasta 140 msnm. El nivel más bajo se encuentra cubierto por dunas, especialmente al sur de Quintero. Al norte de esta ciudad y especialmente en la costa de Horcones y Papudo las planicies se presentan aspecto de acantilado alcanzando niveles de 20 a 100 m.

Desde el punto de vista climático, la región presenta en esencia un clima templado mediterráneo, pero con algunas variaciones, que van desde la semiaridez, presentada hacia el sector norte del río Aconcagua (clima de estepa cálido), la humedad en la costa o litoral (clima templado de tipo mediterráneo costero), y frío de altura hacia la cordillera (clima frío de altura). La configuración anterior, es condicionada, en gran medida, por la corriente fría de Humboldt, que determina la existencia permanente de una banda de bajas temperaturas adyacentes a la costa, contribuyendo al descenso de las temperaturas continentales. En términos de precipitaciones, éstas van desde los 150 mm hasta 450 mm promedio anual.

- **Región Metropolitana.**

Como nos muestra la Figura 4, la región Metropolitana se emplaza entre los 32° 55' y 34° 19' de latitud; limita al norte y oeste con la región de Valparaíso, al sur con la región de O'Higgins. Su extensión abarca un 2% del territorio nacional, equivalente a 15.506,6 km<sup>2</sup>. Esta región concentra el 40,3 % de la población total con aproximadamente 7.000.000 de habitantes (INE, 2012).





**Figura 4.** Región Metropolitana. Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional<sup>11</sup>.

A diferencia de la región de Valparaíso, el relieve presente en esta zona, se caracteriza por tres unidades bien marcadas; la Cordillera de la Costa con altitudes de 2.000 m.s.n.m, la Depresión Intermedia cuya longitud, de norte a sur, es de 80 km aproximadamente y la Cordillera de Los Andes que alcanza altitudes sobre los 5.000 m.s.n.m.

Además, en esta región destacan dos tipos de climas, el templado mediterráneo cálido con lluvias invernales y una estación seca prolongada entre 7 y 8 meses, que se desarrolla casi en toda la región, y el clima frío de altura, que se localiza en la Cordillera de Los Andes por sobre los 3.000 m de altitud.

<sup>11</sup>En línea, disponible en <http://siit2.bcn.cl/nuestropais/region5>

Respecto a las precipitaciones, su promedio anual alcanza los 350 mm las que decrecen desde la costa hacia la Depresión Intermedia, para aumentar nuevamente en la Cordillera de Los Andes, es así como se originan las líneas bioclimáticas generales de la región y de la zona central de Chile. Las precipitaciones revelan una gran irregularidad, pudiendo observarse alternancia de años muy lluviosos, seguidos de otros muy secos (Insulza, 2005).

- **Sexta región.**

La Región del Libertador Bernardo O'Higgins, se localiza en la macrozona central del país, aproximadamente entre los 34° y los 35° de latitud sur (Figura 5). Abarca una superficie de 16.365 km<sup>2</sup>, representando el 2,2% del territorio nacional continental. Sus límites son por el norte la Región Metropolitana de Santiago a los 33°50' latitud sur, y por el sur la Región del Maule a los 34° 45' latitud sur, al oeste con el Océano Pacífico y al este con la Cordillera de Los Andes. Concentra al 5,2% de la población nacional, aproximadamente 900.200 habitantes.



**Figura 5.** Región del Libertador Bernardo O'higgins. Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional<sup>12</sup>.

Las características del relieve más importantes en esta zona, son la presencia de cuatro fajas longitudinales: Cordillera de los Andes con altitudes que varían entre los 3.000 a 4.000 m.s.n.m, con presencia de un marcado volcanismo. La Depresión Intermedia, que se presenta con formas planas debido al acarreo de materiales, principalmente de origen glacio-fluvio-volcánico. La Cordillera de la Costa se presenta baja y de formas redondeadas, no superando los 2.000 m.s.n.m; por último, las planicies litorales, las que se presentan con gran extensión en el litoral al sur del estero Yali.

En cuanto al clima predominante en la región, este corresponde al clima templado mediterráneo, el cual presenta variaciones por efecto de la topografía local. En la zona costera se presenta nuboso, mientras que hacia el interior debido a la sequedad experimenta fuertes contrastes térmicos. Las precipitaciones son mayores en la costa y en la Cordillera de los Andes, debido al relieve que no deja entrada a los vientos húmedos oceánicos.

<sup>12</sup>En línea, disponible en <http://siit2.bcn.cl/nuestropais/region6>

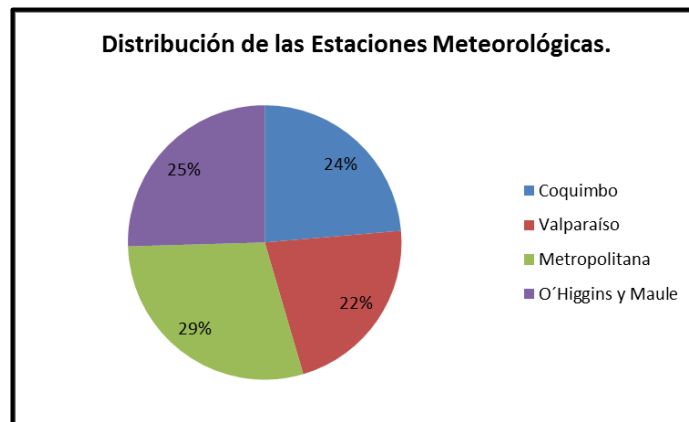
En el litoral, que recibe la influencia oceánica predomina el clima templado nuboso, caracterizado por una mayor humedad y abundante nubosidad. En el sector de la depresión intermedia predomina un clima templado de tipo mediterráneo cálido con una estación seca de seis meses y un invierno lluvioso. A medida que se asciende por la cordillera, las temperaturas descienden bajo los cero grados en los meses de invierno. Sobre los 3.500 m.s.n.m se pasa al clima frío de altura con predominio de nieves eternas. El monto promedio de precipitaciones registrado en esta región es de 560 mm.

## Capítulo 2: Metodología de Investigación.

### 2.1 PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.

La investigación consistió en analizar la tendencia de irregularidad temporal y espacial de las precipitaciones en la porción central del territorio nacional. Para esto, se construyó una base de datos con los registros pluviométricos a nivel diario registradas por 55 estaciones meteorológicas, pertenecientes a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y Dirección General de Aguas (DGA). La totalidad de las estaciones se encuentran ubicadas y distribuidas en la zona de estudio, comprendida entre los 30° S y 35° S de latitud, abarcando administrativas las regiones de: Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Maule (ver figura, 4.1). Por su parte, la serie estudiada comprende una extensión de tiempo equivalente a 46 años (1965 – 2010)<sup>13</sup>.

La Figura 6, se observa la distribución por región, y en la Figura 7, la distribución espacial de las estaciones.

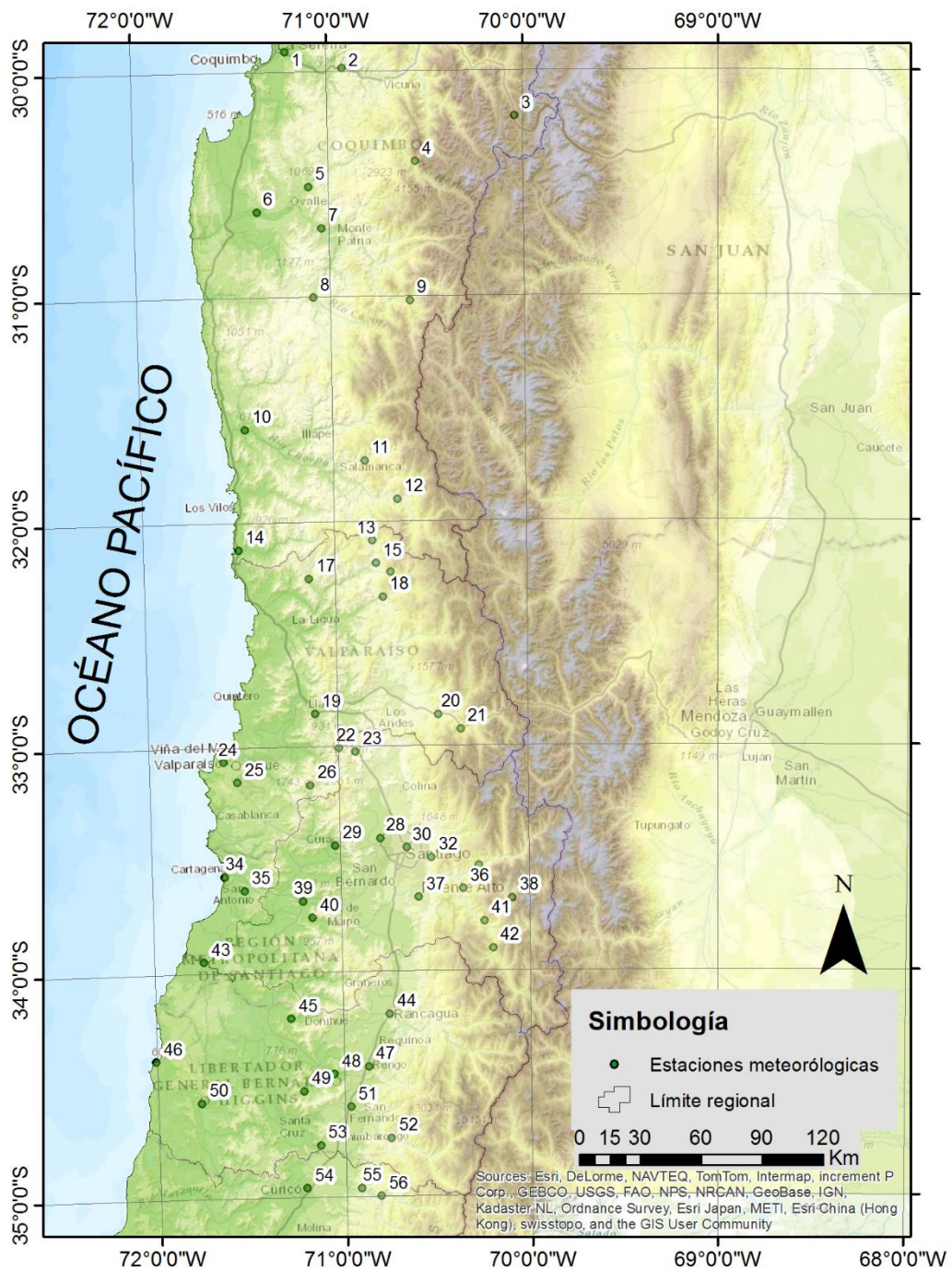


**Figura 6.** Distribución relativa de las Estaciones Meteorológicas por Región administrativa<sup>14</sup>.

Ciertamente, la mayor concentración de estaciones se encuentran localizadas en la Región Metropolitana con 16 de ellas (29%) y la menor cantidad en la Región de Valparaíso con 12 estaciones (22%).

<sup>13</sup> En Anexo 9.1, se muestran las estaciones, su ubicación, altitud, estadísticos descriptivos e índice de irregularidad.

<sup>14</sup> Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de estaciones meteorológicas.



**Figura 7** Ubicación espacial de las Estaciones Meteorológicas en el área de estudio. Las estaciones son representadas por un número correlativo. En el anexo 9.1, se asocian con el

*nombre de las estaciones*<sup>15</sup>.

El estudio se dividió en cuatro etapas (Figura 8). La primera de ellas, se centró en la construcción de la base de datos, a partir de los registros proveniente de cada estación meteorológica, para luego aplicar el filtro temporal y los test de homogeneidad. Consolidando, de este modo, la base de datos con un ordenamiento temporal a resolución diaria, mensual y anual.

La segunda etapa, consistió en el tratamiento estadístico de los datos, procediendo a calcular las medidas estadísticas descriptivas: tendencia central (media) y dispersión (desviación estándar y coeficiente de variación) para la serie. La obtención de estas medidas, permitieron observar gráficamente, la tendencia y ciclos pluviométricos por estación durante los años en estudio.

La tercera etapa fue calcular el índice de irregularidad temporal de las precipitaciones, a partir de la fórmula construida y propuesta por Martin – Vide (2003). Como se menciona más adelante, este es un indicador sintético que, para valores pequeños (cerca de cero) de este coeficiente, presenta una mayor regularidad. Caso contrario, se habla de irregularidad de las precipitaciones. En esta etapa, además se procedió a determinar la intensidad de la relación entre el coeficiente de variación y el índice de irregularidad.

Por último, se confeccionó las respectivas representaciones cartográficas del área de estudio que representan gráficamente la distribución espacial de las precipitaciones, el coeficiente de variabilidad y el índice de irregularidad.

**Figura 8.** Esquema de las etapas del estudio.

## **2.2 Datos y Métodos utilizados.**

### **2.2.1 Datos.**

Se trabajó con los registros diarios de precipitación de las 55 estaciones meteorológicas distribuidas en el área de estudio. En el anexo 9.1, se muestran las estaciones, junto a su ubicación espacial (latitud, longitud y altitud), y el período con registros pluviométricos. La estación altitud de las estaciones varían entre los 5 m.s.n.m

---

<sup>15</sup> Fuente: Elaboración propia a partir de información acerca de la ubicación de las estaciones meteorológicas.

(estación Pichilemu, 34,4°S, sexta región) y los 3.160 m.s.n.m (estación La Laguna Embalse, 30,2°S, cuarta región).

## 2.2.2 Métodos utilizados.

- **Variabilidad de las precipitaciones.**

Para Martín – Vide (1991), en el análisis climatológico de la precipitación, es importante determinar la media, especialmente las que están referidas a los períodos anual, estacional y mensual. Esto, a partir de los registros diarios de precipitaciones. La importancia de determinar esta medida central, está referida para describir un conjunto de observaciones, debido, a que la media es un estimador insesgado, eficiente y consistente, aún cuando, en distribuciones con mucho sesgo, este valor no pudiera ser representativo de los datos.

En este aspecto, Martín – Vide (1991) señala la necesidad de evaluar además, la variabilidad de los valores sobre los que se han calculado. Al respecto, estadísticos como la desviación estándar y el coeficiente de variación son indicados para medir la dispersión de las precipitaciones en un determinado año o entre año. La fórmula para calcular la desviación estándar (a) y el coeficiente de variación (b) se muestran a continuación:

$$\text{a) } \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x - \mu)^2}{N}} \qquad \text{b) } C.V_x = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} \cdot 100$$

- **Índice de Irregularidad temporal de precipitaciones.**

El análisis estadístico de las precipitaciones, en términos del promedio y el coeficiente de variación, no entrega información sobre la disparidad de los registros pluviométricos, como tampoco sobre el porcentaje de días con precipitaciones. Es decir, la variabilidad de una serie climática puede describirse, a través, de medidas como la desviación estándar o el coeficiente de variación. Sin embargo, no evalúa la ordenación cronológica de la serie, la cual constituye una característica importante del comportamiento temporal de las precipitaciones. Al considerar una ordenación temporal de las cantidades de una serie, dispersión estadística e irregularidad temporal, estos no son equivalente, ya que la irregularidad temporal agrega información sobre la estructura temporal de ella, y en consecuencia sobre la propia variabilidad de la misma.

Es por esto que, en el análisis de la variabilidad climática, esta debe incluir dos dimensiones: la dispersión estadística y la ordenación de los valores de la serie. En consecuencia, y teniendo como propósito final, el determinar la irregularidad temporal de las precipitaciones, se utilizó la fórmula construida por Martín – Vide (2003) que señala:



$$S_1 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum \left| \ln \left( \frac{P_{i+1}}{P_i} \right) \right|$$

Donde  $P_i$  la precipitación para el año  $i$ ; y  $P_{i+1}$  corresponde la precipitación para el año  $i+1$ .

Este índice, expresado en porcentaje, va desde cero hasta infinito. Donde valores cercanos a cero indica regularidad temporal de las precipitaciones, en cambio, a valores muy altos de este índice, indica más irregularidad.

A continuación se muestra un ejemplo ficticio de la construcción del indicador  $S_1$ , a partir de la suposición de una serie de precipitaciones de 10 años ( $P_i$ ), en donde:

- 1) La columna 3, están los resultados del cociente entre la precipitación ( $P_{i+1} / P_i$ ).
- 2) La columna 4, se calcula, para cada cociente, el logaritmo Neperiano.
- 3) La columna 5, se obtiene el valor absoluto, y la suma de estos valores.
- 4) Por último, el índice de irregularidad se obtiene al dividir la suma por 9.

Año	Pi	Pi+1 / Pi	Ln(Pi+1/Pi)	Valor absoluto
1	500			
2	300	0,60	-0,51	0,51
3	400	1,33	0,29	0,29
4	350	0,88	-0,13	0,13
5	450	1,29	0,25	0,25
6	500	1,11	0,11	0,11
7	600	1,20	0,18	0,18
8	550	0,92	-0,09	0,09
9	450	0,82	-0,20	0,20
10	550	1,22	0,20	0,20
			<b>SUMA</b>	<b>1,96</b>
			<b>S1</b>	<b>0,22</b>

**Figura 9:** Ejemplo ficticio del cálculo del índice de Irregularidad Temporal.

- **Test de Homogeneidad para series climáticas: Von Neumann y de Thom.**

En los datos de naturaleza climática, no siempre se tiene certeza acerca de la homogeneidad de estos. Por diversas causas como: cambios de emplazamiento de la estación de medición, de los sensores o métodos de observación, las series pueden presentar rupturas en la homogeneidad de ellas. Estas rupturas en las series, se traducen en la calidad final de estas, y por tanto, en el análisis y los posteriores resultados que se realizan sobre ellas. La series, entonces, no incluyen información anexa sobre la variabilidad que pudiesen presentar, debido a eventos extraordinarios

que interrumpen el normal proceso de observación de los datos (Martín – Vide, 2003).

De este modo, la calidad del análisis de estas series, en términos, de tendencias, variaciones y evolución del clima, depende de la homogeneidad que presente la serie en estudio, y por tanto, surge la necesidad de contar con procedimientos estadísticos que permitan determinar acerca de la homogeneidad de estas. En este contexto, se dice que una serie climatológica es homogénea si: **“sus variaciones son causadas por variaciones del tiempo y clima; y por lo tanto sus valores reflejan el comportamiento natural o climático, sin interferencia de eventos artificiales”** (Conrad & Pollack; 1962 en Caballer, 2013; Martin – Vide, 2003; Aguilar *et al*, 2003 en Martin – Vide & Moreno, 2013).

Es por esto, y con el propósito de determinar la homogeneidad de la series de datos climáticas, se construyeron test de homogeneidad con diferentes niveles de exigencias, que son capaces de medir la homogeneidad absoluta, que se basa en su aleatoriedad de sus datos; y la homogeneidad relativa que compara la serie en estudio con otras series homogéneas vecinas o cercanas.

De este modo, en el contexto del presente trabajo, se aplicaron los test absolutos de Von Neumann y el de Thom o de las rachas o alternancias, los que se explican a continuación.

- a) **Test de Von Neumann.** Este test paramétrico, exige que la serie en estudio sea una muestra proveniente de una población normal, lo cual se puede asumir en series anuales de precipitaciones. La fórmula que permite calcular es la siguientes:

$$V.N = \frac{\sum (y_i - y_{i+1})^2 / (n-1)}{\sum (y_i - \bar{y})^2 / (n-1)}$$

Para que la serie en estudio sea considerada homogénea, el valor esperado del test debe ser 2. Sin embargo, se puede relajar este resultado a un rango de valores que va entre 1,6 y 2,4 (Martín – Vide, 2003).

- b) **Test de las Rachas o Alternancia de Thom.** Es una prueba que consiste en contabilizar el número de rachas o tramos de la serie que quedan por sobre o debajo de la mediana. A partir del número de rachas y de datos de la serie, se calcula el valor absoluto del estadístico Z. La fórmula de cálculo es la siguiente:

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

Por último señalar que se considera la serie homogénea, y por lo tanto, aleatoria si  $|Z| < 2,58$ . (Martín – Vide, 2003).

- **Coefficiente de Correlación lineal Rho de Spearmann.**

Se llama correlación al grado de dependencia mutua entre dos variables. El coeficiente de correlación intenta medir la intensidad con que dos variables están relacionadas. Ciertamente, éste concepto se encuentra relacionado con el de curva de regresión, midiendo la calidad del ajuste entre dos variables.

Cuando la curva es una función lineal, el coeficiente también es lineal, y mide el grado de asociación lineal entre ellas. El rango en que se expresa éste valor va de -1 a 1. Mientras más cercanos a los valores extremos (-1 o 1), mejor será el ajuste lineal entre las variables. Si el coeficiente es cero, o cercano a este valor, entonces el ajuste es débil o simplemente no existir relación.

El coeficiente más conocido es de Pearson, utilizado cuando las variables son cuantitativas y se comportan siguiendo una distribución normal. Sin embargo, si no se cumple la condición de normalidad, se recomienda el uso del coeficiente Rho de Spearmann.

**Coefficiente de Correlación de Pearson**

**Coefficiente de Correlación Spearmann**

- **Prueba de Normalidad de Kolmogorov – Smirnov y Shapiro Wilk.**

La prueba de Kolmogorov – Smirnov y Shapiro Wilk, son pruebas estadísticas que permiten contrastar la hipótesis nula de normalidad de un conjunto de datos. La distribución del estadístico de Kolmogorov-Smirnov es independiente de la distribución poblacional especificada en la hipótesis nula y los valores críticos de este estadístico están tabulados. Si la distribución postulada es la normal y se estiman sus parámetros,

los valores críticos se obtienen aplicando la corrección de significación propuesta por Lilliefors. Por su parte, la prueba de Shapiro wilk se utiliza cuando el número máximo de observaciones sea 50.

- **Prueba no paramétrica para la diferencia de medias U Mann – Whitney.**

La prueba de U Mann – Whitney, corresponde a un test estadístico de libre distribución que permite compara las medias aritméticas de dos muestras independientes, bajo la hipótesis nula de igualdad de los promedios.

- **Análisis Clúster de K – medias.**

Este análisis es una herramienta estadística que surge de los procedimientos multivariante, y que está diseñada para asignar casos a un número fijo de grupos que, comúnmente, se les llama clúster o conglomerado. La técnica es de gran utilidad cuando se requiere agrupar homogéneamente un gran número de casos, basándose en las características seleccionadas y utilizando un algoritmo que puede gestionar un número importante de casos.

- **Mapas de los resultados de los distintos índices.**

Habiendo obtenido los resultados de los montos promedio de precipitación, el coeficiente de variación y el índice de irregularidad temporal, se procedió a cartografiar, analizar y comprender la distribución geográfica de estos resultados. En primera instancia se tuvo que realizar la interpolación del coeficiente de variación e índice de irregularidad temporal mediante un modelo de regresión, resultante, entre cada indicador como variable dependiente y variables independientes como: altitud, latitud y altitud. Los modelos de regresión obtenidos se construyeron en el software SPSS.

## Capítulo 3: Marco Teórico.

### 3.1 El Sistema Climático.

El sistema climático, con sus componentes atmosférica, oceánica y terrestre es extremadamente complejo, lo que conlleva a la construcción de modelos simples que permitan comprender la relación dinámica y articulada de estos elementos, a fin de simular las distintas manifestaciones producidas.

En este contexto, es donde la Climatología surge como ciencia que estudia los fenómenos meteorológicos, y que caracterizan el estado medio de la atmósfera sobre un punto de la superficie terrestre (Lobato, 2009). A diferencia de la Meteorología<sup>16</sup>, la Climatología está más enfocada en el tiempo - como estado medio de la atmósfera - en un período largo de tiempo dado. Cabe destacar, que los períodos largos de tiempo, para la Climatología, corresponden a series de al menos 30 años. En consecuencia, la climatología proporciona respuesta de mucho mayor alcance, que va más allá del estudio predictivo del tiempo, avanzando en averiguar las causas que desencadenan los fenómenos, tratando de establecer modelos que permitan predecirlo y prevenir sus posibles consecuencias adversas para la humanidad.

El avance de la Climatología tiene estrecha relación con el desarrollo de la tecnología. La posibilidad de disponer instrumentos de medición para el clima, ha facilitado la rápida evolución en técnicas y metodologías para obtener una cantidad de información importante que permita el desarrollo de las investigaciones en esta línea. Orientando, a su vez, las investigaciones, hacia el conocimiento estadístico de los datos, como: los valores medios y la variabilidad de la oscilación que estas magnitudes pueden tener respecto a sus valores medios. En este contexto, surge la importancia de conocer, utilizando modelos estocásticos o probabilísticos, períodos caracterizados por una sucesión de valores altos o reducidos de precipitación. Es decir, períodos lluviosos o de sequías.

Por su parte, la Climatología, tradicionalmente, se ha alineado en torno a tres grandes grupos: i) La climatología analítica, que se basa en el análisis estadísticos de las características climáticas que se consideran más significativas, estableciendo los valores medios de los elementos atmosféricos, y determinar la probabilidad que se alcancen determinados valores extremos, ii) la climatología dinámica, trata de proporcionar una visión dinámica y de conjunto de las manifestaciones cambiantes que se registran en la atmósfera como una unidad física. Se propone una explicación matemática de la atmósfera mediante las leyes de la mecánica de fluidos y de la termodinámica y iii) la climatología sinóptica, se basa en el análisis de la configuración

---

<sup>16</sup> La meteorología como ciencia, estudia los meteoros o elementos atmosféricos, sus características y su funcionamiento. Es decir, las condiciones de la atmósfera en un momento puntual.

de los elementos atmosféricos en un espacio tridimensional y a unas horas concretas de su evolución.

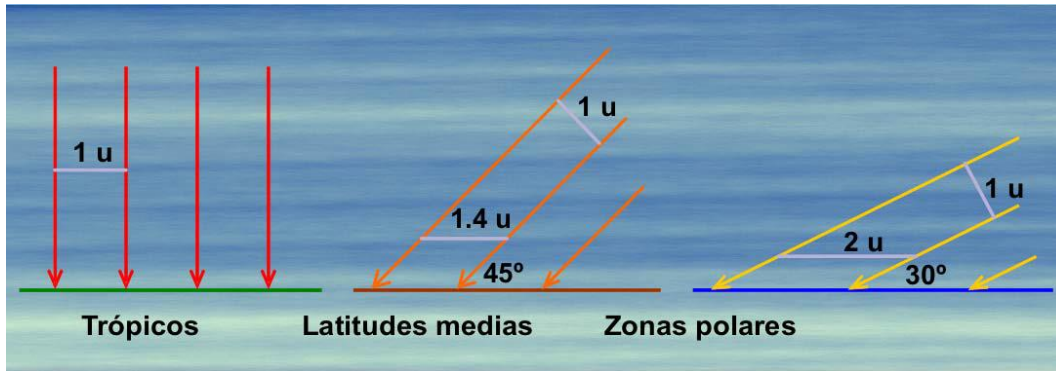
La diferencia metodológica de estas tendencias, surge como respuesta de las distintas miradas o concepción acerca del clima y de la atmósfera. Para Figueroa (2014), el desarrollo de la Climatología tiene como antecedentes el tránsito desde problemas con naturaleza teórica hacia una concepción del clima basada en la sucesión de las situaciones atmosféricas, formulando, de este modo, teorías sobre la circulación general (Figueroa, 2014).

Por otra parte, en la actualidad hemos sido testigos de los cambios climáticos producidos como consecuencia del calentamiento global del planeta. Entre las consecuencias de este calentamiento, está el rompimiento del equilibrio térmico que determina la **circulación general de la atmósfera o masas de aires**<sup>17</sup>. En Barry & Chorley (1999) citado en Figueroa (2014), la circulación general es definida como “**las distribuciones a gran escala del viento y de la presión que persisten durante todo el año o se repiten estacionalmente**”. Además, los autores señalan que, una de las características más significativas en la distribución mundial de las precipitaciones es lo previsible en zonas como la costa oeste de latitudes medias, puesto que están asociadas al cinturón de los vientos del oeste.

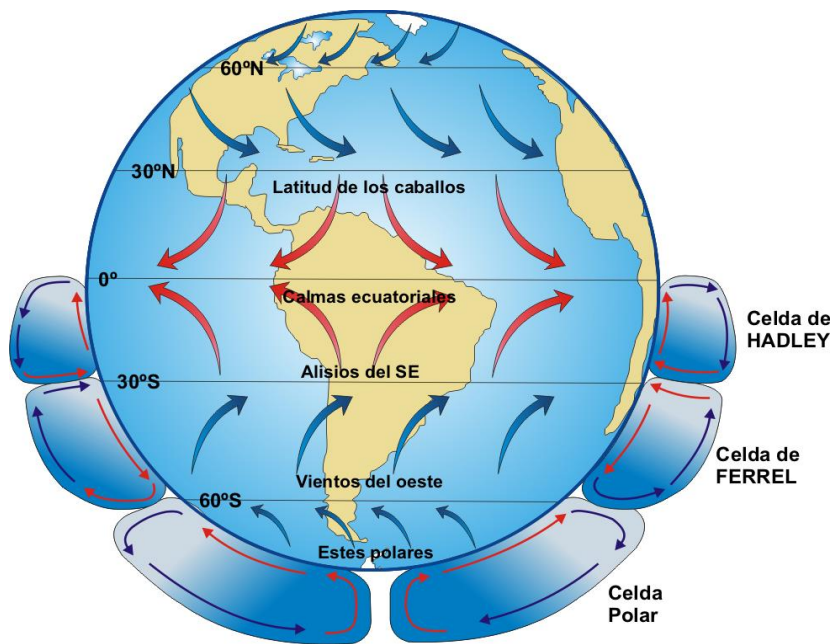
En relación a la circulación general de la atmósfera, esta es producida por diversos factores, que condicionan la creación y movimiento de las grandes masas de aires de distinta temperatura, grado de humedad y velocidad. Entre las causas que originan estas masas de aires, tenemos los factores externos como: la radiación que llega desde el sol, junto con la inclinación del eje terrestre y la rotación del planeta. Ciertamente, la radiación solar no llega de forma uniforme a nuestro planeta (figura 10). La mayor intensidad se registra en la zona del ecuador, disminuyendo gradualmente hacia los polos, situación que origina gran diferencia de temperaturas entre las zonas polares y ecuatoriales.

---

<sup>17</sup> Se define masa de aire a una gran extensión de aire que poseen propiedades y valores similares, en términos de temperatura y humedad sobre una gran extensión de distancia horizontal.



**Figura 10,** Esquema inclinación de los rayos solares en diferentes latitudes. Imagen extraída de *Climatología y las estaciones*, Insunza, J.2010. Las variaciones en el ángulo de incidencia de los rayos del sol y en la longitud del día, se deben a que la orientación del eje terrestre respecto al sol cambia continuamente en el transcurso del año.



**Figura 11.** Esquema de la circulación general de la atmósfera. Imagen extraída de *Climatología y las estaciones*, Insunza, J.2010. Las masas de aire cuando se enfría, descienden, haciendo que la presión atmosférica aumente. A su vez, cuando una masa de aire se calienta, asciende en la atmósfera, haciendo bajar las presiones en ella.

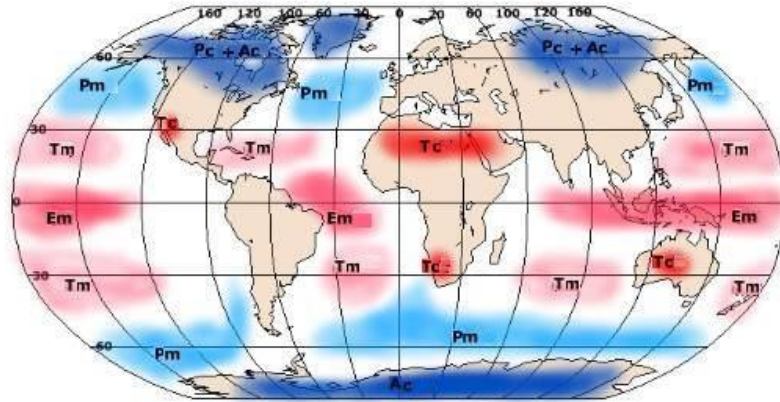
La descripción cualitativa simple de la circulación general de la atmósfera se ilustra en el esquema de la figura 11. Acá se distinguen tres celdas verticales de circulación, de característica meridional. La **celda de Hadley** se ubica en latitudes bajas, donde el aire cálido asciende cerca del ecuador, creando un vacío en superficie que es rellenado por el aire frío que proviene desde los polos. El aire frío polar, por su parte, tiende a moverse hacia el ecuador, generando un viento que es desviado debido al

movimiento de rotación de la Tierra. Por su parte, el aire caliente del ecuador, que asciende en la atmósfera, se va expandiendo al llegar a las capas más altas y menos densas de esta, desplazándose hacia las latitudes altas en dirección a los polos. Sin embargo, en el proceso de expansión, va disminuyendo su temperatura, y al enfriarse comienza a descender, al mismo tiempo que al llegar esa masa de aire a capas más bajas y densas de la atmósfera, se comprime, alrededor de 30° de latitud.

La compresión de la masa de aire, hace que vuelva a aumentar su temperatura, generando los anticiclones subtropicales en superficie. La masa de aire, cuando llega a la superficie terrestre se expande creando vientos alisios hacia el ecuador y vientos hacia los polos. Cuando los alisios de ambos hemisferios se encuentran cerca del ecuador en una región llamada zona de convergencia intertropical (ZCIT), contribuyen a la elevación de las masas de aire caliente. En latitudes medias, los vientos de superficie que se dirigen a los polos, se encuentran con las masas de aire frío que provienen desde estos. El aire polar frío, más denso, interactúa por debajo con el aire subtropical cálido, y obliga a estas masas calientes a ascender cerca de los 60° de latitud, generándose la celda de **circulación de Ferrel**. Este ascenso produce las bajas presiones subpolares, originando el frente polar en latitudes medias-altas. Por otra parte, el aire frío de niveles superiores en las zonas polares, genera subsidencia sobre los polos, produciendo por compresión altas presiones en superficie, que origina un flujo de aire en superficie desde los polos hacia latitudes subpolares. Aunque el aire cerca de los 60° es frío y seco respecto al ecuatorial, las masas de aire son suficientemente cálidas y húmedas para experimentar convección, y cuando han llegado a la troposfera superior, limitada verticalmente por la tropopausa a unos 8 km, este aire se mueve hacia el polo y desciende, cerrándose otra celda de circulación, que se llama **celda Polar**.

Las masas de aire que ascienden, al llegar a las capas más altas y menos densa de la atmósfera, se expanden, creando nuevos vientos. La dirección de los vientos es siempre de las altas a las bajas presiones, por lo que se crean vientos en dos direcciones: hacia los polos y hacia latitudes más bajas. Los que se dirigen hacia los polos ayudan al descenso de las masas de aire polar, y al ser aire caliente, templan el aire frío de los polos. Los vientos que se dirigen hacia latitudes bajas son los que se encontrarán con las masas de aire de altura que provienen del ecuador, permitiendo el descenso de esas masas y favoreciendo que se formen los anticiclones subtropicales. Además en altura, las grandes diferencias de temperatura producen diferencias de presión, que junto con la rotación terrestre, generan las corrientes en chorro, un fuerte viento de altura con dirección neta hacia el oeste. La trayectoria que sigue esta corriente son las que determinan la dirección de los temporales, como los provenientes desde el Pacífico sur a la zona central de Chile durante el invierno. Podemos comprobar entonces, que existen una serie de zonas estables en el planeta donde se forman altas y bajas presiones. Cuando una masa de aire se enfría, desciende, haciendo que la presión atmosférica aumente. Cuando una masa de aire se calienta, asciende en la atmósfera, haciendo bajar las presiones en ella.





**Figura 12.** Esquema de las regiones generadoras de masas de aires. Imagen extraída de *Masas de Aires y frentes*. Bidegain, M. (2012).

### 3.2 Sobre los estudios de la precipitación y su variabilidad.

Como se ha señalado, la Climatología Analítica, en esencia, se basa en análisis estadísticos de los meteoros, y la significancia de estos. Es por esto que, actualmente existen variadas investigaciones que, enfatizan en el análisis de las precipitaciones y el comportamiento temporal y espacial de ellas, a partir de modelos matemáticos - estadísticos, desarrollados y aplicados con el propósito de medir y evaluar las variaciones observadas acerca de las precipitaciones (CONAMA, 2006).

La evidencia internacional en esta temática es amplia y diversa. Al respecto, Pacual et al. (2001) sobre la base de 234 estaciones meteorológicas en la comunidad valenciana y algunas circundantes estudiaron la concentración de precipitaciones mensual y anual. De este modo, lograron una caracterización pluviométrica a nivel regional.

Por su parte, Martín – Vide (2004) aplicó un índice que permite estudiar la concentración de la precipitación a lo largo del año para un período acumulado de 30 años de registros diarios. El índice califica la concentración en un intervalo que va entre 0, que corresponde a una distribución uniforme de las precipitaciones durante un año; y 1 que corresponde a la precipitación acumulada en un solo día<sup>18</sup>. El estudio consideró 32 estaciones a lo largo de España con datos del período 1951 – 2000. Los índices dividen el área de estudio en dos regiones: una que considera alta concentración de precipitaciones, emplazada en el sector este de la península, y donde se presenta el

<sup>18</sup> Para calcular el índice se realiza una comparación estadística entre la lluvia acumulada y el total acumulado de días con precipitación. De este modo, la regularidad diaria de las precipitaciones o equidistribución, se produce cuando los montos totales de precipitación acumulada coinciden con la distribución acumulada de días de lluvia, siendo la irregularidad, todas las combinaciones posibles en que la distribución se aleja de la equidistribución.

25% de los días lluviosos, los que aportan el 70% o más del total de las precipitaciones anual. El resto del país, presentó, en base al índice, una mayor regularidad en precipitaciones diarias.

En México, Ochoa (2006), analiza la concentración de la precipitación en 18 localidades en el centro del Estado de Veracruz con series de 40 años recientes. En este estudio, se determinaron los valores máximos y mínimos del índice de concentración para la zona de estudio, destacándose, el sector de Rinconada con un valor de 0,073, que de acuerdo a la clasificación propuesta por Martin – Vide, es un lugar donde las precipitaciones se distribuyen prácticamente de forma uniforme para el período en estudio. Por su parte, las estaciones de Las Minas y Martínez de la Torre, sobresalen con los valores más altos en el estudio, (0,79 para ambas estaciones) lo que significa, que las precipitaciones se presentan en forma concentrada en pocos días.

Al mismo tiempo, Sánchez *et al.* (2006) analizaron nueve estaciones portuguesas junto con 32 españolas, obteniendo que los registros más elevados, corresponden a, estaciones situadas en la fachada oriental de la Península Ibérica, específicamente, en el sector del Golfo de Valencia con un índice de 0,7. Lo que corresponde a que el 70% de las precipitaciones se concentran en el 25% de los días lluviosos. De este modo, y basado en la evidencia, los mayores índices de irregularidad o de concentración pluviométrica pueden estar vinculadas a precipitaciones de naturaleza mediterránea.

En Europa el CI se ha calculado para una serie de 530 estaciones meteorológicas (Cortesis *et al.* 2012) mostrando valores del índice entre 0,51 y 0,72. El patrón hallado, indica que el CI aumenta desde el Noroeste en dirección al Sureste (excluyendo Grecia y Turquía) siendo el litoral Mediterráneo Francés y Catalán, los que poseen los mayores valores del CI, quedando el Reino Unido con los valores más bajos.

En Sudamérica, específicamente en Perú, destaca el trabajo realizado por Zubieta & Saavedra (2009), quienes utilizaron una serie de datos para el período comprendido entre 1964 y 2004 de las 14 estaciones meteorológicas ubicadas en el Valle del río Mantaro. Al aplicar el CI, obtuvieron valores mínimo y máximo en el sector de Pilchaca (0,47) y en Viques (0,59) respectivamente. El mapa de índice de concentración obtenido, divide el área de estudio en 3 zonas, de las cuales hay dos núcleos de altos índices, los que en palabras del autor, posiblemente estén asociados a la dinámica de los vientos, como la corriente de chorro de Sudamérica<sup>19</sup>, que se adentra al valle proveniente del Norte y Sur. El 25% de días más lluviosos representan el 60% o más de la cantidad total de días.

Ciertamente, el estudio de la variabilidad pluviométrica ha estado vinculado al

---

<sup>19</sup> Según la OMM (1992) la corriente en chorro se define como una corriente de aire en forma de un estrecho tubo, casi horizontal, generalmente cerca de la tropopausa, cuyo eje se ubica a lo largo de una línea de máxima velocidad y se caracteriza por tener grandes velocidades y fuertes cortantes verticales y horizontales.

Fuente: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-468X2004000100004](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-468X2004000100004)

índice de irregularidad temporal, y en mayor medida al índice de concentración. Sin embargo, es necesario destacar, la investigación realizada por Vásquez (2007) quien estudia la variabilidad de las precipitaciones en México, mediante técnicas más sofisticadas de análisis, como los son las Funciones Empíricas Ortogonales (EOFs)<sup>20</sup>. El autor generó cartografías que explican la varianza de la precipitación, destacando que la lluvia de la República Mexicana exhibe ciclo anual bien definido con dos estaciones principales, una seca de noviembre a abril y otra húmeda de mayo a octubre.

Para Chile, la evidencia es poca y de reciente data. Al respecto, destaca el trabajo realizado por Sarricolea & Martín – Vide (2012), quienes sobre la base de información obtenida de 17 estaciones meteorológicas distribuidas sobre el territorio nacional, y para un período de 41 años (1965 – 2005) determinó que la configuración para Chile central y sur, es similar a la de la Península Ibérica. Es decir, un alto CI para climas mediterráneos y valores moderados y bajos para climas lluviosos. Estos resultados, permitieron determinar tres regiones climáticas en Chile. Una zona desértica de baja concentración de las precipitaciones, pero con un alto variabilidad (CV > 100%) una región mediterránea con elevados CI y CV (con valores entre 23% Y 73%). Finalmente, una zona lluviosa de bajo CI y CV (menor a 23%).

En un trabajo más reciente, Figueroa (2014) analizó la variabilidad climática que presentan las precipitaciones en la zona centro y sur de Chile, a partir de los datos registrados en 109 estaciones entre los años 1965 – 2012. Los resultados obtenidos permiten establecer gradientes de los índices aplicados (coeficiente de variación, índice de irregularidad temporal e índice de concentración) los que disminuyen conforme se avanza en la latitud, siendo consistente con la distribución estacional de las precipitaciones.

Finalmente, Araya (2014) en base a los registro de 56 estaciones ubicadas en Chile central, analizó a resolución diaria las precipitaciones a través del Índice de concentración modelados por funciones exponenciales. Los resultados obtenidos, sugieren amplia variación de este indicador que va desde 0,47 a 0,75; evidenciando una disminución parcial latitudinalmente. Además, concluye que la distribución espacial del CI, está determinada por factores climáticos de subtropicalidad y geográficos de relieve.

### **3.3 Precipitaciones.**

En sentido meteorológico, la precipitación es la caída de partículas de agua, en estados sólido o líquido, al suelo, a donde llega con una velocidad apreciable. Por lo tanto, los productos de la precipitación caen a través del aire, al contrario de los de la condensación y sublimación atmosférica, como las nubes, que flotan en él. (Martín –

---

<sup>20</sup> Corresponde a una técnica multivariada cuyo propósito reducir un conjunto de variables, en otro conjunto con menos variables. Su potencial radica en poder identificar la varianza de un conjunto de datos y sus patrones asociados, a nivel espacial y temporal.

Vide; 1991) Como anteriormente se señaló, las precipitaciones se dividen, según su estado, en líquida y sólida. La precipitación líquida puede ser en forma de lluvia, llovizna o chubasco. A continuación la tabla 1, se resumen las características de los tipos de precipitación líquida.

	Díametro gotas	Nº de gotas	Velocidad de Caída	Intensidad (cantidad / tiempo)
Lluvia	> 0,5 mm	grande	moderada	media y uniforme
Llovizna	< 0,5 mm	enorme	Muy pequeña	muy pequeña y uniforme
Chubasco	Grande	moderado	Grande	grande e irregular

**Tabla 1.** Cuadro resumen precipitación, extraído del libro *Fundamentos de Climatología Analítica*. Javier Martín – Vide. 1991.

La génesis de la precipitación se realiza sobre los núcleos de condensación. En ellos han de juntarse millones de moléculas de vapor de agua para formar una gotícula. Actualmente, se han determinado dos procesos que permiten explicar la formación de lluvia: el de colisión y el de Bergerón – Findeisen. El primer proceso (colisión) comprende el choque de las gotículas de las nubes, su unión y el barrido, con succión y absorción, que realizan cuando comienzan a caer. Por su parte el proceso de Bergerón – Findeisen, se produce solamente en nubes de composición mixtas donde coexisten cristales de hielo y gotícula líquidas de subfusión<sup>21</sup>.

Atendiendo al proceso atmosférico que da a lugar a las correspondientes nubes generadoras de precipitaciones, es decir, al modo por el cual el aire adquirió el movimiento ascendente, las precipitaciones, se pueden clasificar de acuerdo a (Linsley et al. 1988) y (Martín – Vide, 1991) en: convectiva, orográfica y ciclónica.

**La precipitación convectiva**, es causada por el ascenso de aire cálido; siendo una precipitación puntual y con intensidad variable, aunque en ocasiones suelen ser de tipo tormenta.

**La precipitación orográfica**, es la resultante de un proceso mecánico de ascenso de una masa de aire sobre la superficie del relieve, por ejemplo, una cadena de montañas.

Por último, **la precipitación ciclónica o frontal**, resulta del levantamiento frontal de aire cálido sobre aire más frío y por lo tanto más denso, asociado habitualmente a situaciones de frentes o borrascas.

Así mismo, es importante señalar que los diversos tipos de enfriamiento que producen las precipitaciones, están concentradas, por lo actual no es posible atribuir la precipitación resultante como de un solo tipo (Tapia, 2007). En concordancia con lo

---

<sup>21</sup> Se refiere a temperaturas negativas pero líquidas.

anterior, Martín-Vide (1991) indica que en algunas ocasiones, los procesos de convección, convergencia y los efectos orográficos contribuyen en la formación de nubes. De este modo, aún cuando la clasificación anterior sea sencilla, esto contrasta con la dificultad y complejidad del fenómeno.

### 3.4 Factores que explican la variabilidad de la Precipitación en Chile.

La precipitación en Chile, es uno de los elementos del clima que presenta variabilidad, no sólo a nivel latitudinal, sino que además a nivel temporal en escala de tiempo diaria, anual, decadal y secular. Como anteriormente se ha señalado, las precipitaciones surgen de la relación dinámica entre componentes atmosféricos, oceánicos y terrestres. Componentes que, dependiendo de la magnitud, pueden tener efectos a macro o micro escala.

Entre los factores locales (micro escala) las condiciones de relieve, específicamente, la orografía influyen notoriamente en el gradiente longitudinal de precipitación, sobre todo en las regiones a barlovento y sotavento de la cordillera de los Andes. El gradiente más notorio se encuentra al sur de 40°S (Quintana, 2004) Por ejemplo, la diferencia de precipitación entre Aysén y Balmaceda, ciudades que presentan un gradiente pluviométrico oeste – este de – 2.000 mm / 100 km. Una magnitud mayor que el gradiente pluviométrico latitudinal observado en Chile central y sur.

Por su parte, entre los efectos a gran escala, los anticiclones (altas presiones) y ciclones (bajas presiones) son elementos de la circulación atmosférica más relevante. En términos simples, los anticiclones son centros de altas presiones en donde la presión atmosférica es mayor que la del aire que rodea a esta zona, produciendo estabilidad en la masa de aire. Esto implica que el aire, debido al fenómeno de subsidencia, descienda desde las capas altas de la atmósfera hasta el suelo. Como consecuencia del transporte de Ekman, los anticiclones dirigen las aguas hacia dentro (afuera) incrementando (disminuyendo) el nivel del mar y empujando la termoclina a mayor (menor) profundidad (Ancapichun, 2012)

Por su parte, Quintana (2004) señala que el **Anticiclón subtropical del Pacífico sur – oriental (ASPS)**, es el factor atmosférico más significativo en la regulación de las precipitaciones en Chile, al sur de los 29°S (Quintana, 2004). Su extensión permite cubrir la cuenca oceánica del pacífico sur, siendo forzante y dominante de las corrientes marinas que aquí se encuentran: Humboldt, del Pacífico Sur, Ecuatorial del Sur y Australiana Oriental.

La mayor actividad frontal durante el período invernal (entre abril y agosto) en la región comprendida entre (30°S – 37°S), y el desplazamiento de perturbaciones más al norte de lo habitual, están asociadas, principalmente al (ASPS) relativamente débil y a la ocurrencia de situaciones de bloqueo atmosférico al suroeste del extremo sur del

continente. (Quintana, 2004)

Otros mecanismos físicos y modos de variabilidad del sistema climático, que estarían correlacionados con la variabilidad de las precipitaciones, serían la Oscilación Interdecadal del Pacífico (PDO) y la Oscilación Antártica (OA). La OIP, muestra una asociación con fluctuaciones interdecadales presentes en el clima del Pacífico Sur occidental, manifestándose en las anomalías de la TSM en el Océano Pacífico.

Por su parte, la oscilación Antártica, describe un patrón dominante en las variaciones de la circulación troposférica no estacional, presente al sur de los 20°S y en distinta escala de tiempo. Su estructura simétrica zonal, presenta una configuración barotrópica equivalente, que responde a intercambios cíclicos de masas de aires entre latitudes medias y altas.

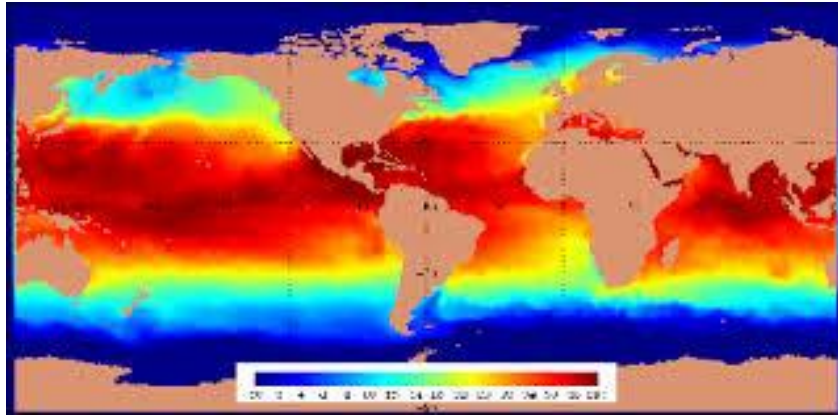
Una gran cantidad de investigaciones, han evidenciado acerca de la influencia del fenómeno El Niño – Oscilación del Sur (ENOS) sobre la variabilidad interanual de la precipitación en Chile. Para Quintana (2004) la ocurrencia de este fenómeno, en las fases extremas, han sido vinculados con cambios de frecuencia de episodios de altas de bloqueo en el mar de **Bellingshausen**, y anomalías en la intensidad y posición de la corriente en chorro subtropical y polar (Quintana, 2004).

### **3.5 El Fenómeno del Niño, Oscilación del Sur (ENOS).**

El ciclo El Niño, Oscilación del Sur<sup>22</sup>, en adelante (ENOS), consiste en una oscilación aperiódica en un intervalo entre 3 a 7 años, entre una fase cálida (El Niño) y una fase fría (La Niña), que se manifiesta, principalmente, a través de un calentamiento o enfriamiento anormal de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el Océano Pacífico ecuatorial central y oriental (Maturana, *et al*; 2004), (figura, 13).

---

<sup>22</sup> La versión más aceptada de la expresión “El Niño”, se remonta a los pescadores artesanales peruanos, quienes observaron la ocurrencia estacional de aguas más calidas en las costas de ese país, justamente en la época de donde se celebra la navidad, de este modo, los pescadores en alusión al niño jesus, llamaron El Niño (Maturana, *et al*. 2004).



**Figura 13.** Imagen a nivel planetario del Fenómeno del Niño donde se muestra la variación anómala de la temperatura superficial del mar (TSM).

Si bien es cierto, no se tiene certeza sobre las causas que originan el ciclo ENOS, actualmente se ha podido conocer las señales, en las componentes oceánicas atmosféricas, que preceden a la aparición del fenómeno. De este modo, la componente calidad del ciclo ENOS está caracterizada por la aparición de fuertes anomalías, positiva o negativa, de la Temperatura Superficial del Mar. La fase positiva (El Niño), es asociada al hundimiento de la termoclina<sup>23</sup> y reducción de la surgencia costera, mientras que, la fase negativa (La Niña) está asociada a la elevación de la termoclina y fortalecimiento de la surgencia. Estas anomalías se producen en regiones específicas de la cuenca del Pacífico tropical y costa sudamericana, las que pueden prolongarse por varios meses consecutivos (Maturana, *et al.* 2004).

- **Fase cálida del ciclo ENOS (El Niño)**

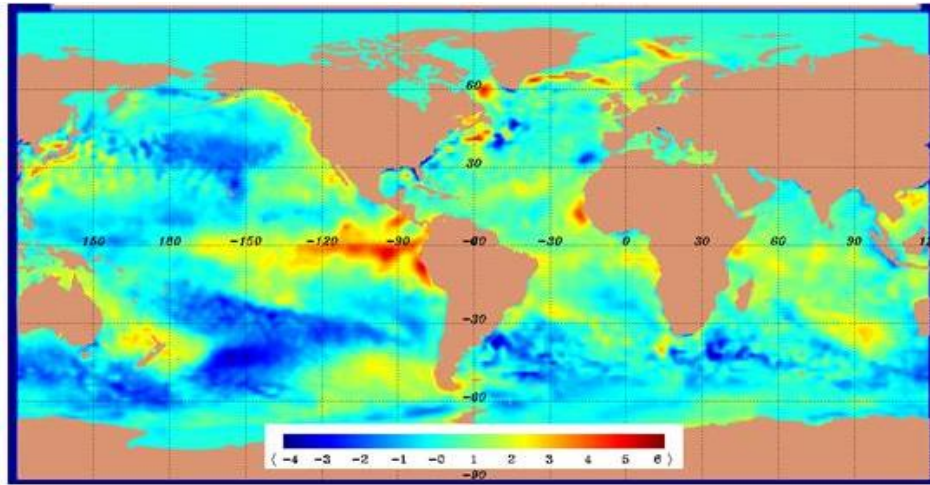
Las investigaciones han señalado que, la fase cálida del ciclo ENOS, se caracteriza por un debilitamiento a gran escala de los vientos alisios<sup>24</sup> y un calentamiento de la superficie del mar en el Océano Pacífico ecuatorial del este y central. Durante los eventos del Niño se produce un cambio en la intensidad y muchas veces en la dirección de estos vientos, es decir, bajo una condición cálida, los vientos alisios se debilitan en el oeste y centro del Océano Pacífico o invierten completamente su dirección, soplando de oeste a este. Este debilitamiento, provoca la disminución en la

---

<sup>23</sup> La Termoclina es la capa en que la temperatura desciende bruscamente con la profundidad en el cuerpo de agua. La termoclina permanente en los océanos ocurre entre 200 y 1000 metros de profundidad y separa una capa superior de aguas templadas homogéneas, de aguas muy frías y densas de la profundidad. La temperatura al final de la termoclina es del orden de 5°C. Fuente disponible en: [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/geo\\_mar/html/h332.html](http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h332.html)

<sup>24</sup> Los vientos Alisios corresponden a vientos regulares y moderados que soplan sobre casi la mitad del globo a una velocidad media de unos 20km/ horas. Son cálidos y secos en origen. Pero al atarvesar grandes extensiones oceánicas, estos se cargan de humedad.

surgencia ecuatorial, que facilita la aparición de anomalías positivas de TSM en el océano Pacífico del este, y un aumento del nivel del mar en dicha zona. (figura 14).



**Figura 14.** Imagen de la anomalía de temperatura superficial del mar. El color rojo y amarillo alrededor del ecuador en el océano Pacífico muestra el fenómeno de El Niño, es decir, aguas oceánicas más calientes que lo normal.

A nivel de la atmósfera, se producen cambios significativos de la presión. Es decir, se produce un aumento de la presión atmosférica en el lado oeste del Pacífico, y por consecuencia una disminución de ésta en el lado este. Este cambio de presión en la fase del niño, contribuye a cambiar la intensidad de la circulación de los vientos, debilitándolo durante esta fase.

Por su parte, la temperatura superficie del mar en el este del Pacífico ecuatorial y junto a la costa sudamericana. Este calentamiento está asociado a la propagación de una onda Kelvin<sup>25</sup> oceánica cuyo desplazamiento va de oeste a este por la base de la termoclina, y que se genera por bruscas variaciones de los vientos alisios en el sector occidental del Pacífico. El desplazamiento de la onda Kelvin, produce que la termoclina se profundice, generando una capa de agua cálida de mayor grosor. Tal situación, impide el ascenso de aguas frías, ricas en nutrientes, hacia la superficie, provocando el aumento de la temperatura en las costas de Colombia, Ecuador, Perú y norte de Chile.

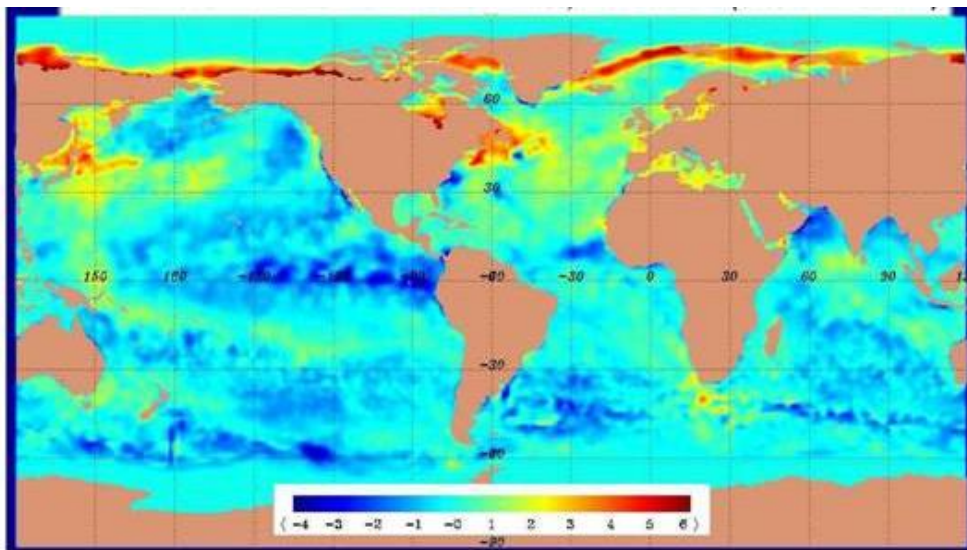
---

<sup>25</sup> Una onda Kelvin es un tipo de onda que se genera en la superficie de un líquido fijo a sistema rotante y que se propaga a lo largo de la frontera del fluido. Actualmente, se considera que una onda de marea es, parcialmente, una onda Kelvin; por lo menos en cuanto a la propagación a lo largo de las costas o dentro de bahías y golfos. Disponible en [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/geo\\_mar/html/h732.html](http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h732.html)



- **Fase Fría del Ciclo ENOS (La Niña)**

La Niña, por su parte, produce una intensificación de la celda de Walker<sup>26</sup>; reforzando los vientos alisios, acumulación de aguas cálidas al oeste del Pacífico, fortalecimiento de la surgencia frente a las costas de Ecuador, Perú, norte de Chile y divergencia ecuatorial. En esta fase, los vientos que soplan normalmente hacia el oeste a lo largo del Pacífico tropical se intensifican, favoreciendo el ascenso de aguas mucho más profundas y, por lo tanto, más frías que lo normal hacia la superficie en el lado este del Pacífico ecuatorial. La consecuencia directa, es la disminución en la profundidad de la termoclina y se observa la presencia de anomalías negativas de la temperatura superficial del mar y el nivel del mar en dicho sector. (figura 15)



**Figura 15.** Imagen de la anomalía de temperatura superficial del mar. El color azul alrededor del ecuador en el océano Pacífico muestra el fenómeno de La Niña, es decir, aguas oceánicas más frías que lo normal.

Por su parte, la presión atmosférica es más baja sobre el sector de Indonesia y el norte de Australia y más alta que lo normal sobre el Pacífico tropical del este. Tal situación, es observada con una intensificación de los vientos alisios que soplan hacia el este cercanos a la superficie sobre el Pacífico ecuatorial. La manifestación observada de, déficit de precipitaciones en el lado este del Pacífico, ocurre como consecuencia del enfriamiento de las aguas en la banda central del océano Pacífico ecuatorial, localizada

---

<sup>26</sup> Corresponde a una celda de circulación atmosférica que se desarrolla sobre el Pacífico ecuatorial y que está caracterizada por un flujo hacia el oeste en superficie (vientos alisios), ascenso en el Pacífico ecuatorial occidental, flujo hacia el este en niveles altos de la tropósfera, y descenso (subsistencia) distribuido en toda la zona ecuatorial al este de la región de ascenso. Fuente: Departamento de Geofísica, Universidad de Chile. Disponible en: [met.dgf.uchile.cl/clima/HTML/GLOSARIO/glosarioc.htm](http://met.dgf.uchile.cl/clima/HTML/GLOSARIO/glosarioc.htm)

aproximadamente entre los 5° de latitud norte y 5° de latitud sur, y la correspondiente intensificación de la celda de Walker.

Las condiciones atmosféricas observadas alrededor del trópico de Capricornio y a lo largo de las latitudes subtropicales de América del Sur, es de escasez de precipitaciones, más allá de lo normal, en sectores del sur de Brasil y central de Argentina, Perú y norte – centro de Chile. Al mismo tiempo, la lluvia es muy abundante sobre Indonesia, Malasia y Norte de Australia.

La relación entre el ENOS y las precipitaciones en Chile central, tienden a constituirse de forma positiva de la pluviometría y TSM entre los 32°S y 38° S, mientras que al sur de los 38°S se presenta una correlación negativa durante la fase madura de El Niño debido a la migración estacional y reforzamiento del límite austral del anticiclón subtropical, con el consecuente bloqueo de los sistemas frontales, la principal fuente de precipitación para esta parte del país (Rutllant & Fuenzalida; 1991).

### **3.6 Régimen pluviométrico en Chile.**

En el apartado precedente, se han mencionados los factores que significativamente explican la variabilidad de la precipitación en nuestro territorio, en diferentes escala. Ciertamente, la variabilidad de las precipitaciones, presentan características en el comportamiento de la distribución durante el transcurso del año. En este sentido, el régimen de precipitaciones en Chile, central y sur, presenta una distribución unimodal, en el ciclo anual. La región intermedia, entre 30°S y 40°S, define una marcada característica estacional, siendo los meses de abril a septiembre los más lluviosos acumulando entre 60% y 70% de la precipitación anual. Para Quintana (2004) esta región, presenta un clima templado cálido con estación seca prolongada de 3 a 8 meses.

En la Figura 16<sup>27</sup>, se muestra la distribución espacial y ciclo anual de la precipitación para el período 1965 – 2010, para las estaciones de La Serena (30° S), Laguna Embalse (30°,2 S), Valparaíso (33° S), Riencillos (32,9° S), Santiago (33,4° S), El Yeso (33,7° S), Curicó (35° S) y Los Queñes (35° S). Para estas estaciones, la precipitación media anual para el período en estudio presenta un patrón de crecimiento gradual de norte a sur, y de oeste – este (disminuyendo en la depresión intermedia, y luego aumenta por efecto orográfico en la Cordillera de los Andes), variando entre los 77,3 mm (La Serena 30°S) y 1338,5 mm (Los Queñes 35° S).

---

<sup>27</sup> La escala de medición de las precipitaciones está expresada en mm, lo que permite realizar comparaciones en términos de sus magnitudes, según su ubicación geográfica y época del año.

**Figura 16.** *Distribución espacial y ciclo anual de las precipitaciones (1965 – 2010). Elaboración propia.*

## Capítulo 4: Análisis de Resultados.

### 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

El foco del presente estudio, estuvo en analizar geográficamente la distribución espacial y temporal de las precipitaciones y la tendencia de ella. Para cumplir con este propósito, se utilizaron estadísticos descriptivos, además del índice de irregularidad temporal de precipitaciones.

El estudio comienza con el análisis de homogeneidad de las series en estudios. Posterior a esto, se realizó el análisis descriptivo de las precipitaciones para el total de las estaciones en estudio en el período 1965 – 2010 (46 años). Posteriormente, se dividió en dos períodos la serie, de igual número de años (1965 – 1987 y 1988 – 2010). Ciertamente, algunos autores han determinado que el umbral mínimo de análisis para las series climáticas debe ser superior a 30 años. No obstante, en la actualidad no existe consenso sobre la longitud de estas series a analizar (Llasat *et al.* 2010). El hecho de dividir en dos sub – períodos la serie, permitió comparar ambos períodos y así poder observar la tendencia pluviométrica, describiendo, además, para cada uno de estos períodos, el comportamiento areal de las estaciones en estudio.

#### 4.1 Homogeneidad de las series en estudios.

Conforme se realizaron los test de homogeneidad para las series en el período de estudio, estas resultaron ser, en su totalidad, homogéneas al aplicar el test de Thom. En efecto, las 56 series analizadas están por debajo del valor 2,58, y por lo tanto, bajo éste criterio los registros pluviométricos analizados son, en tendencia, homogéneos para dicho test.

En cambio, los resultados obtenidos a través del test de Von Neumann, nos indica que, 15 de las 56 estaciones (26,8%) no están dentro del rango de valores aceptables para la prueba (1,6 y 2,4), siendo estas series considerada inhomogéneas.

En el anexo 7.1, se observan los resultados de ambos test, destacándose las estaciones de Mincha Norte con  $N = 2,41$  y Estero Rabuco con  $N = 2,42$  y en contraparte, existen valores por sobre el rango de tolerancia dispuesto por Von Neumann, por ejemplo las estaciones Antupirén  $N = 2,71$  y Pirque con  $N = 2,70$ .

## 4.2 Caracterización regional de los patrones de precipitación: Montos anuales y promedios.

A continuación se presentan los resultados de las precipitaciones en términos de los montos anuales y promedios para el área de estudio. La tabla 2, muestra la primera aproximación de cómo los montos de precipitación cambian espacialmente. Es posible observar que, la mayor variación porcentual se encuentra en la región de Coquimbo con un 292,71%, mientras que la menor variación se presenta en la región Metropolitana con un 112,52%.

Región	Promedio Anual (mm)		Variación (%)
	Mínimo	Máximo	
Coquimbo	77,3	303,57	292,71%
Valparaíso	250,08	622,43	164,88%
Metropolitana	349,73	743,25	112,52%
O'Higgins	451,6	1338,5	196,39%

**Tabla 2.** Precipitación promedio anuales, mínimos, máximos y su variación, por región administrativa, para la serie 1965 - 2010. Los valores son expresados en milímetros, para su mejor comparación. Elaboración propia.

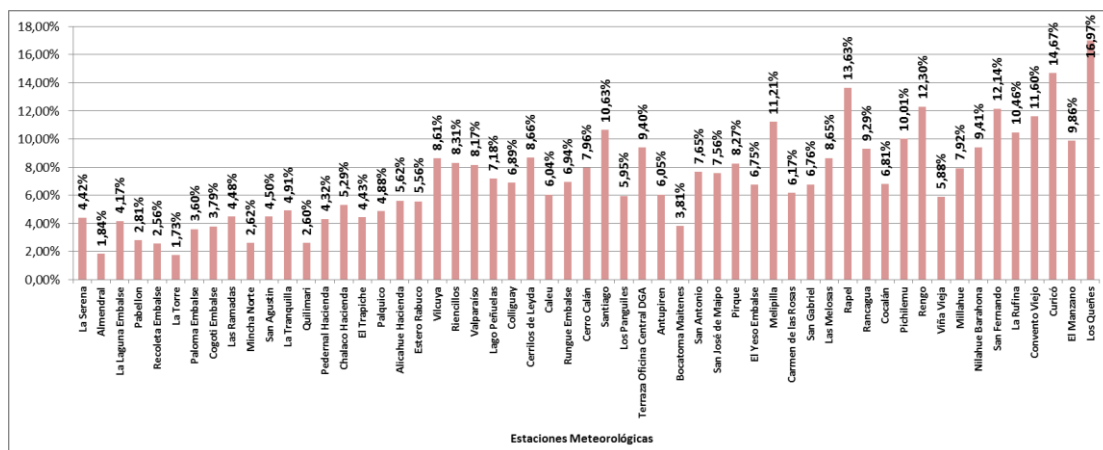
Un punto importante de este análisis fue, representar, de manera, relativa el número de días que precipita para cada región administrativa. La tabla 3, nos muestra que tanto los valores extremos como la diferencia positiva entre ellos, sigue un comportamiento creciente latitudinalmente<sup>28</sup>.

Región	Porcentaje Días de lluvia		
	Mínimo	Máximo	Diferencia %
Coquimbo	1,73%	4,91%	3,18%
Valparaíso	4,3%	8,7%	4,34%
Metropolitana	3,8%	11,2%	7,40%
O'Higgins y Maule	5,9%	17,0%	11,09%

**Tabla 3.** Porcentaje de días de lluvia, valores extremos y diferencia positiva, agrupadas por región administrativa. Elaboración propia.

De este modo, se observa que el porcentaje de días de lluvia sigue una gradiente norte – sur y oeste – este, tal como lo muestra la Figura 14.

<sup>28</sup> Para el cálculo del porcentaje de días de lluvia, se consideró el número de días con registro de precipitaciones por sobre 1 mm, dividido por 365 días.



**Figura 14.** Distribución de los porcentaje de día de lluvias, para la totalidad de las estaciones, en el período 1965 – 2010. Los porcentajes fueron calculados utilizando como base 365 días. *Elaboración propia.*

Un segundo aspecto consistió en analizar la serie completa, en términos de los montos promedios de precipitaciones, en donde estos valores, presentan un comportamiento aproximadamente similar a lo observado por el número de días con lluvia. Es decir, sigue una marcada tendencia a incrementarse los montos a medida que avanzamos latitudinal y longitudinalmente. En consecuencia, estaciones meteorológicas ubicadas en el extremo norte y en la depresión intermedia del área en estudio presentan, en promedio, menores montos de precipitaciones que aquellas ubicadas en el extremo sur y en altura de ésta área. Entonces, estaciones ubicadas a baja latitud y altura, como La Serena, por ejemplo, registra 77,3 mm promedio, monto inferior a Laguna Embalse (162,42 mm), pero ubicado por sobre los 3.000 m.s.n.m, o Curicó (703,68 mm) o Los Queñes (1.338,5 mm)<sup>29</sup>.

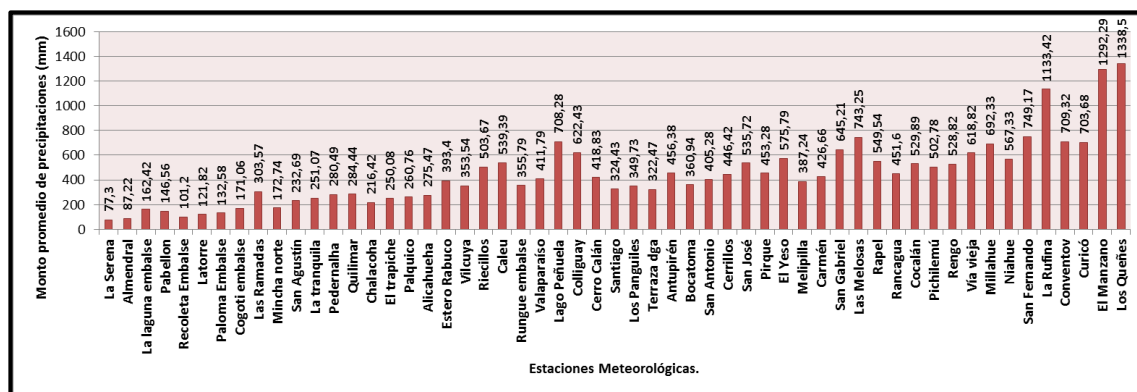
La situación descrita, se observa en la tabla 4 y figura 15.

<sup>29</sup> La ubicación de la estación La Serena es 30° latitud sur, 142 m.s.n.m. Estación Curicó y Los Queñes ubicados 35° latitud sur, con un altitud de 225 y 668 m.s.n.m.

ESTACIONES	$\mu$ (mm)	$\sigma$ (mm)	C. Variación	Período	N
La Serena	77,3	54,82	0,71	1965 - 2010	46
Almendral	87,22	67,93	0,78	1972 - 2010	39
La laguna embalse	162,42	115,77	0,71	1965 - 2010	46
Pabellón	146,56	97,69	0,67	1969 - 2010	42
Recoleta Embalse	101,2	74,61	0,74	1965 - 2010	46
Latorre	121,82	94,86	0,78	1979 - 2010	32
Paloma Embalse	132,58	93,63	0,71	1965 - 2010	46
Cogotí embalse	171,06	125,25	0,73	1965 - 2010	46
Las Ramadas	303,57	202,76	0,67	1965 - 2010	46
Mincha norte	172,74	109,51	0,63	1974 - 2010	37
San Agustín	232,69	143,87	0,62	1965 - 2010	46
La tranquila	251,07	159,82	0,64	1966 - 2010	45
Pedernalha	280,49	183,76	0,66	1977 - 2010	34
Quilimarí	284,44	169,21	0,59	1980 - 2010	31
Chalacocha	216,42	130,14	0,60	1965 - 2010	46
El trapiche	250,08	145,04	0,58	1975 - 2010	36
Palquico	260,76	152,35	0,58	1965 - 2010	46
Alicahueha	275,47	150,02	0,54	1965 - 2010	46
Estero Rabuco	393,4	209,05	0,53	1965 - 2010	46
Vilcuya	353,54	188,9	0,53	1965 - 2010	46
Riecillos	503,67	268,71	0,53	1965 - 2010	46
Caleu	539,39	343,65	0,64	1965 - 2010	46
Rungue embalse	355,79	238,73	0,67	1965 - 2010	46
Valparaíso	411,79	191,67	0,47	1965 - 2005	41
Lago Peñuela	708,28	318,39	0,45	1965 - 2010	46
Colliguay	622,43	311,23	0,50	1965 - 2010	46
Cerro Calán	418,83	193,99	0,46	1976 - 2010	35
Santiago	324,43	152,46	0,47	1965 - 2010	46
Los Panguiles	349,73	175,06	0,50	1981 - 2010	30
Terraza DGA	322,47	159,48	0,49	1965 - 2010	46
Antupirén	456,38	200,69	0,44	1980 - 2010	31
Bocatoma	360,94	249,97	0,69	1988 - 2010	23
San Antonio	405,28	198,65	0,49	1972 - 2010	39
Cerrillos	446,42	223,92	0,50	1965 - 2010	46
San José	535,72	252,34	0,47	1972 - 2010	39
Pirque	453,28	198,56	0,44	1973 - 2010	38
El Yeso	575,79	318,06	0,55	1965 - 2010	46
Melipilla	387,24	185,35	0,48	1976 - 2010	35
Carmen	426,66	193,28	0,45	1965 - 2010	46
San Gabriel	645,21	320,46	0,50	1978 - 2010	33
Las Melosas	743,25	412,85	0,56	1965 - 2003	39
Rapel	549,54	256,28	0,47	1965 - 2010	46
Rancagua	451,6	189,51	0,42	1979 - 2010	32

Cocalán	529,89	217,9	0,41	1979 - 2010	32
Pichilemu	502,78	192,72	0,38	1981 - 2010	30
Rengo	528,82	212,35	0,40	1971 - 2010	40
Vía vieja	618,82	274,72	0,44	1979 - 2003	25
Millahue	692,33	330,32	0,48	1972 - 2010	39
Niahue	567,33	213,8	0,38	1969 - 2010	42
San Fernando	749,17	309,98	0,41	1972 - 2010	39
La Rufina	1133,42	414,84	0,37	1965 - 2010	46
Convento Viejo	709,32	264,95	0,37	1972 - 2010	39
Curicó	703,68	266,48	0,38	1965 - 2010	46
El Manzano	1292,29	480,25	0,37	1976 - 2010	35
Los Queñes	1338,5	519,87	0,39	1965 - 2010	46

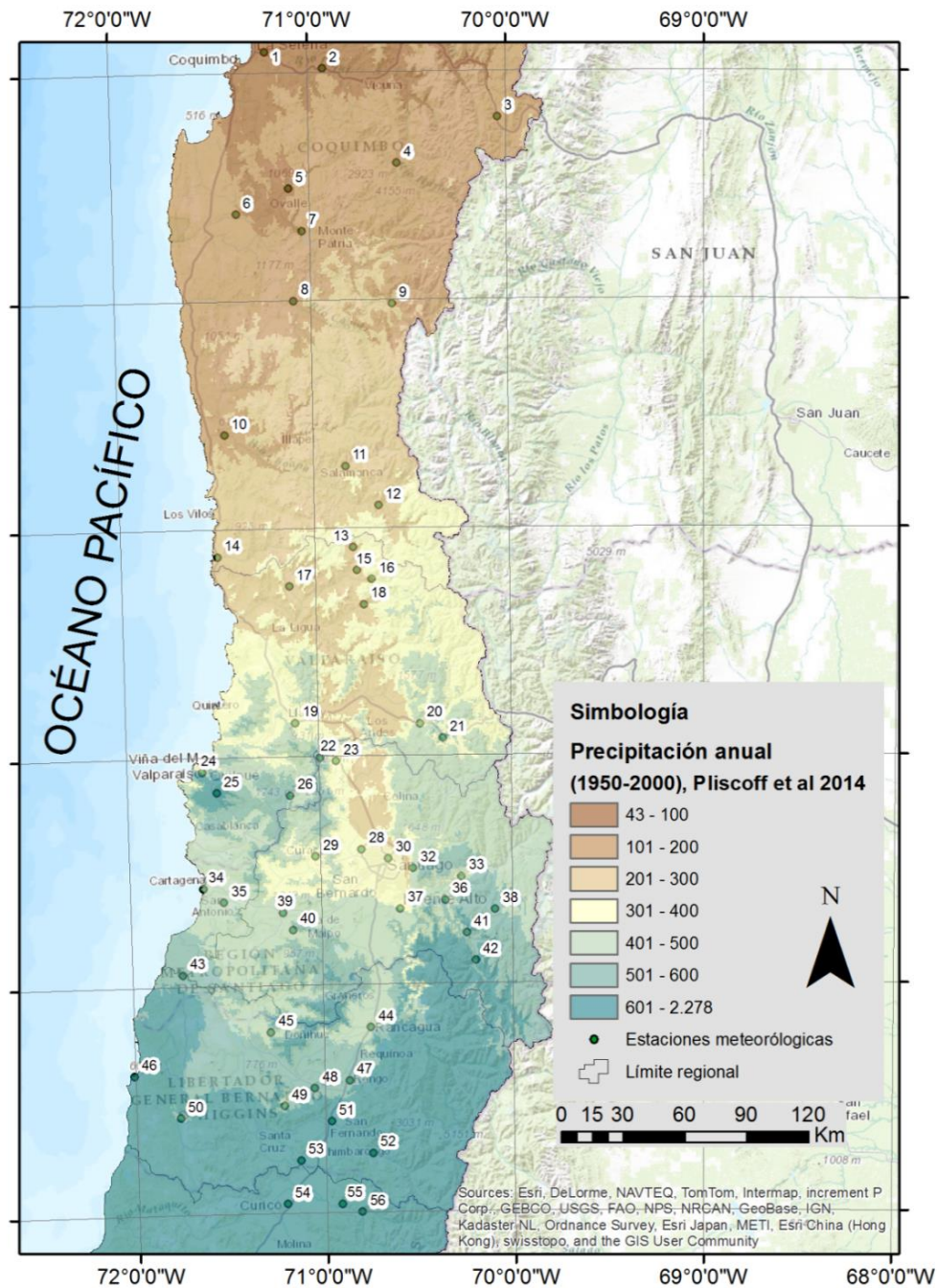
**Tabla 4.** Parámetros estadísticos calculados para la totalidad de las estaciones en el período 1965 – 2010. Donde  $\mu$  representa la media aritmética,  $\sigma$  la desviación estándar, cv el coeficiente de variación y N el número de años con registros. Elaboración propia.



**Figura 15.** Distribución de los montos promedios de precipitaciones en (mm), para la totalidad de las estaciones en el período en estudio 1965 - 2010. Elaboración propia.

Con el propósito de tener una visión acerca del comportamiento que tienen las precipitaciones en Chile central, es necesario tener una aproximación de cómo estas se distribuyen geográficamente. Es por esto que, se utilizó la superficie bioclimática de la precipitación anual construida por Pliscoff *et al.* (2014) (figura 16).





**Figura 16.** Distribución espacial de las precipitaciones anuales período 1950 - 2000.  
 Fuente Pliscoff et al. 2014.

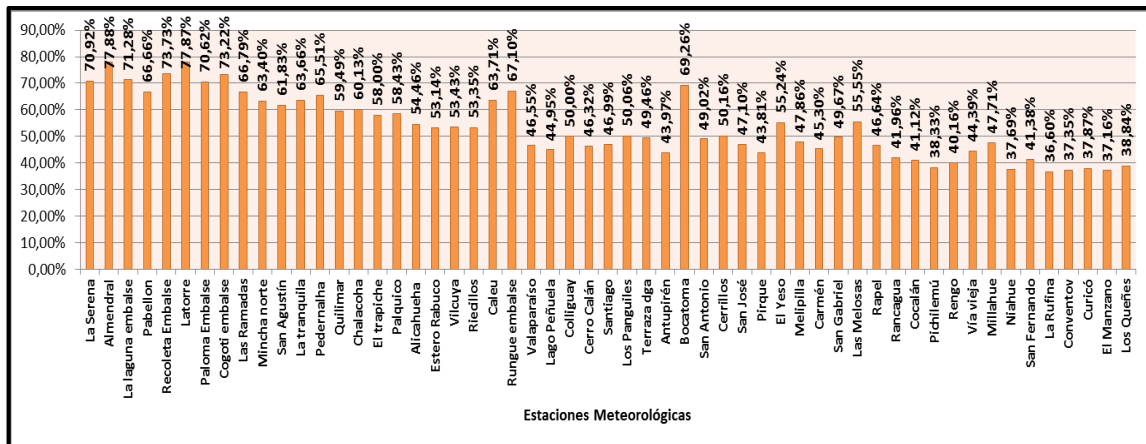
En base a la figura, y como se ha determinado, las precipitaciones aumenta en forma considerable, conforme aumenta la latitud y longitud. No obstante, es preciso señalar que éste comportamiento no es constante u homogéneo. Zonas como la Región Metropolitana, específicamente la ciudad de Santiago, registra un valor menor de precipitaciones que las áreas adyacentes a ella. Como consecuencia del relieve, en la

sexta región se observan diferencias pluviométricas importantes. Las precipitaciones son mayores en la Cordillera de Los Andes que en la costa y en la Depresión intermedia.

### 4.3 Distribución espacial del Coeficiente de Variación.

La segunda aproximación, fue el análisis de la dispersión de las precipitaciones y su distribución espacial. El indicador utilizado, para esto fue el coeficiente de variación por ser un indicador relativo de la variabilidad de fácil cálculo y comparación.

La figura 17, nos muestran la dispersión relativa de las precipitaciones para la serie completa. La tendencia de éste indicador es a disminuir a medida que aumenta en la latitud. Es decir, estaciones ubicadas al norte del área de estudio (región de Coquimbo) presentan una mayor heterogeneidad en la distribución de las precipitaciones, sin embargo, estaciones ubicadas al sur del área de estudio (región de O'Higgins y del Maule) los valores tienden a ser menores, presentando mayor homogeneidad en las precipitaciones. Las regiones intermedias (Valparaíso y Metropolitana) presentan valores intermedios.



**Figura 17.** Distribución de la dispersión relativa, mediante el coeficiente de variación, para cada estación en el período 1965 – 2010. Elaboración propia.

De este modo se puede decir que, a menor latitud se producen menores montos de precipitación, pero con alta dispersión relativa. Mientras que a medida que se avanza hacia el sur, la tendencia es observar montos de precipitaciones mayores, pero con menor variabilidad.

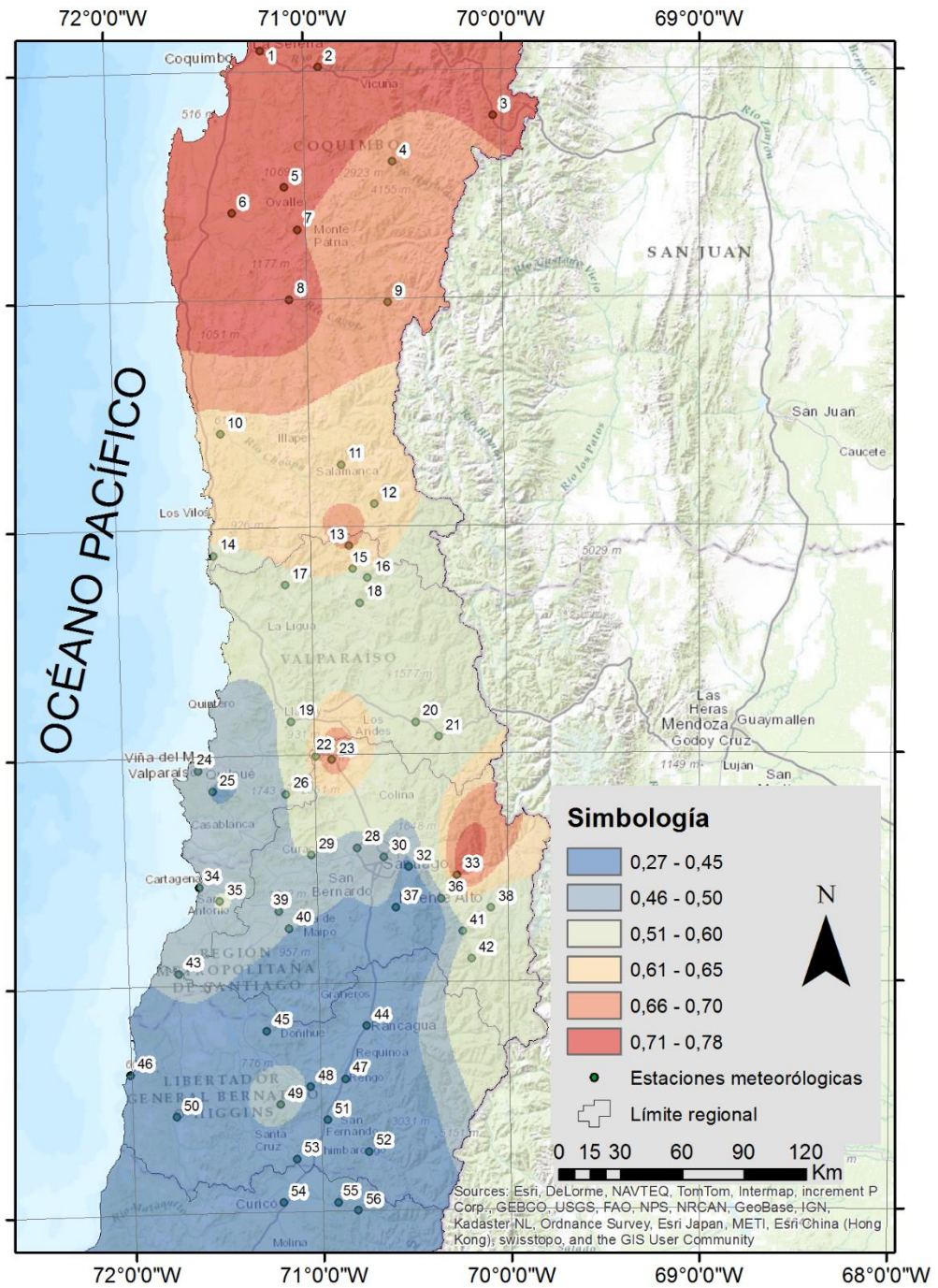
Con el fin de generar áreas con similar coeficiente de variación, y su comparación con otras áreas de estudio, se utilizó la categorización propuesta por Llasat *et al* (2010) quienes, para éste indicador, distinguieron 6 categorías que van desde muy bajo a muy alto. Ver tabla 5.

C. de Variación	muy bajo	bajo	moderado	moderado alto	alto	muy alto
	< 15 %	15 - 19 (%)	20 - 24 (%)	25 - 29 (%)	30 - 34 (%)	> 35 (%)

**Tabla 5.** Categorización de acuerdo al coeficiente de variación. Fuente: Llasat, et al. (2010).

Sin embargo, al utilizar esta clasificación, el 100% de las estaciones en estudio presentan un coeficiente de variación muy alto, es decir, mayor a 35%, lo que imposibilita la generación de distintas áreas. De este modo, y con el propósito de generar clúster, se procedió a agrupar las estaciones mediante la **técnica estadística de análisis de conglomerados, manteniendo los nombres de cada categoría.**

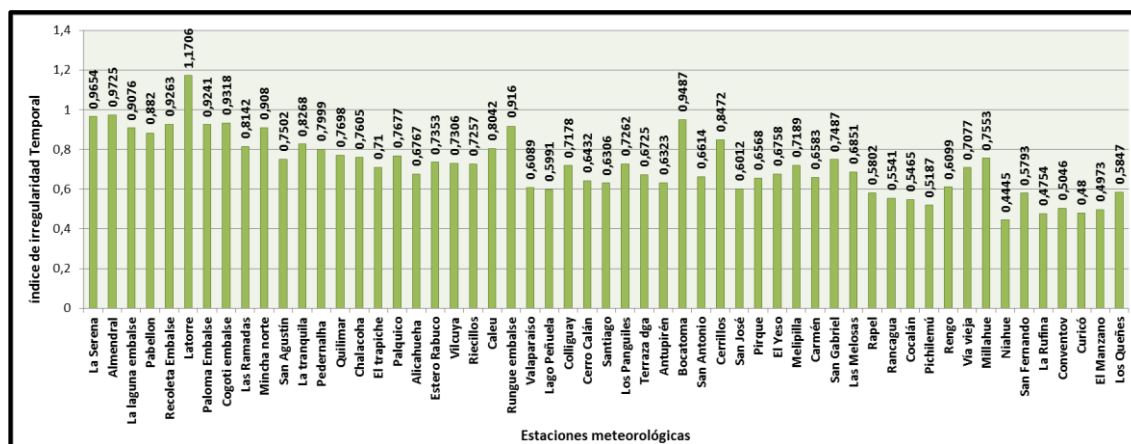
Espacialmente, los valores que presenta el Coeficiente de Variación se pueden observar en la figura 18, en donde se confirma la variación latitudinal que tiene este indicador. Al respecto, relevancia regional es la región de Coquimbo, la cual presenta las tres categorías más altas, vale decir, muy alto en el sector de La Serena y sus alrededores; altos en la Cordillera de Los Andes y moderado alto en el puerto de Los Vilos, Quilimarí y sectores cordilleranos. Hacia el sur (quinta región) los valores tienden a ser moderados con algunas islas de valores altos. Finalmente, en la región de O'Higgins y del Maule, se presentan valores bajos.



**Figura 18.** Distribución espacial del Coeficiente de Variación, agrupado en clúster. Fuente elaboración propia, a través de la técnica análisis de conglomerados.

#### 4.4 Análisis del índice de Irregularidad temporal de precipitaciones.

La irregularidad de las precipitaciones se obtuvo a través del índice de irregularidad temporal, propuesto por Martín – Vide. La figura 19, enseña que, el comportamiento del índice es, similar al del coeficiente de variación, pero con algunos matices. Es decir, los valores disminuyen en dirección norte - sur. De este modo, existe coherencia espacial entre estos dos indicadores. Para Sarricolea *et al.* (2012) la relación entre estos indicadores, es propio de los climas mediterráneo (como del área de estudio) y lluviosos (al sur del área de estudio). Sin embargo, en climas desérticos se necesitan complementar con otros indicadores, que reflejen de mejor forma, la anomalía estadística de esta zona.



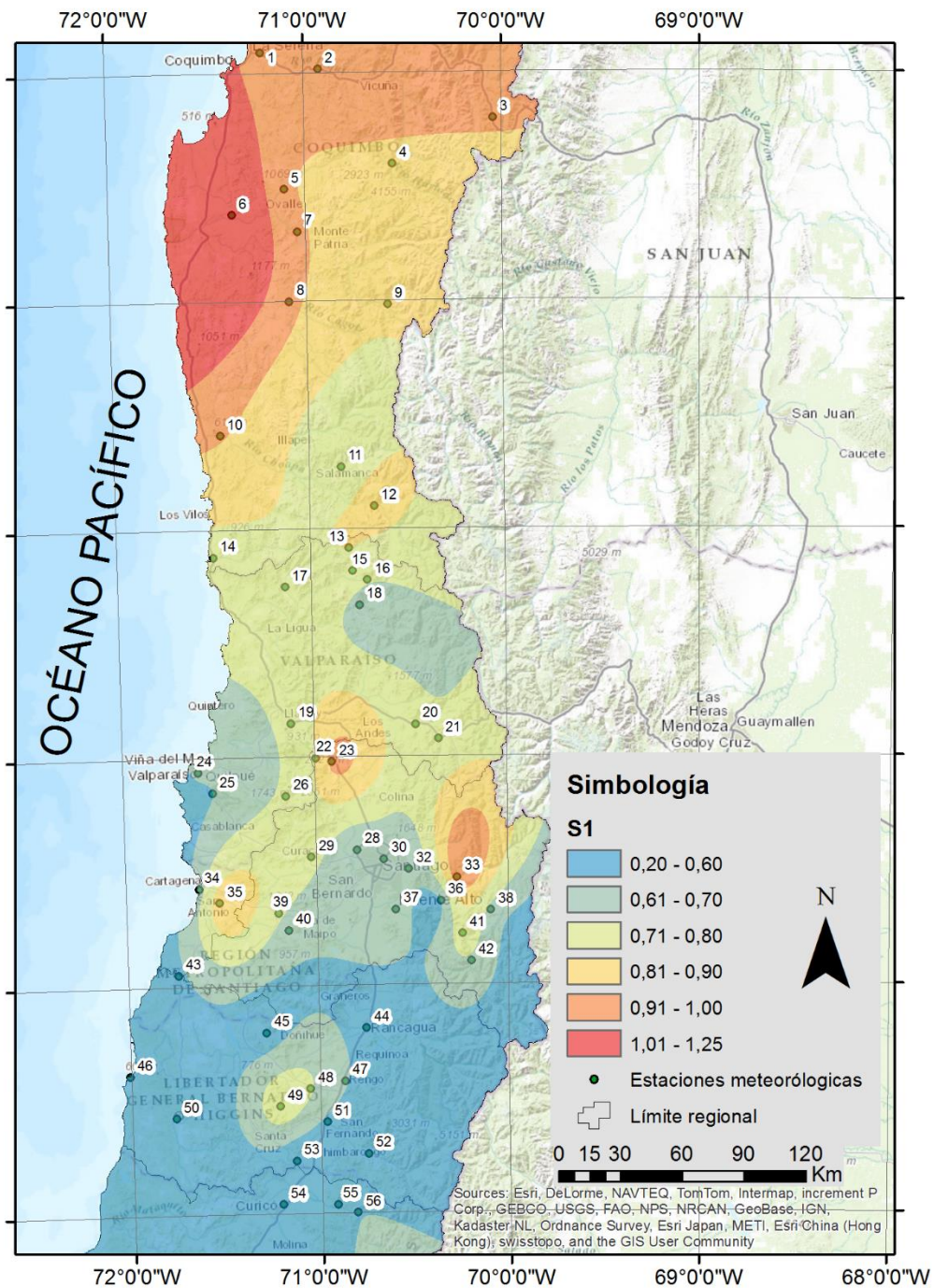
**Figura 19.** Distribución del Índice de Irregularidad temporal, para la totalidad de las estaciones en estudio, en el período 1965 – 2010. Elaboración propia, a partir de los registros pluviométricos.

Del mismo modo que, en el coeficiente de variación, se utilizó la clasificación propuesta para éste índice de Llasat *et al.* (2010), que se muestra a continuación en la tabla 6.

Índice de irregularidad temporal (S1)	muy bajo	bajo	moderado	moderado alto	alto	muy alto
	<0,2	0,2 - 0,24	0,25 - 0,29	0,30 - 0,34	0,35 - 0,39	> 0,4

**Tabla 6.** Clasificación del Índice de irregularidad temporal. Extraído de: Llasat, M ; Martín – Vide, J & López, J. (2010). Constataciones de carácter meteorológico en Cataluña

Considerando la clasificación anterior, nuevamente presenta las mismas limitaciones encontradas en el análisis del coeficiente de variación, ya que el 100% de las estaciones presentan un índice de irregularidad temporal alto, es decir, mayor a 0,4, destacándose estación Latorre (30,6° S), la que presenta el valor más alto del índice 1,17. Las restantes estaciones, presentan valores inferiores a 1. Es por esto que, se procedió a realizar una nueva clasificación utilizando el análisis clúster. Los resultados del clúster y de la interpolación del índice de irregularidad temporal, se puede apreciar en la figura 20.



**Figura 20.** Distribución índice de irregularidad temporal, agrupado en clúster. Fuente elaboración propia, a través de la técnica análisis de conglomerados.

En la región de Coquimbo este índice presenta valores muy alto (sector sur de La Serena), alto (La Serena y Coquimbo) y moderado alto (Cordillera de Los Andes). Hacia

el sur de la cuarta región, específicamente, en el límite con la quinta región (Pichidangui) estos valores tienden a ser moderados, al igual que en casi toda la quinta región, en donde, además se observan dos singularidades con valores bajos cercanos a la ciudad de Petorca y altos en las ciudades de San Felipe y Los Andes.

Por su parte, en los alrededores de la ciudad de Santiago, se presentan valores bajos. Hacia el sur de esta ciudad, predominan valores de irregularidad muy bajos. Pero en el sector occidental de la ciudad de San Fernando, se presenta con valores de irregularidad moderada (Estación Millahué) rodeado de montos bajos.

#### **4.5 Análisis de la tendencia de las precipitaciones.**

Con el propósito de visualizar la tendencia del comportamiento pluviométrico, se subdividió la serie en dos sub series, donde, cada una de ellas contempla registros de 23 años. De este modo, se analizaron los montos precipitación promedio, el coeficiente de variación y el índice de irregularidad temporal.

- **Tendencia precipitación promedio.**

En términos de los montos promedios, se observan disminuciones que, en muchos casos, superan los 100 mm entre ambos períodos. La mayor disminución se registra en la estación El Manzano con una variación aproximada del 19% (287 mm). Por su parte, la estación El Yeso presenta una variación positiva del 18,9% (99 mm) (ambos valores son estadísticamente significativos). En este contexto, es preciso destacar que el 45,4% de las estaciones presentan variaciones (disminuciones) estadísticamente significativas al 5%. En la tabla 7, se muestran las estaciones con la descripción de la media aritmética, desviación estándar y coeficiente de variación.

ESTACIÓN	PERÍODO 1965 - 1987			PERÍODO 1988 - 2010			Diferencia
	$\mu$ (mm)	$\sigma$ (mm)	CV	$\mu$ (mm)	$\sigma$ (mm)	CV	
La Serena	78,36	59,05	75,36%	76,23	51,55	67,62%	-2,13
Almendral	90,81	62,67	69,01%	84,71	72,64	85,75%	-6,10
La laguna embalse	187,18	135,06	72,16%	137,65	88,83	64,53%	-49,53
Pabellón	140,17	90,71	64,71%	151,83	104,83	69,04%	11,66
Recoleta Embalse	101,45	73,59	72,54%	100,94	77,26	76,54%	-0,51
Latorre	142,99	108,49	75,87%	113,53	90,24	79,49%	-29,46
Paloma Embalse	139,21	97,67	70,16%	125,94	91,1	72,34%	-13,27
Cogotí embalse	182,94	125,2	68,44%	159,19	126,95	79,75%	-23,75
Las Ramadas	301,27	206,7	68,61%	305,77	202,98	66,38%	4,50
Mincha norte	191,87	125,4	65,36%	161,1	99,78	61,94%	-30,77
San Agustín	242,31	160,33	66,17%	223,07	128,21	57,48%	-19,24
La tranquila	253,69	169,51	66,82%	248,56	158,54	63,78%	-5,13
Pedernalha	351,62	226,05	64,29%	246,47	153,9	62,44%	(-105,15)
Quilimarí	364,87	181	49,61%	259,97	166,34	63,98%	(-104,9)
Chalacocha	218,59	139,03	63,60%	214,26	123,71	57,74%	-4,33
El trapiche	258,13	153,11	59,32%	245,53	143,6	58,49%	-12,60
Palquico	281,01	169,84	60,44%	247,55	142,19	57,44%	-33,46
Alicahueha	287,74	158,27	55,00%	263,19	143,77	54,63%	-24,55
Estero Rabuco	428,82	213,24	49,73%	357,98	203,76	56,92%	(-70,84)
Vilcuya	352,61	199,19	56,49%	354,47	182,51	51,49%	1,86
Riecillos	509,61	275,26	54,01%	497,73	268,06	53,86%	-11,88
Caleu	581,03	389,71	67,07%	499,56	296,7	59,39%	(-81,47)
Rungue embalse	396,73	224,59	56,61%	314,85	250,26	79,49%	-81,88
Valparaíso	438,57	185,65	42,33%	377,56	236,59	62,66%	-61,01
Lago Peñuela	823,68	321,93	39,08%	638,03	301,68	47,28%	(-185,65)
Colliguay	656,94	340,46	51,83%	587,91	282,35	48,03%	(-69,03)
Cerro Calán	475,46	198,53	41,76%	389,28	189,19	48,60%	(-86,18)
Santiago	330,69	159,6	48,26%	318,17	148,3	46,61%	12,52
Los Panguiles	428,9	197,88	46,14%	325,63	164,67	50,57%	103,27
Terraza DGA	326,73	153,69	47,04%	318,22	168,42	52,93%	8,51
Antupirén	536,11	232,21	43,31%	428,65	186,15	43,43%	107,46
Bocatoma	*	*	*	360,94	244,36	67,70%	0
San Antonio	487,6	221,9	45,51%	351,59	172,66	49,11%	136,01
Cerrillos	467,9	250,16	53,46%	425,87	199,34	46,81%	42,03
San José	590,56	287,01	48,60%	497,56	223,86	44,99%	93
Pirque	470,37	218,16	46,38%	442,14	188,92	42,73%	28,23
El Yeso	525,01	325,94	62,08%	624,35	304,77	48,81%	-99,34
Melipilla	435,33	185,23	42,55%	362,15	184,44	50,93%	73,18
Carmen	464,36	203,67	43,86%	388,96	178,77	45,96%	75,4
San Gabriel	750,99	352,35	46,92%	599,22	302,14	50,42%	151,77
Las Melosas	807,25	466,58	57,80%	655,26	322,36	49,20%	151,99

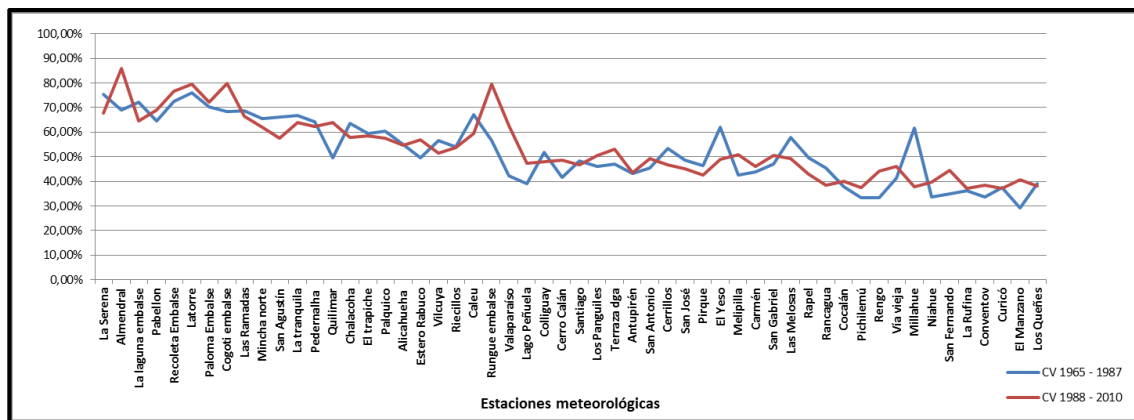


Rapel	586,45	290,26	49,49%	514,24	221,25	43,02%	72,21
Rancagua	553,93	252,37	45,56%	416	160,4	38,56%	137,93
Cocalán	643,72	243,63	37,85%	485,34	194,79	40,13%	158,38
Pichilemu	630,14	209,46	33,24%	464,02	173,96	37,49%	166,12
Rengo	595,28	199,04	33,44%	479,7	212,57	44,31%	115,58
Vía vieja	701,62	288,84	41,17%	572,24	264,26	46,18%	129,38
Millahue	670,81	413,5	61,64%	707,31	267,05	37,76%	-36,5
Niahue	630,59	212,8	33,75%	515,07	204,52	39,71%	115,52
San Fernando	859,86	299,74	34,86%	672,17	299,33	44,53%	187,69
La Rufina	1189,85	429,56	36,10%	1076,99	401,04	37,24%	112,86
Conventov	797,92	268,47	33,65%	647,68	249,86	38,58%	150,24
Curicó	761,84	284,46	37,34%	645,52	239,29	37,07%	116,32
El Manzano	1481,23	430,49	29,06%	1193,72	483,89	40,54%	287,51
Los Queñes	1421,32	555,38	39,07%	1255,68	479,6	38,19%	165,64

**Tabla 7.** Descripción de las estaciones en términos de los montos promedios, desviación estándar y coeficiente de variación, para los dos períodos (1965 – 1987) y (1988 – 2010). Se realizó la prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov y Shapiro Wilk. Resultando que los datos no se distribuyen normalmente. Valores entre paréntesis ( ) indica diferencia estadísticamente significativa al 5%, bajo prueba no paramétrica de U de Mann – Whitney. La estación Bocatoma, no tuvo registro en el período 1965 – 1987. Elaboración propia, a partir de los registros pluviométricos.

### • Tendencia Coeficiente de variación.

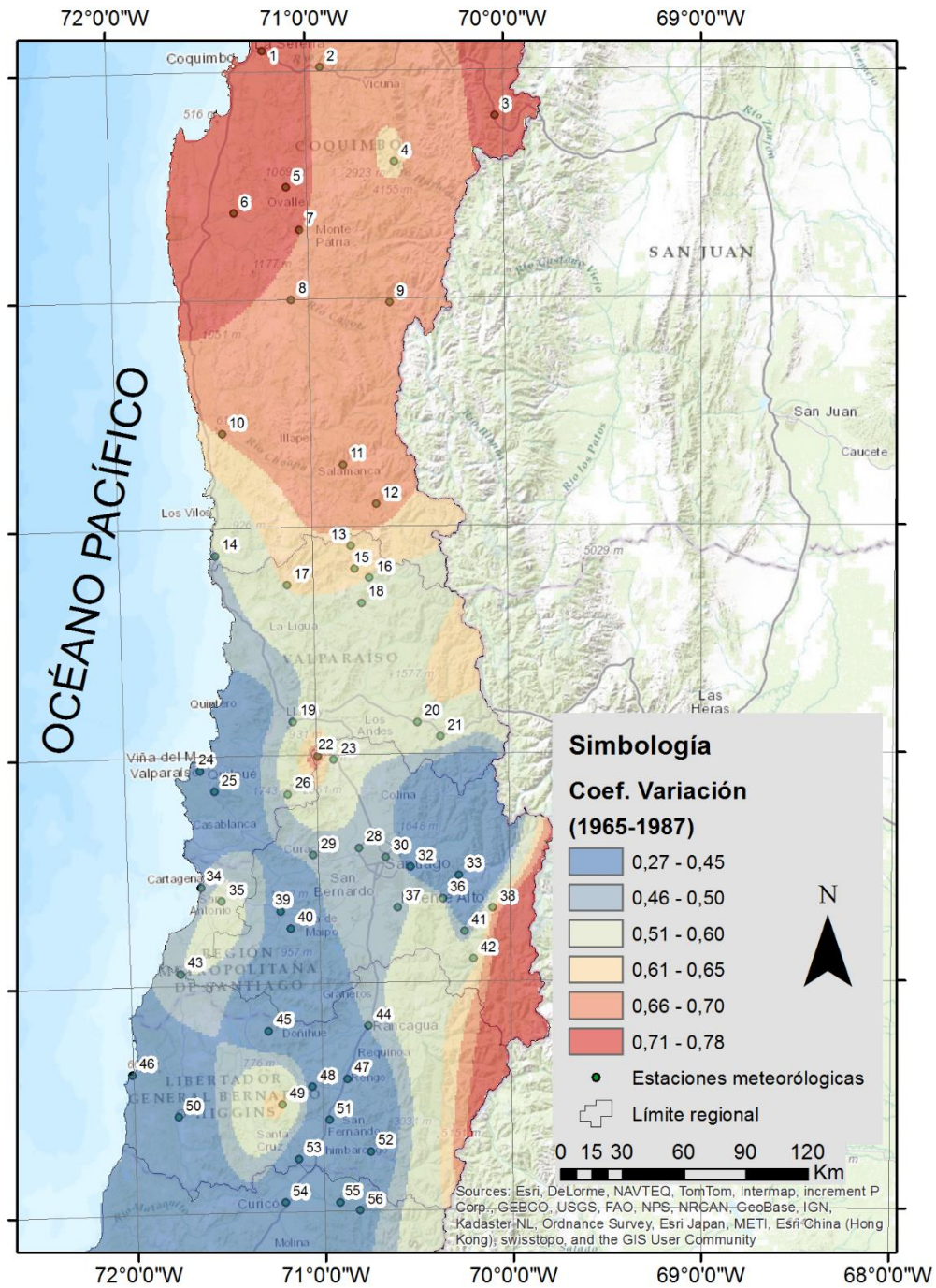
En la Figura 21 se muestran el comportamiento del coeficiente de variación para los sub períodos.



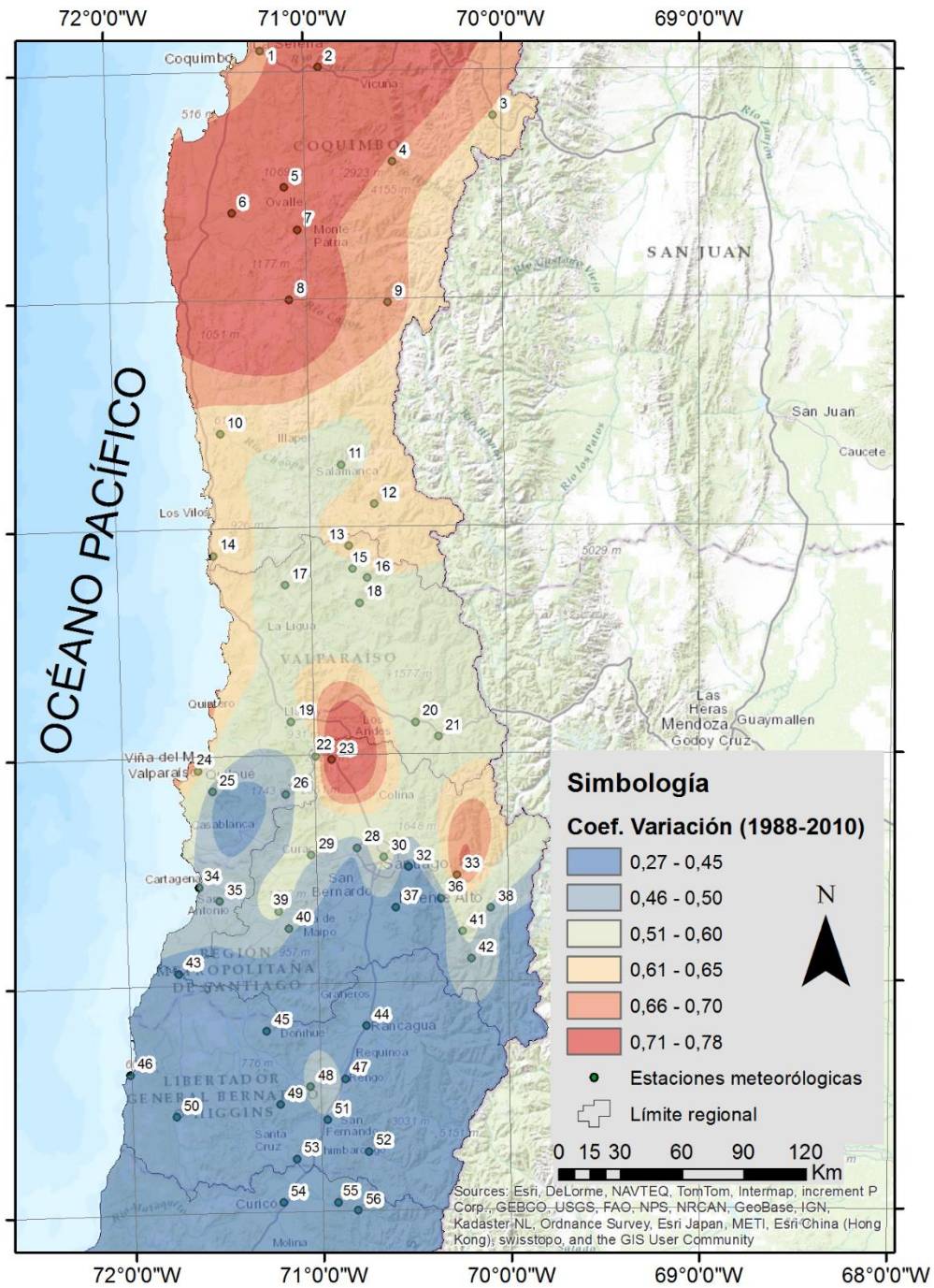
**Figura 21.** Distribución del Coeficiente de Variación, para las estaciones en los dos períodos (1965 – 1987) y (1988 – 2010). No se consideró la estación Bocatoma, debido a que no presenta registro pluviométrico para los años 1965 – 1987. Elaboración propia.

Se observa en la figura, que ambos períodos presentan, aproximadamente, el mismo comportamiento que en la serie completa, es decir, presenta una tendencia a

disminuir latitudinalmente. Sin embargo, aún cuando, en las estación Rungue ( $33^{\circ}$  S) y Millahue ( $34,5^{\circ}$  S), la diferencia entre ambos coeficientes es importante, para el resto de las estaciones, se aprecia una diferencia más bien modesta. La figura 23 y 24 se observa una expansión de las zonas con menor y mayor valor de coeficiente de variación.



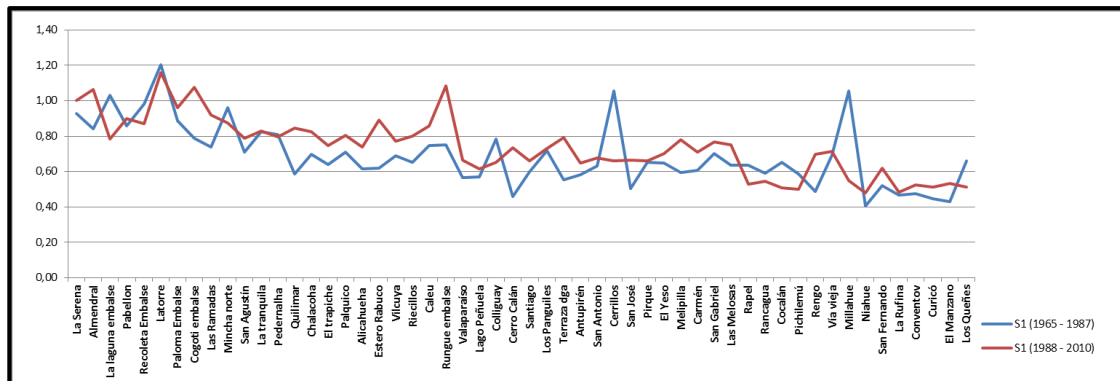
**Figura 23.** Distribución espacial del coeficiente de variación para el período 1965 - 1987.  
Fuente elaboración propia.



**Figura 24.** Distribución espacial del coeficiente de variación para el período 1988 – 2010.  
Fuente elaboración propia.

- **Tendencia Índice de irregularidad.**

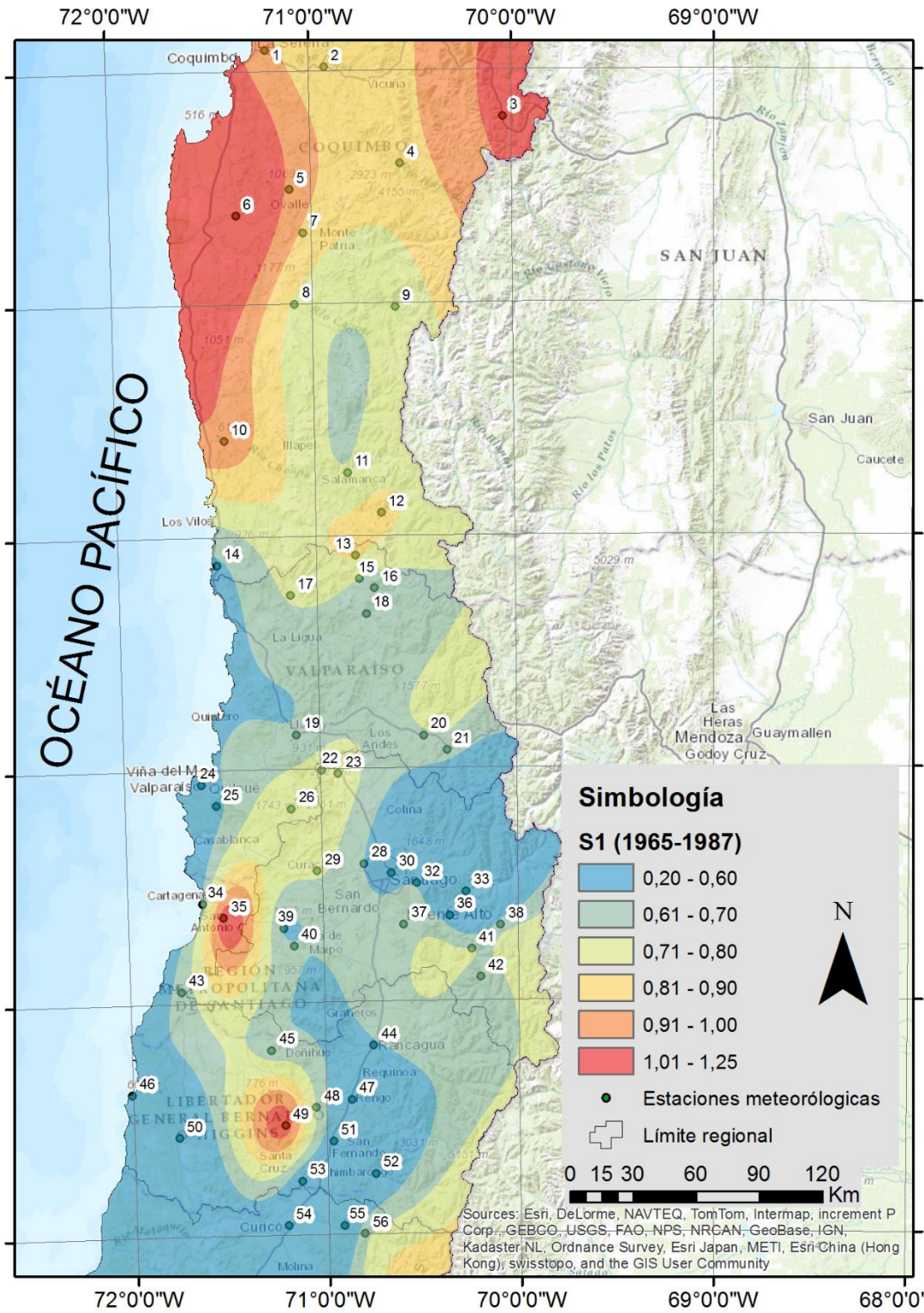
En la Figura 25, se observan diferencias importantes en la evolución del índice para ambos períodos. Mientras que, para los años 1965 y 1987, el indicador presenta tendencia a disminuir conforme avanzamos en latitud, esta tendencia presenta una pendiente más suave que en el período 1988 – 2010, aún cuando, se observan mayores irregularidades pluviométricas en estaciones como Cerrillos (33,29° S) y Millahue (34,5° S), situación no observada en el segundo período, ya que, tiende a tener un comportamiento más regular, destacando solamente la estación Caleu (33° S).



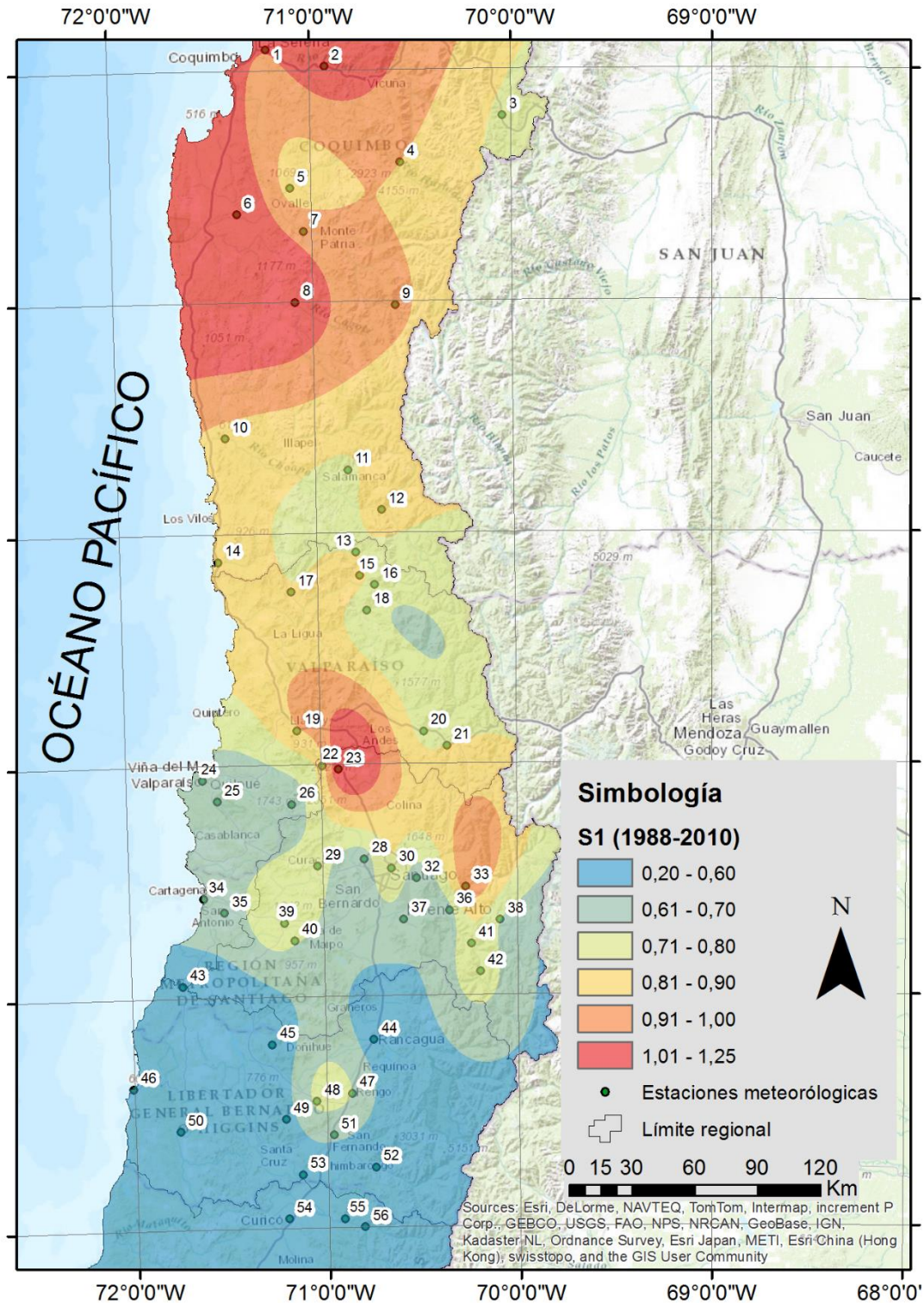
**Figura 25.** Distribución del Índice de irregularidad temporal, para las estaciones en estudio en dos períodos (1965 – 1987) y (1988 – 2010). No se incluye estación Bocatoma, por no tener registro pluviométrico entre los años 1965 y 1987. Elaboración propia.

La creación de áreas a través de análisis clúster y su posterior interpolación, nos da cuenta de los cambios espaciales que presenta el índice de irregularidad entre los sub períodos. La irregularidad espacial del comportamiento del índice para el primer sub período es observable en la figura 26, donde los valores altos se concentran al sur de la ciudad de Coquimbo hasta el norte de Los Vilos, predominando sectores con irregularidad baja o moderada. Por último, áreas con menor irregularidad temporal pluviométrica se ubican en la ciudad de Santiago, abarcando la Cordillera de Los Andes, y al sur de la región de O`Higgins.

Esta situación es contrastada con la regularidad del segundo sub período mostrada en la figura 27. Ciertamente los valores altos de irregularidad abarcan una extensión mayor en la cuarta región, además es observable al norte de la ciudad de Colina, específicamente en el sector de Tiltill. Por su parte, la ciudad de Santiago presenta valores bajos a moderados, mientras que la sexta región en casi su totalidad presenta valores bajos de irregularidad.



**Figura 26.** Distribución espacial del índice de irregularidad temporal, para todas las estaciones, en el período (1965 – 1987). Fuente: Elaboración propia.



**Figura 27.** Distribución espacial del índice de irregularidad temporal, para todas la estaciones, en el período (1988 – 2010). Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6 Relación entre el Coeficiente de variación e Índice de irregularidad temporal.

La evidencia encontrada sobre la correlación entre el índice de irregularidad temporal y el coeficiente de variación, para climas mediterráneos y lluviosos, es alta y estadísticamente significativa. En este contexto, Sarricolea *et al.* (2012) determinó el coeficiente de determinación  $R^2$  de 0,876 ( $r = 0,93$ ) y 0,802 ( $r = 0,89$ ) para las variables CI y CV; CI y S1<sup>30</sup>, respectivamente, siendo ambas correlaciones significativas al 1%. Ciertamente, el autor no correlaciona directamente el coeficiente de variación con el índice de irregularidad. Sin embargo, al ser ambos valores muy altos, por transitividad, podemos deducir, que también, será un alto valor.

Como era predecible, ambas variables se asocian lineal y positivamente, con alta concentración de las observaciones en torno a la recta de regresión. El coeficiente  $R^2$  nos indica que la variabilidad del S1 es explicada en un 87% por la variabilidad del coeficiente de variación. Por otro lado, y dado que el coeficiente de variación no distribuye normalmente ( $p - \text{valor} < 0,001$ ) y el índice de irregularidad temporal si lo hace, ( $p - \text{valor} = 0,307$ )<sup>31</sup>, la intensidad de la asociación lineal, se determinó a través de la correlación de Rho de Spearman, obteniéndose un valor de 0,94 y estadísticamente significativa ( $p - \text{valor} < 0,001$ )<sup>32</sup>. En la figura 28 se observa el diagrama de dispersión con el ajuste lineal.

**Figura 28.** Diagrama de dispersión y ajuste lineal para las variables CV y S1. Elaboración propia. Las bandas señalan intervalo de confianza al 99%. Estación Cerrillos (33,29°S) es estadísticamente significativa.

---

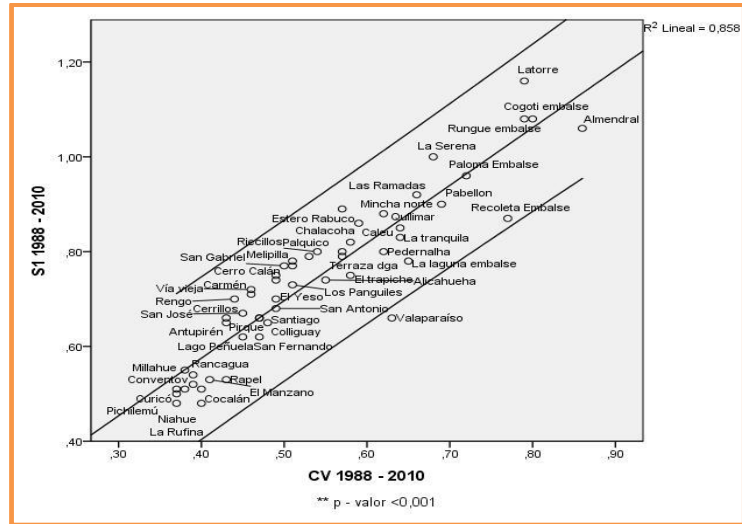
<sup>30</sup> CI: índice de concentración. CV: Coeficiente de Variación. S1: Índice de irregularidad.

<sup>31</sup> Se utilizó prueba de normalidad de Shapiro Wilk.

<sup>32</sup> Los cuadros con los resultados de normalidad y de correlación se muestran en anexo 9.3



Finalmente, se procedió a correlacionar ambas variables en los sub – períodos. Es destacable el aumento importante que presenta el coeficiente de determinación, para el primer período fue de 64,4% aumentando a 85,8%, en el período 1988 – 2010. Los resultados se observan en las figuras 29 y 30.



**Figura 29.** Diagrama de dispersión y ajuste lineal para las variables CV y S1, período 1988 - 2010. Elaboración propia. Las bandas señalan intervalo de confianza al 99%. .

**Figura 30.** Diagrama de dispersión y ajuste lineal para las variables CV y S1, período 1965 - 1987. Elaboración propia. Las bandas señalan intervalo de confianza al 99%. Estación Cerrillos (33,29°S) es estadísticamente significativas.

## **Capítulo 5: Discusión y Conclusiones.**

### **5.1 Discusión sobre los resultados.**

La distribución de las precipitaciones espacial y temporalmente, se encuentran condicionadas por la interacción agentes atmosférico, la proximidad al océano Pacífico y el polo sur; el efecto del relieve, específicamente el orográfico que producen ambas cordilleras (Andes y Costa) y otros cordones montañosos, y el efecto ENOS, cada cierto período de tiempo; y principalmente el Anticiclón sub tropical del Pacífico Sur.

La evidencia señala sobre estos factores, y como ellos condicionan y controlan, la regular distribución de las precipitaciones sobre el territorio. La configuración sinóptica que determina la presencia de inversión térmica, las trayectorias de las masas de aire y el origen de la dinámica de los vientos, y por otro lado la latitud, son factores que a gran escala, condicionan la estacionalidad de las precipitaciones, cuyo origen es, mayoritariamente, del tipo frontal. Por su parte, existen otros factores que determinan localmente las precipitaciones, como el relieve que produce forzamiento de las masas de aire al entrar en contacto con la orografía.

La precipitación analizada en este trabajo, comprendió la de aquellas regiones del centro de Chile, las que se encuentra en la zona de transición como lo afirman Quintana & Aceituno (2010) donde la lluvia se presenta mayoritariamente en los meses de invierno, específicamente de mayo a septiembre. En términos de los resultados obtenidos por la investigación, estos deben ser considerados exitosos, en la medida que se pudo constatar el régimen pluviométrico predominante, lo que contribuye a validar el hecho que haya una concentración de precipitaciones durante los meses de invierno, característicos de clima mediterráneo.

En relación a la homogeneidad de las series, estos sirven para comprobar la consistencia climática de la serie procedente de una estación meteorológica. Si estas, presenta una variabilidad que no es natural. De este modo, se pudo constatar las diferencias que existen, en los resultados obtenidos, al aplicar diferentes métodos de análisis. Ciertamente, cada test de homogeneidad presenta niveles de exigencias diferenciados, y por consiguiente hace que se produzcan estas diferencias. Es por esto que, en las series estudiadas, también, observamos resultados disímiles. Toda vez, que los resultados obtenidos por el test de Thom resultaron ser, para el 100% de las estaciones consideradas como homogéneas, mientras que los resultados del test de Von Neumann, este valor disminuye a 56% de las estaciones, mostrando, tal vez, mayor robustez.

Para Martín – Vide (2003) las razones que producen la inhomogeneidades son variadas, destacándose como principales factores los cambios en los instrumentos, movilidad de la estación meteorológica, cambio en ambientes aledaños a las estaciones o simplemente la preferencia del observador. El hecho que una serie climática sea para

un test considerada homogénea y para otro inhomogénea, puede, en cierta medida, generar grados de desconfianzas, pero tal como lo señala Martín - Vide (2003) es la propia variabilidad climática la encargada de explicar las tendencias y variaciones en cada estación meteorológica.

En la medida en que los valores obtenidos para cada índice fueron analizados, fue posible determinar la relación directa entre el Coeficiente de variación y el Índice de irregularidad temporal. Además, se pudo determinar que conforme aumenta la latitud sus valores tienden a disminuir. Es decir, ambos indicadores muestran consistencia entre los respectivos valores, en donde la mayor variabilidad e irregularidad se encuentra en la zona norte del área de estudio, situación que va cambiando a medida que se avanza hacia el sur de la zona de estudio, confirmando, con esto, sus altos valores en la zona dominada por el clima mediterráneo. Tal situación es consistente con los resultados obtenidos por Sarricolea & Martín-Vide (2010) y Figueroa (2014), en donde determinan la relación directa y fuerte entre ambos indicadores y que estos, a su vez, se relacionan indirectamente con la latitud a valores medios de esta. Ciertamente, en sus respectivos trabajos, lo realizan sobre una extensión mayor de territorio. No obstante, los resultados obtenidos en este caso, es una oportunidad que posibilitan tener una visión sobre el comportamiento pluviométrico de esta zona.

En lo que respecta al Coeficiente de variación, este es un indicador de gran utilidad, permitiendo evaluar la variabilidad de los valores pluviométricos promedio. Si bien es cierto, la ausencia de temporalidad es su principal falencia, este pudo ser cubierto por el Índice de irregularidad temporal. Permitted con esto, contrastar y complementar ambos métodos y sus valores resultantes, los que a grandes rasgos no mostraban diferencias importantes, en consecuencia, se pudo determinar espacialmente aquellas áreas con alta variabilidad e irregularidad.

Destaca el hecho que al momento de presentar gráficamente los valores, es posible observar y complementar información espacial con la altitud, ya que se pudo constatar que a baja alturas, los índices presentan bajos valores, especialmente en las zonas intermedias, situación que cambia conforme aumenta la altura hacia las Cordilleras.

## 5.2 Conclusiones.

A partir del análisis de la serie de precipitación para el área de estudio comprendida entre los 30°S y 35°S de latitud en el período 1965 – 2010, se puede desprender las siguientes conclusiones.

- a) En relación a los tests de homogeneidad aplicados con el propósito de validar las series climáticas, estos determinaron la fiabilidad de las series, para así, poder procesarlas con la certeza que los resultados surgidos de ellas, reflejen las tendencias climáticas del lugar. Ciertamente, los resultados no son coincidentes para ambos test. Sin embargo, es la propia variabilidad climática la que determina el comportamiento de los registros de las estaciones, sumado a intervenciones de origen antrópicas que producen cambios en la consistencia de los datos que cada estación posea. En el futuro sería interesante validar los datos con otros test de homogeneidad, pues los observatorios más cercanos a las ciudades poseen mejores registros que los rurales, lo cual se explica por la frecuencia de visita de los pluviómetros.
- b) En cuanto al régimen de lluvias en el área de estudio, a escala anual y estacional (invierno) en Chile, está condicionado por factores que actúan en diferentes niveles. En este sentido, tenemos como principal agente regulador de la pluviometría, la relación entre el Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur y las bajas presiones subpolares. Por su parte, el ciclo ENOS con sus fases cálida-fría, y la latitud, condicionan la estacionalidad de las precipitaciones de origen frontal. Las estaciones ubicadas en ambos extremos del área de estudios, presentan diferencias pluviométricas importantes entre ellas, cercanas al 800% de diferencia (La Serena y Curicó). Existen otros agentes como el relieve, específicamente, la disposición orográfica que producen modificaciones en la distribución y variabilidad de las precipitaciones a nivel local o regional. Lo anterior, a través, del forzamiento de las masas de aires y sombras pluviométricas, que permiten intensificar las precipitaciones. (Sarricolea, et al; 2013). De este modo, estaciones ubicadas en la misma latitud, con distintas altitudes, muestran diferencias importantes en los montos promedios. Nuevamente, el factor latitud, permite que estas diferencias se incremente siguiendo un comportamiento norte – sur.
- c) Mediante el uso de procedimientos estadísticos aplicados a las series pluviométricas, nos da cuenta que el área de estudio presenta alta variabilidad anual en las precipitaciones. La que va sufriendo modificaciones importantes con la latitud, más que con la altitud. Es decir, presenta disminuciones significativas en la medida que se avanza hacia el sur. Sin embargo, estas son modestas cuando se incrementa la altitud.
- d) En cuanto a la construcción del Índice de irregularidad temporal, el mayor de esta memoria, nos da cuenta de una muy alta irregularidad de las

precipitaciones, presentando un comportamiento similar al del coeficiente de variación. En este sentido, al correlacionar ambas variables, nos da un coeficiente de correlación de Spearman 0,94 siendo altamente significativo ( $p$  – valor  $< 0,001$ ), lo que implica, alta intensidad de la correlación lineal entre ambas variables. Esta situación es propia de climas mediterráneos, existiendo coherencia entre el coeficiente de variación y el índice de irregularidad temporal.

- e) A modo de síntesis, señalar que el área de estudio, en función de las variable en estudio, presenta montos pluviométricos que se distribuyen de forma diferenciada espacialmente, de acuerdo a la latitud y altitud; e intraanual al presentar un ciclo anual unimodal con una marcada estacionalidad, presentando alta variabilidad e irregularidad de las precipitaciones, los que se ven influenciados por el gradiente latitudinal, más que el longitudinal.
- f) Finalmente, se espera en un futuro próximo, ampliar esta investigación, en términos de: i) incluir variables como por ejemplo la temperatura y como se relaciona con la precipitación y los indicadores asociados, ii) utilizar metodologías complejas que permitan observar las diferencias en los resultados, iii) expandir éste trabajo hacia otras zonas, lo que permitiría realizar caracterizaciones de cada una de las regiones climáticas.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. ANCAPICHUN, S (2012). “*Variabilidad del Anticiclón del Pacífico Sur y su relación con la oscilación decadal del Pacífico: Implicancias oceanográficas a lo largo de la costa Centro – Norte de Chile*”. Tesis para optar al grado de Licenciado en Biología Marina. Universidad Austral de Chile.  
Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/fca538v/doc/fca538v.pdf>
2. ARAYA, C. (2014). “*Configuración espacial, variabilidad y tendencia del índice de concentración de las precipitaciones (CI) en Chile central*”. Memoria para optar al título de Geógrafo. Universidad de Chile.
3. BIDEGAIN, J. (2012). “*Masas de aires y frentes*”. En línea, disponible en: [http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/TIM/teorico\\_tim/Masas%20Aire%20TIM.pdf](http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/TIM/teorico_tim/Masas%20Aire%20TIM.pdf)
4. CONAMA. (2006). “*Estudio de la Variabilidad Climática en Chile para el siglo XXI*”. Realizado por el Departamento de Geofísica. Universidad de Chile. Disponible en: [http://www.dgf.uchile.cl/PRECIS/articles-39442\\_pdf\\_Estudio\\_texto.pdf](http://www.dgf.uchile.cl/PRECIS/articles-39442_pdf_Estudio_texto.pdf)
5. DE LUIS, M; GONZÁLEZ – HIDALGO, J & RAVENTÓS, J. (1997). “*Distribución espacial de la concentración y agresividad de la lluvia en el territorio de la comunidad Valenciana*”. Disponible en: [http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol11\\_2/cuaternario11\(3-4\)\\_03\\_.pdf](http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol11_2/cuaternario11(3-4)_03_.pdf)
6. DE LUIS, M; GONZÁLEZ – HIDALGO, J & RAVENTÓS, J. (1998). “*Estudio espacial y temporal de las tendencias de la lluvia en la comunidad Valenciana (1961 – 1990)*”. Disponible en: [file:///C:/Users/Cristi%C3%A1n%20Escobedo/Downloads/Dialnet-EstudioEspacialYTemporalDeLasTendenciasDeLaLluviaE-262449%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Cristi%C3%A1n%20Escobedo/Downloads/Dialnet-EstudioEspacialYTemporalDeLasTendenciasDeLaLluviaE-262449%20(1).pdf)
7. FIGUEROA, P. (2014). “*Variabilidad de las Precipitaciones (1965 – 2012) en Chile centro – sur (33,9°S – 41,6°S) mediante índices estadísticos y temporales de la irregularidad*”. Memoria para optar al Título Profesional de Geógrafo. Universidad de Chile.
8. INE. (2012). “*Compendio de Estadísticas Demográficas*”. Disponible en: [http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/compendio\\_estadistico/pdf/2012/estadisticas\\_demograficas\\_2012.pdf](http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/compendio_estadistico/pdf/2012/estadisticas_demograficas_2012.pdf)
9. INSULZA, J (2012). “*Meteorología Descriptiva*”. En línea, disponible en: <http://www2.udec.cl/~jinzunza/meteo/cap2.pdf>

10. LANA, X; BURGUEÑO, A & MARTINEZ, D. (2009). *“Una revisión de los análisis estadísticos de las precipitaciones diarias y mensuales en Cataluña”*. Disponible en:  
<http://www.tethys.cat/es/node/136>
11. LLASAT, M; MARTÍN – VIDE, J & LÓPEZ – BUSTINS, J (2010). *“Constatación de carácter meteorológico en Cataluña”*. Universidad de Barcelona.
12. LUEBERT, F & PLISCOFF, P. (2012). *“Variabilidad climática y bioclimas de la Región de Valparaíso, Chile”*. Disponible en:  
<http://www.investigacionesgeograficas.uchile.cl/index.php/IG/article/viewFile/26408/27701>
13. MARTÍN – VIDE, J. (2003) *“El tiempo y El Clima”*. Primera edición. Barcelona.
14. MARTÍN – VIDE, J. (2010). *“Subtropicalidad e influencia del mediterráneo en los patrones espaciales de la precipitación en la península ibérica”*. Grupo de Climatología, Depto Geografía Física Universidad de Barcelona.
15. MARTÍN – VIDE, J. (1991). *“Fundamentos de Climatología Analítica”*. Editorial Síntesis. Madrid España.
16. MATURANA, J; BELLO, M & MANLEY M. (2004). *“Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur”*. Disponible en:  
[http://www.shoa.cl/servicios/enos/pdf/2004\\_antece.pdf](http://www.shoa.cl/servicios/enos/pdf/2004_antece.pdf)
17. MUÑOZ, C. (2009). *“Variabilidad interanual de la precipitación invernal en Chile central no asociada al ciclo El Niño – Oscilación del Sur”*. Disponible en:  
[http://www.dgeo.udec.cl/wp-content/uploads/2012/09/munoz-cristian\\_tesis.pdf](http://www.dgeo.udec.cl/wp-content/uploads/2012/09/munoz-cristian_tesis.pdf)
18. MONCHO, R; CHUST, GUILLEM & CASELLES, V. (2009). *“Análisis de la precipitación del País Vasco en el período 1961 – 2000 mediante reconstrucción espacial”*.  
Disponible en:  
[file:///C:/Users/Cristi%C3%A1n%20Escobedo/Downloads/Dialnet-AnalisisDeLaPrecipitacionDelPaisVascoEnElPeriodo19-3126869%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Cristi%C3%A1n%20Escobedo/Downloads/Dialnet-AnalisisDeLaPrecipitacionDelPaisVascoEnElPeriodo19-3126869%20(1).pdf)
19. PLISCOFF, P. & LUEBERT, F. (2008). *“Diversidad de Ecosistemas”*. Capítulo I. pp 74 – 89. En CONAMA “Biodiversidad en Chile. Patrimonio y desafíos”. Segunda Edición. Disponible en:  
<http://www.mma.gob.cl/librobiodiversidad/1308/propertyvalue-15397.html>
20. PIZARRO, R. & CORNEJO, F. (2009). *“Análisis del comportamiento y agresividad de las precipitaciones, en la zona central de Chile”*. Disponible en:

[http://eias.entalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/articulos\\_cientificos/pizarro\\_cornejo-gonzalez\\_macaya.pdf](http://eias.entalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/articulos_cientificos/pizarro_cornejo-gonzalez_macaya.pdf)

21. PNUD. (2004). *“Las trayectorias del desarrollo humano en las comunas de Chile (1994-2003).”* Disponible en:  
<http://www.desarrollohumano.cl/otraspub/pub12/IDHC%20con%20portada.pdf>
22. QUINTANA, J. (2004). *“Estudio de los factores que explican la variabilidad de la precipitación en Chile en escalas de tiempo interdecadal”.* Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias mención Geofísica. Universidad de Chile.
23. QUINTANA, J. & ACEITUNO, P. (2006). *“Trends and Interdecadal Variability of Rainfall in Chile.* Dirección Meteorológica de Chile, Departamento de Geofísica. Universidad de Chile. Disponible en:  
<http://www.dgf.uchile.cl/ACT19/COMUNICACIONES/Congresos/371-372.pdf>
24. RUTLLANT, J. & FUENZALIDA, H. (1991). *“Synoptic aspects of the central Chile rainfall variability associated with the southern oscillation”.* En línea, disponible en:  
<http://correo.dgf.uchile.cl/biblio/paperfenomenoni%F1o/varios/SYNOPTICS%20Aspects%20of%20the%20central%20chile%20rainfall....pdf>
25. SÁNCHEZ – LORENZO, A & MARTÍN - VIDE, J. (2006). *“Distribución espacial de la concentración pluviométrica diaria en la Península Ibérica”.* En línea, disponible:  
[http://www.ub.edu/qc/Documentos/Sevilla\\_Ci.pdf](http://www.ub.edu/qc/Documentos/Sevilla_Ci.pdf)
26. SANTIBAÑEZ, F; ROA, P & SANTIBAÑEZ, P. (2008). *“El Medio Físico”.* Disponible en: <http://www.mma.gob.cl/librobiodiversidad/1308/propertyvalue-15395.html>
27. SARRICOLEA, P & MARTÍN – VIDE; J. (2012). *“Distribución espacial de las precipitaciones diarias en Chile mediante el índice de Concentración a Resolución de 1 MM, entre 1965 – 2005”.* Departamento de Geografía Universidad de Chile.
28. SARRICOLEA, P; HERRERA, M & ARAYA, C. (2013). *“Análisis de la concentración diaria de las precipitaciones en Chile central y su relación con la componentes zonal (subtropicalidad) y meridiana (orográfica)”.* Disponible en:  
<http://www.investigacionesgeograficas.uchile.cl/index.php/IG/article/viewFile/27595/29261>
29. TAPIA, M. (2007) *“Comparación de las tendencias espaciales y temporales de las variables precipitación y temperatura para zonas áridas y semiáridas de Chile”.* Disponible en:  
[http://eias.entalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis\\_de\\_grado/MEMORIA%20MARIA%20A%20TAPIA.pdf](http://eias.entalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/MEMORIA%20MARIA%20A%20TAPIA.pdf)



30. ZUBIETA, R. & SAAVEDRA, M. (2009) *“Distribución espacial del índice de concentración de precipitación diaria en los Andes centrales Peruanos: Valle del río Mantaro”*. Disponible en:  
[http://tecnica.uni.edu.pe/site/DataTecnica/TECNIA-21-\(2\)-2009-02.pdf](http://tecnica.uni.edu.pe/site/DataTecnica/TECNIA-21-(2)-2009-02.pdf).

**7 ANEXOS**  
**7.1 Cuadro distribución espacial de las estaciones meteorológicas, y el período de registros.**

Nº	REGION	REGION	ESTACION	LATITUD_S	LONGITUD_W	ALTITUD	PERIODO	N
1	4	Coquimbo	La Serena	-29,9	-71,2	142	1965 -2010	46
2	4		Almendral	-30,0	-70,9	370	1972 -2010	39
3	4		La Laguna Embalse	-30,2	-70,0	3.160	1965 -2010	46
4	4		Pabellon	-30,4	-70,6	1.920	1969 -2010	42
5	4		Recoleta Embalse	-30,5	-71,1	350	1965 -2010	46
6	4		La Torre	-30,6	-71,4	120	1979 -2010	32
7	4		Paloma Embalse	-30,7	-71,0	320	1965 -2010	46
8	4		Cogoti Embalse	-31,0	-71,1	840	1965 -2010	46
9	4		Las Ramadas	-31,0	-70,6	1.380	1965 -2010	46
10	4		Mincha Norte	-31,6	-71,5	50	1974 -2010	37
11	4		San Agustin	-31,7	-70,8	1.050	1965 -2010	46
12	4		La Tranquilla	-31,9	-70,7	1.000	1966 -2010	45
13	4		Quilimari	-32,1	-71,5	25	1977 -2010	34
14	5	Valparaíso	Pedernal Hacienda	-32,1	-70,8	1.100	1980 -2010	31
15	5		Chalaco Hacienda	-32,2	-70,8	880	1965 -2010	46
16	5		El Trapiche	-32,2	-70,7	1.180	1975 -2010	36
17	5		Palquico	-32,3	-71,1	450	1965 -2010	46
18	5		Alicahue Hacienda	-32,3	-70,8	750	1965 -2010	46
19	5		Estero Rabuco	-32,9	-71,1	300	1965 -2010	46
20	5		Vilcuya	-32,9	-70,5	1.100	1965 -2010	46
21	5		Riencillos	-32,9	-70,4	1.290	1965 -2010	46
22	5		Valparaíso	-33,1	-71,6	41	1965 -2010	46
23	5		Lago Peñuelas	-33,2	-71,5	360	1965 -2010	46
24	5		Colliguay	-33,2	-71,2	490	1965 -2005	41
25	5		Cerrillos de Leyda	-33,6	-71,5	180	1965 -2010	46
26	R.M.	RM	Caleu	-33,0	-71,0	1.120	1965 -2010	46
27	R.M.		Rungue Embalse	-33,0	-70,9	700	1976 -2010	35
28	R.M.		Cerro Calán	-33,4	-70,5	848	1965 -2010	46
29	R.M.		Santiago	-33,4	-70,8	527	1981 -2010	30
30	R.M.		Los Panguliles	-33,4	-71,0	195	1965 -2010	46
31	R.M.		Terraza Oficina Central	-33,5	-70,6	560	1980 -2010	31
32	R.M.		Antupiren	-33,5	-70,5	904	1988 -2010	23
33	R.M.		Bocatoma Maitenes	-33,5	-70,3	1.143	1972 -2010	39
34	R.M.		San Antonio	-33,6	-71,6	80	1965 -2010	46
35	R.M.		San José de Maipo	-33,6	-70,4	943	1972 -2010	39
36	R.M.		Pirque	-33,7	-70,6	659	1973 -2010	38
37	R.M.		El Yeso Embalse	-33,7	-70,1	2.475	1965 -2010	46
38	R.M.		Melipilla	-33,7	-71,2	170	1976 -2010	35
39	R.M.		Carmen de las Rosas	-33,8	-71,2	165	1965 -2010	46
40	R.M.		San Gabriel	-33,8	-70,2	1.266	1978 -2010	33
41	R.M.		Las Melosas	-33,9	-70,2	1.527	1965 -2003	39
42	6		O'Higgins	Rapel	-33,9	-71,7	16	1965 -2010
43	6	Rancagua		-34,2	-70,8	515	1979 -2010	32
44	6	Cocalán		-34,2	-71,3	120	1979 -2010	32
45	6	Pichilemu		-34,4	-72,0	5	1981 -2010	30
46	6	Rengo		-34,4	-70,9	310	1971 -2010	40
47	6	Viña Vieja		-34,5	-71,1	220	1979 -2003	25
48	6	Millahue		-34,5	-71,2	200	1972 -2010	39
49	6	Ñlahue Barahona		-34,6	-71,8	90	1969 -2010	42
50	6	San Fernando		-34,6	-71,0	350	1972 -2010	39
51	6	La Rufina		-34,7	-70,8	743	1965 -2010	46
52	6	Convento Viejo		-34,8	-71,1	239	1972 -2010	39
53	7	Maule	Curicó	-35,0	-71,2	225	1965 -2010	46
54	7		El Manzano	-35,0	-70,9	574	1976 -2010	35
55	7		Los Queñes	-35,0	-70,8	668	1965 -2010	46

## 7.2 Resultado de los test de homogeneidad de Von Neumann y de Thon, para cada estación.

Nº	REGION	ESTACION	LATITUD_S	LONGITUD_W	Von Neumann	Thon
1	Coquimbo	La Serena	-29,9	-71,2	1,73	0,29
2		Almendral	-30,0	-70,9	2,09	2,43
3		La Laguna Embalse	-30,2	-70,0	2,14	0,89
4		Pabellon	-30,4	-70,6	2,33	0,62
5		Recoleta Embalse	-30,5	-71,1	1,81	0,93
6		La Torre	-30,6	-71,4	2,43	0,17
7		Paloma Embalse	-30,7	-71,0	1,92	2,08
8		Cogotí Embalse	-31,0	-71,1	2,24	0,29
9		Las Ramadas	-31,0	-70,6	2,17	0,29
10		Mincha Norte	-31,6	-71,5	2,41	0,50
11		San Agustin	-31,7	-70,8	2,18	0,29
12		La Tranquilla	-31,9	-70,7	2,38	0,15
13		Quilimarí	-32,1	-71,5	2,46	0,54
14	Valparaíso	Pedernal Hacienda	-32,1	-70,8	2,34	1,04
15		Chalaco Hacienda	-32,2	-70,8	2,12	0,29
16		El Trapiche	-32,2	-70,7	2,35	0,33
17		Palquico	-32,3	-71,1	2,48	0,00
18		Alicahue Hacienda	-32,3	-70,8	2,32	0,29
19		Estero Rabuco	-32,9	-71,1	2,42	0,29
20		Vilcuya	-32,9	-70,5	2,40	0,29
21		Riencillos	-32,9	-70,4	2,17	0,29
22		Valparaíso	-33,1	-71,6	2,11	0,47
23		Lago Peñuelas	-33,2	-71,5	2,32	0,16
24		Colliguay	-33,2	-71,2	2,37	0,89
25	Cerrilos de Leyda	-33,6	-71,5	1,99	1,49	
26	RM	Caleu	-33,0	-71,0	2,10	0,29
27		Rungue Embalse	-33,0	-70,9	2,09	0,29
28		Cerro Calán	-33,4	-70,5	2,53	0,51
29		Santiago	-33,4	-70,8	2,44	0,89
30		Los Panguiles	-33,4	-71,0	2,53	0,74
31		Terraza Oficina Central DGA	-33,5	-70,6	2,29	0,29
32		Antupiren	-33,5	-70,5	2,71	0,18
33		Bocatoma Maitenes	-33,5	-70,3	1,91	1,06
34		San Antonio	-33,6	-71,6	2,26	0,32
35		San José de Maipo	-33,6	-70,4	2,26	0,48
36	Pirque	-33,7	-70,6	2,70	0,48	

37		El Yeso Embalse	-33,7	-70,1	1,89	1,49
38		Melipilla	-33,7	-71,2	2,49	0,17
39		Carmen de las Rosas	-33,8	-71,2	2,28	0,29
40		San Gabriel	-33,8	-70,2	2,68	1,95
41		Las Melosas	-33,9	-70,2	2,12	0,16
42	<b>Ohiggins</b>	Rapel	-33,9	-71,7	2,18	0,29
43		Rancagua	-34,2	-70,8	2,66	0,00
44		Cocalán	-34,2	-71,3	2,38	0,00
45		Pichilemu	-34,4	-72,0	2,01	0,74
46		Rengo	-34,4	-70,9	2,36	0,96
47		Viña Vieja	-34,5	-71,1	2,60	1,02
48		Millahue	-34,5	-71,2	2,12	0,48
49		Ñilahun Barahona	-34,6	-71,8	2,20	1,24
50		San Fernando	-34,6	-71,0	2,27	0,16
51		La Rufina	-34,7	-70,8	2,11	0,29
52		Convento Viejo	-34,8	-71,1	2,24	0,16
53		<b>Maule</b>	Curicó	-35,0	-71,2	1,91
54	El Manzano		-35,0	-70,9	2,32	0,17
55	Los Queñes		-35,0	-70,8	2,27	0,29

### 7.3 Cuadro distribución espacial de las estaciones meteorológicas, promedio pluviométrico, desviación estándar, coeficiente de variación, días de lluvias y porcentaje de días de lluvias.

Nº	REGION	REGION	ESTACION	LATITUD_S	LONGITUD_W	ALTITUD	μ (mm)	σ (mm)	C. Variación	Días de Lluvia	% días de Lluvias
1	4	Coquimbo	La Serena	-29,9	-71,2	142	77,3	54,82	70,92%	16,1	4,4%
2	4		Almendral	-30,0	-70,9	370	87,22	67,93	77,88%	6,7	1,8%
3	4		La Laguna Embalse	-30,2	-70,0	3.160	162,42	115,77	71,28%	15,2	4,2%
4	4		Pabellon	-30,4	-70,6	1.920	146,56	97,69	66,66%	10,3	2,8%
5	4		Recoleta Embalse	-30,5	-71,1	350	101,2	74,61	73,73%	9,3	2,6%
6	4		La Torre	-30,6	-71,4	120	121,82	94,86	77,87%	6,3	1,7%
7	4		Paloma Embalse	-30,7	-71,0	320	132,58	93,63	70,62%	13,1	3,6%
8	4		Cogoti Embalse	-31,0	-71,1	840	171,06	125,25	73,22%	13,8	3,8%
9	4		Las Ramadas	-31,0	-70,6	1.380	303,57	202,76	66,79%	16,4	4,5%
10	4		Mincha Norte	-31,6	-71,5	50	172,74	109,51	63,40%	9,6	2,6%
11	4		San Agustin	-31,7	-70,8	1.050	232,69	143,87	61,83%	16,4	4,5%
12	4		La Tranquilla	-31,9	-70,7	1.000	251,07	159,82	63,66%	17,9	4,9%
13	4		Quilimari	-32,1	-71,5	25	280,49	183,76	65,51%	9,5	2,6%
14	5	Valparaíso	Pedral Hacienda	-32,1	-70,8	1.100	284,44	169,21	59,49%	15,8	4,3%
15	5		Chalaco Hacienda	-32,2	-70,8	880	216,42	130,14	60,13%	19,3	5,3%
16	5		El Trapiche	-32,2	-70,7	1.180	250,08	145,04	58,00%	16,2	4,4%
17	5		Palquico	-32,3	-71,1	450	260,76	152,35	58,43%	17,8	4,9%
18	5		Alicahue Hacienda	-32,3	-70,8	750	275,47	150,02	54,46%	20,5	5,6%
19	5		Estero Rabuco	-32,9	-71,1	300	393,4	209,05	53,14%	20,3	5,6%
20	5		Vilcuya	-32,9	-70,5	1.100	353,54	188,9	53,43%	31,4	8,6%
21	5		Riencillos	-32,9	-70,4	1.290	503,67	268,71	53,35%	30,3	8,3%
22	5		Valparaíso	-33,1	-71,6	41	539,39	343,65	63,71%	29,8	8,2%
23	5		Lago Peñuelas	-33,2	-71,5	360	355,79	238,73	67,10%	26,2	7,2%
24	5		Colliguay	-33,2	-71,2	490	411,79	191,67	46,55%	25,1	6,9%
25	5		Cerrillos de Leyda	-33,6	-71,5	180	708,28	318,39	44,95%	31,6	8,7%
26	R.M.	RM	Caleu	-33,0	-71,0	1.120	622,43	311,23	50,00%	22,0	6,0%
27	R.M.		Rungue Embalse	-33,0	-70,9	700	418,83	193,99	46,32%	25,3	6,9%
28	R.M.		Cerro Calán	-33,4	-70,5	848	324,43	152,46	46,99%	29,0	8,0%
29	R.M.		Santiago	-33,4	-70,8	527	349,73	175,06	50,06%	38,8	10,6%
30	R.M.		Los Panguiles	-33,4	-71,0	195	322,47	159,48	49,46%	21,7	5,9%
31	R.M.		Terraza Oficina Central	-33,5	-70,6	560	456,38	200,69	43,97%	34,3	9,4%
32	R.M.		Antupiren	-33,5	-70,5	904	360,94	249,97	69,26%	22,1	6,0%
33	R.M.		Bocatoma Maitenes	-33,5	-70,3	1.143	405,28	198,65	49,02%	13,9	3,8%
34	R.M.		San Antonio	-33,6	-71,6	80	446,42	223,92	50,16%	27,9	7,6%
35	R.M.		San José de Maipo	-33,6	-70,4	943	535,72	252,34	47,10%	27,6	7,6%
36	R.M.		Pirque	-33,7	-70,6	659	453,28	198,56	43,81%	30,2	8,3%
37	R.M.		El Yeso Embalse	-33,7	-70,1	2.475	575,79	318,06	55,24%	24,6	6,7%
38	R.M.		Melipilla	-33,7	-71,2	170	387,24	185,35	47,86%	40,9	11,2%
39	R.M.		Carmen de las Rosas	-33,8	-71,2	165	426,66	193,28	45,30%	22,5	6,2%
40	R.M.		San Gabriel	-33,8	-70,2	1.266	645,21	320,46	49,67%	24,7	6,8%
41	R.M.	Las Melosas	-33,9	-70,2	1.527	743,25	412,85	55,55%	31,6	8,6%	
42	6	Ohiggins	Rapel	-33,9	-71,7	16	549,54	256,28	46,64%	49,7	13,6%
43	6		Rancagua	-34,2	-70,8	515	451,6	189,51	41,96%	33,9	9,3%
44	6		Cocalán	-34,2	-71,3	120	529,89	217,9	41,12%	24,8	6,8%
45	6		Pichilemu	-34,4	-72,0	5	502,78	192,72	38,33%	36,5	10,0%
46	6		Rengo	-34,4	-70,9	310	528,82	212,35	40,16%	44,9	12,3%
47	6		Viña Vieja	-34,5	-71,1	220	618,82	274,72	44,39%	21,5	5,9%
48	6		Millahue	-34,5	-71,2	200	692,33	330,32	47,71%	28,9	7,9%
49	6		Ñlahue Barahona	-34,6	-71,8	90	567,33	213,8	37,69%	34,3	9,4%
50	6		San Fernando	-34,6	-71,0	350	749,17	309,98	41,38%	44,3	12,1%
51	6		La Rufina	-34,7	-70,8	743	1133,42	414,84	36,60%	38,2	10,5%
52	6	Convento Viejo	-34,8	-71,1	239	709,32	264,95	37,35%	42,3	11,6%	
53	7	Maule	Curicó	-35,0	-71,2	225	703,68	266,48	37,87%	53,5	14,7%
54	7		El Manzano	-35,0	-70,9	574	1292,29	480,25	37,16%	36,0	9,9%
55	7		Los Queñes	-35,0	-70,8	668	1338,5	519,87	38,84%	62,0	17,0%

## 7.4 Prueba de normalidad y Coeficiente de correlación Rho de Spearman

### Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
C.VARIACION	0,143	55	0,007	0,941	55	0,010
S1	0,082	55	0,200 <sup>*</sup>	0,975	55	0,307

a. Corrección de la significación de Lilliefors

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

### Correlaciones

			C.VARIACION	S1
Rho de Spearman	C.VARIACION	Coeficiente de correlación	1,000	0,940**
	ON	Sig. (bilateral)	.	0,000
		N	55	55
S1	S1	Coeficiente de correlación	0,940**	1,000
		Sig. (bilateral)	0,000	.
		N	55	55

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

### Correlaciones

			CV 1965 - 1987	S1 1965 - 1987
Rho de Spearman	CV19651987	Coeficiente de correlación	1,000	0,828**
		Sig. (bilateral)	.	0,000
		N	54	54
	S119651987	Coeficiente de correlación	0,828**	1,000
		Sig. (bilateral)	0,000	.
		N	54	54

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

### Correlaciones

			CV 1988 - 2010	S1 1988 - 2010
Rho de Spearman	CV19882010	Coeficiente de correlación	1,000	0,933**
		Sig. (bilateral)	.	0,000
		N	54	54
	S119882010	Coeficiente de correlación	0,933**	1,000
		Sig. (bilateral)	0,000	.
		N	54	54

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

**7.5 Cuadro de estaciones meteorológicas con sus indicadores de variabilidad e irregularidad para dos sub períodos.**

ESTACIÓN	PERIODO 1965 - 1987		PERIODO 1988 - 2010	
	CV	S1	CV	S1
La Serena	75,36%	0,93	67,62%	1,00
Almendral	69,01%	0,84	85,75%	1,06
La laguna embalse	72,16%	1,03	64,53%	0,78
Pabellon	64,71%	0,86	69,04%	0,90
Recoleta Embalse	72,54%	0,98	76,54%	0,87
Latorre	75,87%	1,20	79,49%	1,16
Paloma Embalse	70,16%	0,89	72,34%	0,96
Cogotí embalse	68,44%	0,79	79,75%	1,08
Las Ramadas	68,61%	0,74	66,38%	0,92
Mincha norte	65,36%	0,96	61,94%	0,88
San Agustín	66,17%	0,71	57,48%	0,79
La tranquila	66,82%	0,82	63,78%	0,83
Pedernalha	64,29%	0,81	62,44%	0,80
Quilimarí	49,61%	0,58	63,98%	0,85
Chalacoha	63,60%	0,70	57,74%	0,82
El trapiche	59,32%	0,64	58,49%	0,75
Palquico	60,44%	0,71	57,44%	0,80
Alicahueha	55,00%	0,61	54,63%	0,74
Estero Rabuco	49,73%	0,62	56,92%	0,89
Vilcuya	56,49%	0,69	51,49%	0,77
Riecillos	54,01%	0,65	53,86%	0,80
Caleu	67,07%	0,75	59,39%	0,86
Rungue embalse	56,61%	0,75	79,49%	1,08
Valaparaíso	42,33%	0,57	62,66%	0,66
Lago Peñuela	39,08%	0,57	47,28%	0,62
Colliguay	51,83%	0,78	48,03%	0,65
Cerro Calán	41,76%	0,46	48,60%	0,74
Santiago	48,26%	0,60	46,61%	0,66
Los Panguiles	46,14%	0,72	50,57%	0,73
Terraza dga	47,04%	0,55	52,93%	0,79
Antupirén	43,31%	0,58	43,43%	0,65
Bocatoma	( - )	0,00	67,70%	0,95
San Antonio	45,51%	0,63	49,11%	0,68
Cerrillos	53,46%	1,05	46,81%	0,66
San José	48,60%	0,51	44,99%	0,67
Pirque	46,38%	0,65	42,73%	0,66
El Yeso	62,08%	0,65	48,81%	0,70
Melipilla	42,55%	0,60	50,93%	0,78
Carmén	43,86%	0,61	45,96%	0,71
San Gabriel	46,92%	0,70	50,42%	0,77



Las Melosas	57,80%	0,64	49,20%	0,75
Rapel	49,49%	0,64	43,02%	0,53
Rancagua	45,56%	0,59	38,56%	0,54
Cocalán	37,85%	0,65	40,13%	0,51
Pichilemú	33,24%	0,58	37,49%	0,50
Rengo	33,44%	0,49	44,31%	0,70
Vía vieja	41,17%	0,69	46,18%	0,72
Millahue	61,64%	1,05	37,76%	0,55
Niahue	33,75%	0,40	39,71%	0,48
San Fernando	34,86%	0,52	44,53%	0,62
La Rufina	36,10%	0,47	37,24%	0,48
Conventov	33,65%	0,48	38,58%	0,52
Curicó	37,34%	0,45	37,07%	0,51
El Manzano	29,06%	0,43	40,54%	0,53
Los Queñes	39,07%	0,66	38,19%	0,51