

Análisis y tendencias de la irregularidad temporal y espacial de la precipitación en Chile mediterráneo, período 1965 – 2010¹

CRISTIÁN ERASMO ESCOBEDO CATALÁN² ✉ | PABLO SARRICOLEA ESPINOZA³ ✉

Recibido: 09/10/2017 | Aceptado: 06/11/2017

Resumen

Se analizaron las tendencias de la irregularidad temporal y espacial de la precipitación para el área geográfica comprendida entre los 30°S y 35°S de latitud en el período 1965-2010. Se utilizaron registros pluviométricos diarios de un total de 55 estaciones meteorológicas distribuidas aleatoriamente sobre el área de estudio. Mediante dicha información se construyeron indicadores estadísticos, obteniendo patrones espaciales de la precipitación, y otros índices de irregularidad, destacando el índice de irregularidad temporal (S1) y el coeficiente de variación (CV). Se confirmó que, si bien los totales de precipitación medios se incrementan en latitud y altitud, existen algunas singularidades geográficas a destacar, principalmente a sotavento de la Cordillera de La Costa. Tanto el CV como el S1 disminuyen su valor a medida que la latitud aumenta, pero respecto a la altitud, no hay un patrón único. El área de estudio presenta CV y S1 muy altos lo cual dificulta explicar la variabilidad de la precipitación en esta región. Es por esto que, a través del análisis clúster, se obtuvo una nueva clasificación, más cercana a los climas mediterráneos de Chile central. Finalmente, es necesario señalar que ambos indicadores se correlacionan fuertemente, presentando consistencia con la bibliografía científica.

Palabras Clave: Análisis cluster, Chile central, índice de irregularidad temporal, precipitación, coeficiente de variación.

Abstract

Analysis of Trends in Temporal and Spatial Irregularity of Precipitation in Mediterranean Chile, 1965 – 2010

Trends in the temporal and spatial irregularity of precipitation were analysed for the geographic area between 30° S and 35° S latitude for the period from 1965 to 2010. Daily rainfall records from a total of 55 randomly distributed weather stations were used for the analysis. Statistical indicators were constructed based on this information in order to ascertain spatial patterns of precipitation and other irregularity indices with an emphasis on the temporal irregularity index (S1) and the coefficient of variation (CV). Although the study confirmed that precipitation quantities increase with latitude and elevation, there are some geographic peculiarities which stand out, particularly leeward of the Cordillera de la Costa. Both the CV and the S1 diminish in value as latitude increases, but there is no particular pattern with respect to elevation. The study area

1. Investigación financiada por FONDECYT de Iniciación N°11130629

2. Geógrafo Universidad de Chile. Magíster en Políticas Públicas Universidad de Chile. Académico Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Chile. cescobed@uchile.cl

3. Profesor Asistente del Departamento de Geografía de la Universidad de Chile

exhibits very high CV and S1 which makes it difficult to explain the variability of precipitation in this region. For this reason, a new classification which is much relevant to the mediterranean climate of central Chile was obtained through cluster analysis. Finally, it is significant that both indicators are strongly correlated and exhibit consistency with the scientific literature.

Key words: analysis cluster, central Chile, temporal irregularity index, precipitation, coefficient of variation.

1. Introducción

Como consecuencia del cambio climático, las precipitaciones se han visto modificadas en sus patrones de comportamiento, surgiendo como una variable que requiere mayor análisis en términos de la distribución espacio-temporal. Las precipitaciones como fenómeno climático se derivan de la relación dinámica entre la atmósfera, la topografía y el uso de suelo. Estas condicionantes geográficas influyen en la distribución espacial y temporal de la precipitación, lo que implica que la pluviometría tenga características de irregularidad en los distintos territorios, provocando, con esto, una gran variabilidad con situaciones extremas de inundación y sequía (Zubieta y Saavedra, 2009; Zubieta *et al.* 2017).

En Chile es posible observar una gran diversidad de climas como: los áridos, mediterráneos, templados lluviosos, marítimos lluvioso y de estepa fría (Sarricolea *et al.*, 2017), debido a la interacción de factores geográficos, tales como la altitud y latitud, y de la influencia oceánica (Sarricolea y Martín-Vide, 2012 y 2014). Estos factores explican los extremos climáticos posibles de observar a lo largo de su extensión latitudinal ($\sim 17^{\circ}\text{S}$ a los $\sim 53^{\circ}\text{S}$), abarcando desde los climas más áridos y desérticos del mundo en la zona norte, hasta los climas más húmedos en la zona austral (Muñoz, 2009).

Por su parte, la variabilidad pluviométrica, a nivel mensual y anual, ha sido calculada y resumida, principalmente, a través de estadígrafos que permiten representar la dispersión absoluta o relativa de la lluvia, tales como la varianza y el coeficiente de variación, respectivamente. Sin embargo, en el último tiempo, se han adecuado e introducido nuevos indicadores a estos análisis, como son el índice de irregularidad temporal (S1) y el de concentración (CI) (Martín-Vide, 2004), que han permitido avanzar en la caracterización y evaluación de la variabilidad de la precipitación, agregando información en términos de la irregularidad y el grado de agresividad o torrencialidad pluviométrica (Sarricolea y Martín-Vide, 2012).

De este modo, la finalidad de este trabajo es obtener las tendencias de la irregularidad espacial y temporal de la precipitación y asociarlas a las componentes geográficas que condicionan su distribución, permitiendo realizar aportes hacia una regionalización que dé cuenta del comportamiento de la precipitación, a través de la complementariedad de estos indicadores, comprendiendo de mejor forma la climatología de la región semi árida y mediterránea de Chile.

2. Materiales y Métodos

El área de estudio corresponde a la zona comprendida entre los 30°S y 35°S de latitud. Administrativamente, abarca una porción de la región de Coquimbo, la totalidad de las regiones de Valparaíso, Metropolitana, Libertador Bernardo O'Higgins y una parte de la región del Maule, con

un área de 88.893,3 km², la cual es equivalente al 11,76% de la superficie del territorio nacional (756.103,4 km²).

Respecto al área de estudio, está constituida por cuatro macrounidades del relieve bien definidas: 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 constituye en una importante barrera natural a las influencias oceánicas; 3) *la Depresión Intermedia*, llamada también valle central, que corresponde a una faja de relieve llano que se extiende latitudinalmente entre ambas cordilleras a partir de los 32°S, y, finalmente, 4) *la Cordillera de Los Andes*, que presenta altitudes que bordean los 5.000 m.s.n.m en Chile central. Estas macrounidades del relieve van modelando las características climáticas locales de Chile; particularmente las Cordilleras, ya que estas afectan a la distribución de la precipitación a nivel espacial y temporal.

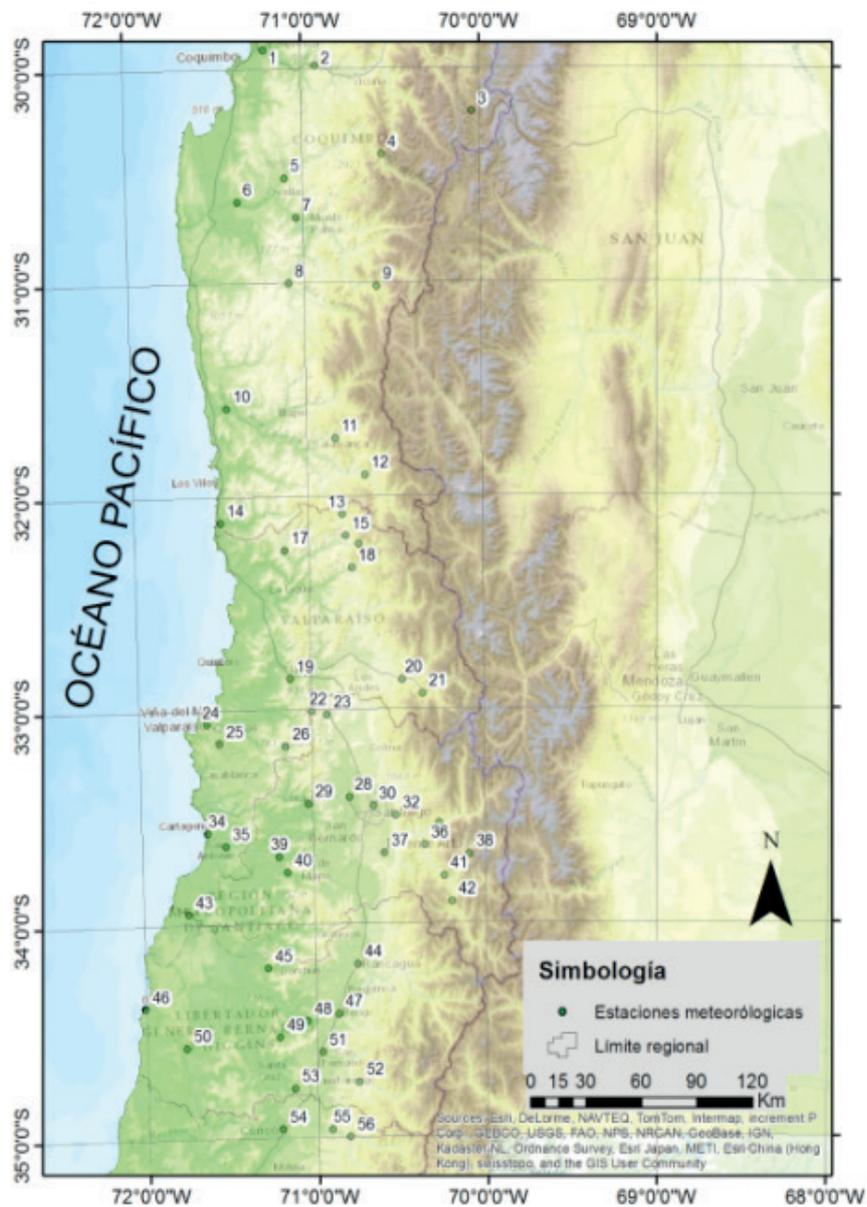
En relación al clima, predomina el semiárido (BSk) y el templado mediterráneo (Csb), ambos con sus variantes costeras y de altura. Sin embargo, comparten el hecho de poseer una estación estival seca y una estación lluviosa en invierno (Sarricolea *et al.* 2017).

En cuanto a la precipitación, el promedio anual alcanza los 350 mm, presentándose con bastante irregularidad (Sarricolea y Martín-Vide, 2014) o con una alta dispersión, debido a que puede haber años muy lluviosos y otros muy secos (Insunza, 2012). Además, la precipitación presenta un patrón decreciente desde la costa hacia la Depresión intermedia, para luego aumentar hacia la Cordillera de Los Andes (Sarricolea *et al.* 2013). En términos latitudinales, el comportamiento que se observa es creciente conforme se avanza hacia el sur del territorio. Finalmente, el 80% de los totales anuales de precipitación se concentran entre los meses de mayo a septiembre, siendo los meses de junio y julio, los que registran mayor pluviosidad.

Respecto a la investigación realizada, esta analiza la tendencia de la irregularidad temporal y espacial de la precipitación en la porción central del territorio nacional. Para tal efecto, se construyó una base de datos con los registros pluviométricos mensuales de 55 estaciones meteorológicas, pertenecientes a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y a la Dirección General de Aguas (DGA). La totalidad de las estaciones se encuentran ubicadas y distribuidas aleatoriamente en la zona de estudio, comprendida entre los 30°S y 35°S de latitud (Mapa 1). Por su parte, las series estudiadas tienen una extensión temporal mayoritariamente de 46 años (1965-2010). Del total de estaciones, 52 son anteriores a 1981 y 31 estaciones registran datos desde antes de 1970. La selección de todas estas estaciones tiene como objetivo principal mejorar la representatividad del área de estudio.

Antes de calcular los respectivos estadígrafos de resumen, se revisó la homogeneidad de las series de estudio. Por diversas causas, como cambios de emplazamiento de la estación de medición, de los sensores, o bien diferencias entre los métodos de observación, las series pueden presentar rupturas en su homogeneidad, afectando a la calidad de estas, los análisis que se aplican y los posteriores resultados que se obtienen sobre ellas. Al respecto, 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*” (Martín-Vide, 2003:15). De este modo, y con el objetivo de determinar la homogeneidad de las series de datos climáticas, se aplicaron dos test de homogeneidad con diferentes niveles de exigencias, que son capaces de medir la homogeneidad absoluta, que se basa en la aleatoriedad de sus datos, como el Test de Von Neumann y el Test de las Rachas o Alternancias de Thom, al igual que en los estudios de (Meseguer-Ruiz y Sarricolea, 2017) y (Talaee *et al.* 2014).

Mapa. 1. Localización de las estaciones meteorológicas en el área de estudio



Nota: Los nombres de las estaciones aparecen en el cuadro 1 del anexo

Si bien el análisis estadístico de la precipitación, en términos de su promedio y del coeficiente de variación, permite obtener información sobre la magnitud y la variabilidad del fenómeno, estos no proporcionan antecedentes relevante acerca de la disparidad consecutiva de los registros pluviométricos, como tampoco sobre el porcentaje de días con precipitación, por lo tanto, no permiten evaluar el orden cronológico y la estructura temporal de la serie.

Es por esto que, para el estudio de la variabilidad climática, aparte del coeficiente de variación, se incluyeron dos dimensiones de análisis: la dispersión estadística y el orden cronológico de los valores de la serie, mediante la *irregularidad temporal*, que se mide a través de un índice de precipitación, propuesto por Martín-Vide (2003):

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

Donde:

P_i = precipitación para el año i

P_{i+1} = precipitación para el año $i + 1$

n = número de años

Este índice va desde cero hasta infinito, donde valores cercanos a cero dan cuenta de regularidad temporal de la precipitación, mientras que valores muy altos de este índice denotan mayor irregularidad.

Con el propósito de determinar diferencias en los montos promedios se aplicó la prueba no paramétrica U de Mann – Whitney. Por su parte, el grado de asociación lineal entre el índice de irregularidad temporal y el coeficiente de variación, fue determinado a través del coeficiente de correlación lineal Rho de Spearman, debido a la no normalidad de estos indicadores.

Finalmente, se realiza el análisis de clúster utilizando el algoritmo de k – medias con el fin de agrupar homogéneamente los valores obtenidos para el índice de irregularidad y el coeficiente de variación. La utilización de esta técnica permitió, a partir de medias arbitrarias y mediante pruebas sucesivas, contrastar el efecto que, sobre la varianza residual tiene la asignación de cada uno de los casos a cada uno de los grupos. Los resultados obtenidos a partir de este procedimiento permiten la construcción de productos cartográficos para el índice de irregularidad y el coeficiente de variación. Sin embargo, debido a que estos resultados son puntos en el territorio, se realizó previamente la interpolación del índice de irregularidad y del coeficiente de variación mediante modelos de regresión lineal simple y múltiple, usando como variables independientes la altitud y la latitud.

3. Resultados

3.1. Homogeneidad de las series

Las series en estudio resultaron ser, en su totalidad, homogéneas al aplicar el test de Thom (valores por debajo de 2,58). Para el test de Von Neumann, 14 de las 55 estaciones (25,4%) no están dentro del rango de valores aceptables para la prueba (1,6 y 2,4). Pese a lo anterior, se considera homogénea la serie pluviométrica, debido al cumplimiento de los requerimientos del test de Thom. Sin embargo, la aplicación de otros estadígrafos de carácter diario como RPI (Real Precisión Index) obligaría a depurar la base de datos, puesto que en muchas estaciones las mediciones y lecturas se realizan manualmente, perjudicando la precisión a nivel decimal, o bien de día de lluvia (vaciado del pluviómetro días después del día de lluvia). En dicho sentido se recomienda revisar el trabajo de Meseguer-Ruiz y Sarricolea (2017).

3.2. Caracterización regional de los patrones de precipitación: Totales anuales medios

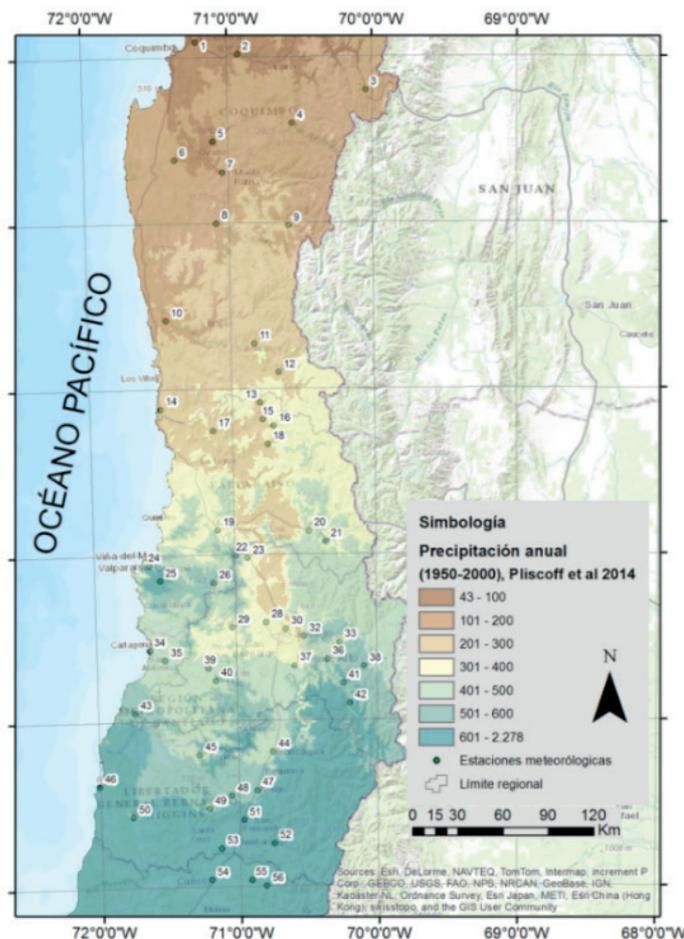
En términos de los totales anuales medios de precipitación, se observa la marcada tendencia a incrementarse a medida que se avanza latitudinal y longitudinalmente. En consecuencia, las estaciones meteorológicas ubicadas en el extremo norte y en la depresión intermedia del área

en estudio, presentan en promedio, menores totales de precipitación que aquellas ubicadas en el extremo sur. Por su parte, la altura es otro factor que influye directamente en las precipitaciones, debido al forzamiento orográfico que produce la cordillera a barlovento, condensando aire húmedo y generando precipitaciones.

Es por este motivo que, las estaciones ubicadas a baja altura presentan menos precipitaciones, en relación a estaciones localizadas a mayor altitud. Por ejemplo, la estación La Serena, registra 77,3 mm de promedio (142 m.s.n.m), monto inferior al registrado en la estación Embalse Laguna (162,42 mm, a 3.000 m.s.n.m), ambas con una latitud cercana a los 30°S. O bien, la estación Curicó (703,68 mm) en relación con la estación de Los Queñes (1.338,5 mm), ambas a unos 35°S y altitudes de 225 y 668 m.s.n.m, respectivamente.

Con el propósito de tener una visión acerca del comportamiento que tiene la precipitación en Chile central, es necesario tener una aproximación de su distribución geográfica. Es por esto que se utiliza el mapa de la precipitación anual de Plissock *et al.* (2014) (Mapa 2). Si bien la precipitación aumenta en forma considerable conforme aumenta la latitud y la longitud, este aumento no es homogéneo ni constante espacialmente, ya que el factor relieve, específicamente la orografía del sector, produce diferencias importantes en la pluviometría, registrándose mayor precipitación en la Cordillera de Los Andes que en la costa y/o en la Depresión intermedia.

Mapa 2. Distribución espacial de la precipitación anual en el período 1950-2000

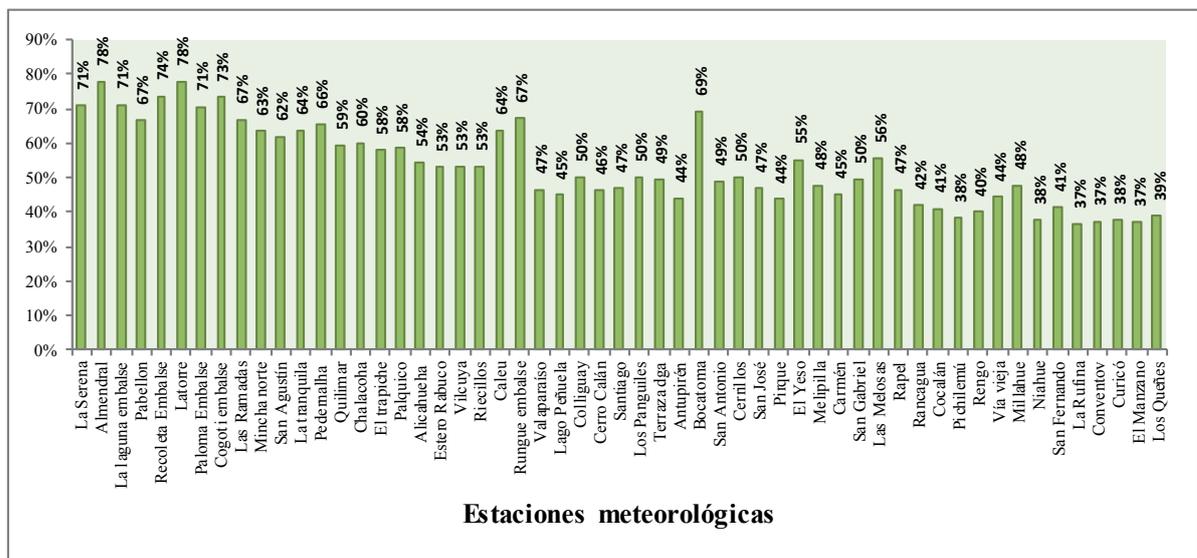


Fuente: Elaboración propia según el trabajo de Plissock *et al.* 2014

3.3. Distribución espacial del coeficiente de variación

El Gráfico 1 muestra la dispersión relativa medida por el coeficiente de variación de la precipitación total anual para todas las series observadas. La tendencia del indicador es a decrecer con el incremento de la latitud. Es decir, estaciones ubicadas al norte del área de estudio (región de Coquimbo) presentan una mayor heterogeneidad en la distribución de la precipitación, en relación a estaciones ubicadas al sur del área de estudio (región de O'Higgins y del Maule), donde los valores tienden a ser menores, presentando, en este sentido, mayor homogeneidad en la precipitación. De este modo, se determina la existencia de la relación directa entre latitud y totales medios de precipitación, presentándose estas con menor dispersión relativa.

Gráfico 1. Distribución de la dispersión relativa, mediante el coeficiente de variación, para cada estación en el período 1965 – 2010*



*Las estaciones meteorológicas se encuentran ordenadas latitudinalmente

Con el fin de generar áreas con similar coeficiente de variación, y su comparación con otras áreas de estudio, se pensó en la categorización propuesta por Llasat *et al.* (2010) en Cataluña (España). Sin embargo, al utilizar esta clasificación, la totalidad de las estaciones, se agrupan en una misma categoría (muy alta), con valores superiores al 35%, lo que imposibilita la distinción de áreas. Por ello, y con el propósito de generar regiones se utiliza la técnica de análisis clúster, que permitió agrupar homogéneamente las estaciones meteorológicas según la variabilidad presentada por los coeficientes de variación, determinando con esto nuevos umbrales o rangos de valores para cada una de las seis categorías, las que van de menor a mayor variabilidad (Tabla 1).

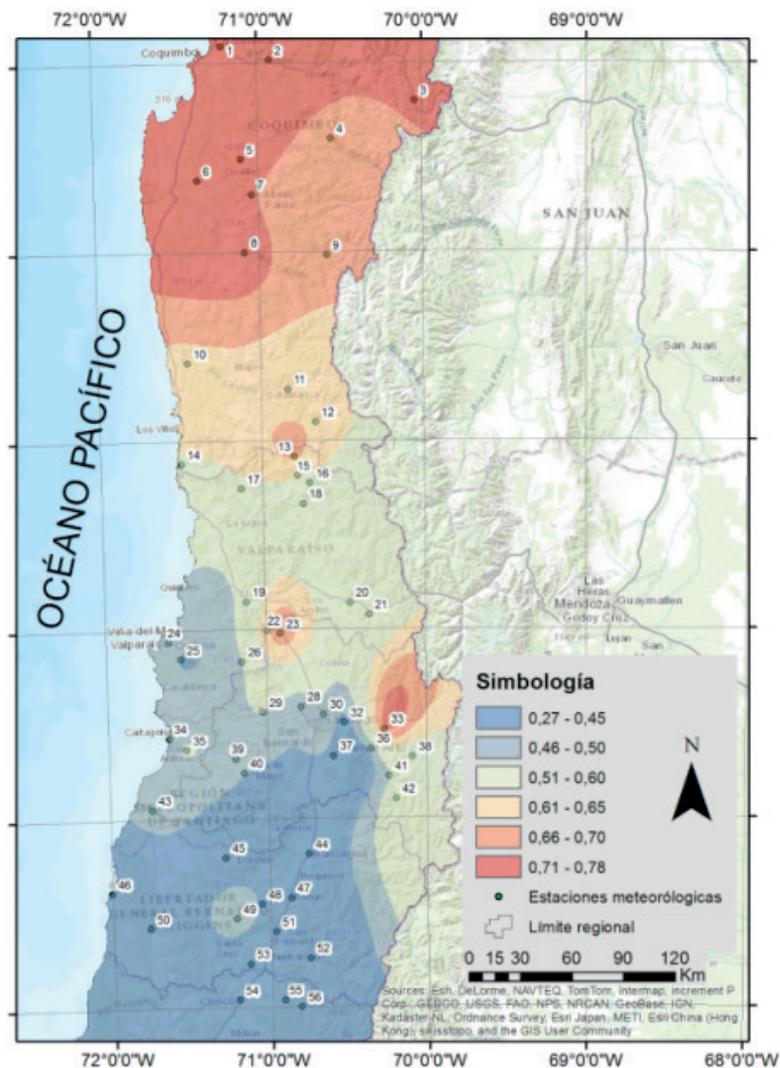
Tabla 1. Categorías y rangos de valores del coeficiente de variación (en tantos por 1)

Coefficiente de variación	Muy bajo	Bajo	Moderado	Moderado Alto	Alto	Muy Alto
	< 0,45	0,46 – 0,50	0,51 – 0,60	0,61 – 0,65	0,66 – 0,70	0,71 – 0,78

Elaboración propia. Umbrales obtenidos a través del análisis cluster de k – medias

Espacialmente, los valores que presenta el CV (Mapa 3) confirman la variación latitudinal que tiene este indicador. Al respecto, llama la atención la región de Coquimbo, la cual presenta las tres categorías más altas de la clasificación, 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 de esta región (Quinta región) los valores tienden a ser moderados con algunas zonas aisladas de valores altos. Finalmente, en la región de O'Higgins y del Maule, se presentan valores bajos, confirmando el comportamiento latitudinal de la variabilidad de las precipitaciones.

Mapa 3. Distribución espacial del coeficiente de variación, a través de la técnica de análisis de conglomerados

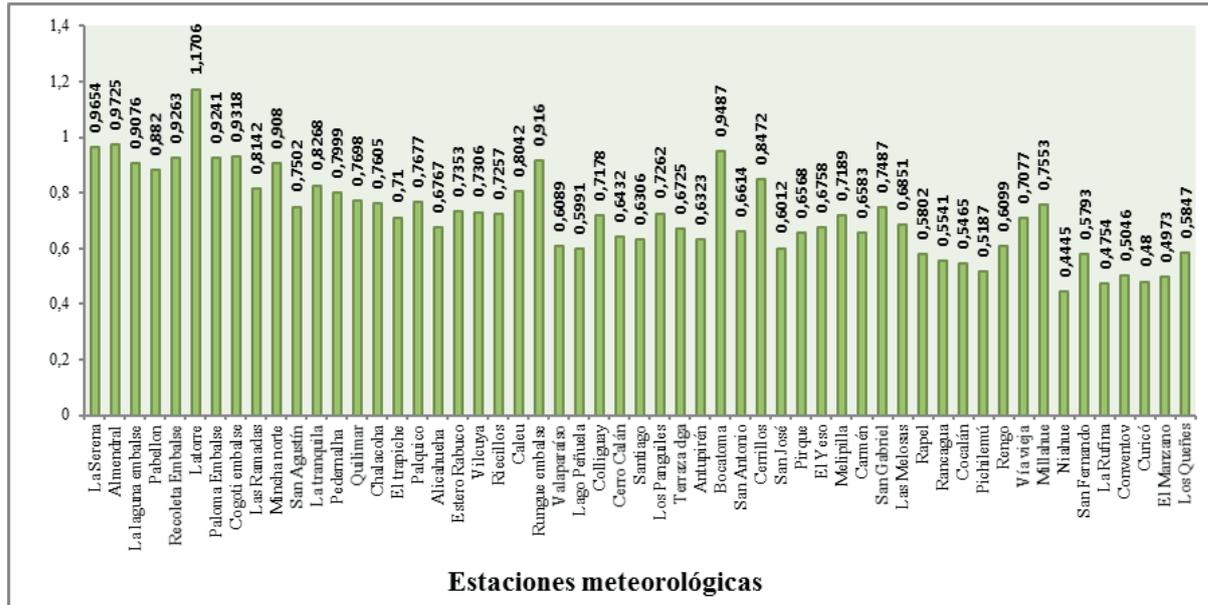


3.4. Análisis del índice de irregularidad temporal de precipitación

La irregularidad de la precipitación se obtuvo a través del índice de irregularidad temporal, propuesto por Martín-Vide (2003). El gráfico 2 muestra el comportamiento del índice de irregularidad para la totalidad de las estaciones meteorológicas. El resultado es similar al del coeficiente de variación, pero con algunos matices, en donde los valores tienden a disminuir en dirección

norte – sur. De este modo, existe coherencia espacial entre estos dos indicadores. Para Sarricolea y Martín-Vide (2012 y 2014), la relación directa entre el índice de irregularidad y el coeficiente de variación es propia de los climas semi áridos y mediterráneos, los dos predominantes en el área de estudio. Sin embargo, en climas extremos como los desérticos, se necesitan complementar con otros indicadores que reflejen de mejor forma la anomalía estadística de la precipitación como el CI de Martín – Vide (2004)

Gráfico 2. Distribución del índice de irregularidad temporal, para la totalidad de las estaciones en estudio, en el período 1965 – 2010*



*Las estaciones meteorológicas se encuentran ordenadas latitudinalmente

Al igual que en el CV, la clasificación propuesta por Llasat *et al.* (2010) presenta la misma limitación, ya que todas las estaciones presentan valores altos en el índice de irregularidad temporal, es decir, superiores a 0,40, destacando la estación Latorre (30,6° S), con un S1 de 1,17. Como consecuencia, se procedió a realizar una nueva categorización mediante el análisis clúster que permitiera obtener umbrales para la clasificación. Los resultados del clúster y de la interpolación del índice de irregularidad temporal se pueden apreciar en tabla 2 y Mapa 4.

Tabla 2. Categorías y rango de valores del índice de irregularidad

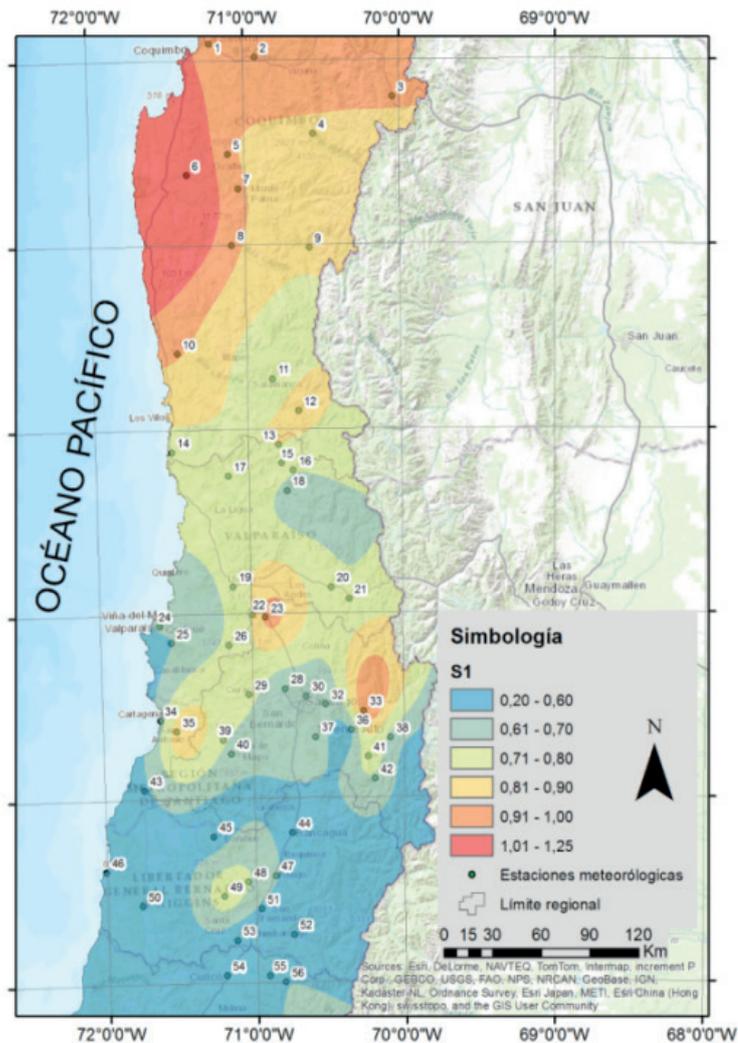
Índice de irregularidad temporal	Muy bajo	Bajo	Moderado	Moderado Alto	Alto	Muy Alto
	< 0,2	0,21 – 0,24	0,25 – 0,29	0,30 – 0,34	0,35 – 0,39	>0,4

Elaboración propia. Umbrales fueron obtenidos a través del análisis cluster de k – medias

En la región de Coquimbo el S1 presenta valores muy altos (sector sur de La Serena), altos (La Serena y Coquimbo) y moderadamente altos (Cordillera de Los Andes). Hacia el sur de la IV región, específicamente, en el límite con la V región (Pichidangui, cercanías de Quilimarí, estación 14) el S1 tiende a ser moderado, al igual que en casi toda la V región, donde se observan dos singularidades con valores bajos (cercanos a la ciudad de Petorca, próximos a de la estación 17) y altos en las ciudades de San Felipe y Los Andes (cercanas a las estaciones 20 y 21). Por otra parte,

en los alrededores de la ciudad de Santiago (estaciones 28, 30 y 32) se presentan valores bajos. Sin embargo, hacia el sur de esta ciudad predominan valores de irregularidad muy bajos. Finalmente, en el sector occidental de la ciudad de San Fernando se muestran valores de irregularidad moderada (Estación Millahué), rodeado de sectores con baja irregularidad temporal (S1).

Mapa 4. Distribución del índice de irregularidad temporal, a través de la técnica análisis de conglomerados



3.5. Análisis de las tendencias de la precipitación y los índices CV y S1

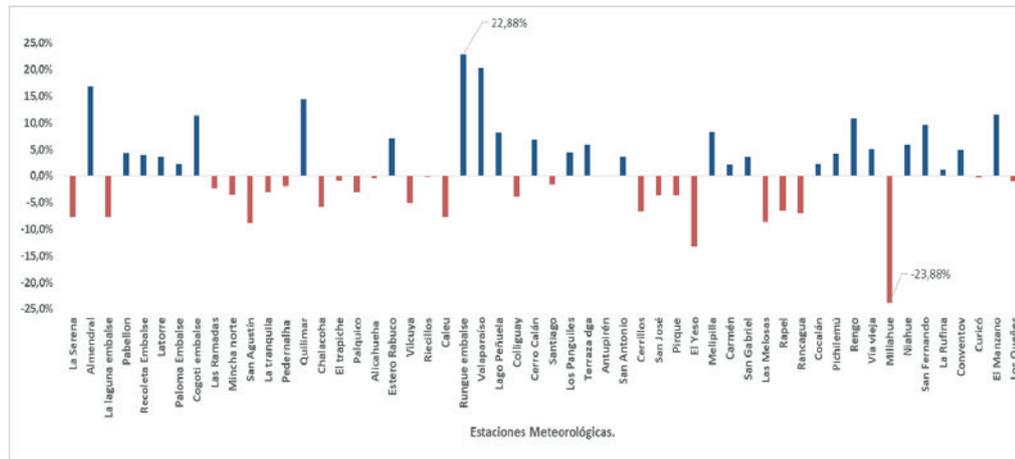
Con el propósito de visualizar la tendencia del comportamiento pluviométrico, se subdividió la serie en dos, cada una con registros de 23 años, analizando los promedios de los totales de precipitación, el coeficiente de variación y el índice de irregularidad temporal.

En términos de los totales medios, se observan disminuciones que, en muchos casos, superan los 100 mm. Las mayores variaciones se registran en la estación El Manzano con una disminución aproximada del 19% (287 mm). Mientras que, la estación El Yeso presenta un aumento del 18,9% (99 mm). Ambos valores son significativos bajo la prueba no paramétrica U de Mann - Whitney (p - valor < 0,00). En este contexto, es preciso destacar que el 45,4% de las estaciones presentan

variaciones negativas (disminuciones) estadísticamente significativas con 95% de confianza, bajo la misma prueba estadística.

Por su parte, el gráfico 3 muestra el comportamiento del coeficiente de variación para los subperíodos.

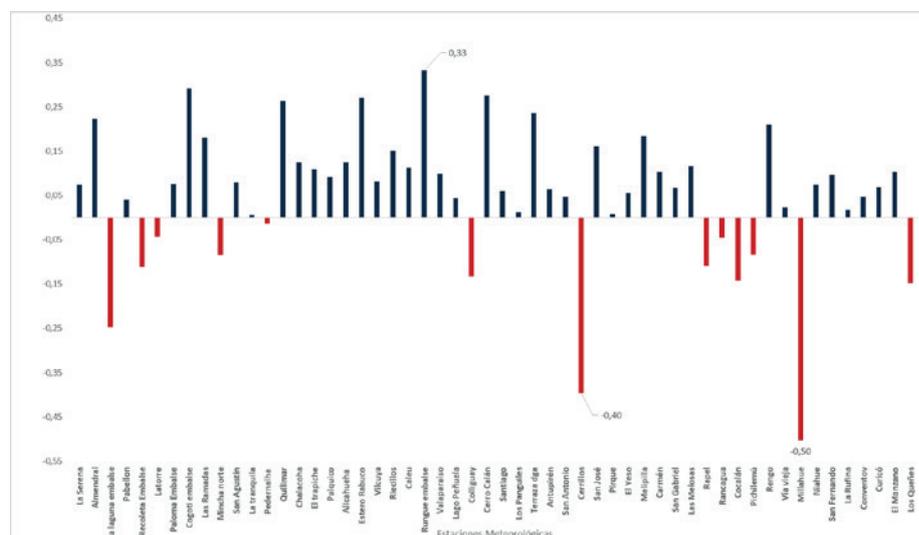
Gráfico 3. Diferencia del coeficiente de variación para las estaciones entre los períodos (1965 – 1987) y (1988 – 2010)*



*No se consideró la estación Bocatoma, en ninguna comparación, debido a que no presenta registro pluviométrico entre los años 1965 – 1987

Las columnas en azul representan aumento en la variabilidad de las precipitaciones entre los subperíodos para la misma estación. Mientras que, las columnas en rojo indican disminución en el mismo coeficiente. Al respecto, las estaciones Rungue (33° S) y Millahue (34,5° S), presentan importantes diferencias de 22,88% y 23,88 %, respectivamente, entre ambos subperíodos (p – valor <0,00). Para el resto de las estaciones, se aprecian diferencias más bien modestas, y no significativas.

Gráfico 4. Diferencia del índice de irregularidad temporal para las estaciones entre los períodos (1965 – 1987) y (1988 – 2010)*



*No se consideró la estación Bocatoma, en ninguna comparación, debido a que no presenta registro pluviométrico entre los años 1965 – 1987

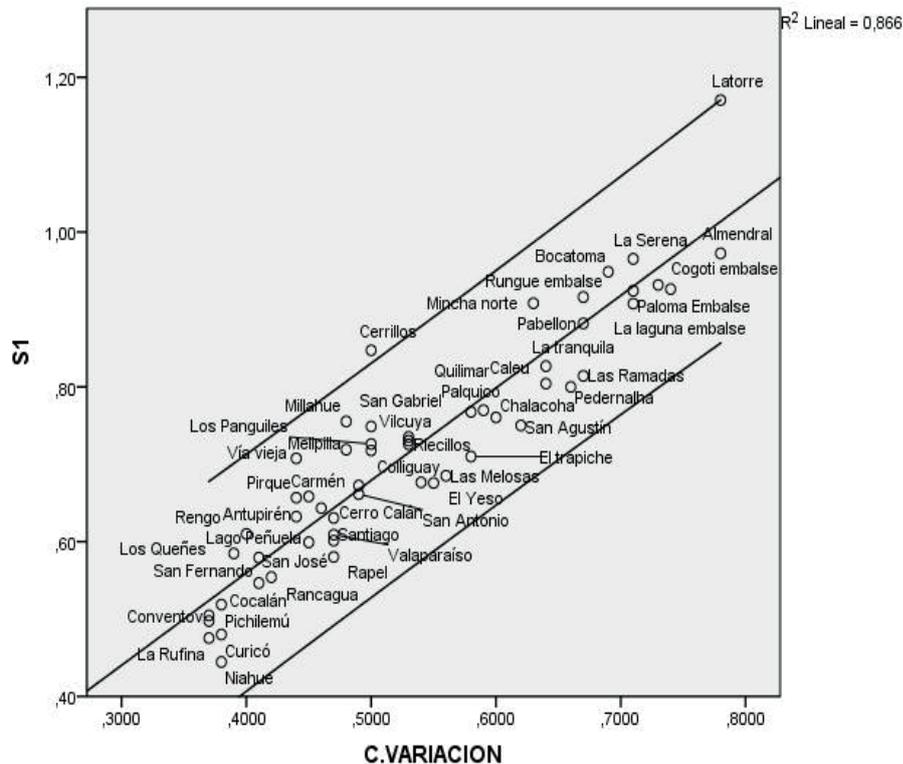
En el gráfico 4 se observan las diferencias en la evolución del índice de irregularidad para ambos subperíodos. A diferencia del coeficiente de variación, el 78% de las estaciones (42 de 54) presentan aumento en la irregularidad de las precipitaciones, destacándose nuevamente Estación Rungue (33° S) con un aumento de 33%. Por el contrario, estaciones como Cerrillos (33,29° S) y Millahue (34,5° S) presentan disminuciones importantes con valores de 40% y 50% respectivamente (p – valor < 0,00)

3.6. Relación entre el coeficiente de variación y el índice de irregularidad temporal

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 y Martín-Vide (2012, 2014) calcularon 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, respectivamente, siendo ambas correlaciones significativas al 99% de confianza. Ciertamente, los autores no correlacionan directamente el coeficiente de variación con el índice de irregularidad. Sin embargo, al ser ambos valores muy altos, por transitividad, podríamos inferir que también este, será un alto valor.

Como era esperable, ambas variables se asocian lineal y positivamente, con alta concentración de las observaciones en torno a la recta de regresión. La variabilidad conjunta explicada entre estos indicadores se estimó en 87%. Por otro lado, y dado que el coeficiente de variación no se distribuye normalmente (p – valor < 0,001) y el índice de irregularidad temporal sí lo hace, según la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk (p – valor = 0,307), la intensidad de la asociación lineal se determinó a través de la correlación de Rho de Spearman, obteniéndose un valor de 0,94, estadísticamente significativa (p – valor < 0,001). En el gráfico 5, se observa el diagrama de dispersión con el correspondiente ajuste lineal.

Gráfico 5. Diagrama de dispersión y ajuste lineal para las variables CV y S1



Fuente: Elaboración propia. Las bandas señalan intervalo de confianza al 99%

Finalmente, se procedió a correlacionar ambas variables en los subperíodos. Es destacable el aumento importante que presenta el coeficiente de determinación: para el primer período se calculó en 64,4%, aumentando a 85,8%, en el período 1988 – 2010.

4. Conclusiones

Los test de homogeneidad a la escala temporal del análisis de los datos (interanual) permiten el uso de todas las estaciones meteorológicas, con lo cual es posible afirmar que las posibles fuentes de inhomogeneidad de escala diaria no influyen en la bondad de los resultados del coeficiente de variación y del índice de irregularidad temporal. No obstante, se deben realizar otros test a las series si se trabaja a otra resolución.

La distribución espacial del CV confirma una alta dependencia de la latitud, el cual disminuye sus valores desde La Serena (0,71) hasta Los Queñes (0,39). Si bien en ambos extremos no se sitúan los máximos y mínimos absolutos del conjunto de datos, representan claramente los CV de regiones subtropicales templadas con estación seca.

Para el S1 el comportamiento es bastante similar al CV, lo cual se confirma con la alta correlación entre ambas variables que miden la irregularidad de la precipitación (R^2 de 0.886 y p -valor < 0.01).

Finalmente, complementar este estudio con trabajos a otra resolución temporal (mensual y diaria) sería de gran relevancia de cara a analizar tendencias. Por ahora, podemos afirmar que tanto el CV como el S1 en gran parte de Chile mediterráneo exhiben tendencias al aumento de sus valores (entre 1965-1987 y 1988-2010), lo cual debe ser ratificado con un análisis más extenso en el tiempo y a un nivel de detalle diario.

5. Referencias Bibliográficas

- Instituto Nacional de Estadística (INE) (2012). «Compendio de Estadísticas Demográficas». Santiago: Instituto Nacional de Estadística de Chile.
- Insunza, Juan (2012). «Meteorología Descriptiva». Departamento de Geofísica, Universidad de Concepción, Concepción: 2 - 34. En línea, disponible en: <http://www2.udec.cl/~jinzunza/meteo/cap2.pdf>. [Consulta: 10 de enero de 2015]
- Llasat, María del Carmen; Martín-Vide, Javier y López-Bustins, Joan (2010). «Constatación de carácter meteorológico en Cataluña». En escenarios climáticos, Barcelona: 29 – 41.
- Martín-Vide, Javier (1991). «Fundamentos de Climatología Analítica». Madrid: Síntesis Ediciones.
- Martín-Vide, Javier (2003) «El tiempo y El Clima». Barcelona: Síntesis Ediciones.
- Martín-Vide, Javier (2004). «Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain». *International Journal of Climatology*, 24(8), 959–971.
- Meseguer-Ruiz, Óliver y Sarricolea, Pablo (2017). «Detección de inhomogeneidades en series de precipitación diaria en la región centro-sur de Chile». *Interciencia* 42(4).
- Muñoz, Cristián (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
- Pliscoff, Patricio y Luebert, Federico (2008). «Diversidad de Ecosistemas». En: CONAMA, *Biodiversidad en Chile*. Santiago: 74 – 89. Disponible en: <http://www.mma.gob.cl/librobiodiversidad/1308/propertyvalue-15397.html>. [Consulta: 10 de enero de 2015]

- Pliscoff, Patricio, Luebert, Federico, Hilger, Hartmut H., & Guisan, Antoine (2014). Effects of alternative sets of climatic predictors on species distribution models and associated estimates of extinction risk: A test with plants in an arid environment. *Ecological Modelling*, 288, 166–177.
- Santibañez, Fernando; Roa, Pablo y Santibañez, Paula (2008). «El Medio Físico». Disponible en: <http://www.mma.gob.cl/librobiodiversidad/1308/propertyvalue-15395.html>[Consulta: 20 de febrero de 2015]
- Sarricolea, Pablo y Martín-Vide, Javier (2012). «Distribución espacial de la precipitación diarias en Chile mediante el índice de Concentración a Resolución de 1 mm, entre 1965 – 2005». Disponible en: <http://fundacion.usal.es/conaec/pendrive/ficheros/ponencias/ponencias2/38-Extremos.pdf>. [Consulta: 15 de enero de 2015]
- Sarricolea, Pablo; Herrera-Osandon, Mariajosé y Araya, Cristóbal (2013). «Análisis de la concentración diaria de la precipitación en Chile central y su relación con las componentes zonal (subtropicalidad) y meridiana (orográfica)». *Investigaciones Geográficas*, 45, 37 – 50.
- Sarricolea, Pablo, & Martín-Vide, Javier (2014). «Spatial analysis of rainfall daily trends and concentration in Chile». *Investigaciones Geográficas*, (47), 53– 66.
- Sarricolea, Pablo, Herrera-Ossandon, Mariajosé, & Meseguer-Ruiz, Óliver (2017). «Climatic regionalisation of continental Chile». *Journal of Maps*, 13(2), 66–73.
- Talaei, Parisa Hosseinzadeh, Kouchakzadeh, Mahdi, & Some'e, B. Shifteh (2014). «Homogeneity analysis of precipitation series in Iran». *Theoretical and applied climatology*, 118(1–2), 297–305.
- Zubieta, Ricardo. y Saavedra, Miguel (2009). «Distribución espacial del índice de concentración de precipitación diaria en los Andes centrales peruanos: Valle del río Mantaro». *Revista Tecnica*, 19 (2), 15–25.
- Zubieta, Ricardo, Saavedra, Miguel, Silva, Yamila, & Giráldez, Lucy (2017). «Spatial analysis and temporal trends of daily precipitation concentration in the Mantaro River basin: Central Andes of Peru». *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31(6), 1305-1318.

6. ANEXOS

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	Valparaiso	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 Panguiles	-33,4	-71,0	195	1965 - 2010	46	
31	R.M.		Terraza Oficina Central DGA	-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		Ohiggins	Rapel	-33,9	-71,7	16	1965 - 2010	46
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	Nilahue 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	

2. Parámetros estadísticos calculados para la totalidad de las estaciones en el período 1965 – 2010, donde μ representa la media aritmética, σ la desviación estándar, CV el coeficiente de variación y N el número de años con registros

ESTACIONES	μ (mm)	σ (mm)	CV	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
Pedralha	280,49	183,76	0,66	1977 - 2010	34
Quilimarí	284,44	169,21	0,59	1980 - 2010	31
Chalacoha	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

Sobre los autores/as

CRISTIÁN ESCOBEDO CATALÁN

Académico Escuela de Pregrado Universidad de Chile, donde imparte las Cátedras de Geografía Estadística y Metodología de la Investigación Cuantitativa. Geógrafo y Magister en Políticas Públicas de la Universidad de Chile. Ha centrado sus esfuerzos en la aplicación de la Estadísticas y Econometría espacial en diferentes fenómenos de naturaleza geográfica.

PABLO SARRICOLEA ESPINOZA

Profesor Asistente del Departamento de Geografía de la Universidad de Chile, donde imparte clases de Climatología Global y Climatología Local. Doctor en Geografía y Máster en Climatología Aplicada (Universidad de Barcelona). Ha centrado sus investigaciones en Climatología Urbana, Sinóptica y en el análisis de las estructuras de la precipitación. Miembro del Programa de Reducción de Riesgos y Desastres de la Universidad de Chile (CITRID), del Grupo de Climatología de la Universidad de Barcelona y de la Sociedad Chilena Ciencias Geográficas. Integrante del Comité de Área de Asentamientos Humanos y Urbanismo del Programa Beca Chile de CONICYT.