

CONCENTRACION DE LAS PRECIPITACIONES EN CHILE CENTRAL Y SU RELACION CON PATRONES DE VARIABILIDAD DE BAJA FRECUENCIA, PERÍODO 1965-2010

Pablo SARRICOLEA ESPINOZA^(1,2), Cristóbal ARAYA ESCOBAR⁽³⁾ y Pamela SALAZAR CARRIÓN⁽³⁾

⁽¹⁾ *Departamento de Geografía, Universidad de Chile, Chile*

⁽²⁾ *Grupo de Climatología, Universidad de Barcelona, España*

⁽³⁾ *Escuela de Pregrado, Carrera de Geografía, Universidad de Chile, Chile*

psarricolea@uchilefau.cl

RESUMEN

Se analiza la precipitación a resolución diaria por medio del Índice de Concentración (CI) diaria de Martin-Vide (2004), Índice de Concentración de las Precipitación anual (PCI de Oliver, 1980) y el Coeficiente de Variación (CV) en Chile central (30°S-35°S). Para ello se emplearon 56 estaciones meteorológicas en el período 1965-2010. Los resultados muestran valores del CI entre 0,47 a 0,75, los cuales disminuyen latitudinalmente de norte a sur. Se aprecia además, una disminución del CI hacia las cordilleras de la Costa y de los Andes, debido a que la precipitación es menos irregular que en el litoral y los valles centrales de Chile donde sí alcanza valores de CI más elevados. Por otro lado, se han calculado las correlaciones entre el CI, CV, PCI, siendo ellas altas y estadísticamente significativas. Finalmente, el ENSO (El Niño Oscilación del Sur) es el patrón de variabilidad de baja frecuencia que mejor explica los montos de precipitación y la concentración de las precipitaciones en Chile central, dando resultado de mayores precipitaciones en fase cálida (El Niño) y mayor irregularidad en fases frías del ENSO (La Niña).

Palabras clave: Chile central, índice de concentración, precipitación diaria, teleconexiones.

ABSTRACT

Precipitation at daily resolution for central Chile (30°S-35°S) is analyzed through the daily Concentration Index (CI) of Martin-Vide (2004), the annual Precipitation Concentration Index (PCI of Oliver, 1980) and the Coefficient of Variation (CV). For the analysis, 56 meteorological stations of the period 1965-2010 were used. Results show values of CI between 0.47 and 0.75, which decrease with latitude from north to south. It is further appreciated that values of CI decrease towards the Coastal Range and the Andes Mountains, being precipitation less irregular than in the coast and central valleys of Chile, where the values of CI are higher. Furthermore, correlations between CI, CV and PCI showed that they are high and statistically significant. Finally, the ENSO (El Niño Southern Oscillation) is the pattern of low-frequency variability that best explains the amount and concentration of precipitation in central Chile, giving as result higher amounts of precipitation in the warm phase (El Niño) and higher irregularity in the cold phase of the ENSO (La Niña).

Key words: central Chile, concentration index, daily precipitation, Teleconnection.

1. INTRODUCCIÓN

Un asunto que ha acaparado gran atención en los estudios de Climatología analítica es la casi exclusiva orientación a establecer medias mensuales y anuales, considerando de modo escaso la información diaria (e incluso horaria). Todas ellas poseen una gran potencialidad para caracterizar las precipitaciones, pues la lluvia posee un patrón discreto. Además, la distribución de frecuencia que poseen los montos diarios de precipitación son perfectamente ajustables a distribuciones exponenciales negativas (Brooks & Carruthers, 1953), debido a que existen muchos días con precipitaciones inferiores a 1 mm y pocos días que presentan precipitaciones altas (Martín-Vide, 2004), descendiendo la frecuencia de forma exponencial.

El Índice de Concentración (CI en adelante) permite entender la irregularidad de las precipitaciones diarias, y se le reconoce como un estimador del grado de agresividad o torrencialidad pluviométrica (Martín-Vide, 2003), siendo explicativo también de procesos de inestabilidad de laderas (Zubieta y Saavedra, 2009), riesgos de inundación y sequía (Martín-Vide, 2004). El CI es un indicador sintético, que resume todos los eventos diarios de precipitación.

El CI ha sido estudiado por Sarricolea y Martín-Vide (2012) para todo Chile, considerando 17 estaciones meteorológicas (1965-2005). Los resultados indican que el mayor CI se registra en La Serena con un valor de 0,76, disminuyendo hacia el norte con valores de 0,57 en la región de Antofagasta y llegando a los valores bajos del CI hacia el sur del país localizándose en Puerto Montt con un 0,56. Asimismo se profundizó en Chile central, calculando el CI para 16 estaciones meteorológicas entre los 32°50'S y 34°12'S (Sarricolea et al., 2013), detectando tres macro-regiones climáticas derivadas del análisis de la concentración de las precipitaciones: alta concentración, con valores mayores o iguales a 0,60 en las planicies litorales y la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa, una región de concentración media (entre 0,58 y 0,59) en gran parte de la depresión intermedia de la región metropolitana y la VI región, la cual presenta como característica altitudes entre 330 y 550 m.s.n.m., y finalmente, bajas concentraciones (<0,58) en ambas cordilleras, pero más notoriamente en la Cordillera de los Andes.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Chile central (30°S-35°S) se caracteriza por condiciones semiáridas, con precipitaciones anuales que en promedio en el período analizado no superan 445 mm, y de una marcada estacionalidad, pues gran parte de las precipitaciones se registran durante los meses de invierno (abril a septiembre). Según la clasificación de Köppen-Geiger (Kottek et al., 2006) se presentan cuatro regiones climáticas en el área de estudio, clima desértico frío (BWk) clima semiárido (BSk) mediterráneo de verano seco y de carácter suave (Csb) y Clima frío de altura (Eth). Además, es posible distinguir cuatro grandes unidades geomorfológicas: Valles transversales, la Vertiente occidental de la Cordillera de la Costa (incluyendo las planicies litorales), la Depresión intermedia (que incluye la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa) y la Vertiente occidental de la Cordillera

de los Andes. De este modo, la compleja fisiografía de esta región, modifica los montos y tipos de precipitación, destacando aquellos de génesis frontal y orográfica.

Se trabajó con 56 estaciones meteorológicas, las cuales están distribuidas entre las regiones de Coquimbo y El Maule. Las series más largas abarcan 46 años y las más cortas 20 años.

Para analizar la distribución interanual de la precipitación, Oliver (1980) adaptó un índice desde la teoría geoeconómica (concentración industrial) para cuantificar la distribución relativa a los patrones de precipitación y estimar la estacionalidad de la misma (Coscarelli y Caloiero, 2012), al que denominó del Índice de Concentración de Precipitación (PCI). Para la obtención del PCI se trabaja con series a resolución mensual. Consiste en el de la siguiente expresión:

$$PCI = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P^2}$$

Donde p_i es precipitación mensual y P corresponde a la precipitación anual. Valores mínimos de PCI indican equidistribución mensual de la precipitación, y valores altos para concentración en un mes o estación del año (Oliver, 1980). El PCI posee valores entre 8,3 para equidistribución y 100 para concentración mensual extrema.

Otros índices calculados corresponden al coeficiente de variación (CV) y el Índice de Concentración de Martín-Vide (2004). El CI se calculó para clases de 1 mm, lo cual permite entender la torrencialidad de los climas de carácter mediterráneos.

Finalmente, se correlaciona los valores anuales de la precipitación anual, y el PCI con los patrones de El Niño Oscilación del Sur.

Las cubiertas climáticas de PCI y CV se construyeron mediante modelos de regresión múltiple lineal, considerando como variables independientes la latitud, altitud y la precipitación media anual; mientras que para la interpolación del CI se ensayaron varios métodos, resultando el más apropiado: *spline* de tensión.

3. RESULTADOS

3.1 Análisis de índices mensuales y anuales

En la distribución espacial del Índice de Concentración Mensual (PCI) se aprecia un gradiente latitudinal (Figura 1). Hay tres grandes regiones según este índice: repartición irregular (> 40), altamente estacional (30-40) y estacional (< 30). Esto se debe a que en las estaciones meteorológicas del norte (gran parte de la Región de Coquimbo), las precipitaciones se presentan en prácticamente un solo mes, mientras que en la transición de la Región de Coquimbo y Valparaíso, la precipitación se distribuye en el trimestre invernal. Más al sur, desde la Región Metropolitana hasta el Maule (Curicó) las

precipitaciones se extienden entre mayo y septiembre, es decir, cinco meses del año. Un asunto que aparece menos claro que el gradiente zonal, pero sin ser menos importante, es que hacia el oriente (donde se sitúa la Cordillera de Los Andes, el PCI disminuye, lo cual sugiere mejor repartición de las precipitaciones.

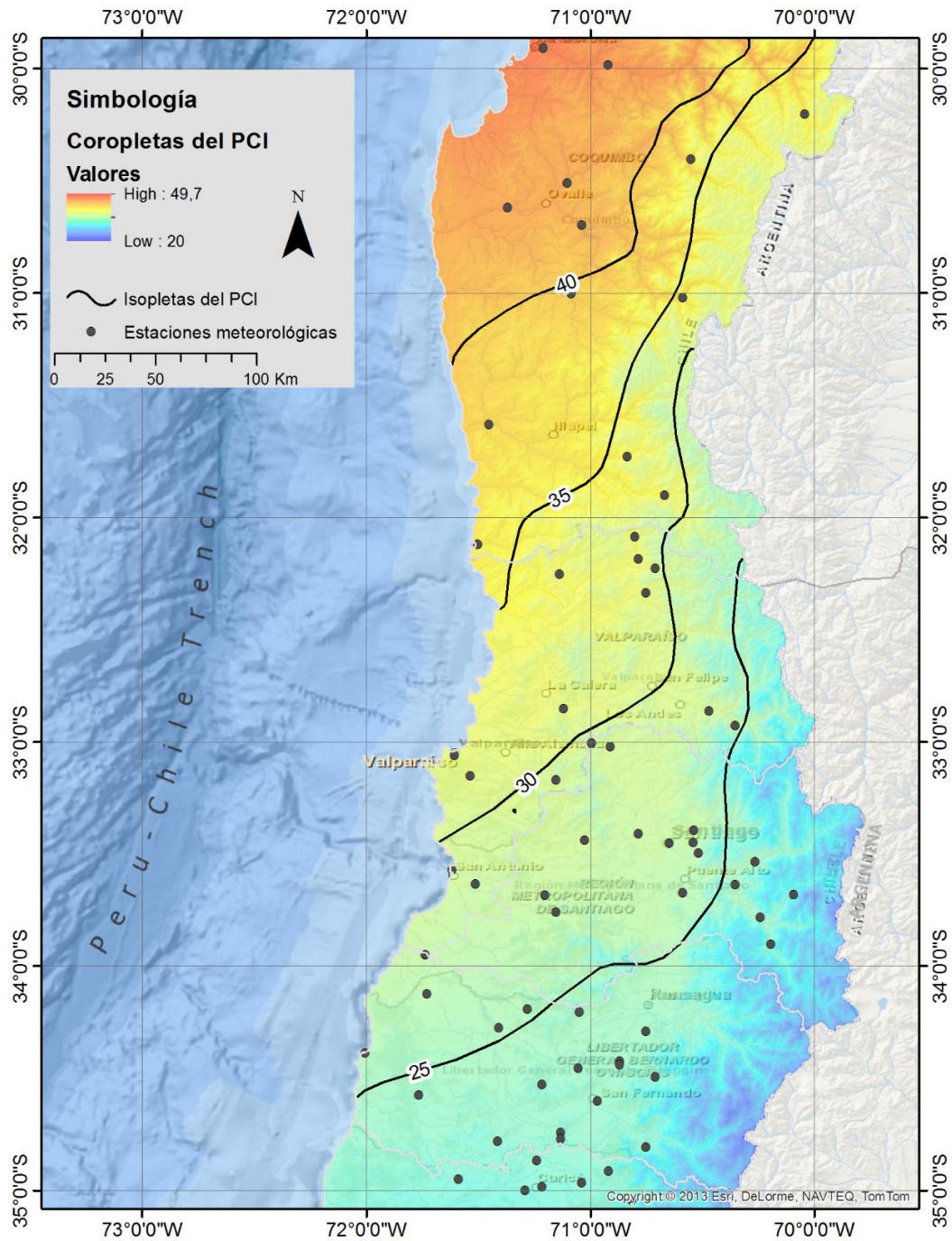


Fig. 1: Distribución espacial del PCI en Chile central.

El PCI se correlaciona en Chile Central de manera bastante significativa con el Coeficiente de Variación, los cuales alcanzan un coeficiente de determinación de 0,74 (Figura 2). Las únicas estaciones que escapan de la relación son La Serena, Embalse Recoleta y Almendral.

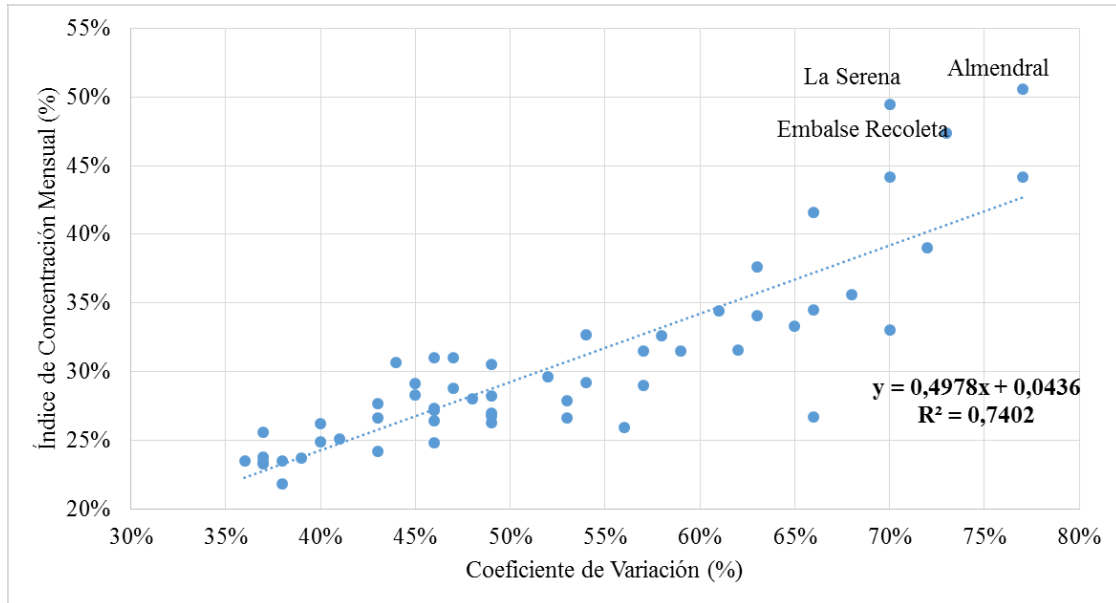


Fig. 2: Correlación estadística entre el PCI y el CV en Chile central

Respecto a la relación del SOI y las precipitaciones anuales del período 1965-2010 se ha detectado que todas las estaciones poseen una relación inversa (coeficiente de correlación entre -0.33 y -0.58), es decir, frente a situaciones de anomalía cálida “El Niño” del ENSO (Índice de Oscilación del Sur negativo) las precipitaciones son excepcionalmente más altas, mientras que en fase fría “La Niña” del ENSO las precipitaciones son más bien modestas. En general, la franja pluviométrica entre 200 y 400 milímetros posee mejores correlaciones con el ENSO, lo cual ocurre entre Quilimarí y Rancagua. Más al norte la relación baja. La estación que alcanza la mejor correlación en Chile Central corresponde a San Antonio, con un R^2 de -0.57. Al observar la Figura 3 se puede apreciar que sobre el promedio anual (400 mm) los SOI son más bajos, y viceversa con bajas precipitaciones.

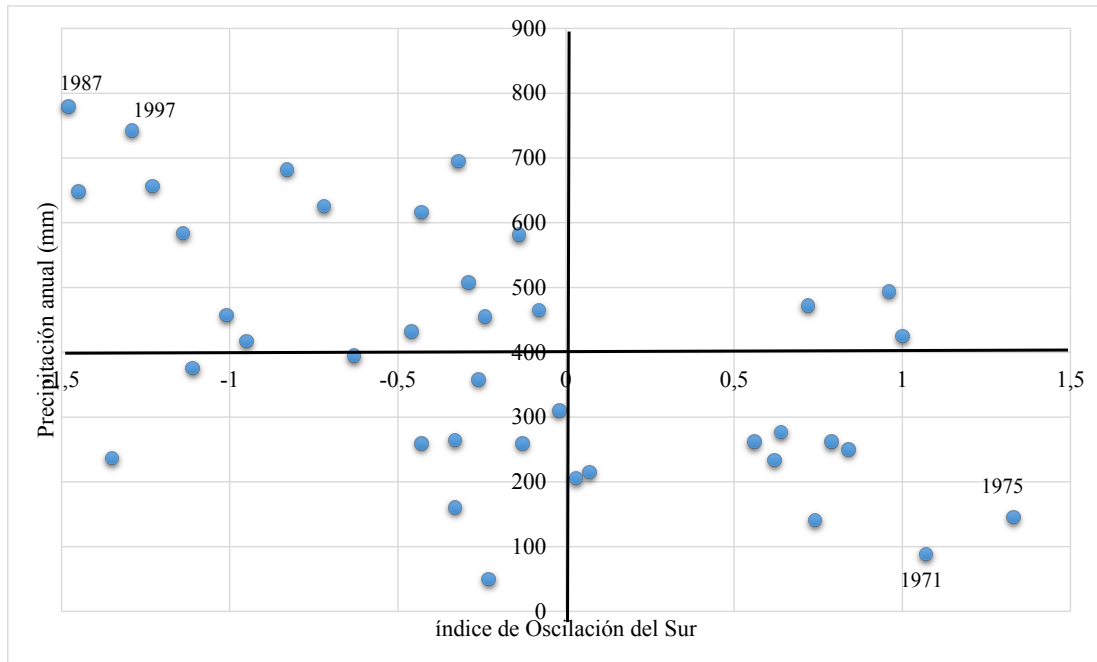


Fig. 3: Correlación estadística entre el SOI y la precipitación anual de San Antonio

3.1 Análisis de índices de concentración diaria

Los valores encontrados para Chile central oscilan entre los 0,75 y 0,47. Más de 36 de las 56 estaciones meteorológicas (64%) poseen CI mayor a 0,59, lo cual es bastante consistente con situaciones encontradas en la Península Ibérica. No obstante, un 36% de las estaciones está bajo ese umbral, pese a que la aplicación de los tests de homogeneidad (Von Neumann y Thom) señalan series homogéneas al 95% de significancia.

Espacialmente, el CI disminuye de norte a sur, desde La Serna (0,75 hasta valores inferiores a 0,50 en las estaciones Carmen Las Rosas, Coltauco y El Membrillo (en las regiones Metropolitana y General Libertador Bernardo O'Higgins; además de la Estación Mincha Norte en la Región de Coquimbo. Como situación general se observa (Figura 4) mayores CI hacia el litoral y la depresión intermedia, y menores CI hacia la Cordillera de Los Andes.

CONCENTRACION DE LAS PRECIPITACIONES EN CHILE CENTRAL Y SU RELACION CON PATRONES DE VARIABILIDAD DE BAJA FRECUENCIA, PERÍODO 1965-2010

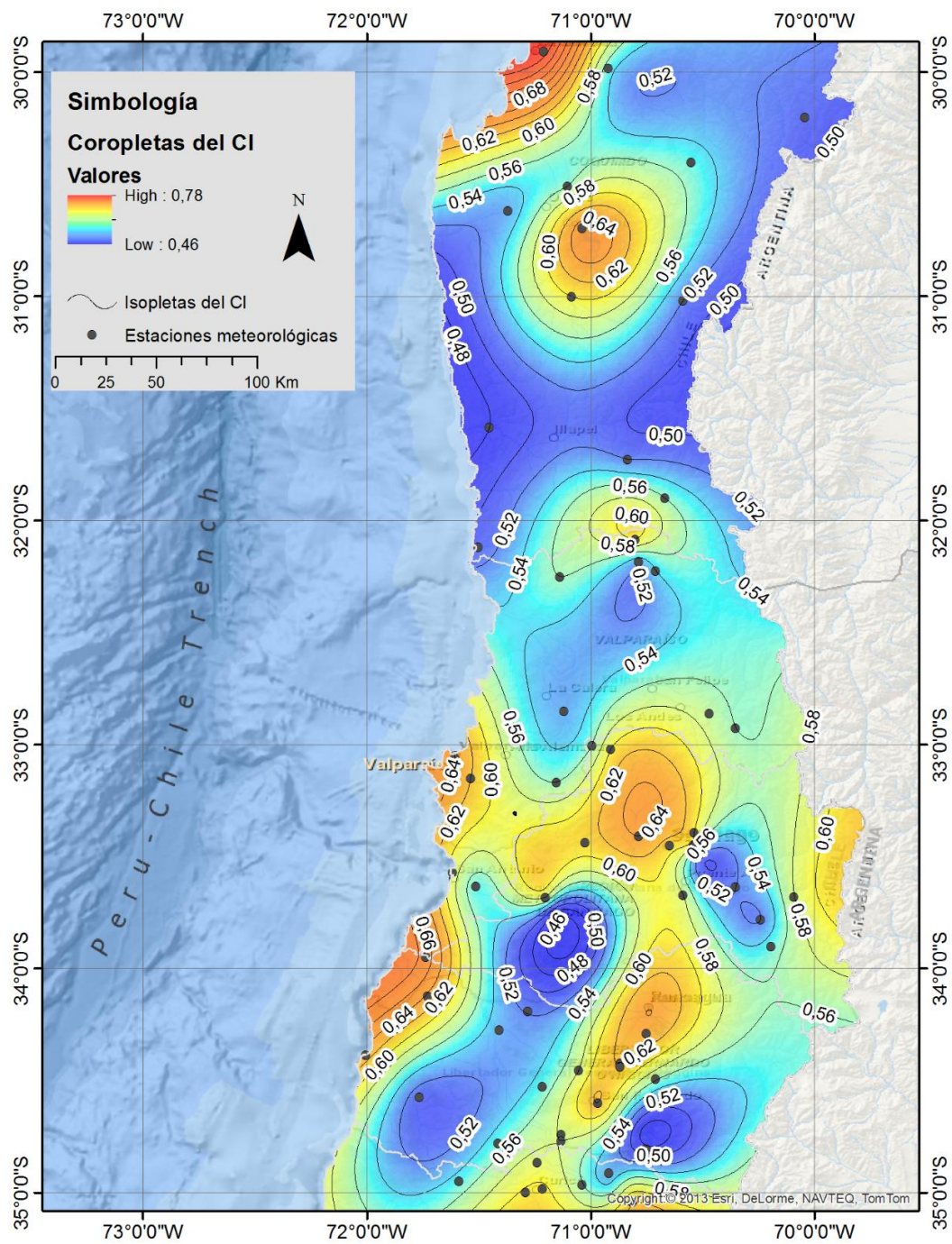


Fig. 3: Índice de concentración de las precipitaciones de Chile entre 1965 y 2005.

4. CONCLUSIONES

La concentración mensual de las precipitaciones (PCI) constata que a medida que se avanza al sur la distribución de las precipitaciones se da en más meses, conformando un semestre húmedo; mientras que al norte, las escasas precipitaciones ocurren en uno o dos meses de la estación de invierno.

Las correlaciones CV y PCI resultan altas, lo cual se debe a que ambos índices miden variabilidad pluviométrica. Incluso Coscarelli y Caloiero (2012) sugieren que se puede calcular el PCI con el Coeficiente de Variación. No obstante, hay diferencias mínimas usando la expresión:

$$PCI = \frac{100}{12} \cdot \left[1 + \left(\frac{CV}{100} \right)^2 \right]$$

El fenómeno El Niño está altamente relacionado con precipitación por sobre la media, mientras que La Niña se asocia a valores modestos de precipitación. En general las relaciones estadísticas son inversas, y la estación meteorológica mejor correlacionada es San Antonio, en la Región de Valparaíso.

La concentración de las precipitaciones diarias obtenidas mediante el CI confirma para Chile central y sur una configuración similar a la de la Península Ibérica, es decir, un alto CI para climas semiáridos y mediterráneos y valores moderados y bajos para climas templados lluviosos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brooks, C. y N. Carruthers. (1953). “Handbooks of statistical methods in meteorology, Meteorological Office”, London, 412 pp., Great Britain Meteorological Office, Publication official 538.

Coscarelli, R. y T. Caloiero. (2012). Analysis of daily and monthly rainfall concentration in Southern Italy (Calabria region). *Journal of Hydrology*, 416:145–156.

Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, y F. Rubel. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, 15, 259-263.

Oliver, J.E. (1980). Monthly precipitation distribution: a comparative index. *Professional Geographer*, 32(3): 300-309.

Martín-Vide, J. (2003). “El tiempo y el clima”. *Colección Cuadernos de Medio Ambiente*. Rubes Editorial. Barcelona, España. 127 pág.

Martin-Vide, J. (2004). Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain. *International Journal of Climatology*, 24: 959–971.

Oliver, J.E. (1980). Monthly precipitation distribution: a comparative index. *Professional Geographer*, 32(3): 300-309.

Sarricolea P. y J. Martín-Vide. (2012). Distribución espacial de las precipitaciones diarias en Chile mediante el índice de concentración a resolución de 1 mm, entre 1965-2005. En libro "Cambio climático, extremos e impactos". Editado por J.M. Cuadrat, P. Dorta, M. J. Estrela, F. González Rouco, J. A. López Díaz, J. C. García Codrón, F. Sánchez Rodrigo, J. Martín- Vide y R. García Herrera. En Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Salamanca, España. pp.631-639. ISBN: 978-84-695-4331-3.

Sarricolea P., M.J. Herrera y C. Araya. (2013). Análisis de la concentración diaria de las precipitaciones en Chile central y su relación con la componente zonal (subtropicalidad) y meridiana (orográfica). *Revista Investigaciones Geográficas* 45: 37-50.

Zubieta, R. y M. Saavedra. (2009). Distribución espacial del índice de concentración de precipitación diaria en Los Andes Centrales Peruanos: Valle del Río Mantaro. *Revista Tecnía* 19 (2) 13-22.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Aguas (DGA) por facilitar los datos pluviométricos, a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Chile por adjudicar y financiar parte de esta investigación mediante su programa U-Apoya (Proyecto CSSOC-2012-292) y a CONICYT por financiar gran parte de esta investigación mediante el programa Fondecyt de iniciación 2013-2016 (Proyecto N°11130629).