



## PLUVIOMETRÍA DE LOS ÚLTIMOS 48 AÑOS EN CHILE CENTRO-SUR (33°40'-41°30'S) Y SUS PATRONES DE VARIABILIDAD EN EL CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL<sup>1</sup>

PABLO SARRICIOLEA E<sup>2</sup>  
PAMELA FIGUEROA M.<sup>3</sup>

**Resumen:** Se analiza el comportamiento de la variabilidad de las precipitaciones usando distintos índices, los cuales permiten observar un gradiente latitudinal y orográfico de ellas en la franja latitudinal 33°40'S y los 41°30'S. Los resultados indican que los climas de carácter mediterráneo son más irregulares en la distribución temporal y espacial de las precipitaciones que los climas de la franja templada lluviosa. Un escenario de cambio climático global indica a resolución de 1km (Downscaling de ACCESS 1.0) que para el período 2061-2080 las precipitaciones podrían disminuir hasta en 300 mm en gran parte de la región analizada (escenario de trayectoria de concentración representativa, RCP 8.5).

**Palabras clave:** clima mediterráneo, índice de irregularidad temporal, variabilidad, cambio climático

**Abstract:** The behavior of rainfall variability is analyzed using several indexes, which allow to observe the latitudinal and orographic gradient of rainfall in latitudinal bands between 33°40'S and 41°30'S. The results show that the mediterranean climates are more irregular in the temporal and spatial distribution of rainfall than the climates of the tempered rainy bands. An scenario of global climate change in a resolution of 1km (Downscaling of ACCESS 1.0) shows for the period of 2061-2080 that precipitation could decrease up to 300 mm in most part of the analyzed region (Representative Concentration Pathways, RCP 8.5 scenario).

**Key words:** mediterranean climate, temporal irregularity index, variability, climate change

### 1 – Introducción

En un contexto de Cambio Climático Global (CCG), es fundamental conocer los patrones de la distribución espacial y temporal de las precipitaciones (Trenberth, 2011), y de modo multiescalar, es decir, a sus distintas escalas (global, zonal y regional) y resoluciones (centenaria, decadal, anual, mensual, diario), pues en base a las situaciones pasadas y actuales se construyen escenarios futuros. El CCG es uno de los grandes desafíos de nuestra sociedad, sobretudo en regiones planetarias afectadas por una alta variabilidad pluviométrica, y con evidencias contundentes de una sostenida reducción de ellas (Fuenzalida et al., 2007), lo que acompañado al retroceso de los glaciares y el aumento

<sup>1</sup> Investigación inserta en los proyectos U-Apoya CSSOC-2012-292 y Fondecyt de iniciación N°11130629

<sup>2</sup> Dr. en Geografía y Master em Climatología Aplicada, Departamento de Geografía de la Universidad de Chile, psarricolea@uchilefau.cl

<sup>3</sup> Licenciada en Geografía, Carrera de Geografía, pamela.figueroa@ug.uchile.cl



significativo en altura de la línea de nieve (Vuille et al., 2008) configura un problema de gran magnitud, no sólo para las cuencas hidrográficas, sino que para todo el borde costero de Chile.

Los climas de Chile están controlados por factores geográficos tales como la latitud, la altitud y la influencia oceánica, entre otros. Ello le confieren una gran diversidad de tipos de tiempo y climas, desde los más áridos del mundo (Atacama), mediterráneo (o subtropical), templado lluvioso, marítimo lluvioso y los de estepa fría. Además, el Anticiclón subtropical del Pacífico sur-oriental (APSO), prácticamente de carácter estacionario frente a las costas de Chile central, el cinturón de bajas presiones subpolares (CBPP) y el Monzón Sudamericano son los más importantes reguladores de los regímenes pluviométricos de Chile continental. En el caso del APSO, se puede señalar que posee oscilaciones de pocos grados de latitud entre el invierno y el verano, lo cual bloquea o permite el paso sucesivo de sistemas frontales que provienen del CBPP. Los sistemas frontales alcanzan latitudes más bajas durante el invierno, y se retraen en el verano.

Un asunto que ha acaparado gran atención en los estudios de Climatología analítica es la casi exclusiva orientación a establecer medias mensuales y anuales, dejando fuera la información diaria (e incluso horaria). En este sentido, la información diaria posee una gran potencialidad para caracterizar las precipitaciones, pues éste meteoro es de carácter discreto y la distribución de frecuencia que poseen los montos diarios de precipitación son perfectamente ajustables a distribuciones exponenciales negativas (Brooks y 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. No obstante, realizar análisis con series diarias (y de cualquier variable meteorológica), representa un desafío en términos de acceso a bases de datos y de magnitud de los procesamientos, pues por ejemplo, sólo una serie de una variable y de 30 años de longitud posee más de 10.950 registros.

En definitiva, un monto o promedio mensual de lluvia suministra información valiosa sobre la pluviometría de un territorio, pero no nos dice nada acerca de la frecuencia o número de días de lluvia, ni tampoco del desglose de las cantidades registradas en los días lluviosos. La variabilidad temporal de las precipitaciones ha sido usualmente calculada y resumida a nivel mensual, estacional y anual en las series climáticas mediante estadígrafos, siendo los más usuales la varianza, el rango, el coeficiente de variación (CV), la desviación estándar, y más recientemente, los índices: modificado de Fournier (Arnoldus, 1978), de concentración de las precipitaciones mensuales (PCI, de Oliver, 1980), de disparidad consecutiva ó



irregularidad temporal ( $S_1$ , Martín-Vide, 1986) e incluso la dimensión fractal temporal de las precipitaciones (Martín-Vide et al., 2001). El  $S_1$  y la dimensión fractal consideran, el orden de los valores en la serie. Sin embargo, cabe hacer notar que todos estos parámetros estadísticos que expresan la variabilidad de las precipitaciones se aplican casi siempre sobre montos mensuales o anuales, raramente a nivel diario. Será entonces necesario realizar análisis a las resoluciones temporales usuales, pero además, el aporte más significativo y novedoso, vendrá dado a nivel diario, pues la irregularidad se acentúa.

Es por ello, que en base a 109 estaciones meteorológicas, y para el período 1965-2012, es que se estudia la irregularidad de las precipitaciones en Chile centro sur, mediante el coeficiente de variación y el índice de irregularidad temporal.

## 2 – Materiales y métodos

En primer lugar, se calcularon para cada estación (a resolución anual), la media, la desviación típica, el coeficiente de variación (CV), el índice de irregularidad temporal ( $S_1$ ) y el número (y porcentaje) de días de lluvia al año. En el caso de  $S_1$  se considera la secuencia de los datos en serie, tal como propuso Martín-Vide (2003). El  $S_1$  se construye según la expresión:

$$S_1 = (1/(n-1)) \sum | \ln(P_{i+1}/P_i) | \quad (1)$$

siendo  $P_i$  la precipitación del año  $i$ . Cabe señalar que un  $S_1$  alto es característico del clima mediterráneo de la Península Ibérica y Chile central (Sarricolea y Martín-Vide 2012).

El otro índice calculado es el Coeficiente de Variación (CV), el cual corresponde a una medida de dispersión relativa que permite comparar las variabilidades de diferentes observatorios. Según Martín-Vide (2003), el CV es uno de los mejores índices que permite comparar la variabilidad, y consiste en un cociente entre la desviación típica y la media.

De las 109 estaciones seleccionadas, la mayor cantidad de ellas se localiza en latitudes menores a 37°S, mientras que el extremo sur posee la menor cantidad (Fig. 01A). Por otra parte, las precipitaciones anuales promedio (1965-2012) se triplican hacia el sur, desde unos casi 700 mm hasta unos 2250 mm (Fig. 01B). Respecto a los valores del CV y  $S_1$ , se advierte una clara disminución hacia el sur, lo cual es consistente con las condiciones mediterráneas hasta cerca de los 37°S y el régimen más lluvioso entorno a los 40°S.

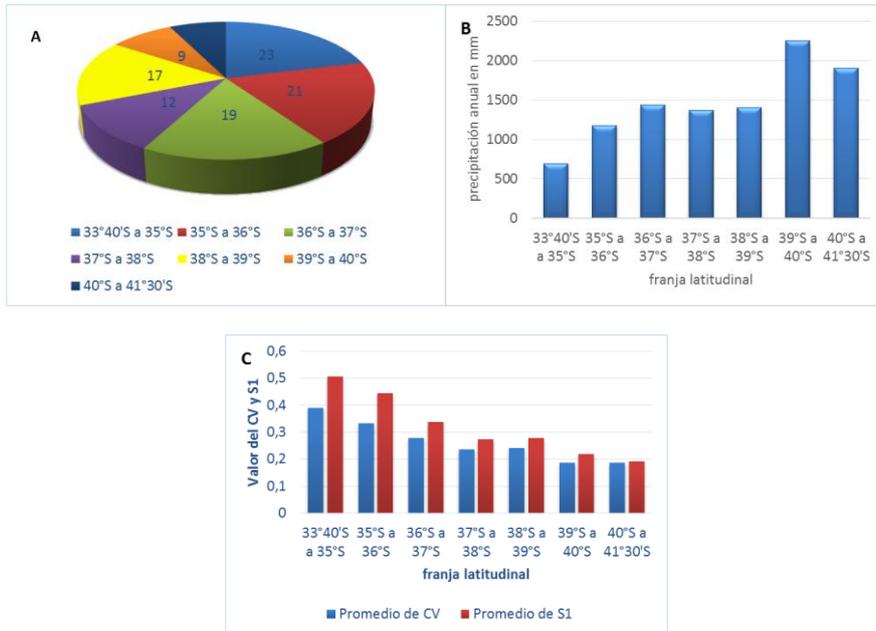


Figura 01. Representación según franja latitudinal del número de estaciones (A) precipitación media anual (B) y CV y S<sub>1</sub> (C) en Chile centro sur. Elaboración propia.

### 3 – Resultados

Para el análisis del CV se utilizaron las categorías de Llasat *et al.* (2009), considerando muy bajo los valores menores a 15%, bajo entre 15%-19%, moderado entre 20%-24%, moderado alto a los valores de 25%-29%, y alto y muy alto a las categorías entre 30%-34% y mayores a 35%, respectivamente.

Al observar la Figura 02, los valores menores de variabilidad se encuentran en las latitudes mayores, siendo la estación correspondiente a La Ensenada aquella con el menor CV (14%). Hacia el norte, se observa un aumento del CV, mostrando estadísticamente una relación inversamente proporcional y con un coeficiente de determinación de 0,75, siendo la estación de Coltauco (45%) aquella con la mayor CV. Cabe mencionar que aquellas estaciones que se encuentran en una situación de mayor dispersión respecto a la relación estadística de tipo logarítmica corresponden a las estaciones de San Fabián, Lonquimay, Liucura, Laguna Malleco, Freire sendos, Lago Maihue, Dichato y Maullín. La relación entre la altitud de las estaciones y sus Coeficientes de Variación es baja.

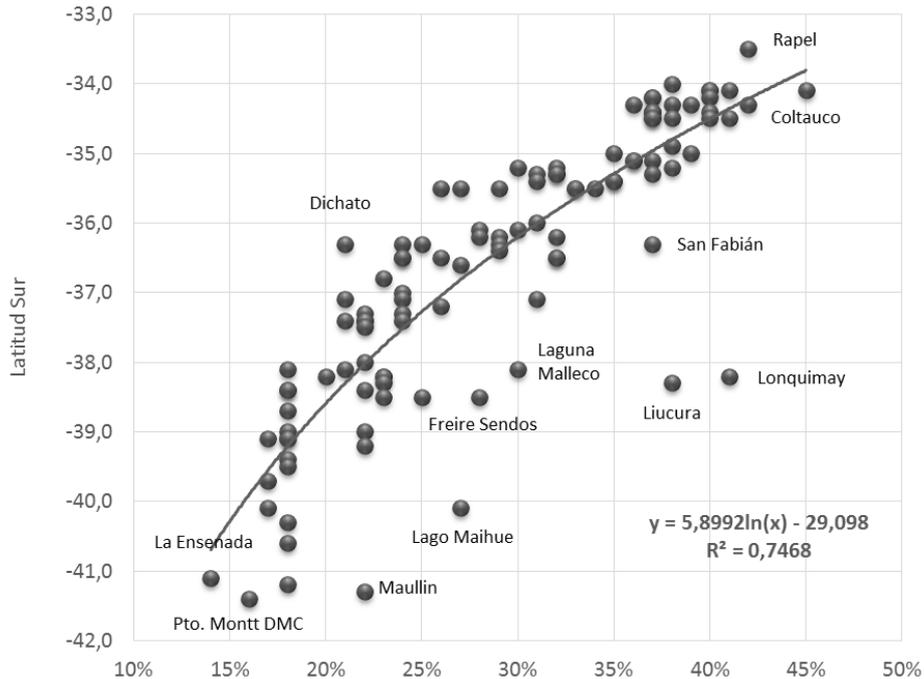


Figura 02. Correlación entre los valores del Coeficiente de Variación y la latitud de las estaciones utilizadas para en Chile centro sur. Elaboración propia.

Para el índice de irregularidad temporal se usaron las siguientes categorías: muy bajo (<0,20), bajo (0,20-0,24), moderado (0,25-0,29), moderado alto (0,30-0,34), alto (0,35-0,39) y muy alto a los valores mayores a 0,40 (Llasat *et al.*, 2009)

Latitudinalmente, el  $S_1$  presenta una relación inversa ya que a mayor latitud menor es el valor del índice de irregularidad temporal (Fig. 03), cuya función logarítmica posee un coeficiente de determinación cercano a 0,80. Además, se aprecia una disminución gradual del  $S_1$  conforme se avanza hacia el sur. La distribución del  $S_1$  presenta valores “muy bajos” en la zona ubicada entre los 39°S y 42°S de Latitud, como se mencionó previamente, los valores del  $S_1$  aumentan hacia climas mediterráneos, y desde los 39°S hasta los 36°S se tienen valores entre 0,20 hasta los 0,39 (bajos y moderados). Las estaciones meteorológicas más alejadas de la relación latitudinal corresponden a Maullín Liucura, Linares y Lonquimay. La altitud no correlaciona satisfactoriamente con la el  $S_1$ .

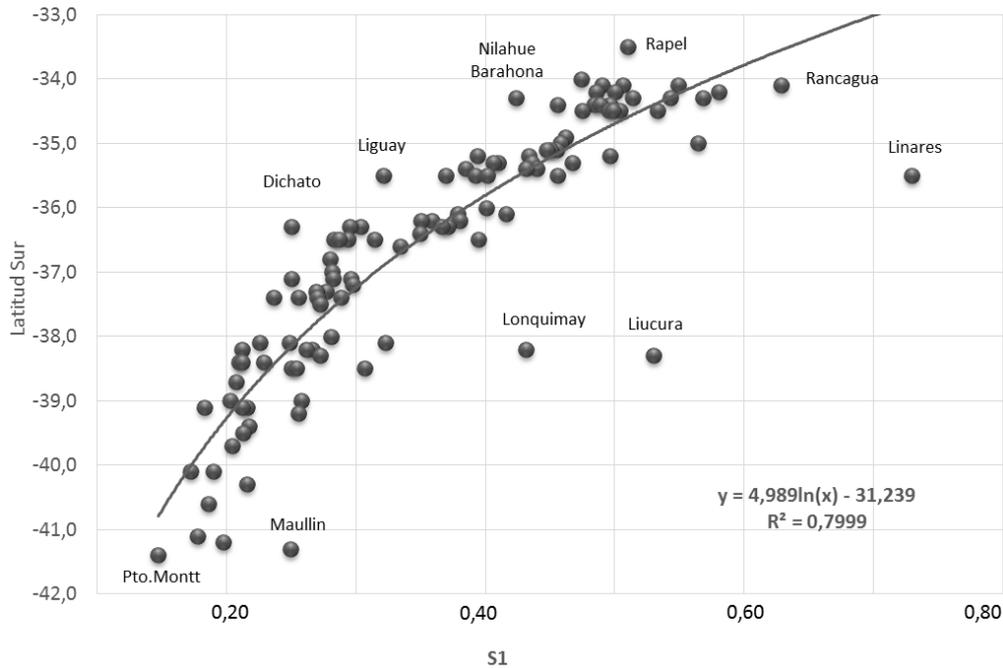


Figura 03. Correlación entre el índice de irregularidad temporal y la latitud de las estaciones utilizadas para en Chile centro sur. Elaboración propia.

Realizando un análisis comparativo, se puede afirmar que tanto el CV y el  $S_1$  disminuyen a medida que las estaciones avanzan a latitudes más australes, lo cual permite afirmar que a mayor latitud menor variabilidad pluviométrica. A medida que aumenta el valor del coeficiente de variación, también lo hace el índice de irregularidad temporal. Linealmente (Fig. 04) tanto el CV como el  $S_1$  se correlacionan de modo muy significativo ( $R^2=0,86$ ). Sin embargo, hay ciertas estaciones que se alejan estadísticamente del patrón general el caso más extremo es Linares, estación con el mayor valor de irregularidad temporal y que a su vez presenta la mayor diferencia entre la tendencia de la mayoría de las estaciones, a la que se suma Mago Maihue Lonquimay y San Fabián.

Los mapas que permiten regionalizar esta macrozona de Chile se pueden observar en la Figura 05. Ambos índices muestran una consistencia entre los valores de mayor variabilidad al norte y mayor regularidad al sur del área en estudio. Por otra parte, el efecto orográfico indica un aumento del CV y el  $S_1$  en las Cordilleras de la Costa y Los Andes. No obstante, las relaciones estadísticas no son del todo satisfactorias, por lo que ello es un resultado aún por confirmar.

Considerando lo anterior, y en virtud de los escenarios de Cambio Climático del 5° IPCC (2013) es posible esperar para Chile centro sur reducciones que superan los 300 mm



anuales (Fig. 06), lo cual podría ser acompañado de un aumento de la variabilidad (CV), lo cual afectaría de modo importante las actividades que se desarrollan en esta área de estudio, ligadas a la fruticultura y actividad silvopecuaria.

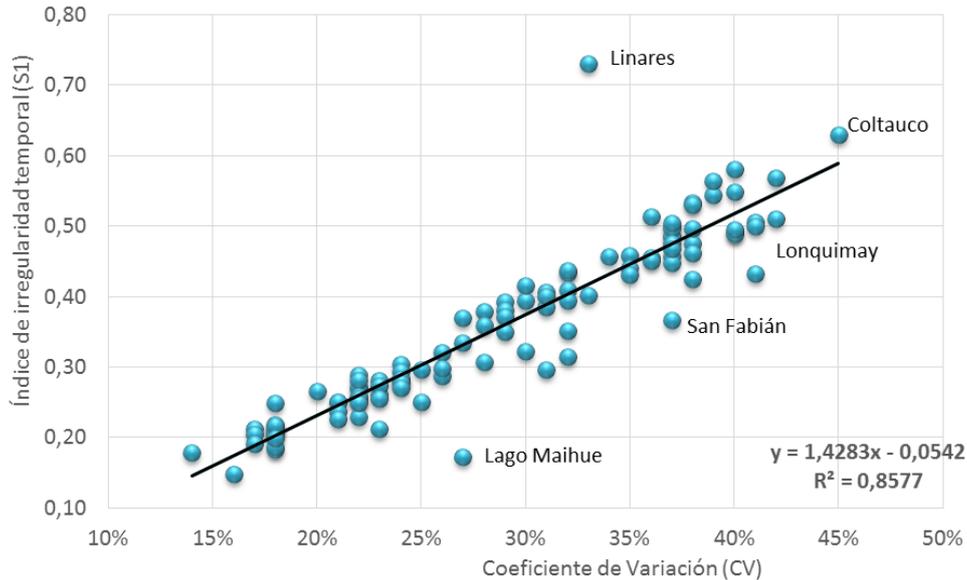


Figura 04. Correlación entre el índice de irregularidad temporal y el Coeficiente de Variación de las estaciones utilizadas para en Chile centro sur. Elaboración propia.

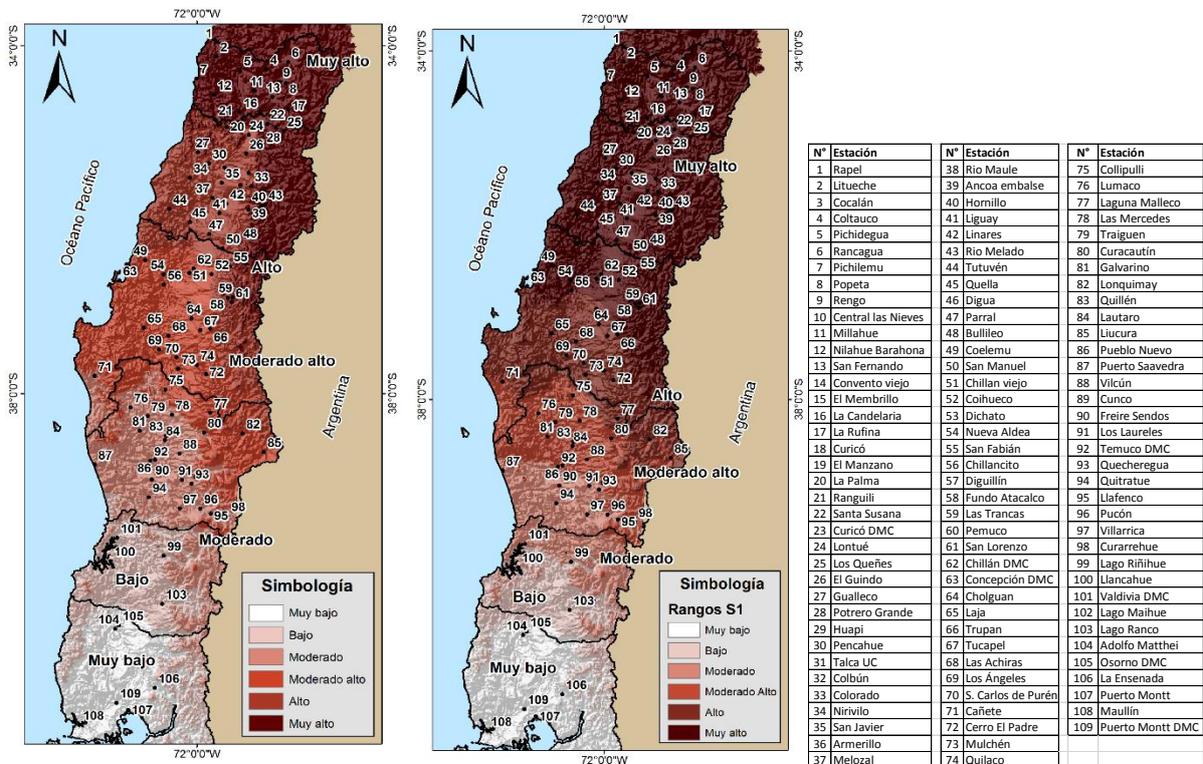


Figura 05. Mapas de la distribución espacial del Coeficiente de Variación (a la izquierda), el índice de irregularidad temporal (centro) y el listado de estaciones utilizadas para en Chile centro sur (derecha). Elaboración propia.

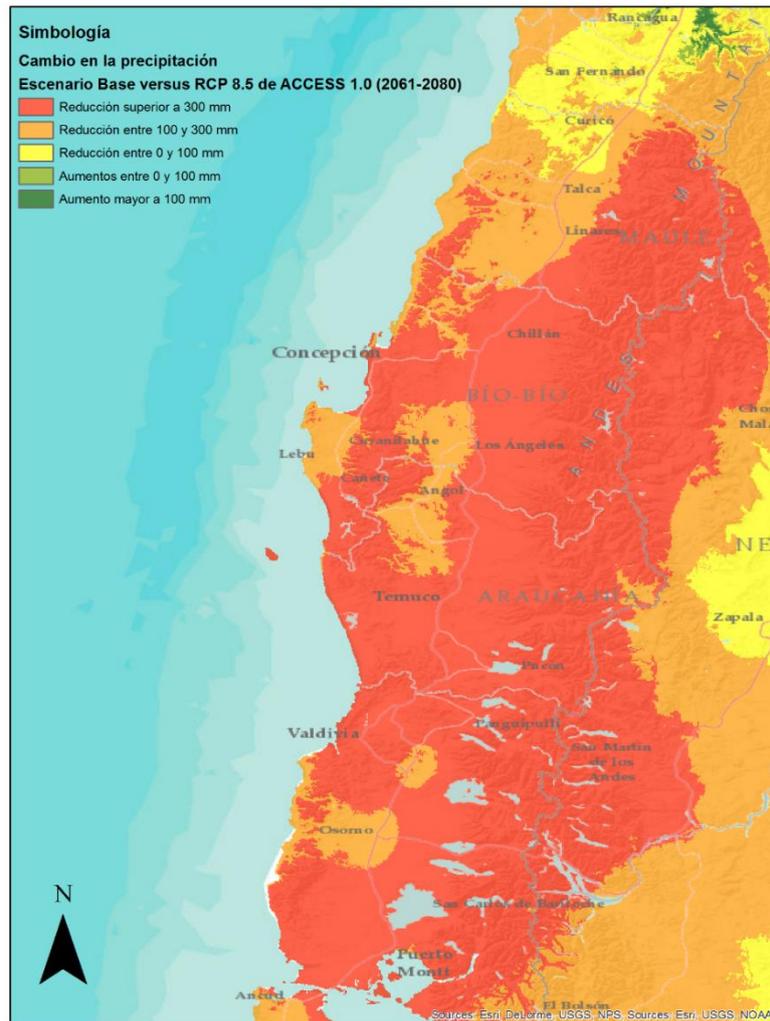


Figura 06. Escenario de cambio climático más adverso (forzamiento radiativo de  $8,5 \text{ W/m}^2$ ) a 2070 en virtud del delta del estado actual (1950-2000 de Plisoff y Luebert 2013) y ACCESS 1.0 del 5º IPCC. Elaboración propia.

#### 4 – Conclusiones

La utilización y el posterior contraste entre el Coeficiente de Variación y el índice de irregularidad temporal ha sido útil para entender que son complementarios, existiendo escasas diferencias entre los patrones espaciales por ambos entregados. Así, la variabilidad y la irregularidad decrecen hacia el sur de la región en estudio.



Los valores que presenta el Coeficiente de Variación, como ya se mencionó, decrecen a medida que aumenta la latitud, presentando valores entre 45% y un 14%. El CV también varía en función del relieve, y decrece hacia la Cordillera de Los Andes.

En el caso del índice de irregularidad temporal, se obtuvieron valores altos en el extremo norte (Rapel, Rancagua), descendiendo a medida que se avanza hacia hasta Puerto Montt, siendo el máximo 0,73 y el mínimo de 0,15. El  $S_1$  además, tiene valores más altos hacia las cordilleras.

Ambos índices (CV y  $S_1$ ) están altamente correlacionados ( $R^2=0.86$ ). Esto es muy relevante pues el Coeficiente de Variación es un indicador calculado en los escenarios de cambio climático del IPCC 2013, por lo que la irregularidad temporal podría estimarse a futuro en virtud de su alta y significativa relación estadística con el CV.

Por último, es preocupante los cambios previstos de precipitación en Chile centro sur, pues sugieren importantes disminuciones, por sobre los 300 mm, lo cual redundará en efectos económicos, ecológicos y sociales, los cuales pueden mitigarse tomando medidas de carácter estratégico de modo oportuno.

## 5 – Referencias Bibliográficas

ARNOLDUS, H.M. *An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation*. De Boodst, M. y Gabriels, D. (Eds.). **Assessment of erosion**. 127-132. John Wiley y Sons, Inc. Chichester-Gran Bretaña. 1978.

BROOKS, C. AND CARRUTHERS, N. **Handbooks of statistical methods in meteorology**, **Meteorological Office**, London, 412 pp., Great Britain Meteorological Office, Publication official 538. (1953).

LLASAT, M<sup>a</sup> C. MARTÍN VIDE, J. LÓPEZ BUSTINS, J.A. & BARRERA, T. **Constataciones de carácter meteorológico en Cataluña. en ACA, Aigua i Canvi Climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya, 29-41**, Barcelona, ACA. 2009. [En línea] Disponible en: [http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/es/publicacions/escenaris\\_climatics/capitol1\\_lowress.pdf](http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/es/publicacions/escenaris_climatics/capitol1_lowress.pdf)

FUENZALIDA, H., P. ACEITUNO, M. FALVEY, R. GARREUAD, M. ROJAS, & R. SÁNCHEZ. **Study on climate variability for Chile during the 21st century**. Technical Report prepared for the National Environmental Committee, Spanish, Santiago, 2007.

IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and



P.M. Midgley (eds.]). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. 2013.

MARTÍN-VIDE, J. *Notes per a la definició d'un índex de "desordre" en pluviometria. Treballs de la societat catalana de geografia*, (7-8):89-96. 1986.

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

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

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

PLISCOFF, P., & F. LUEBERT. **A new improved dataset of climatic surfaces for Southern South America**. 2013. <http://www.unil.ch/ecospat/page89413.html>.

SARRICOLEA, P., & J. MARTÍN-VIDE. *Distribución espacial de las precipitaciones diarias en Chile mediante el índice de concentración a resolución de 1 mm, entre 1965-2005*. En *Cambio climático, extremos e impactos*, de J.M Cuadrat, y otros, 631-639. Salamanca: **Publicaciones de la Asociación Española de Climatología**, 2012.

TRENBERTH, K. *Changes in precipitation with climate change*. **Climate research**, 47: 123-138. 2011.