

Un observatorio de sequía para Chile desarrollado con R-shiny

1. Resumen

1.1. Contexto

El cambio climático ha provocado un aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos como la sequía¹. La sequía es uno de los eventos climáticos más complejos, en el que es difícil identificar el momento de inicio y término del evento, además es uno de los eventos con mayores impactos socioeconómicos. En Chile se ha evidenciado condiciones de sequía que están afectando a diferentes partes del país, la que ha sido particularmente severa desde hace más de diez años². Esto hace necesario contar con herramientas que permitan una correcta y oportuna toma de decisiones respecto a la ocurrencia de eventos de sequía. En este trabajo se desarrolló una aplicación web para el monitoreo de la sequía en Chile continental, con información agregada en diferentes unidades político administrativas e hidrológicas, con el objetivo de que permita una fácil y rápida toma de decisiones respecto a la ocurrencia de un evento de sequía. La aplicación se desarrolló en R³ con el framework {shiny}⁴ y múltiples paquetes para análisis y procesamiento de datos geospaciales^{5,6} y visualización⁷. Se puede acceder a la aplicación desde <https://odes-chile.org/app/unidades/>

1.2. Área de estudio

La aplicación para el monitoreo de sequía se desarrolló para Chile continental. La Figura 1 muestra los límites de Chile y sus macrozonas, además de elevación y los diferentes usos de suelo. Esta figura fue realizada en R con el paquete {tmap}⁸, los datos geospaciales de tipo raster fueron procesados con el paquete {terra}⁹.

1.3. Índices de sequía

Utilizamos datos espacializados de las variables climáticas del producto de reanálisis ERA5-Land^{10,11}. Seleccionamos las variables de

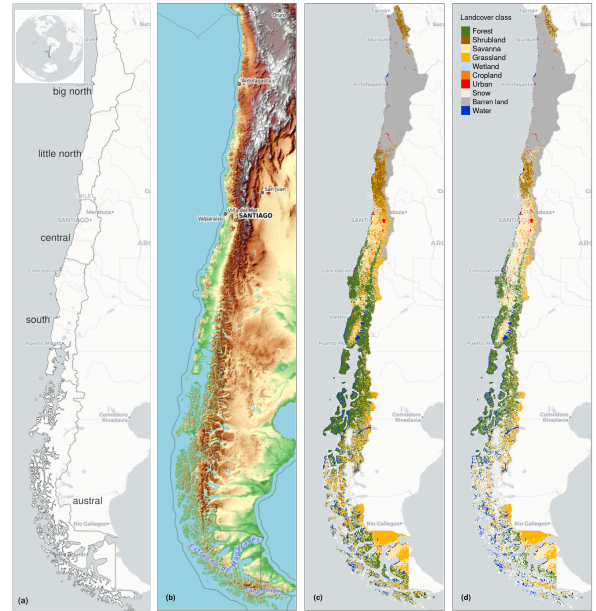


Figura 1: (a) Límites de Chile continental y las cinco macrozonas: big north, little north, central, south, and austral. (b) Elevación. (c) Uso de suelo para el año 2021. (d) Persistencia en el uso de suelo (> 80%) entre 2001-2021

temperatura, precipitación y humedad de suelo. Estos datos fueron agregados a nivel mensual. Se derivaron los índices de sequía SPEI (índice estandarizado de precipitación evapotranspiración)¹², SPI (índice estandarizado de precipitación)¹³ y EDDI (índice de sequía de demanda evaporativa)^{14,15}. Además, propusimos el índice de sequía estandarizado de humedad acumulada (zcSM). Estos índices son multi-escalares y fueron calculados para 1, 3, 6, 12, 24, y 36 meses; para poder analizar la sequía a corto- y largo-plazo.

Para monitorear el estado de la vegetación, utilizamos series temporales del índice NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada) el que fue suavizado usando polinomios de regresión local (loess)¹⁶. Luego, se calculó el zcNDVI

*Corresponding author

(anomalía estandarizada del NDVI acumulado)¹⁷ para 1, 3, 6, y 12 meses.

Todos los índices de sequía fueron calculados siguiendo una estrategia de estadística no paramétrica (ver¹⁴).

1.4. Descripción de la plataforma

La aplicación ODES Unidades permite visualizar los indicadores de sequía para todo Chile continental agregados en diferentes unidades. Fue desarrollada en R³ con el framework para desarrollo web {shiny}⁴. Para la visualización de mapas se utilizó {leaflet}⁶. Los gráficos interactivos se implementaron con {highcharter}⁷.

En el backend, para en análisis de datos se utilizó la colección {tidyverse}. Para el procesamiento de datos geospaciales de tipo raster utilizamos {terra}⁹ y {stars}¹⁸. Los datos geospaciales de tipo vectorial se procesaron con {sf}¹⁹.

ODES-Unidades permite generar un reporte de sequía para cada unidad seleccionada, se seleccionaron cuatro indicadores: 1) precipitación-evapotranspiración (SPEI-12), 2) demanda de agua por parte de la atmósfera (EDDI-12), 3) humedad de suelo (zcSMA-12) y 4) para el estado de la vegetación (zcNDVI-6). La Figura 2 muestra un ejemplo del reporte, en donde para cada indicador se entrega una categoría de acuerdo al periodo de retorno del evento de sequía.

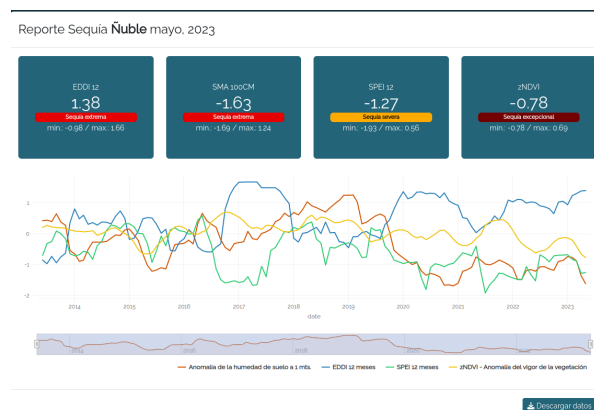


Figura 2: Ejemplo de reporte de sequía generado en la aplicación ODES Unidades, seleccionando la región de Ñuble

Referencias

[1] P. Arias, N. Bellouin, E. Coppola, R. Jones, G. Krinner, J. Marotzke, V. Naik, M. Palmer, G.-K. Plattner,

J. Rogelj, M. Rojas, J. Sillmann, T. Storelvmo, P. Thorne, B. Trewin, K. Achuta Rao, B. Adhikary, R. Allan, K. Armour, G. Bala, R. Barimalala, S. Berger, J. Canadell, C. Cassou, A. Cherchi, W. Collins, W. Collins, S. Connors, S. Corti, F. Cruz, F. Dentener, C. Deroczynski, A. Di Luca, A. Diongue Niang, F. Doblas-Reyes, A. Dosio, H. Douville, F. Engelbrecht, V. Eyring, E. Fischer, P. Forster, B. Fox-Kemper, J. Fuglestedt, J. Fyfe, N. Gillett, L. Goldfarb, I. Gorodetskaya, J. Gutierrez, R. Hamdi, E. Hawkins, H. Hewitt, P. Hope, A. Islam, C. Jones, D. Kaufman, R. Kopp, Y. Kosaka, J. Kossin, S. Krakovska, J.-Y. Lee, J. Li, T. Mauritsen, T. Maycock, M. Meinshausen, S.-K. Min, P. Monteiro, T. Ngo-Duc, F. Otto, I. Pinto, A. Pirani, K. Raghavan, R. Ranasinghe, A. Ruane, L. Ruiz, J.-B. Sallée, B. Samset, S. Sathyendranath, S. Seneviratne, A. Sörensson, S. Szopa, I. Takayabu, A.-M. Tréguier, B. van den Hurk, R. Vautard, K. von Schuckmann, S. Zaehle, X. Zhang, K. Zickfeld, Technical Summary, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2021, p. 33–144. doi:10.1017/9781009157896.002.

[2] F. Zambrano, Four decades of satellite data for agricultural drought monitoring throughout the growing season in Central Chile, in: Drought, Vol. Accepted, CRC Press, 2023.

[3] R Core Team, R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (2022). URL <https://www.R-project.org/>

[4] W. Chang, J. Cheng, J. Allaire, C. Sievert, B. Schloerke, Y. Xie, J. Allen, J. McPherson, A. Dipert, B. Borges, shiny: Web Application Framework for R, r package version 1.7.2 (2022). URL <https://CRAN.R-project.org/package=shiny>

[5] E. Pebesma, R. Bivand, Spatial Data Science: With applications in R, Chapman and Hall/CRC, 2023. URL <https://r-spatial.org/book/>

[6] J. Cheng, B. Karambelkar, Y. Xie, leaflet: Create Interactive Web Maps with the JavaScript 'Leaflet' Library, r package version 2.1.1 (2022). URL <https://CRAN.R-project.org/package=leaflet>

[7] J. Kunst, highcharter: A Wrapper for the 'Highcharts' Library, r package version 0.9.4 (2022). URL <https://CRAN.R-project.org/package=highcharter>

[8] M. Tennekes, tmap: Thematic maps in R, Journal of Statistical Software 84 (6) (2018) 1–39. doi:10.18637/jss.v084.i06.

[9] R. J. Hijmans, terra: Spatial Data Analysis, r package version 1.7-23 (2023). URL <https://CRAN.R-project.org/package=terra>

[10] Sabater J. Muñoz, Era5-land hourly data from 2001 to present (2019). doi:10.24381/CDS.E2161BAC. URL <https://cds.climate.copernicus.eu/doi/10.24381/cds.e2161bac>

[11] Copernicus Climate Change Service, Era5-land hourly data from 2001 to present (2019). doi:10.24381/CDS.E2161BAC. URL <https://cds.climate.copernicus.eu/doi/10.24381/cds.e2161bac>

[12] S. M. Vicente-Serrano, S. Beguería, J. I. López-Moreno, A multiscale drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index, Journal of Climate 23 (7) (2010) 1696–1718.

- [doi:10.1175/2009jcli2909.1](https://doi.org/10.1175/2009jcli2909.1).
URL <https://doi.org/10.1175/2009jcli2909.1>
- [13] T. B. Mckee, N. J. Doesken, J. Kleist, The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology., American Meteorological Society (Boston) (1993) 179–184.
 - [14] M. T. Hobbins, A. Wood, D. J. McEvoy, J. L. Huntington, C. Morton, M. Anderson, C. Hain, [The evaporative demand drought index. part i: Linking drought evolution to variations in evaporative demand](#), Journal of Hydrometeorology 17 (6) (2016) 1745–1761. [doi:10.1175/jhm-d-15-0121.1](https://doi.org/10.1175/jhm-d-15-0121.1).
URL <https://doi.org/10.1175/jhm-d-15-0121.1>
 - [15] D. J. McEvoy, J. L. Huntington, M. T. Hobbins, A. Wood, C. Morton, J. Verdin, M. Anderson, C. H. (June, The Evaporative Demand Drought index: Part II – CONUS-wide Assessment Against Common Drought Indicators, J. Hydrometeor. 17 (6) (2016) 1763–1779.
 - [16] W. S. Cleveland, E. Grosse, W. M. Shyu, Local regression models, Chapter 8 of Statistical Models in S eds J. M., 1992.
 - [17] F. Zambrano, A. Vrieling, A. Nelson, M. Meroni, T. Tadesse, [Prediction of drought-induced reduction of agricultural productivity in chile from MODIS, rainfall estimates, and climate oscillation indices](#), Remote Sensing of Environment 219 (2018) 15–30. [doi:10.1016/j.rse.2018.10.006](https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.006).
URL <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.006>
 - [18] E. Pebesma, [stars: Spatiotemporal Arrays, Raster and Vector Data Cubes](#), r package version 0.6-0 (2022).
URL <https://CRAN.R-project.org/package=stars>
 - [19] E. Pebesma, [Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data](#), The R Journal 10 (1) (2018) 439–446. [doi:10.32614/RJ-2018-009](https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009).
URL <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>