

SEQUIÁS EN LA CUENCA DEL ARROYO CURA MALAL GRANDE (ARGENTINA): EFECTOS EN LA VEGETACIÓN DURANTE EL EVENTO DE 2018

DROUGHTS IN THE CURA MALAL GRANDE BASIN (ARGENTINA): EFFECTS ON VEGETATION DURING THE 2018 EVENT

María de los Ángeles Ortuño Cano ⁽¹⁾ y Jorge Osvaldo Gentili ⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Bahía Blanca, Argentina
e-mail: maria.ortuno@uns.edu.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9146-7105>

⁽²⁾ Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Bahía Blanca, Argentina
e-mail: jgentili@uns.edu.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4787-4667>

RESUMEN

Las sequías son eventos climáticos que afectan diversas áreas a nivel mundial generando impactos económicos y sociales. En la región pampeana estos eventos son significativos debido a sus efectos sobre la agricultura y la ganadería. El objetivo del trabajo fue identificar las sequías en la cuenca del arroyo Cura Malal Grande en el período 2001-20 y el comportamiento de la vegetación durante el evento de sequía del año 2018. Se utilizaron el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Se encontró alta correlación entre NDVI y SPEI a escala de 3 meses, indicando que es la escala temporal que representa mejor las variaciones en la vegetación. Para el análisis de datos de NDVI se seleccionaron cinco muestras representativas de tres sectores de la cuenca (alta, media y baja). Se comprobó que la sequía de 2018 mostró impactos significativos en la vegetación de la cuenca. Las anomalías del índice son exclusivamente negativas con diferentes grados de negatividad. La mayor presencia de vegetación se observó en las áreas de muestreo CM y CB-1 (cuenca media y baja, respectivamente), principalmente en sectores cercanos al curso principal del arroyo y a cuerpos de agua.

Palabras claves: SPEI, Cuenca Hidrográfica, NDVI, Vertiente Norte del Sistema de Ventania.

ABSTRACT

Droughts are climatic events that affect various areas worldwide, generating economic and social impacts. In the Pampas region these events are significant due to their effects on agriculture and livestock. The objective of this work was to identify the droughts in the Cura Malal Grande basin in the period 2001-20 and the behavior of the vegetation during the drought event of 2018. The Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index (SPEI) and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were used. High correlation was found between NDVI and SPEI at a 3-month scale, indicating that the temporal scale better represents variations in vegetation. For the analysis of NDVI data, five representative samples from three sectors of the basin (upper, middle and lower) were selected. It was found that the 2018 drought event showed significant impacts on the vegetation of the basin. Index anomalies are exclusively negative with varying degrees of negativity. A greatest presence of vegetation was observed in the CM and CB-1 sampling areas (middle and lower basin, respectively), mainly in sectors close to the main course of the stream and bodies of water.

Keywords: SPEI, Basin, NDVI, Northeastern Slope of the Ventania System.

INTRODUCCIÓN

Las sequías son eventos climáticos que afectan diversas áreas geográficas a nivel mundial. Representan un peligro significativo debido a sus impactos directos e indirectos en la seguridad alimentaria, el suministro de agua, la salud de los ecosistemas y la estabilidad socioeconómica a nivel mundial (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023; Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres [UNDRR], 2019). Existe una creciente preocupación acerca de la probabilidad de que la frecuencia y la magnitud de las sequías se alteren en todo el planeta debido a la variabilidad climática y al cambio climático.

Los impactos de la sequía pueden variar, según dónde y cuándo ocurran, y el enfoque que se adopte para responder a ellos (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2019). A su vez, dichos impactos se incrementan si el ambiente afectado ya ha sido deteriorado por las actividades humanas, especialmente la deforestación y la degradación de la tierra (FAO, 2019). Entre las principales consecuencias conocidas de las sequías se destaca el impacto profundo en la vegetación, afectando su crecimiento, desarrollo y distribución espacial. En el sureste de América del Sur, el riesgo de sequía es mayor en las regiones agrícolas y ganaderas intensivas, ya que debido a éstas se produce la disminución sustancial del rendimiento de cultivos (IPCC, 2023).

Hay mucha experiencia en el estudio de las sequías y de las consecuencias que produce a nivel ambiental y social. Particularmente en el ámbito de la evaluación de sequías y su enfoque en la vegetación, es importante destacar que existen múltiples índices disponibles que permiten cuantificar y analizar estos eventos. Estos índices se pueden dividir en dos categorías principales: los índices espectrales y los índices climáticos. Ambas categorías desempeñan un papel crucial en la identificación y análisis de diferentes tipos de sequía, proporcionando herramientas poderosas y flexibles para comprender estos fenómenos y sus impactos (Paredes et al., 2022; Soto et al., 2020).

La teledetección, especialmente a través del uso de imágenes satelitales, ha demostrado ser una herramienta valiosa para monitorear y estudiar los efectos de las sequías en la vegetación a escala global. Mediante el análisis de imágenes satelitales y la aplicación de índices de vegetación, como el Índice

de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el Índice de Vegetación Mejorado (EVI), el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) y el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI), se puede obtener información precisa y detallada sobre el estado de la vegetación y su respuesta a las sequías (Aksoy y Sertel, 2021; Lara y Gandini, 2016).

Dentro de los índices espectrales, se puede observar una asociación entre la tendencia de los mismos a lo largo del tiempo y los eventos climáticos vinculados a los excesos o los déficits de agua (inundaciones, anegamientos o sequías). Entre los índices climáticos más utilizados se encuentran el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) y el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI). El SPI, desarrollado por McKee et al. (1993), es un índice versátil y potente que se utiliza para cuantificar el déficit o exceso de precipitación en diferentes escalas de tiempo o períodos promedio. El índice SPEI, por su parte, es una variación del SPI creada por Vicente-Serrano et al. (2010). A diferencia del SPI, el SPEI incorpora el efecto de la evapotranspiración en las condiciones de sequía, por lo que es más apropiado para evaluar sequías agrícolas. Múltiples autores los utilizan para la identificación y caracterización de las sequías (Brendel et al., 2017; Campos-Aranda, 2018; Peña-Gallardo et al., 2016; Sainz de la Maza y del Jesús, 2020; Scordo et al., 2018; Shi et al., 2023; Singh y Shukla, 2020; Soto et al., 2020; Zhao et al., 2022). Por otra parte, diversos autores analizan la influencia y los efectos que las sequías provocan en la vegetación. Vega-Jácome (2019) en los Andes Peruanos, Menteşe y Akbulut (2023) en los distritos centrales de Bilecik y de Bozüyük (Turquía) y Nejadrekabi et al. (2022) en Khuzestan (Irán), evaluaron la correlación entre la serie de SPEI/SPI y la serie de NDVI a diferentes escalas temporales.

En Argentina, Rodríguez et al. (2021) realizó un análisis para la provincia de Río Negro con el objetivo de estudiar la situación de sequía a partir del SPI y el NDVI para el período 2010-2020. Cogliati (2019) realizó una estimación sobre el estado y grado de cobertura de la vegetación en el norte neuquino a partir de índices de vegetación (NDVI y EVI) e información de sensores remotos. Klimisch et al. (2022), en la Estepa Magallánica Seca (Santa Cruz), relacionaron índices de sequía generados con datos de estaciones meteorológicas e índices de sensores remotos. Lara y Gandini (2016) describieron la evolución fenológica de las principales coberturas vegetales en la Pampa Deprimida utilizando series

temporales de NDVI. Brendel (2021) estudió, mediante SPEI y NDVI, los efectos de la variabilidad climática sobre la vegetación en la cuenca del río Sauce Grande (Buenos Aires).

La región pampeana cuenta con condiciones muy favorables para el cultivo de cereales y oleaginosas, lo que propicia su desarrollo en la zona. Particularmente, la provincia de Buenos Aires es el epicentro de la producción agroganadera del país y una de las principales proveedoras de materias primas a nivel internacional. Los partidos de Saavedra, Coronel Suárez y Guaminí, por donde se desarrolla la cuenca del arroyo Cura Malal Grande, forman parte de esas estadísticas, ya que la agricultura y la ganadería son sus principales actividades económicas. Estas actividades se ven recurrentemente afectadas por extremos de disponibilidad hídrica que se producen en el área, como las sequías (Gentili, 2012; Ortuño Cano et al., 2022; Ortuño Cano y Gentili, 2023), producto de la variabilidad climática existente en la región (Casado y Campo, 2019; Ferrelli et al. 2021). Por este motivo, el objetivo de este trabajo fue: identificar las sequías en la cuenca del arroyo Cura Malal Grande (CMG) en el período 2001-20 y el comportamiento de la vegetación durante el evento de sequía del año 2018. En el período de estudio, los dos eventos de mayor intensidad y duración que afectaron a la cuenca fueron los ocurridos en 2008-09 y 2018 (Ortuño Cano y Gentili, 2023). Si bien el primero fue ampliamente estudiado, el último y más reciente no ha sido abordado para la cuenca del CMG. La evaluación de los impactos de las sequías sobre la vegetación en el área de estudio es un reto, debido al grado de antropización de la cuenca y a la escasa predominancia de vegetación natural. La comprensión de los efectos de las sequías en la vegetación es fundamental para evaluar y gestionar los riesgos asociados a estos eventos extremos. Desde la perspectiva de la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH) es importante abordar la interacción crítica entre los eventos de sequía y la vegetación en una cuenca hidrográfica específica. La GIRH se basa en el principio de que una gestión efectiva de los recursos hídricos debe considerar no solo aspectos hidrológicos, sino también los vínculos intrincados con los sistemas biológicos y socioeconómicos (Braz et al., 2020; Programa Mundial de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO] de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2019). Las cuencas hidrográficas son las unidades territoriales óptimas para la planificación y gestión

de los recursos hídricos, ya que integran tanto las fuentes de agua como los sistemas terrestres circundantes (Martínez Valdés y Villalejo García, 2018; Núñez, 2011; Sheng, 1992).

METODOLOGÍA

Área de estudio

La cuenca del arroyo Cura Malal Grande (CMG) se encuentra ubicada en la vertiente norte del Sistema de Ventania, al suroeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Se extiende sobre sectores de los partidos de Saavedra, Coronel Suárez (mayormente) y Guaminí, donde el arroyo desemboca en la Laguna Alsina (Figura 1). El área de la cuenca es de 722 km². La cuenca baja (CB) representa la mayor superficie, seguida por la cuenca media (CM) y la cuenca alta (CA) (564 km², 123 km² y 36 km², respectivamente). En relación con el relieve del área, las alturas y pendientes disminuyen de manera notoria entre la cuenca alta (1015 a 350 m s. n. m., con pendientes entre 15 ° y 72 °) y la cuenca baja (250 a 100 m s. n. m., con pendientes inferiores a 1° en casi su totalidad) (Ortuño Cano y Gentili, 2022).

En relación con la variable climática, el área se ve influenciada por la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones que caracteriza al suroeste bonaerense (Casado y Campo, 2019). En la Figura 2 se puede observar la alternancia en las precipitaciones anuales en la región y la media (748 mm), para el período 2001-20 para la estación Coronel Suárez correspondiente al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), representativa para el área de la cuenca.

Los años 2013, 2018 y 2019 son los que registran las menores precipitaciones, siendo el primero el año con menor registro (525 mm). Los años 2012, 2014 y 2017 presentan los máximos de lluvias del período (1073 mm, 1141 mm y 924 mm, respectivamente) (Figura 2). En la región de la vertiente norte, se identificaron para el período 2001-2020 importantes inundaciones, anegamientos y sequías, que evidencian la problemática derivada de la ocurrencia de extremos en la disponibilidad hídrica en la región (Gentili, 2012; Ortuño Cano et al., 2019).

La vegetación natural en el área de estudio corresponde según Cabrera (1951) al distrito Pampeano Austral (provincia fitogeográfica Pampeana), donde la estepa de gramíneas es la

vegetación clímax, y se caracteriza por las extensas planicies herbáceas y la casi total ausencia de árboles y arbustos. Sin embargo, en el área, la vegetación original se encuentra reducida debido a la alteración generada principalmente por la explotación agrícola y ganadera. En la cuenca alta dominan suelos someros de la zona serrana (roca aflorante y consolidada), y en el valle interserrano existen sectores clasificados dentro del grupo hapludoles en pendiente, énticos y líticos con permeabilidad promedio alta. En cuenca media y baja predominan mayormente los argiudoles, con permeabilidad variable, entre media y baja, según la zona (piedemonte o llanura). En las vías de escurrimiento del arroyo predominan los natracuoles, y en zonas de planicies anegables los natracualfes,

principalmente en cuenca baja, que presentan problemas de drenaje y productividad baja (Pereyra et al., 2001). Los sistemas productivos predominantes en la cuenca alta son agrícola-ganadero, donde el trigo, la avena y la cebada cervecera son los principales cultivos de invierno en este sistema serrano, mientras que en verano predominan el girasol y el sorgo forrajero (Marini, 2015). En líneas generales, sobre la cuenca media y cuenca baja, por un lado, los cultivos presentan mayor diversidad, destacándose el trigo, el girasol, el maíz, la soja, la cebada cervecera, la avena, el centeno y el alpiste; y con respecto a la ganadería, está representada por la actividad bovina de ciclo completo, y en menor medida por la de cría (Marini, 2015; Marini y Santamaría, 2019; Ministerio de Desarrollo Agrario, 2023).

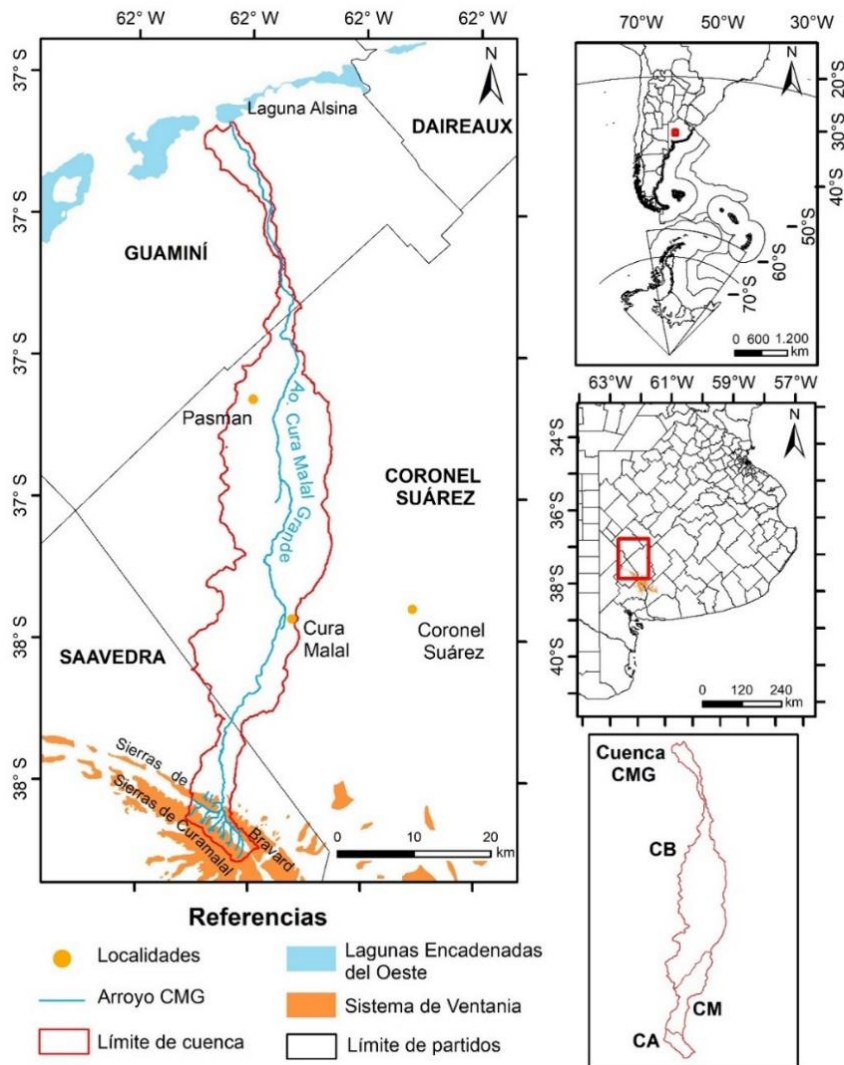


Figura 1. Área de estudio.

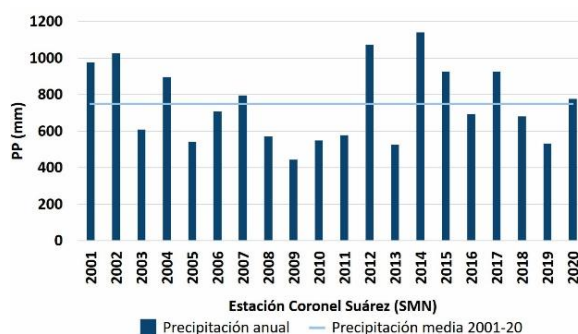


Figura 2. Precipitación anual y media para la estación Coronel Suárez (SMN) en el período 2001-20.

Materiales y métodos

Para describir el comportamiento de la vegetación durante el período 2001-20, se obtuvieron los datos de NDVI y EVI para diferentes sectores de la cuenca del arroyo CMG a través del Sistema de Análisis Temporal de la Vegetación (SATVeg) (Embrapa Agricultura Digital, s.f.). Las series históricas de ambos índices derivan de imágenes del sensor MODIS (satélites Terra y Aqua) en composiciones máximas de 16 días, con una resolución espacial de 250 m. El cálculo de NDVI surge del cociente entre la reflectancia del rojo (RED) y el infrarrojo cercano (NIR), presentado en la ecuación (1):

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{NIR + RED} \quad (1)$$

Los valores del índice oscilan entre -1 y 1, donde los negativos se encuentran relacionados con cuerpos de agua, los valores positivos más bajos (cerca de 0) corresponden a vegetación de baja cobertura, suelo descubierto o rocas, y los valores positivos altos (cerca de 1) representan alto contenido de biomasa fotosintética (Huang et al., 2021; Rouse et al., 1974). El EVI también proporciona datos sobre los cambios espaciales y temporales en la vegetación. Este índice se calcula de manera similar al NDVI, pero en su cálculo incluye la banda del azul, coeficientes que corrigen la dispersión atmosférica y un factor de corrección para minimizar la influencia de la cobertura del suelo (Liu y Huete, 1995).

Para el análisis de los datos de NDVI y EVI fueron seleccionadas 5 áreas de muestreo. Estos sitios fueron elegidos en representación de cada uno de los sectores de la cuenca y siguiendo la clasificación de unidades geomórficas de Pereyra et al. (2001). En la cuenca alta y media se analizaron una muestra en cada caso, y sobre la cuenca baja se determinaron 3

sectores, debido a su gran extensión. En la definición de las áreas se priorizó, en los casos que fue posible, que éstas cubran superficies similares (alrededor de 2500-2700 ha) (Figura 3).

A partir de esta información, se realizó en primer lugar la correlación entre NDVI y EVI para cada sector de la cuenca. Para todos los datos mensuales del período considerado, se observó que existe una correlación alta entre ambos (CA, $r = 0.94$; CM, $r = 0.94$; CB-1, $r = 0.96$; CB-2, $r = 0.93$; CB-3, $r = 0.89$). Debido a este resultado preliminar se decidió trabajar sólo con NDVI, que además es el índice más ampliamente utilizado en la bibliografía.

Para identificar y caracterizar la intensidad y duración de los eventos secos se utilizó el índice SPEI. La serie de datos para el período 2001-20 fue obtenida del modelo global SPEI Global Drought Monitor (Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España [CSIC], s.f.) con una resolución espacial de 0.5° de longitud y latitud para el área de la cuenca del arroyo CMG. Se utilizó la categorización propuesta por Vicente-Serrano et al. (2010), donde los valores iguales o inferiores a -1 indican períodos secos y se clasifican en: “extremadamente secos” (inferiores a -2), “muy secos” (entre -1.99 y -1.5) y “moderadamente secos” (entre -1.49 y -1).

Se llevó a cabo un análisis de correlación de Pearson entre el índice SPEI a diferentes escalas temporales (1, 2, 3, 6, 9 y 12 meses) y el NDVI, con la finalidad de identificar cuál escala representa mejor las variaciones y comportamiento de la vegetación en el área, y en cada uno de los sectores de la cuenca. El NDVI, si bien presentó correlación positiva en todas las escalas temporales del SPEI, la respuesta más significativa fue la escala de 3 meses, que coincide con el tiempo considerado para el estudio básico de la caracterización de sequías relacionadas al contenido de agua en el suelo, las condiciones climáticas regionales, la composición de la comunidad vegetal y las etapas de crecimiento (Aksoy y Sertel, 2021; García-Haro et al., 2014; Vega-Jácome, 2019; Vicente-Serrano et al., 2010). Para evaluar la influencia de las sequías en la vegetación, se evaluó el coeficiente de correlación de Pearson (r) entre la serie de SPEI a escala de 3 meses y las series de NDVI para cada mes del año, mediante el software RStudio.

Por otra parte, se analizó la sequía del año 2018, evento significativo por su intensidad y duración, y no

estudiado para la cuenca. Para dicho análisis, se tuvieron en cuenta informes de alcance nacional y regional realizados por diferentes instituciones (SMN, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], Ministerio de Agroindustria y Sistema de Información sobre Sequías para el Sur de Sudamérica [SISSA]) sobre el evento, junto a las estimaciones agrícolas de la Dirección Nacional de Agricultura del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Por otra parte, se analizaron los datos de registros pluviométricos representativos y disponibles para cada uno de los sectores de la cuenca (alta, media y baja). Se utilizaron, para la cuenca alta, datos de la estancia “El Parque”; para la cuenca media, datos de la estación “Cura Malal” perteneciente a la Red de Estaciones Meteorológicas de la Bolsa de Cereales y Productos de Bahía Blanca; y sobre el sector bajo,

datos de la Estación Experimental Coronel Suárez (Ministerio de Desarrollo Agrario) de la localidad de Pasman (Figura 3). Sobre dichos datos, se aplicaron técnicas de estadística descriptivas, y se analizaron las anomalías de precipitación durante los meses de ocurrencia del evento.

Se utilizaron técnicas de teledetección para identificar afectaciones en la vegetación de la cuenca y en las muestras seleccionadas durante febrero de 2018. El mes de febrero de 2018 fue el más intenso de dicho evento (Figura 5b), y al mismo tiempo, este mes es uno de los que presentan mayor vigorosidad de la vegetación en la región (Figura 4c). De esta manera, para conocer el estado de la vegetación, se aplicó el NDVI a la cuenca en su conjunto y a las muestras objeto de estudio.

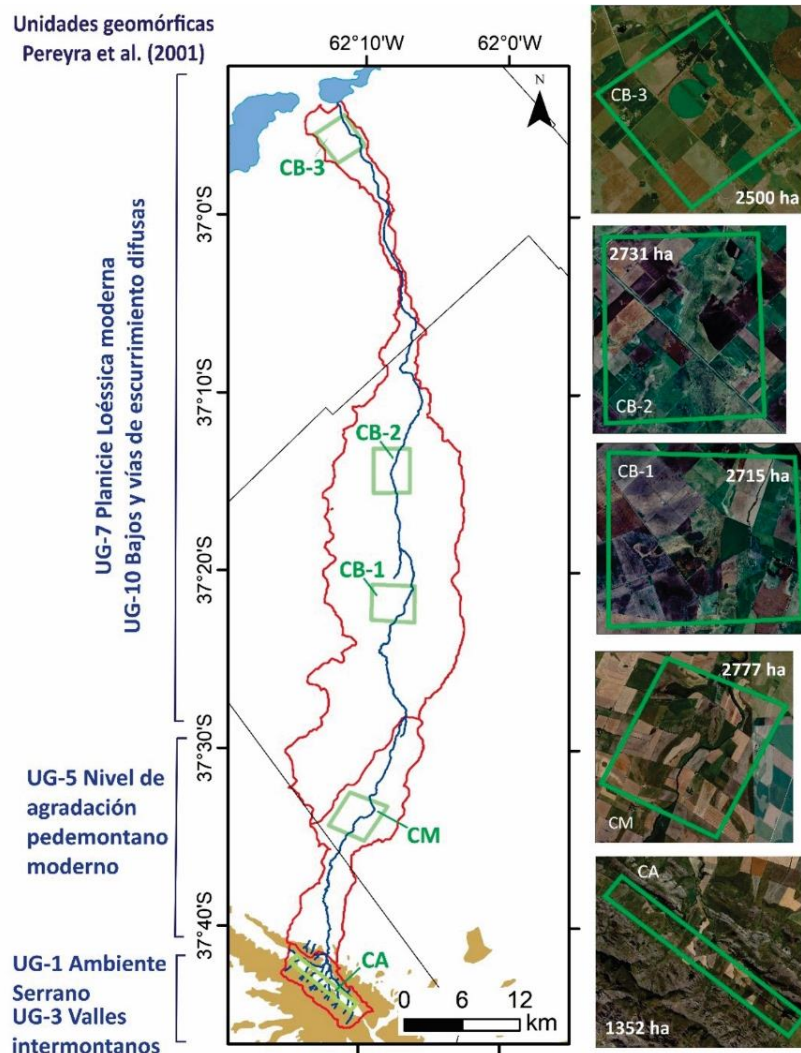


Figura 3. Localización de sectores de muestreo de NDVI y EVI.

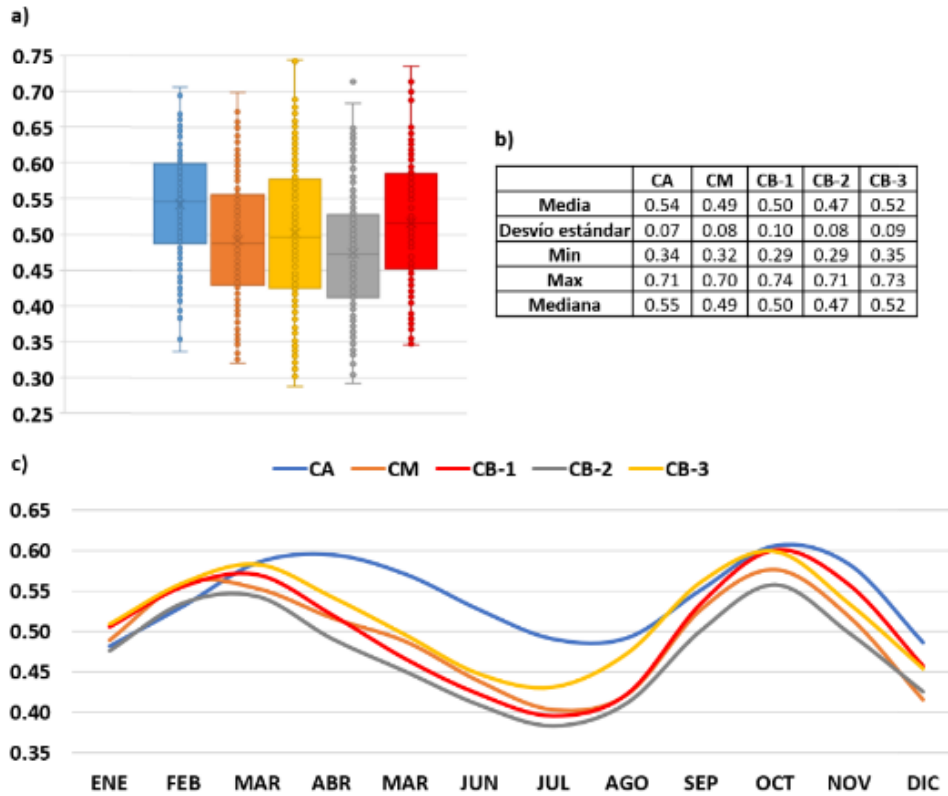


Figura 4. Boxplot (a), estadísticos de centralidad y dispersión (b) y valores medios mensuales (c) de NDVI de los sectores de cuenca (2001-20).

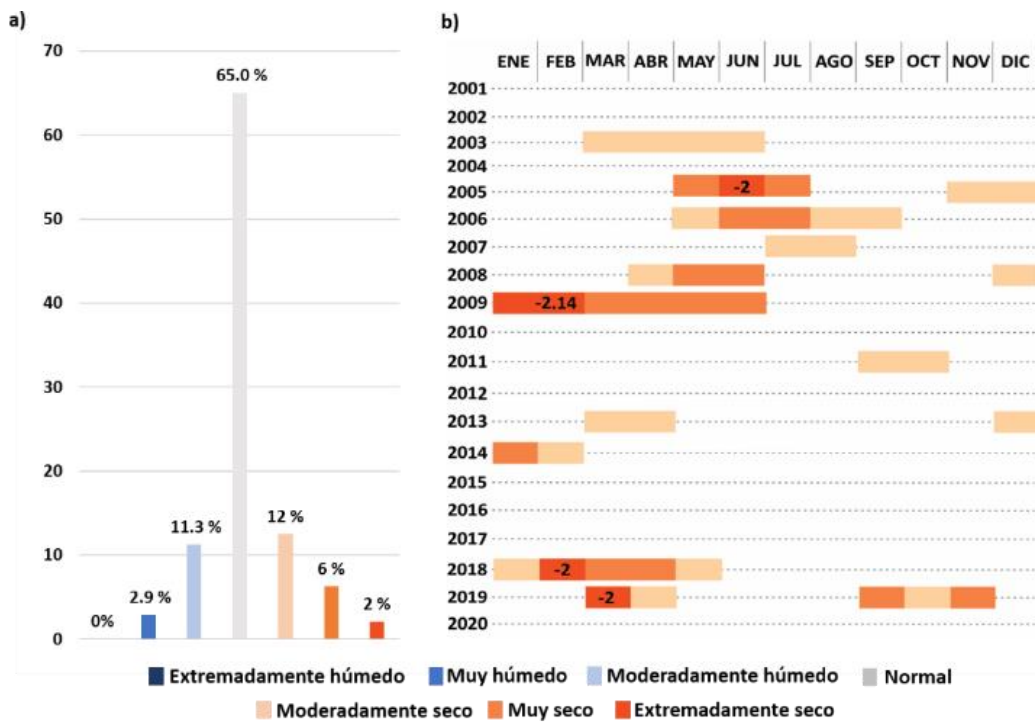


Figura 5. Porcentaje de categorías de SPEI a escala de 3 meses (a) y duración e intensidad de eventos secos (b) para la cuenca del arroyo CMG.

Al mismo tiempo, a fin de establecer comparaciones del estado de la vegetación durante el evento de sequía y el comportamiento medio de ésta, se realizó el promedio del NDVI para el período 2014-24 (período que corresponde a la disponibilidad de datos y a la consideración de años húmedos y secos de acuerdo a la variabilidad climática de la región). Para esto, se seleccionaron imágenes con corrección de reflectancia a nivel de superficie y calibradas, mediante la plataforma EO Browser (Sentinel HUB, s.f.), con cobertura nubosa que no superó el 25%, Landsat 8-9 y Sentinel-2, todas con una resolución espacial de 30 m y una resolución temporal de 16 días. Con la imagen de febrero de 2018 y el promedio de NDVI del período 2014-24, se establecieron las anomalías de NDVI para el año 2018.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

NDVI según sectores de la cuenca del arroyo CMG para el período 2001-20

Considerando la serie de valores de NDVI para el período 2001-20, en la Figura 4 se puede observar la estadística descriptiva obtenida del análisis de los datos. La distribución de los datos en todos los casos es simétrica, y presentan en general la misma dispersión. La dispersión es ligeramente menor en la cuenca alta y mayor en la cuenca baja, unidad de la planicie (Figura 4a). De los sectores de la cuenca, la cuenca alta es la que presenta los valores más altos de NDVI en promedio (0.54), seguida de la cuenca baja en cercanías de la desembocadura del arroyo (CB-3, 0.52), mientras que el valor promedio más bajo se da en la cuenca baja, sector de llanura (CB-1, 0.47). Con respecto a los valores máximos, en todos los sectores de la cuenca se dieron en primavera y otoño, mientras que los mínimos se dieron en verano e invierno (Figura 4b).

El comportamiento medio mensual del período es similar entre la cuenca media y la cuenca baja (en los tres sectores), y es en la cuenca alta donde se presenta un comportamiento diferenciado que puede deberse a la mayor presencia de vegetación natural (Figura 4c). En el caso de la cuenca alta, el máximo valor promedio de NDVI se alcanza en el mes de abril (0.60), mientras que el mínimo promedio corresponde al mes de enero (0.48). En los restantes sectores de la cuenca, hay coincidencia con los meses de máximo valor (por un lado, octubre, y por otro, febrero y marzo), y esto concuerda con los meses de máximo crecimiento y vigorosidad de los

cultivos de invierno y verano, respectivamente. Los valores mínimos, por otra parte, corresponden en primer lugar a julio, y en segundo lugar a diciembre (Figura 4c). Dichos meses corresponden al invierno, y coinciden con la siembra de invierno, donde los cultivos presentan escaso crecimiento por estar recién sembrados, mientras que, en el verano, los valores de NDVI son bajos debido a que en esta época se realiza la cosecha de los mismos.

Sequías identificadas a partir de SPEI de 3 meses

Para el período 2001-20 se identificaron diferentes eventos húmedos y secos. Se registraron 13 eventos secos (20% del total), cuya duración fue de dos o más meses de duración y de diferentes categorías de intensidad (Figura 5a). De ellos, el mayor número de eventos corresponden a la categoría “moderadamente secos”, seguida de la categoría “muy seco”, y en menor proporción, la de “extremadamente secos” (Figura 5a). En la Figura 5b, se observa la importancia de la sucesión de eventos abril-junio de 2008, y diciembre del mismo año a junio del 2009. Este último evento corresponde al más extenso de la serie de datos con el valor más extremo de SPEI (-2.14, categoría “extremadamente seco”). Más recientes en el tiempo, se destacan los eventos de 2018 y 2019, también de categoría “extremadamente secos”, siendo el primero de ellos el más duradero en el tiempo (Figura 5b) (Ortuño Cano y Gentili, 2023).

Evento de sequía del año 2018 en la cuenca del arroyo CMG

Según los resultados del SPEI a escala de 3 meses, durante el año 2018 se desarrolló un evento de sequía que se extendió desde enero a mayo, registrando mensualmente diferentes categorías de intensidad. El mes de febrero corresponde a la máxima intensidad del evento, con un SPEI de -2; marzo y abril tuvieron condiciones de “muy seco”, con valores de -1.67 y -1.7, respectivamente (Figura 5b).

En informes técnicos de organismos nacionales se referencia este evento seco en el territorio argentino, en la región pampeana y la provincia de Buenos Aires en particular, como muy importante en términos de afectación (SMN, 2018a; SMN, 2018b). Lo determinan temporalmente entre fines de 2017 y principios de 2018. Dichos análisis muestran cómo el déficit de precipitaciones abrupto y persistente alcanzó su pico máximo durante febrero y marzo, meses normalmente muy lluviosos dentro de la

región analizada. De acuerdo al SMN (2018a; 2018b), este cambio se asocia en parte a la influencia del establecimiento de una fase fría (La Niña) del fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS), así como también a otros eventos climáticos, como la Oscilación Antártica (AO), la cual se mantuvo en su fase positiva durante todo el verano provocando la ocurrencia de altas temperaturas, bajos valores de humedad, estabilidad atmosférica y ausencia de lluvias, y a la Oscilación de Madden-Julian, perturbación en la atmosfera tropical en los meses de enero y febrero, que indujo un ambiente desfavorable para el desarrollo de precipitaciones en el Litoral y el centro-este del país (Bert et al., 2021; SMN, 2018a; SMN, 2018b).

Con respecto a la precipitación en la cuenca del arroyo CMG para esta fecha, en la Figura 6 se puede observar el registro mensual de los años 2017 y 2018, donde se identificó el período seco. En los tres sectores de la cuenca se evidencia el descenso de las precipitaciones desde octubre de 2017 al mes de marzo de 2018. Durante esos 6 meses, en las estaciones se registraron precipitaciones mensuales por debajo de la media, a excepción del mes de noviembre de 2017 en el sector de CA, donde la precipitación es ligeramente superior a la media. En el mes de febrero de 2018, se registraron 68 mm, 56

mm y 40 mm en CA, CM y CB, respectivamente. En los tres casos el registro se encuentra por debajo de la media de precipitación para ese mes en el período estudiado. La cuenca alta es la que presentó la menor diferencia entre el mes analizado y la media para el período 2001-20. Esto mismo sucede con las anomalías de precipitación (Figura 6b), en donde la CB es la que presenta la anomalía más importante en relación a los otros sectores de la cuenca.

La disponibilidad de agua es un factor que condiciona el desarrollo de los cultivos. Sin embargo, son múltiples los factores que actúan como limitantes del crecimiento de los cultivos y de la vegetación en general. Andrade et al. (2017) menciona entre ellos las temperaturas extremas, las sales, los excesos de agua por inundación, la deficiencia de nutrientes, las adversidades bióticas, la toxicidad de aluminio, entre otros. En el área, no solo la falta de lluvias pudo afectar la producción, los rendimientos económicos y la vegetación en general, también se identificaron dos olas de calor ocurridas en el período estudiado: la primera sobre fines de enero de 2018, con una duración de 3 días, y la segunda, de 5 días de duración, a principios de febrero del mismo año, de 36.5° de temperatura máxima absoluta y 20° de mínima (Ministerio de Agroindustria, 2018a; SMN, 2018a).

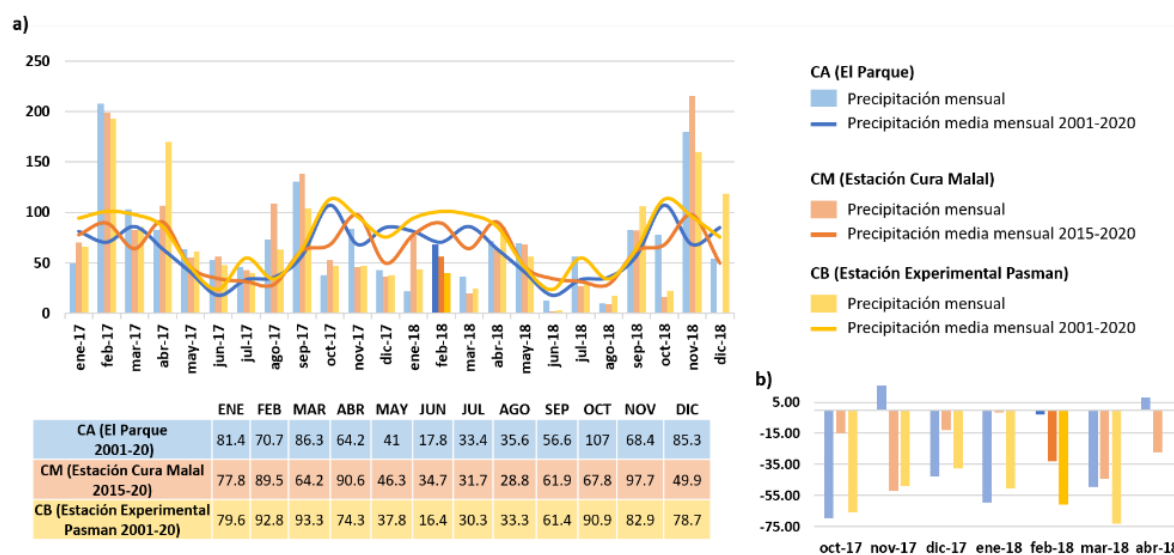


Figura 6. Precipitación mensual, media mensual 2017-18 (a) y anomalías de precipitación (b) en los sectores de la cuenca del arroyo CMG (CA, CM, CB).

Para la Región Pampeana, Lema et al. (2018) analizaron, mediante modelos de simulación, la variabilidad en los resultados económicos en los cultivos de maíz y soja afectados por este evento de

sequía. Por su parte, la Bolsa de Cereales de Buenos Aires (2018a; 2018b) realizó estimaciones acerca de la reducción en términos económicos y en la producción de granos, como consecuencia de la

sequía en la región. Dichos informes concluyeron, en junio de 2018, que se perdieron en total 27 millones de toneladas de granos gruesos, lo que significa la reducción de 5895 millones de dólares en las contribuciones del sector al Producto Bruto Interno (PBI) (Bolsa de Cereales de Buenos Aires, 2018b).

Las estimaciones agropecuarias aportadas por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2024) para Coronel Suárez (Figura 7) muestran que la campaña 2017/18 presentó menores rendimientos en todos los cultivos en comparación con el resto de las campañas de la serie de datos,

principalmente en el cultivo de soja. Bert et al. (2021) realizaron un análisis de las pérdidas económicas que se produjeron en el ámbito de la agricultura, producto de esta sequía en un sector de la provincia de Buenos Aires. Dichas afirmaciones coinciden con la declaración de Estado de Emergencia o de Desastre Agropecuario, como medida de gestión, para diferentes regiones de la provincia de Buenos Aires en las que se incluyen los partidos de la cuenca del arroyo CMG, debido a las graves consecuencias que sufrió el sector agropecuario producto de la sequía (Ministerio de Agroindustria, 2018b; Ortuño Cano et al., 2022).

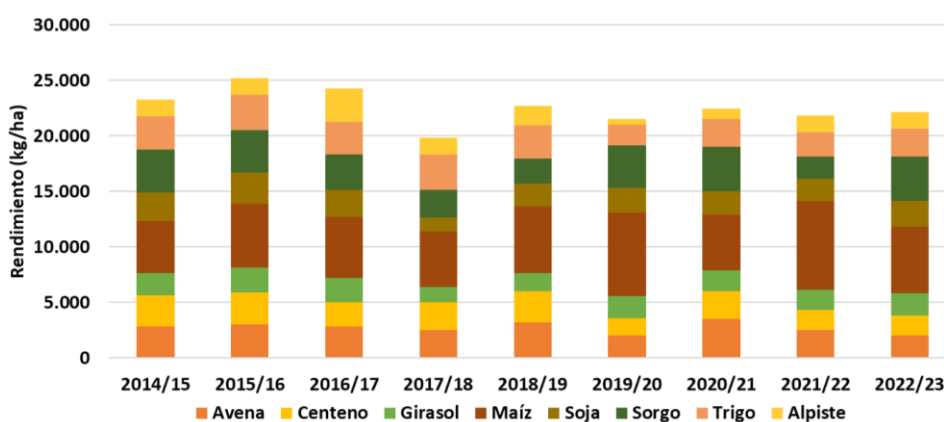


Figura 7. Rendimiento de los principales cultivos en el período de estudio (elaborado a partir de las estimaciones agrícolas del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2024).

De esta manera, es claro que, para contrarrestar esta situación, no es el manejo del agua la única variable a considerar. Sin embargo, para reducir los efectos de las sequías se requiere mejorar la eficiencia del riego (Gleick, 2003). En la provincia de Buenos Aires, en el período 2000-15, la superficie bajo riego aumentó en más del 18% debido a la incorporación por parte de los productores de sistemas de riego mecanizado (aspersión y pivote central), principalmente para el cultivo de trigo, soja, maíz, entre otros (Riera, 2020). En el suroeste de la provincia, el sistema de riego complementario por aspersión es el más común, siendo el equipo automatizado de pívot central el más empleado (Marini, 2015). En particular en el partido de Coronel Suárez, según Marini (2021), el total del área de cultivos regada con riego de pívot central ascendió a 8605 ha para el año 2021.

A partir del análisis de las imágenes satelitales del mes de febrero de los años 2014-24, se obtuvo el promedio de NDVI para ese período (Figura 8a), y se elaboró el mapa de anomalías de NDVI para el caso de febrero de 2018 (Figura 8c). Como se observa en la Figura 8c, las anomalías registradas

son exclusivamente negativas, con diferentes grados de negatividad. El 86% de la cuenca en su conjunto, está representada por anomalías negativas altas (614 km²). Las anomalías media y baja están presentes en un 10% y un 3%, respectivamente, y solo un 1.1% representa condiciones de normales.

El análisis de los valores particulares del NDVI para febrero del año 2018 (Figura 8b) permite observar que, en la cuenca en su conjunto, solo un 7.9% de la superficie de la misma presenta valores vinculados a la vegetación (mayores a 0.2), y un 11.3% está representado por suelo descubierto. El 80.9% restante corresponde a valores negativos, que indican agua, estructuras artificiales o rocas. Los valores máximos de NDVI en la cuenca en su conjunto se encuentran entre 0.5 y 0.6, y solo está representado en un 0.1%. Por lo tanto, la vegetación para este mes y año en particular es considerablemente baja, a pesar de que corresponde al mes donde los cultivos de verano deberían tener el mayor vigor y crecimiento (Paruelo et al., 2004). Estos resultados coinciden con la Figura 8c y los datos analizados por el SMN (2018a; 2018b), donde afirman que el vigor de la vegetación se vio

disminuido con respecto a la misma fecha (febrero) en años anteriores para la región pampeana (Figura 8a).

Si se analiza en función de los sectores de la cuenca, se observa que en los tres casos el porcentaje mayor

está representado por suelo descubierto, y no hay existencia de valores de NDVI mayores a 0.58 que indiquen mejor estado de la vegetación. La cuenca alta, media y baja presenta máximos de 0.22, 0.51 y 0.58, respectivamente.

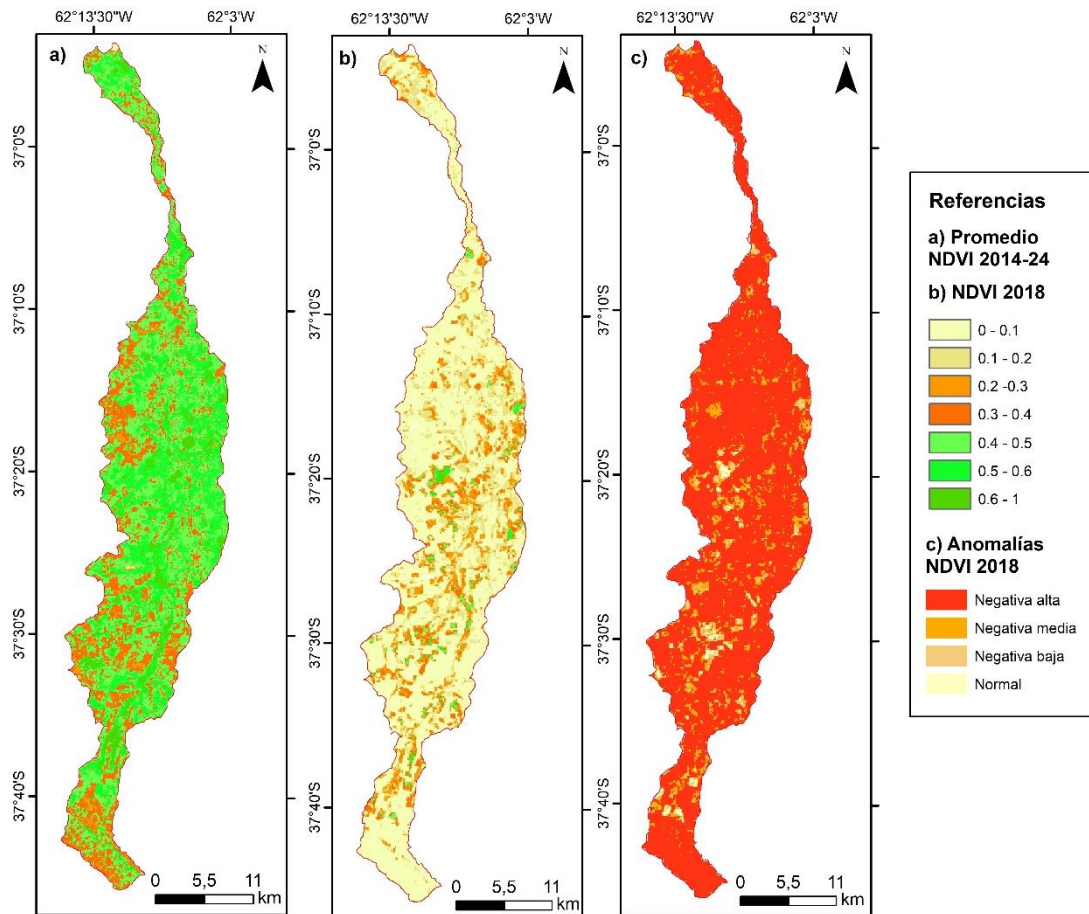


Figura 8. NDVI (febrero) para la cuenca del arroyo CMG: (a) Promedio 2014-24 (b) 2018 y (c) anomalías 2018.

En la Figura 9a se visualizan los promedios de NDVI en los meses de febrero del período 2014-24, en cada una de las muestras estudiadas. La media máxima de NDVI del período es 0.50, y corresponde a las muestras CB-1 y CB-3 (que coincide con la media calculada para el período 2001-20 [Figura 4b]). La media más baja del mes de febrero corresponde a la muestra CA, con 0.43 (pudiendo estar asociado a que en este sector de la cuenca los máximos de NDVI no corresponden al mes de febrero [Figura 4c]). Según este período, el valor máximo del índice en el mes de febrero corresponde a la muestra CM con 0.80, seguida de la CB-3 con 0.76. El valor de esta última es similar al valor máximo promedio de NDVI obtenido para el período 2001-20 (0.73) (Figura 4b). Los valores

promedio mínimos de los meses de febrero de todas las muestras son inferiores en todos los casos a los registrados para el período 2001-20 (Figura 4b).

En la Figura 9b se pueden observar los valores de NDVI en febrero de 2018 en cada una de las muestras analizadas. En todos los casos los valores entre 0 y 0.2 son los más representativos. Sobre la CA, un 0.3% corresponde a valores entre 0.2 y 0.3, y esos son los valores más altos de NDVI para el área. En este sector, las precipitaciones registradas para este mes, y meses previos, fueron superiores a los registrados en los otros sectores de cuenca (Figuras 6a y 6b). Sin embargo, la escasez de las precipitaciones y las anomalías negativas en los meses precedentes (diciembre y enero), así como las condiciones de

topografía, pendiente (Ortuño Cano y Gentili, 2022) y suelos del sector, pueden haber contribuido a reducir la efectividad de las mismas. Los valores vinculados a la presencia de vegetación se encuentran en mayor proporción en la muestra CM sobre la cuenca media, y CB-1 correspondiente al primer tramo de la cuenca baja. Ambas muestras son las únicas que presentan un pequeño porcentaje de la superficie total con valores entre 0.4 y 0.58 (0.9% en ambos casos). Estos valores

de NDVI más altos se ubican en cercanías al arroyo, para el caso de la muestra CM, y en cuerpos de agua para la muestra CB-1. Las muestras restantes en la cuenca baja (CB-2 y CB-3) presentan valores de NDVI bajos, y esto es concordante con las bajas precipitaciones ocurridas durante este mes y los previos sobre este sector, y por lo tanto, con las anomalías de precipitaciones ocurridas en ese mes (Figuras 6a y 6b).

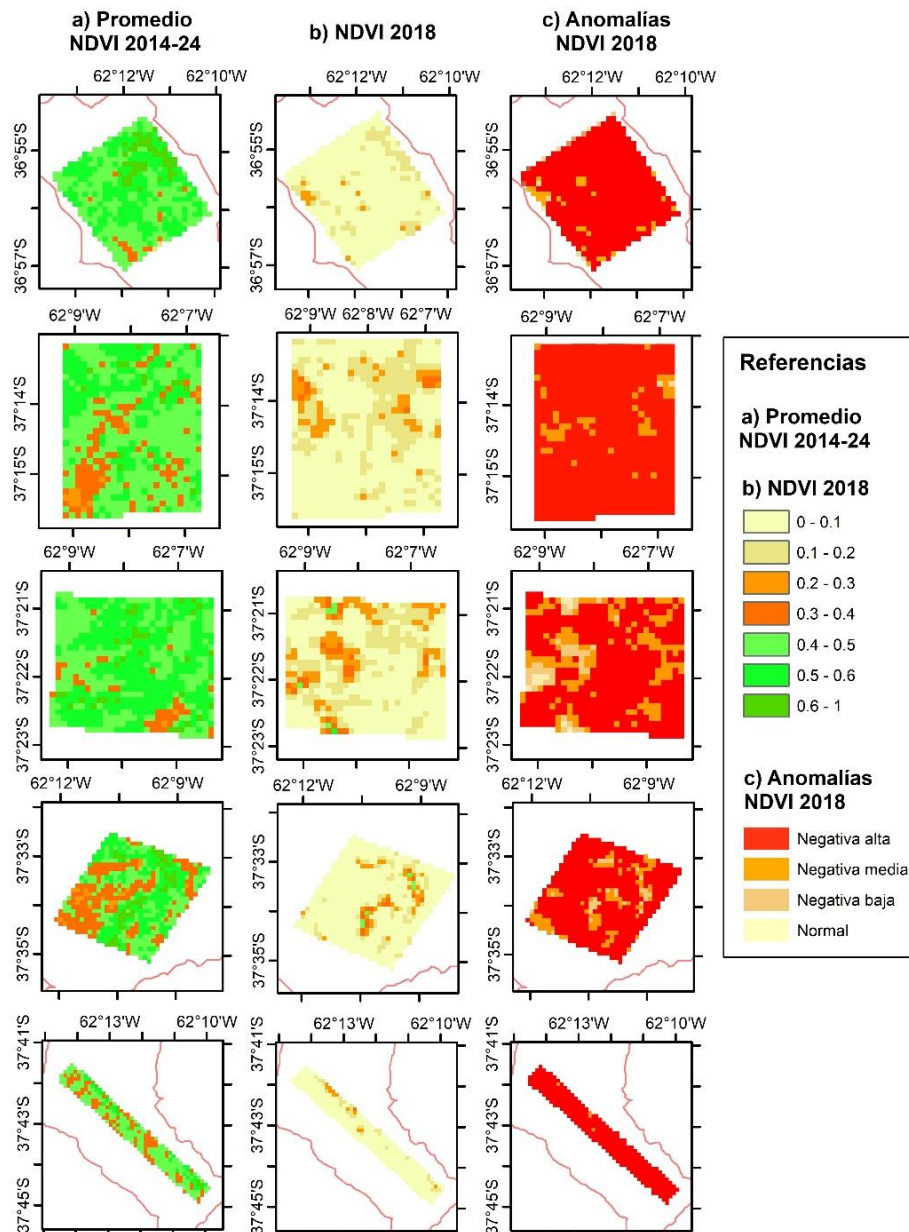


Figura 9. NDVI (febrero) para las muestras analizadas en cada sector de la cuenca del arroyo CMG: (a) Promedio 2014-24 (b) 2018 y (c) anomalías 2018.

El análisis del NDVI en cada muestra para el mes de febrero de 2018 se corresponde con las anomalías del índice identificadas en cada uno de los sectores estudiados (Figura 9c). La muestra CB-1 es la que presenta valores representativos en todas las categorías. Por otra parte, los cuatro sitios restantes presentan mayor representatividad en la categoría de anomalía negativa alta, y menor proporción de anomalías bajas. Por último, la CA presenta valores correspondientes a anomalías altas, y en menor proporción, medias.

CONCLUSIONES

El SPEI resulta de gran utilidad para la identificación de eventos extremos de disponibilidad hídrica, como las sequías, y para su caracterización. Por su parte, el NDVI es una herramienta esencial para el análisis de los efectos de la sequía en la vegetación, a través de la Teledetección y de los Sistemas de Información Geográfica. Este índice tiene la capacidad de detectar cambios en respuesta al estrés hídrico, y esto lo convierte en un componente clave para la toma de decisiones en la gestión agrícola y para la mitigación de los impactos de la sequía.

En este estudio, las correlaciones establecidas entre SPEI y NDVI permitieron analizar los efectos de la sequía en la vegetación. Al respecto, la cuenca del arroyo CMG en su conjunto presentó correlación positiva entre ambas variables con significancia estadística. En función del índice de NDVI, se pudo observar que la vegetación para el evento de sequía de febrero de 2018 fue considerablemente baja en todos los sectores de la cuenca, a pesar de que corresponde a uno de los meses en que los cultivos deberían tener el mayor vigor y crecimiento. Las anomalías del índice registradas en la cuenca en su conjunto, son exclusivamente negativas, con diferentes grados de negatividad. El 86% de la cuenca (614 km²) está representada por anomalías negativas altas. Las anomalías media y baja están presentes en un 10% y en un 3%, respectivamente, y solo un 1.1% representa condiciones de normales. En relación con las áreas de muestreo, en CM y CB-1 se registró mayor presencia de vegetación, principalmente en sectores ubicados en cercanías al arroyo y en cuerpos de agua, respectivamente. De esta manera, es posible inferir que estos efectos son producto del evento de sequía que transcurría en dicho momento, asociado a los registros pluviométricos en cada uno de los sectores de la cuenca, como lo manifestado en los informes

elaborados por diferentes organismos, y los rendimientos agropecuarios en la zona.

Estudiar las sequías y sus efectos a escala de cuenca hidrográfica, constituye un insumo para la generación de información aplicable al desarrollo de estrategias de adaptación y mitigación de las sequías y de los impactos (sociales, económicos y ambientales) que éstas generan. Medidas en esta línea, contribuyen no solo a una mayor resiliencia frente a estos eventos, sino también a lograr una gestión más efectiva, integral y sostenible de los recursos hídricos.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se desarrolló en el marco del PGI “Geografía Física Aplicada al estudio de la interacción sociedad-naturaleza. Problemáticas ambientales a diversas escalas témporo- espaciales” (24/G092) (SGCyT-UNS).

REFERENCIAS

- Aksoy, S. y Sertel, E. (2021). *Comparison of drought monitoring indices derived from MODIS and CHIRPS data using Google Earth Engine*. 9th Global Conference on Global Warming (GCGW-2021), Croacia. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Comparison+of+drought+monitoring+indices+derived+from+MODIS+and+CHIRPS+data+using+google+earth+engine&btnG=
- Andrade, F. H., Taboada, M. A., Lema, R. D., Maceira, N. O., Echeverría, H. E., Posse Beaulieu, G., y Mastrangelo, M. E. (2017). *Los desafíos de la agricultura argentina: satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental*. Ediciones INTA. https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Andrade%2C+F.+H.%2C+Taboada%2C+M.+A.%2C+Lema%2C+R.+D.%2C+Maceira%2C+N.+O.%2C+Echeverria%2C+H.+E.%2C+Posse+Beaulieu%2C+G.%2C+%26+Mastrangelo%2C+M.+E.+%282017%29.+Los+desaf%C3%ADos+de+la+agricultura+argentina%3A+satisfacer+las+futuras+demandas+y+reducir+el+impacto+ambiental.+Ediciones+INTA.+&btnG=
- Bert, F., de Estrada, M., Naumann, G., Negri, R., Podestá, G., Skansi, M. M., Spennemann, P. y Quesada, M. (2021). The 2017-18 drought in the Argentine Pampas – Impacts on Agriculture. *GAR*

- Special Report on Drought 2021* (Vol. 2). United Nations Office for Disaster Risk Reduction. https://www.preventionweb.net/files/78456_cs1.14_laplataargentinafinal20210215.pdf
- Bolsa de Cereales de Buenos Aires. (2018a). *Campaña 2017/18: evaluación del impacto económico de la sequía*. <http://bibliotecadigital.bolsadecereales.com.ar/greenstone/collect/bolcer/index/assoc/HASH018f/08963591.dir/Evaluacion%20impacto%20economico%20sequia.pdf>
- Bolsa de Cereales de Buenos Aires. (2018b). *Campaña 2017/18: evaluación del impacto económico de la sequía. Actualización*. <http://bibliotecadigital.bolsadecereales.com.ar/greenstone/collect/bolcer/index/assoc/HASH7d28.dir/Evaluacion%20Impacto%20economico%20sequia%20act.pdf>
- Braz, A. M., García, P. H. M., Pinto, A. L., Chávez, E. S. y Oliveira, I. J. de (2020). Manejo integrado de cuencas hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 29(1), pp. 69–85. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.76232>
- Brendel, A. S., Bohn, V. Y. y Piccolo, M. C. (2017). Variabilidad de la precipitación y su relación con los rendimientos agrícolas en una región semiárida de la llanura pampeana (Argentina). *Estudios Geográficos*, 78(282), pp. 7–29. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201701>
- Brendel, A. S. (2021). Impactos de la variabilidad climática en la vegetación de la cuenca del río Sauce Grande (Argentina). *Boletín Geográfico*, 43(2), 13–30. <http://hdl.handle.net/11336/158109>
- Cabrera, A. L. (1951). Territorios fitogeográficos de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 4(21-65).
- Campos-Aranda, D. F. (2018). Quantification with SPEI of historical droughts and under probable climatic change in the climatological station Zacatecas, Mexico. *Tecnología y ciencias del agua*, 9(2), pp. 210–233. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222018000200210&script=sci_arttext&lng=en#aff1
- Casado, A. y Campo, A. M. (2019). Extremos hidroclimáticos y recursos hídricos: estado de conocimiento en el suroeste bonaerense, Argentina. *Cuadernos Geográficos*, 58(1), 6–26. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i1.6751>
- Cogliati, M. (2019). *Distribución de la vegetación en el norte de Neuquén utilizando NDVI y EVI*. X Congreso Argentino de Tecnología Espacial, Buenos Aires, Argentina. https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Cogliati%2C+M.+%282019%29.+Distribuci%C3%B3n+de+la+vegetaci%C3%B3n+en+el+norte+de+Neuqu%C3%A9n+utilizando+NDVI+y+EVI.+X+Congreso+Argentino+de+Tecnolog%C3%ADa+Espacial%2C+10%E2%80%9312.&btnG=
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas (s.f.). *SPEI Global Drought Monitor*. <http://sac.csic.es/spei/home.html>
- Embrapa Agricultura Digital (s.f.). *SATVeg - Sistema de Análise Temporal da Vegetação*. <https://www.satveg.cnptia.embrapa.br>
- Ferrelli, F., Brendel, A. S., Piccolo, M. C. y Perillo, G. E. (2021). Evaluación de eventos secos y húmedos en el contexto del cambio climático: El caso del sur de la Región Pampeana (Argentina). *Papeles de Geografía*, 66, pp. 27–46. <https://doi.org/10.6018/geografia.431671> (trabajo original publicado el 17 de septiembre de 2020).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019). *Proactive approaches to drought preparedness. Where are we now and where do we go from here?* <http://www.fao.org/3/ca5794en/ca5794en.pdf>
- García-Haro, F. J., Campos-Taberner, M., Sabater, N., Belda, F., Moreno, A., Gilabert, M. A., Martínez, B., Pérez-Hoyos, A. y Meliá, J. (2014). Vulnerabilidad de la vegetación a la sequía en España. *Revista de Teledetección*, (42), 29–37. <https://doi.org/10.4995/raet.2014.2283>
- Gentili, J. O. (2012). *Hidrografía del arroyo Sauce Corto aplicada al estudio de inundaciones y anegamientos*. [Tesis de doctorado]. Universidad Nacional del Sur. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/494>
- Gleick, P. H. (2003). Global freshwater resources: soft-path solutions for the 21st century. *Science*, 302(5650), pp. 1524–1528. <https://doi.org/10.1126/science.1089967>
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y. y Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2023). *Climate change 2022 – impacts, adaptation and vulnerability: working group II contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>

- Klimisch, B., Maglione, D., Paredes, P. y Soto, J. (2022). Análisis del Comportamiento de la Vegetación a partir de Índices del Sensor MODIS en Santa Cruz, Argentina. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, 14(3), 69–90. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v14.n3.895>
- Lara, B. y Gandini, M. (2016). Caracterización del comportamiento fenológico de las coberturas vegetales en un sector de la Pampa Deprimida (Argentina): una aproximación utilizando series temporales de NDVI. *Ambiència*, 12(4), 765–783. <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2016.04.01>
- Lema, R. D., Benito Amaro, I. y Pace Guerrero, I. R. (2018). *Impacto de la sequía sobre los márgenes brutos esperados de soja y maíz en la región pampeana: ¿en qué situación los aumentos de precios compensarían las pérdidas de rendimientos?* Instituto de Economía, INTA. https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Lema%2C+D.%2C+Amaro%2C+I.+B.%2C+%26+Pase%2C+I.+%282018%29.+Impacto+de+la+sequia%2C+ADA+sobre+los+m%C3%A1rgenes+brutos+esperados+de+soja+y+ma%C3%ADz+en+la+regi%C3%B3n+pampeana%3A+%2C+BFEn+qu%C3%A9+situaci%C3%B3n+los+aumentos+de+precios+compensar%C3%ADan+las+p%C3%A9rdidas+de+rendimientos%3F&btnG=
- Liu, H. Q. y Huete, A. (1995). A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 33(2), pp. 457–465. <https://doi.org/10.1109/TGRS.1995.8746027>
- Marini, F. (2015). Determinación de la superficie bajo riego con pivot central en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina) utilizando imágenes satelitales. *Agronomía & Ambiente*, 35(2), 109–119. <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/3899>
- Marini, F., y Santamaría, M. (2019). Evaluación de índices verdes convencionales e índices del “borde rojo” en la discriminación de cultivos a nivel regional. *Nadir: revista electrónica de geografía austral*, 11(1), 15 p. <https://revistanadir.yolasite.com/resources/Articulo%20Marini%20y%20Santamaria.pdf>
- Marini, M. F. (2021). *Determinación de superficie de cultivos de invierno regada con pivot central en el partido de Coronel Suárez, campaña 2021*. Agencia de Extensión Rural Bahía Blanca, INTA. <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/10420>
- Martínez Valdés, Y. y Villalejo García, V. M. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(1), pp. 58–72. <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/424>
- McKee, T. B., Doesken, N. J., y Kleis, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, 17(22), 179–183. <https://climate.colostate.edu/pdfs/relationshipofdroughtfrequency.pdf>
- Menteşe, S. y Akbulut, S. (2023). Determination of the drought status of Bilecik Central District and Bozüyük District with Standardized Precipitation Index. *Eastern Geographical Review*, 28(49), 40–51. <https://doi.org/10.5152/EGJ.2023.22028>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2024). *Estimaciones Agrícolas*. Dirección Nacional de Agricultura del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- Ministerio de Agroindustria (2018a). *Campaña 17/18. Informe Especial Sequía. Abril de 2018*. https://www.magyp.gob.ar/sitio/_pdf/Informe_especial_Sequia_Agroindustria_Mayo18.pdf
- Ministerio de Agroindustria (2018b). *Emergencia Agropecuaria. Resolución 135/2018*. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-135-2018-311329/texto>
- Ministerio de Desarrollo Agrario (2023). *Estrategia provincial para el sector agroalimentario. Resolución del Ministerio de Desarrollo Agrario N° 281/2023*. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2023/05/agroxxi-epsa-buenosaires.pdf>
- Nejadrekabi, M., Eslamian, S. y Zareian, M. J. (2022). Spatial statistics techniques for SPEI and NDVI drought indices: a case study of Khuzestan Province. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19, 6573–6594. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03852-8>
- Núñez, M. A. (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista Virtual REDESMA*, 5(1), pp. 9–20. http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1995-10782011000100003&lng=es&nrm=iso
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (2019). *Global Assessment report on disaster risk reduction*. <https://www.undrr.org/publication/global-assessment-report-disaster-risk-reduction-2019>
- Ortuño Cano, M., Gentili, J., Moretto, B. y Campo, A. (2019). Eventos de exceso hídrico en la prensa

- escrita (sistema de Ventania, Argentina). *Boletín Geográfico*, 1(41), pp. 53–75. <https://revele.uncoma.edu.ar/index.php/geografia/article/view/2366>
- Ortuño Cano, M. A. y Gentili, J. O. (2022). Influência de fatores físicos no padrão fluvial e setorização da bacia do cura Cura Malal (Argentina). *Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia*, 20(3), pp. 241–263. <https://doi.org/10.5016/estgeo.v20i3.16753>
- Ortuño Cano, M. A., Moretto, B. y Gentili, J. O. (2022). *Extremos hídricos en Coronel Suárez: estrategias adoptadas en el sector rural*. XIV Jornadas Nacionales de Geografía Física (JNGF 2022), Argentina. <https://sites.google.com/view/jngf2021/actividades/posters/eje-1>
- Ortuño Cano, M. A. y Gentili, J. O. (2023). Gestión del riesgo de sequía en el marco de la GIRH: instituciones y acciones en la cuenca del arroyo Cura Malal Grande (Argentina). *Párrafos Geográficos*, 22(1), pp. 93–115. <http://hdl.handle.net/11336/212713>
- Paredes, P., Maglione, D., Sandoval, M., Soto, J., Bonfili, O. y Humano, G. (2022). Relación entre índices de sequía usando datos meteorológicos y satelitales, en la estepa magallánica seca (Patagonia). *Revista de Investigación En Modelos Financieros*, 11(1), pp. 45–62. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/13116>
- Paruelo, J. M., Guerschman, J. P., Baldi, G. y Di Bella, C. M. (2004). La estimación de la superficie agrícola: antecedentes y una propuesta metodológica. *Interciencia*, 29(8), pp. 421–427. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442004000800006&lng=es&nrm=iso
- Peña-Gallardo, M., Gámiz-Fortís, S. R., Castro-Diez, Y. Y Esteban-Parra, M. J. (2016). Comparative analysis of drought indices in Andalusia during the period 1901–2012. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 42(1), pp. 67–88. <https://doi.org/10.18172/cig.2946>
- Pereyra, F. X., Tchilinguirian, P., Coppolecchia, M., Cavallero, S., Fratolocchi, C., Borello, L., Milanese, J. B. y Suriano, J. M. (2001). *Carta de Línea de Base Ambiental 3763-IV Coronel Suárez*. Dirección de Geología Ambiental y Aplicada del Instituto de Geología y Recursos Mineros (IRGM) del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). <http://repositorio.segemar.gov.ar/308849217/2099>
- Programa Mundial de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura de Evaluación de los Recursos Hídricos (2019). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: no dejar a nadie atrás*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304>
- Riera, C. (2020). La “tierra irrigada” y la mercantilización del agua en un nuevo paisaje hídrico de la agricultura pampeana: el caso del clúster de la semilla. *Salud Colectiva*, 16, pp. 1–20. <https://doi.org/10.18294/SC.2020.2325>
- Rodríguez, K., Echevarría, D. C., Olmedo, G. A. y Villablanca, M. (2021). *Análisis de situación de sequía: evaluación de Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) y variación del Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI) en la provincia de Río Negro*. Departamento Provincial de Aguas de Río Negro, Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior del Río Negro del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y Ministerio de Producción y Agroindustria de la provincia de Río Negro. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/10437>
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. y Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Nasa Special Publications*, 351(1), pp. 309–318. https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Rouse%2C+J.W.%2C+Haas%2C+R.H.%2C+Schell%2C+J.A.+y+Deering%2C+D.W.+%281974%29.+Monitoring+vegetation+systems+in+the+Great+Plains+with+ERTS.+Texas+University%3A+Texas.&btnG=
- Sainz de la Maza, M. y del Jesús, M. (2020). Análisis de sequías históricas a través de los impactos derivados. *Ingeniería del agua*, 24(3), 141–156. <https://doi.org/10.4995/ia.2020.12182>
- Scordo, F., Piccolo, M. C. y Perillo, G. M. E. (2018). Aplicación del Índice de Precipitación Evapotranspiración Estandarizada (SPEI) para identificar períodos húmedos y secos en la Patagonia andina y extra andina Argentina. *Geociências*, 37(2), pp. 423–436. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v37i2.12241>
- Sentinel HUB (s.f.). *EO Browser*. <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/>
- Servicio Meteorológico Nacional (2018a). *Informe especial de la sequía 2017-2018 en la región Pampeana*. <http://repositorio.smn.gov.ar/bitstream/handle/20.500.12160/1016/0069CL2018.pdf>
- Servicio Meteorológico Nacional (2018b). *Informe especial sobre condiciones extremadamente secas en la zona núcleo de argentina entre octubre 2017 y marzo 2018*. <http://repositorio.smn.gov.ar/bitstream/handle/20.500.12160/1029/0070CL2018.pdf>

Sheng, T. C. (1992). *Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas. Estudio y planificación de cuencas hidrográficas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=fC6zUFx512EC&oi=fnd&pg=PA18&dq=Sheng,+T.C.+1992.+Manual+de+campo+para+la+ordenaci%C3%B3n+de+cuencas+hidrogr%C3%A1ficas.+Estudio+y+planificaci%C3%B3n+de+cuencas+hidrogr%C3%A1ficas.+Roma:+FAO.+185+pp.&ots=ZFpqm1LhUw&sig=Q4gGfbdXaKOXKvWW3N0gAVOsGSA>

Shi, X., Yang, Y., Ding, H., Chen, F. y Shi, M. (2023). Analysis of the Variability Characteristics and Applicability of SPEI in Mainland China from 1985 to 2018. *Atmosphere*, 14(5), 790. <https://doi.org/10.3390/atmos14050790>

Singh, R. M. y Shukla, P. (2020). Drought Characterization Using Drought Indices and El Niño Effects. *National Academy Science Letters*, 43, pp. 339–342. <https://doi.org/10.1007/s40009-019-00870-6>

Soto, J., Paredes, P., Maglione, D., Sandoval, M. y Bonfili, O. (2020). Comportamiento de la vegetación a partir del índice verde y datos climáticos en dos sitios de la Patagonia Austral. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, 12(4), pp. 17–31. <https://doi.org/10.22305/ict-npa.v12.n4.751>

Vega-Jácome, F. (2019). *Respuesta de la vegetación a diferentes escalas temporales de sequía en los Andes Peruanos*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú –SENAMHI. Dirección de Hidrología –DHI. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/294>

Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S. y López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), pp. 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>

Zhao, H., Li, X., Eziz, M. y Yao, J. (2022). Changes in the characteristics of dry-wet periods in Xinjiang, China based on the SPEI index. *Atmósfera*, 35(3), pp. 483–496. <https://doi.org/10.20937/ATM.52952>

Tipo de Publicación: ARTÍCULO

Trabajo recibido el 12/07/2024, aprobado para su publicación el 22/08/2024 y publicado el 30/09/2024.

CÓMO CITAR

Ortuño Cano, M. A. y Gentili, J. O. (2024). Sequías en la cuenca del arroyo Cura Malal Grande (Argentina): efectos en la vegetación durante el evento de 2018. *Cuadernos del CURIHAM*, 30. e05. <https://doi.org/10.35305/curiham.v30i.e05>

ROLES DE AUTORÍA

Ortuño Cano: Análisis formal, conceptualización, curaduría de datos, investigación, metodología, redacción-borrador original, visualización.

Gentili: Conceptualización, escritura-revisión y edición, investigación, metodología, supervisión.

LICENCIA

Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia: Creative Commons Atribución -No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>)

