

ARTÍCULO

EVALUACIÓN DE EVENTOS SECOS Y HÚMEDOS: LA RESPUESTA HÍDRICA EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO (MAR CHIQUITA, ARGENTINA)

Dry and wet events in Mar Chiquita: Water Response and Climate Change

Ferrelli, I. A.^{1 2} , Bustos, M. L.^{3 4}  & Ferrelli, F.^{* 3 4} 

RESUMEN: El objetivo de este estudio fue evaluar los períodos secos y húmedos en el partido de Mar Chiquita (Buenos Aires, Argentina) durante el período 1950-2023 y en distintos escenarios de Cambio Climático con la finalidad de identificar los impactos en la cobertura de agua y evaluar los escenarios a los que podría estar expuesta la región en el Futuro Cercano, Medio y Lejano. Para ello, se estudiaron series del Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) a distintas escalas temporales: mensual, estacional y anual. Con estos análisis, se identificaron los eventos extremos caracterizados según su intensidad, periodicidad, frecuencia y duración. Posteriormente, se evaluaron los impactos de estos eventos, considerando distintas Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP4.5, SSP7.0 y SSP8.5). Los resultados permitieron contabilizar que hasta 2023, se generaron un total de 11 eventos secos y 14 húmedos. La intensidad de los períodos extremadamente secos fue mayor (SPEI = -1,87) que los extremadamente húmedos (SPEI = 1.79). La frecuencia de los primeros fue de 11 años y la periodicidad de 6,5 años, mientras que en los húmedos fue 13,8 años y 5,2 años, respectivamente. Los eventos

1 1 Instituto de Fisiología, Biología Molecular y Neurociencias (IFIByNE) - CONICET.

2 Facultad de Psicología, Universidad de Buenos Aires.

3 Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), Universidad Nacional del Sur (UNS) -CONICET.

4 Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur (UNS).

* Autor de correspondencia. Federico Ferrelli. E-mail: fferrelli@criba.edu.ar

Como citar este artículo: Ferrelli, I. A., Bustos, M. L. & Ferrelli, F. (2024). Evaluación de eventos secos y húmedos: la respuesta hídrica en el contexto del Cambio Climático (Mar Chiquita, Argentina). Revista FACENA 34(2), 122-137. Doi: <https://doi.org/10.30972/fac.3427791>

Recibido/Received: 23/05/2024. Revisión: 23/05/2024. Aceptado/Accepted: 08/07/2024.

Editor asociado: Félix Ignacio Contreras.

Publicado en línea: 20/11/2024. ISSN 1851-507X en línea.

más duraderos e intensos ocurrieron en 2008-2009 (23 meses) y 2016-2017 (16 meses). En los escenarios futuros se identificaron eventos secos severos y extremos, mientras que los húmedos fueron, en su mayoría, moderados y, en menor medida, severos. Se identificaron cambios significativos en los cuerpos de agua, con crecidas hacia el noreste que afectan a las ciudades costeras. Esta información conforma una base de datos indispensable para el diseño de planes de manejo no sólo en ciudades costeras, sino también en aquellos espacios con presencia de cuerpos de agua.

PALABRAS CLAVE: Consecuencias del cambio climático, Cuerpos de agua costeros, Variabilidad climática.

ABSTRACT: The aim of this study was to assess dry and wet periods in the Mar Chiquita district (Buenos Aires, Argentina) during the 1950-2023 period and under different climate change scenarios to identify the impacts on water coverage and evaluate the scenarios that the region might face in the Near, Medium, and Long Term. For this purpose, series of the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) were studied at different temporal scales: monthly, seasonal, and annual. With these analyses, extreme events characterized by their intensity, periodicity, frequency, and duration were identified. Subsequently, the impacts of these events were assessed, considering different Shared Socioeconomic Pathways (SSP4.5, SSP7.0, and SSP8.5). The results showed that until 2023, a total of 11 dry events and 14 wet events occurred. The intensity of extremely dry periods was higher (SPEI = -1.87) than the extremely wet ones (SPEI = 1.79). The frequency of the former was 11 years and their periodicity 6.5 years, while for the wet periods, it was 13.8 years and 5.2 years, respectively. The most prolonged and intense events occurred in 2008-2009 (23 months) and 2016-2017 (16 months). In future scenarios, severe and extreme dry events were identified, while wet events were mostly moderate and, to a lesser extent, severe. Significant changes were identified in water bodies, with surges towards the northeast affecting coastal cities. This information forms an essential database for designing management plans not only in coastal cities but also in areas with water bodies.

KEYWORDS: Climate variability, Climate change consequences, Coastal water bodies.

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global y la variabilidad climática han generado cambios en los ambientes que repercuten sobre las actividades económicas y la calidad de vida de la población. Esta situación se hace más crítica al analizar el último informe del IPCC (2021), donde las nuevas estimaciones prevén la posibilidad de cruzar el nivel de calentamiento global de 1,5 °C en las próximas décadas, con temperaturas que aumenten en todo el mundo de forma homogénea. Con ello, los extremos térmicos alcanzarían con mayor frecuencia umbrales de tolerancia críticos para la cobertura terrestre, la salud humana y el aumento del nivel medio del mar (NMM) (Rasmussen *et al.*, 2018; Jackson *et al.*, 2018; Nicholls *et al.*, 2018; IPCC, 2021; Hermans *et al.*, 2021; Tebaldi *et al.*, 2021).

En este contexto, las ciudades costeras se hallan expuestas a una mayor frecuencia de eventos secos y húmedos que en décadas anteriores. A ello, se le suma el potencial impacto al que se encuentran expuestas como consecuencia del aumento del NMM. Estas ciudades están habitadas por más de mil millones de individuos, por lo que el aumento del NMM surge como uno de los mayores desafíos y repercusiones asociadas al cambio climático (Hauer *et al.*, 2020).

Existe evidencia que el efecto del Calentamiento Global genera modificaciones en la temperatura que repercuten en una mayor generación de energía a escala local, desencadenando períodos de sequías e inundaciones más extremos e intensos (Ferrelli *et al.*, 2021). Particularmente, en la costa de la provincia de Buenos Aires, Argentina, existe evidencia de que los eventos pluviométricos diarios se incrementarán a futuro, pudiendo ocasionar con ello, un cambio en la dinámica climática que afectará a las poblaciones de estas localidades. El partido de Mar Chiquita, dentro de la provincia de Buenos Aires (Figura 1) no sólo es una unidad administrativa ubicada sobre las costas del Océano Atlántico, sino que también posee una gran cantidad de cuerpos de agua que podrían verse afectados ante las implicancias actuales del contexto del cambio climático. Por ello, esta investigación tiene como objetivo evaluar los períodos secos y húmedos en

el partido de Mar Chiquita (Argentina), considerando diversos escenarios a futuro para evidenciar los posibles impactos relacionados con el cambio climático. A partir de su estudio, se podrá comenzar a generar una base de datos que sirva de referencia para el resto de las ciudades costeras de los climas templados del hemisferio sur.

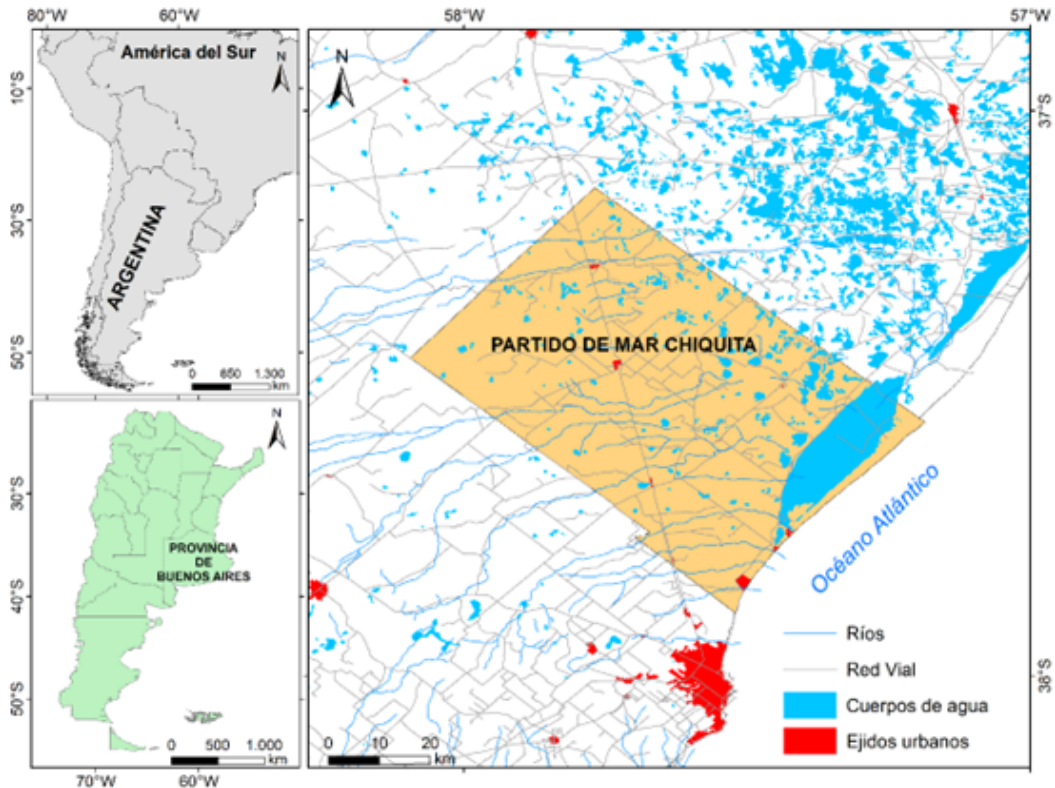


Fig. 1. Localización del partido de Mar Chiquita (Buenos Aires, Argentina).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se calculó el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI, por sus siglas en inglés) para la serie mensual de temperatura y precipitación del período comprendido entre los años 1950-2023 para la estación de Mar del Plata que es la más próxima al área de estudio. Está demostrado que este índice genera mejores resultados para el estudio de las sequías dado que también incorpora la precipitación acumulada y la evapotranspiración potencial. Para su cálculo, se aplicó la siguiente fórmula:

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3}$$

donde $W = \sqrt{-2 \ln(P)}$, P , P es la probabilidad de exceder una D determinada, D es la diferencia entre la precipitación y la evaporación potencial, C y d son constantes: $C_0 = 2,515517$, $C_1 = 0,802853$, $C_2 = 0,010328$, $d^1 = 1,432788$, $d^2 = 0,189269$ y $d^3 = 0,001308$ (Vicente Serrano *et al.*, 2010). Con los resultados de este índice se estudiaron la periodicidad, intensidad, duración y frecuencia de los eventos secos y húmedos, siguiendo lo descrito en Aliaga *et al.* (2017). En este trabajo utilizamos la escala anual del índice para analizar el comportamiento de los eventos secos y húmedos.

Para verificar la veracidad de los datos obtenidos *in situ* y poder realizar un estudio a escala regional, se realizó una comparación con las series grilladas para todo el área adquiridas del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC, 2024, sitio web [http:// sac.csic.es/spei/home.html](http://sac.csic.es/spei/home.html)) para el período 1950-2023 a una escala espacial de 0,5° de longitud y latitud. Con ellas, se realizó un promedio general para evidenciar y estudiar la variabilidad pluviométrica para todo el área de estudio. Finalmente, se utilizaron los criterios presentados en la Tabla 1 para identificar los tipos de eventos.

Tabla 1. Clasificación de los eventos secos y húmedos según el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración.

Tipo de evento	Intensidad	Valor del SPEI	Probabilidad de ocurrencia
Evento seco	Extrema	SPEI < -1,5	0,0067
	Severa	-1,5 < SPEI < -1	0,092
	Moderada	-1 < SPEI < -0,5	0,18
Normal	Normal	-0,5 < SPEI < 0,5	0,38
Evento Húmedo	Moderado	0,5 < SPEI < 1,0	0,18
	Severo	1,0 < SPEI < 1,5	0,092
	Extremo	SPEI > 1,5	0,067

Posteriormente, se descargaron las grillas modeladas para distintos escenarios a futuro establecidos por el IPCC, obtenidos del sitio web del Banco Mundial (<https://data.worldbank.org>). De esta manera se estudiaron las trayectorias socio-económicas compartidas SSP4.5, SSP7.0 y SSP8.5. Estas comprenden distintas rutas socioeconómicas que el mundo podría tener a lo largo de este siglo. Cada una de ellas está relacionada con las posibles políticas climáticas que se podrían llegar a implementar para finales de siglo (2100) y sus números hacen referencia a los forzamientos radiativos, es decir, 4.5, 7.0 y 8.5 vatios por metro cuadrado en 2100. Sumado a ello, representan las formas de estudiar los escenarios a futuro, considerando futuro cercano (2025-2050), medio (2051-2075) y lejano (2076-2100). Para evaluar la exactitud de estas series, se seleccionó el período de validación (2010-2023) y se corroboró que las series presentadas por el modelo y las adquiridas *in situ* fuesen estadísticamente iguales, considerando un intervalo de confianza del 95 %. Se utilizaron, en este caso, los datos de los percentiles 90 y 10 de las series de precipitación para evaluar los efectos de los eventos secos y húmedos en los escenarios futuros.

Finalmente, se estudiaron las variaciones en el agua superficial con el Portal Global de Monitoreo de Agua (<https://global-surface-water.appspot.com/>). Con el mismo, fue posible identificar los cuerpos de agua permanentes, las variaciones estacionales, la posibilidad de ocurrencia y la máxima cobertura de agua (Pekel *et al.*, 2016). El análisis se realizó con el software ArcGIS 10.5.

RESULTADOS

Evaluación de períodos secos y húmedos

Se evidenció una gran variabilidad climática en el área de estudio. Se identificaron a través de SPEI períodos secos severos y extremos en los años 1979, 1989, 2006 y 2007-2008. En total, se identificaron un total de 11 eventos secos y 14 húmedos. Los períodos extremadamente secos fueron

más intensos que los húmedos (SPEI = -1,87 y 1,79, respectivamente). Por otro lado, los períodos húmedos severos y extremos ocurrieron en los años 1977, 1992, 2014 y 2016-2017.

La frecuencia de los eventos secos severos y extremos fue de 11 años y su periodicidad de 6,5 años, mientras que en los húmedos fue de 13,8 y 5,2 años, respectivamente. Los eventos más duraderos e intensos fueron los ocurridos en 2008-2009 (23 meses, SPEI = -1,75 con máximos de -2,75) y 2016-2017 (16 meses SPEI = 1,47 con máximos de 2,1) (Figura 2).

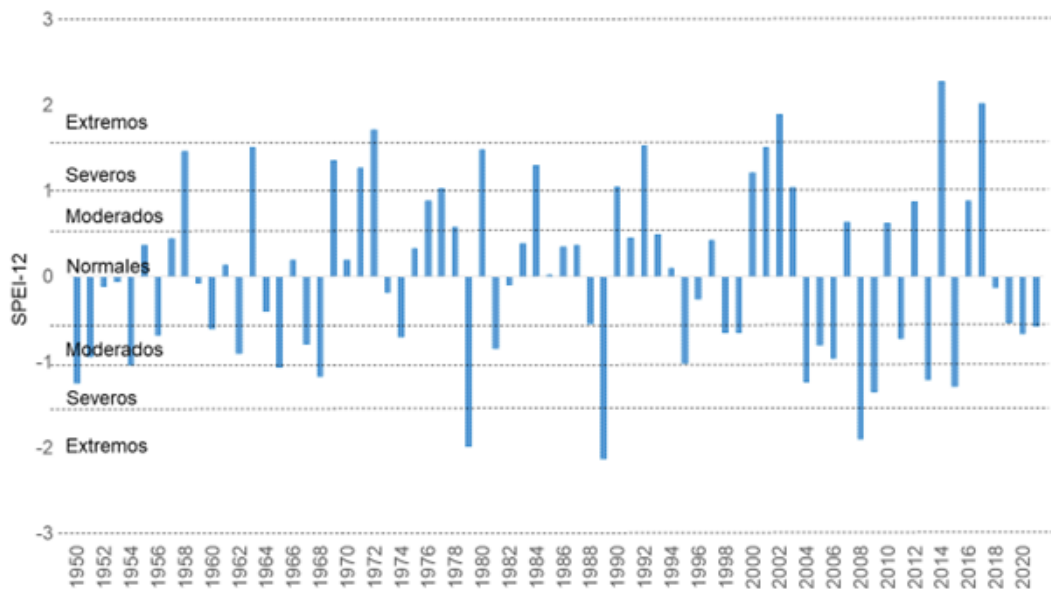


Fig. 2. Evolución temporal de los eventos secos y húmedos en Mar Chiquita (1950-2021).

Eventos secos y húmedos en el contexto del cambio climático

Los eventos secos presentaron una intensidad mayor en los diferentes escenarios de cambio climático. Bajo una SSP4.5, las sequías se presentaron en todos los contextos (FC, FM y FL) como severas (SPEI=-1.19; SPEI= -1.22 y SPEI = -1.23, respectivamente). Una situación similar se observó al analizar la SSP7.0. Si bien en la SSP8.5, los eventos fueron severos, la intensidad de los mismos fue mayor (Figura 3).

Por otro lado, la intensidad de los eventos húmedos fue en todos los casos Moderada (SPEI < 1). El mayor valor observado fue de 0,81 registrado en el FM en la SSP4.5 (Figura 3).

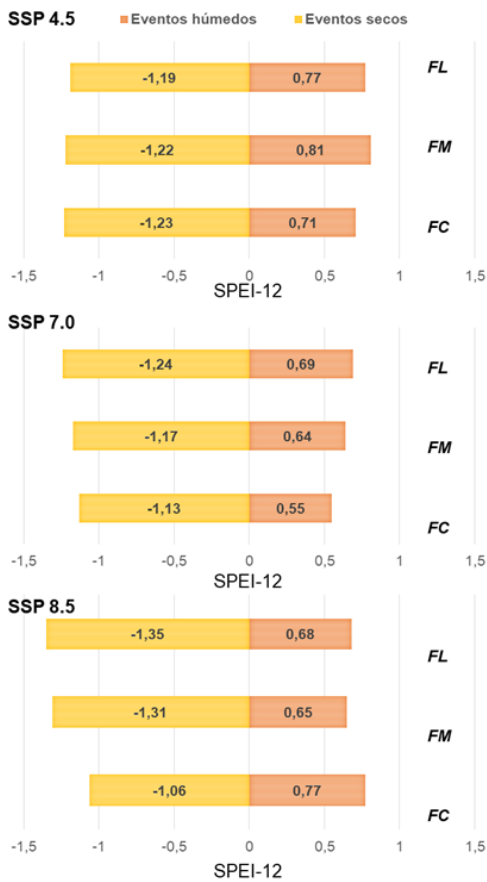


Fig. 3. Intensidad de los eventos secos y húmedos en el Futuro Cercano (FC), Futuro Medio (FM) y Futuro Lejano (FL).

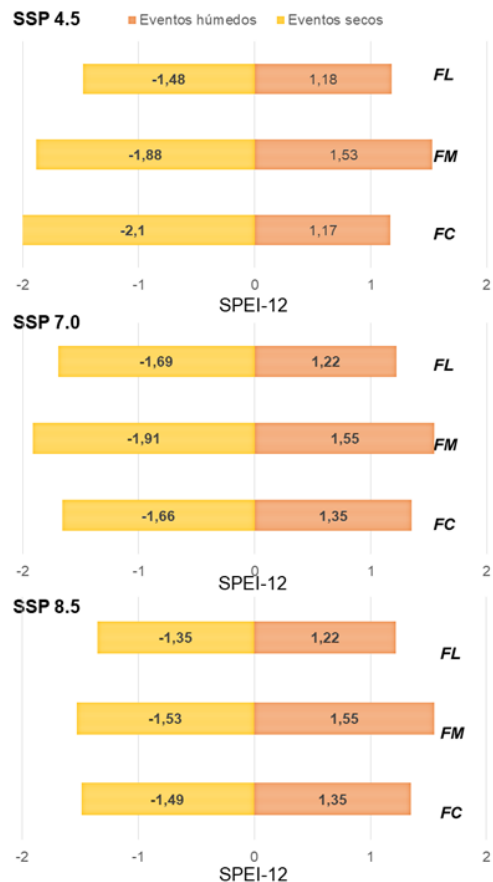


Fig. 4. Intensidad Máxima de los eventos secos y húmedos en el Futuro Cercano (FC), Futuro Medio (FM) y Futuro Lejano (FL).

Por otro lado, al analizar la intensidad máxima, se observaron diferencias importantes entre los tipos de eventos a los que estará expuesta la región. En la SSP4.5, los eventos fueron severos en el FL, pero extremos en el FC y el FM. En contraposición, los húmedos tuvieron una intensidad máxima de 1.53 en el FM, marcando un período de eventos extremos, siendo severos en el FC y FL. A pesar de ello, se observó una intensidad máxima más marcada en los eventos secos (SPEI = -2.1, SPEI = 1.53) (Figura 4). En la SSP7.0, los eventos secos tuvieron un comportamiento similar que en el SSP4.5, siendo extremos en todos los escenarios (FC, FM y FL), mientras que los húmedos tuvieron esta característica sólo en el FM. Finalmente, en la SSP8.5, la intensidad máxima de los eventos, tanto secos como húmedos, fueron severos en FC, FM y FL (Figura 4).

Al analizar la información detalladamente en la Tabla 2, donde se presentaron los datos de Intensidad, Intensidad Máxima, Duración, Periodicidad y Frecuencia de los eventos secos y húmedos en las distintas SSP, considerando el FC, FM y FL, se observaron claras diferencias entre los ciclos secos y húmedos. Por ejemplo, bajo una SSP4.5, la duración de los eventos secos es siempre mayor, exceptuando en el FL, en donde la frecuencia y la periodicidad fueron menores. Este patrón se repitió en todas las SSP observadas, exceptuando el SSP8.5 en el FL, donde la duración de los eventos húmedos fue superior a la de los secos. Del análisis de la información presentada en la Tabla 2, se identificó que el área de estudio estará sometida a mayores impactos de sequías, dado que las mismas serán más periódicas y duraderas. Además, serán, en su mayoría, severas o extremas, lo que expone al área de estudio a una condición de mayor aridez. Los eventos húmedos, presentarán, en general, una característica de moderados a severos, pero su duración, periodicidad y frecuencia serán menores (Tabla 2).

Tabla 2. Intensidad, Intensidad máxima, Duración y Periodicidad de los eventos secos y húmedos para el partido de Mar Chiquita durante el Futuro Cercano (FC; 2025-2050), Futuro Medio (FM; 2051-2075) y Futuro Lejano (FL; 2076-2100).

			Eventos Húmedos	Eventos secos
SSP4.5	FC	Intensidad	0,71	-1,23
		Intesidad máxima	1,17	-2,1
		Duración	10 meses	16 meses
		Periodicidad	6,8 años	3,2 años
		Frecuencia	0,4 años	0,9 años
	FM	Intensidad	0,81	-1,22
		Intesidad máxima	1,53	-1,88
		Duración	12 meses	15 meses
		Periodicidad	6,3 años	3,5 años
		Frecuencia	0,7 años	1,2 años
	FL	Intensidad	0,77	-1,19
		Intesidad máxima	1,18	-1,48
		Duración	11 meses	11 meses
		Periodicidad	6,7 años	2,5 años
		Frecuencia	0,4 años	2,9 años

SSP7.0	FC	Intensidad	0,55	-1,13
		Intesidad máxima	1,35	-1,66
		Duración	10 meses	11 meses
		Periodicidad	6,25 años	4,8 años
		Frecuencia	0,24 años	0,8 años
	FM	Intensidad	0,64	-1,17
		Intesidad máxima	1,55	-1,91
		Duración	14 meses	12 meses
		Periodicidad	6 años	5 años
		Frecuencia	0,4 años	0,6 años
	FL	Intensidad	0,69	-1,24
		Intesidad máxima	1,22	-1,69
		Duración	11 meses	11 meses
		Periodicidad	1,47 años	4,8 años
		Frecuencia	1,48 años	0,8 años
SSP8.5	FC	Intensidad	0,77	-1,06
		Intesidad máxima	1,13	-1,49
		Duración	18 meses	14 meses
		Periodicidad	2,2 años	2,9 años
		Frecuencia	1,1 años	1,6 años
	FM	Intensidad	0,65	-1,31
		Intesidad máxima	1,56	-1,53
		Duración	11 meses	11 meses
		Periodicidad	5,8 años	6 años
		Frecuencia	0,8 años	0,6 años
	FL	Intensidad	0,68	-1,35
		Intesidad máxima	16 meses	18 meses
		Duración	2,6 años	2,4 años
		Periodicidad	4,7 años	3,6 años
		Frecuencia	0,72 años	0,81 años

Impactos sobre la red hidrográfica y los cuerpos de agua

Luego de analizar los productos del Portal global de monitoreo de agua se observó que el partido de Mar Chiquita presentó una variación

de la cobertura de agua (1980-2022). En eventos húmedos, el incremento del agua superficial, con al menos un mes de permanencia, fue del 32 %, aunque la probabilidad de que esto ocurra es muy baja (1% de ocurrencia) (Figura 5 a y b).

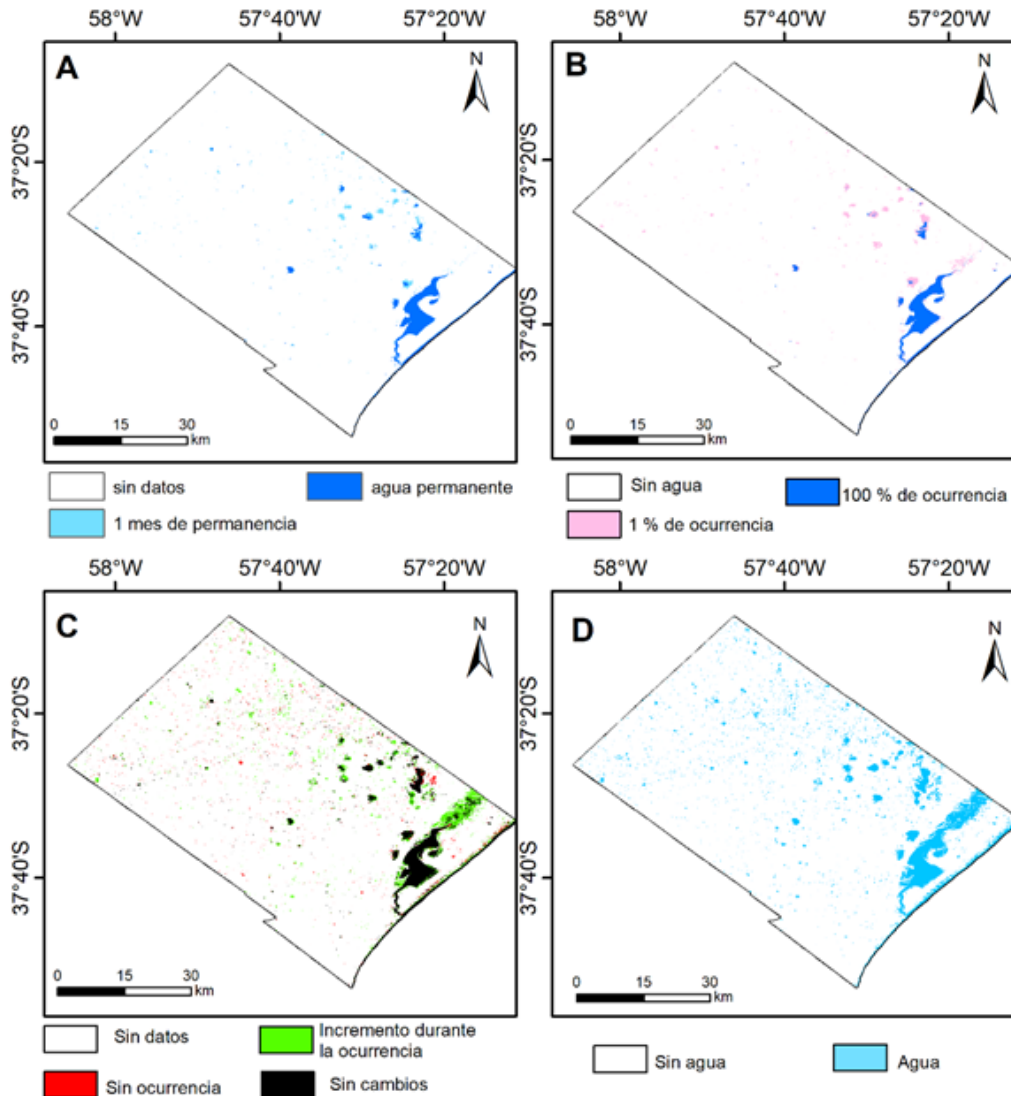


Fig. 5. Características del agua superficial en el partido de Mar Chiquita (Buenos Aires, Argentina) durante 1980-2022. A. Agua acumulada estacionalmente, B. Ocurrencia de crecidas, C. Ocurrencia de cambios en la intensidad del agua durante eventos húmedos, D. Evento de máxima crecida. Modificado de: Pekel *et al.* (2016).

Por otro lado, el incremento de los cuerpos de agua durante la ocurrencia de eventos húmedos es significativa, especialmente en la albufera y la descarga del Río Dulce. En los eventos de máxima cobertura de agua, se han identificado avances de los mismos sobre los centros urbanos (P.ej., Mar Chiquita, Santa Clara del Mar, Coronel Vidal, General Pirán, por mencionar los más habitados) afectando no solo las actividades económicas, sino también el desarrollo de la vida urbana (Figura 5 c y d). Por ejemplo, el área costera de la ciudad de Mar Chiquita fue el área más susceptible a las inundaciones estacionales. Durante los períodos 1988, 1991, 1998-2001, 2003-2007 la zona costera se encontraba con agua permanente o estacional. Una situación similar, se observó en la costa este de la ciudad, donde en los años 2001, 2006 y 2018 se registraron episodios de inundaciones estacionales. Finalmente, se observó que la albufera tiende a generar crecidas hacia el noroeste impactando en la zona urbana.

DISCUSIÓN

La población urbana se está incrementando año tras año. El proceso de urbanización es más intenso en las ciudades costeras, produciendo daños irreversibles en la dinámica morfosedimentaria y exponiendo a la población a mayor vulnerabilidad climática. Considerando los impactos negativos que el aumento generalizado de la temperatura y el cambio en el patrón y distribución de la precipitación tienen sobre el ambiente y sobre la población en el área de estudio (Ferrelli *et al.*, 2021a; Ferrelli *et al.*, 2021b) es importante considerar que existe una posibilidad significativa de afectar de manera permanente los ecosistemas. Por ello, es indispensable identificar y delinear las áreas con mayor riesgo para proteger los recursos naturales y direccionar los planes de manejo del espacio de forma eficiente (Al-Yaari *et al.*, 2023).

Como se evidencia en el partido de Mar Chiquita, los cambios en la temperatura y las precipitaciones dan evidencia de los efectos del Calentamiento Global. Asimismo, los cambios observados en escenario futuros plantean nuevos desafíos a tener en cuenta a la hora de estudiar

las ciudades costeras de los climas templados. Lo más relevante en este caso son los impactos ambientales que serán cada vez más evidentes producto del aumento en la duración, intensidad y periodicidad de las sequías ante todas las SSP analizadas en todos los escenarios (FC, FM y FL) (Zilio *et al.*, 2017).

El conocimiento del comportamiento de la variabilidad climática ante distintos escenarios futuros es esencial para los diferentes actores locales de un territorio, especialmente los costeros. Esto puede, incluso, fomentar un cambio en la forma de establecer la toma de decisiones que afecten al territorio para involucrar más a la población local dado que son los que sufren directamente las consecuencias de estos eventos globales (Ferrelli *et al.*, 2024). Por lo tanto, el diseño de cualquier política de manejo de los espacios costeros deberá formar parte de la agenda de los tomadores de decisiones, considerando la conservación de los recursos naturales y la protección de las actividades económicas de la población local (Osman *et al.*, 2022).

CONCLUSIONES

Se evidenció que la región donde se localiza Mar Chiquita está expuesta a los efectos de la variabilidad climática. Se identificaron ciclos secos y húmedos que repercutieron directamente en la forma, el tamaño y la extensión de los cuerpos de agua. Estos ciclos seguirán aumentando su intensidad en el futuro, lo que genera la necesidad de contar con estrategias de manejo del espacio para preparar a la población local ante los distintos impactos negativos a los que podría verse afectada su vida.

Por otro lado, se evidenció que el crecimiento de los cuerpos de agua en épocas de lluvias interfiere en la vida urbana, causando inundaciones y anegamientos por largos períodos de tiempo, lo que es perjudicial para la salud de la población, la infraestructura urbana y las actividades de las áreas rurales. Por todo lo mencionado, los resultados obtenidos conforman una base de datos necesaria para replantear los planes de manejo del espacio urbano enmarcados dentro del paradigma del desarrollo sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a los siguientes proyectos e instituciones por financiar de forma total el desarrollo de esta investigación: Proyecto A-15 del Programa “Investigación, Desarrollo e Innovación en Ciencias del Mar”; PICT-2021-I-INVI-00580 y PIBAA 28720210100943CO del CONICET y FONCYT, Argentina.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Ignacio Agustín Ferrelli: desarrollo metodológico, curación de los datos, análisis de los datos, redacción del borrador inicial.

María Luján Bustos: Curación de los datos, redacción del borrador inicial.

Federico Ferrelli: redacción, revisión y edición, adquisición de los fondos, conceptualización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aliaga, V S, Ferrelli, F, y Piccolo, M C. (2017). Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *International journal of climatology*, 37, 1237-1247.

Al-Yaari, A., Zhao, Y., Cheruy, F., & Thiery, W. (2023). Heatwave characteristics in the recent climate and at different global warming levels: A multimodel analysis at the global scale. *Earth's Future*, 11(9), e2022EF003301. DOI: <https://doi.org/10.1029/2022EF003301>

Ferrelli, F, Brendel, AS, Perillo, GME y Piccolo, MC. (2021a). Warming signals emerging from the analysis of daily changes in extreme temperature events over Pampas (Argentina). *Environmental Earth Sciences*. 80: 422.

- Ferrelli, F., Brendel, A., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. E. (2021b). Evaluación de la tendencia de la precipitación en la región pampeana (Argentina) durante el período 1960-2018. *RAEGA - O Espaço Geográfico Em Análise*, 51, 41 - 56.
- Ferrelli, F., Pontrelli Albisetti, M., Brendel, A. S., Casoni, A. I., & Hesp, P. A. (2024). Appraisal of Daily Temperature and Rainfall Events in the Context of Global Warming in South Australia. *Water*, 16(2), 351. DOI: <https://doi.org/10.3390/w16020351>
- Hauer, M. E., Fussell, E., Mueller, V., Burkett, M., Call, M., Abel, K., ... & Wrathall, D. (2020). Sea-level rise and human migration. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(1), 28-39. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43017-019-0002-9>
- Hermans, T. H. J. et al. (2021). Projecting global mean sea-level change using CMIP6 models. *Geophys. Res. Lett.* 48, e2020GL092064. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020GL092064>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. En prensa.
- Jackson, L. P., Grinsted, A. & Jevrejeva, S. (2018). 21st century sea-level rise in line with the Paris accord. *Earth's Future* 6, 213-229. DOI: <https://doi.org/10.1002/2017EF000688>
- Nicholls, R. J. et al. (2018). *Stabilization of global temperature at 1.5°C and 2°C: implications for coastal areas*. *Phil. Trans. R. Soc. A* 376, 20160448. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0448>
- Osman, R., Ata-Ul-Karim, S. T., Tahir, M. N., Ishaque, W., & Xu, M. (2022). Multi-model ensembles for assessing the impact of future climate change on rainfed wheat productivity under various cultivars and nitrogen levels. *European Journal of Agronomy*, 139, 126554. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126554>

- Pekel, JF, Cottam, A, Gorelick, N, y Belward, A S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418-422.
- Rasmussen, D. J. et al. (2018). *Extreme sea level implications of 1.5°C, 2°C, and 2.5°C temperature stabilization targets in the 21st and 22nd centuries*. Environ. Res. Lett. 13, 034040. DOI: 10.1088/1748-9326/aaac87
- Tebaldi, C., Ranasinghe, R., Vousdoukas, M., Rasmussen, D. J., Vega-Westhoff, B., Kirezci, E., ... & Mentaschi, L. (2021). Extreme sea levels at different global warming levels. *Nature Climate Change*, 11(9), 746-751. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01127-1>
- Vicente-Serrano, S M, Beguería, S, López-Moreno, J I, Angulo, M, y El Kenawy, A. (2010). A new global 0.5 gridded dataset (1901–2006) of a multiscalar drought index: comparison with current drought index datasets based on the Palmer Drought Severity Index. *Journal of Hydrometeorology*, 11(4), 1033-1043.
- Zilio, M. I., Alfonso, M. B., Ferrelli, F., Perillo, G. M., & Piccolo, M. C. (2017). Ecosystem services provision, tourism and climate variability in shallow lakes: The case of La Salada, Buenos Aires, Argentina. *Tourism Management*, 62, 208-217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2017.04.008>