

Efectos de la variabilidad climática y las políticas hídricas en el Sitio Ramsar Lagunas de Guanacache (San Juan, Mendoza y San Luis, Argentina): cuando la gestión finaliza en los diques

Impacts of hydroclimatic variability and water policies in the Lagunas de Guanacache (San Juan, Mendoza and San Luis, Argentina): when management concludes at the dams

LEANDRO MANUEL ALVAREZ¹  0000-0002-0840-5681

JUAN ANTONIO RIVERA¹  0000-0001-7754-1612

ALDANA CALDERÓN ARCHINA¹  0009-0001-8350-4639

¹ IANGILA - CONICET - CCT Mendoza. Argentina.

Resumen

Las lagunas de Guanacache conforman un conjunto de humedales vinculados al río Desaguadero en la región de Cuyo (centro oeste de Argentina). En sus afluentes existe un alto grado de intervención hidráulica asociada a oasis artificiales, caracterizados por la producción agrícola y la provisión de los centros urbanos de Mendoza y San Juan. La concentración y distribución del recurso hídrico en los tramos altos de la cuenca se corresponde a un modelo de gestión instaurado durante la consolidación de los Estados nacional y provinciales, durante la modernización de las economías regionales. El diseño y sostenimiento de dicho modelo implicó sacrificar otras áreas, como Guanacache. La configuración territorial resultante es fragmentada y desigual: los oasis agrícolas ocupan el 4% del territorio y concentran más del 95% de su población. En efecto, la degradación se remonta a comienzos del siglo XIX y se agrava desde entonces. Atenuar este proceso requiere de proyectos y políticas de restauración. Los objetivos del presente trabajo son explorar la relación de las fluctuaciones climáticas y los caudales que modulan la hidrología superficial regional y determinar el rol de la construcción de obras de ingeniería hidráulica, como embalses y canales, en la superficie de las lagunas de Guanacache.

Palabras clave: escasez hídrica; variabilidad climática; políticas hídricas; Guanacache.

Fechas • Dates

Recibido: 2023.04.24
Aceptado: 2023.07.18
Publicado: 2024.02.29

Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Leandro Manuel Alvarez
lalvarez@mendoza-conicet.gob.ar

Abstract

Guanacache Lagoons is a system of wetlands, marshes and lagoons associated with the Desaguadero River in the Cuyo region, central-west Argentina. In the upper stretches of the basins of the main rivers that feed this lagoons system, there is a large consumption of water resources and a high degree of intervention through hydraulic infrastructure built for water management. This situation began at the end of the 19th century, with the consolidation of the National State and provincial states. The outcome is a fragmented and unequal territorial configuration, where the resulting artificial oases occupy 3% and concentrate more than 95% of the population. The consequences are the degradation of the Guanacache system, making it imperative to implement comprehensive regional policies for its restoration. Therefore, the objectives of the present work are to quantify the temporal variations in the streamflow and spatial extent of the water bodies of the lagoon system, to explore the relationship with climatic fluctuations that modulate the regional surface hydrology over the last few years, and to establish the role of the construction of various engineering infrastructures such as reservoirs and canals for water distribution in regional water variations.

Keywords: drought; streamflow; climate variability; water policy; Guanacache.

1. Introducción

La problemática de la degradación y pérdida de los humedales adquiere un gran interés en el contexto actual de cambio climático global y regional (Leberger *et al.*, 2020). De acuerdo a lo establecido por la Convención Internacional de Humedales RAMSAR, proporcionan una amplia variedad de servicios ambientales y regulan el régimen hidrológico, pudiendo mitigar los efectos del calentamiento global (Davidson, 2018). Estudios recientes destacan la vulnerabilidad de los humedales frente al cambio climático, como consecuencia directa de los incrementos en las temperaturas medias y extremas y los cambios en los patrones espacio-temporales de la precipitación a escala regional (Salimi *et al.*, 2021; Wardrop *et al.*, 2019).

La región de Cuyo, en el centro oeste de la República Argentina, está integrada por los Estados provinciales de Mendoza, San Juan y San Luis. Las lagunas de Guanacache son un encadenado de bañados y humedales que originan el río Desaguadero y se extienden sobre una superficie territorial que abarca el noreste de Mendoza, sur de San Juan y noroeste de San Luis. Este sistema palustre es alimentado principalmente por los caudales superficiales de los ríos Mendoza y San Juan, por aguas subterráneas que se originan en la Cordillera de los Andes y en menor medida por el aporte del río Vinchina-Bermejo (Contreras *et al.*, 2011; Prieto y Rojas, 2012). El mismo conforma el sitio Ramsar Lagunas de Guanacache, Desaguadero y del Bebedero y representa el humedal más extenso de la región de Cuyo, con una extensión total de 9.623,7 km². Durante los periodos de mayor abundancia hídrica, llegó a ocupar unos 2.500 km² de superficie de agua (Calderón Archina y Alvarez, 2022).

El complejo y otrora rico humedal de las lagunas de Guanacache ha sufrido un proceso de degradación ambiental, el cual es asociado a los siguientes factores: 1) El desarrollo del modelo de producción vitivinícola regional y la consecuente reducción en los caudales de los ríos que nutren al sistema y 2) La tala sin regulación de los bosques de algarrobo dulce que rodeaban el sitio (Abraham y Prieto, 1991). Este estudio, que fue pionero en el área, indica que los caudales del río Mendoza y el río Tunuyán son intervenidos para abastecer a la región del Gran Mendoza, y las aguas retornan a sus cauces solo en época de picos máximos de precipitaciones en la Cordillera

de los Andes (Abraham y Prieto, 1991). En el caso del río San Juan, se menciona que durante veranos posteriores a inviernos con abundantes nevadas en la montaña, se abren las compuertas del dique Ullum y el paisaje de bañados y los totorales asociados se recuperan parcialmente. Consecuentemente, el funcionamiento del humedal depende de la disponibilidad de agua superficial y subterránea, que regula la productividad de biomasa y procesos asociados (Mass, 2003).

De manera que el desecamiento en Guanacache está directamente relacionado con las políticas hídricas de las provincias de Mendoza y San Juan. Estas políticas se vinculan a un modelo de gestión del agua que inicia en 1880 en el marco del proceso de especialización agroindustrial, principalmente vitivinícola (Richard Jorba, 2003), y se caracteriza por la modificación que ocasiona en el paisaje a partir de la captación y distribución del agua de los arroyos y ríos que se originan en la Cordillera de los Andes (Abraham y Prieto, 1991; Escolar *et al.*, 2012; Rojas *et al.*, 2023). La consecuente fragmentación territorial produjo una diferenciación entre zonas irrigadas y zonas secas. Las primeras, denominadas “oasis”, concentran la mayoría de la población y los recursos hídricos, en detrimento de otras áreas que fueron configuradas como “desierto” (Escolar y Saldi, 2017), como es el caso de Guanacache, y que abarcan el 97% de la superficie total provincial (Schwank *et al.*, 2014).

Para la concentración del recurso hídrico en los oasis fue necesario el diseño y construcción de una red de infraestructura hidráulica que incluye diques derivadores, azudes, canales y redes de riego abastecidos por los grandes ríos de la región: el río Mendoza, a partir de la construcción del embalse Potrerillos en el año 2001; el río San Juan, a través de la ejecución de los embalses Ullum (1980), Los Caracoles (2008) y Punta Negra (2015); el río Tunuyán, que posee en su tramo medio el embalse El Carrizal (1971). Esto se reitera en el río Malargüe, que tampoco abastece de agua al sitio Ramsar laguna de Llancanelo (Alvarez *et al.*, 2018), y en el río Atuel, situación de relevancia nacional: el caudal desaparece antes de entrar al territorio de la provincia de La Pampa y, por tal motivo, constituye un reclamo histórico que esta provincia realiza a Mendoza (Rojas y Wagner, 2016).

De acuerdo a estudios recientes, el impacto de este modelo de distribución desigual del agua es tal que la pérdida de superficie del humedal de Guanacache es del 80% para el periodo comprendido entre 1987 y 2018 (Arancibia Abraham, 2019). Se ha comprobado que se puede reformular la gestión de los sistemas de riego para liberar remanentes aguas abajo de los diques con el objetivo de restaurar ambientes de riberas y humedales (Konrad *et al.*, 2012). Esta propuesta fue aplicada en diferentes sistemas fluviales de Estados Unidos, España, Francia y Australia, entre otros países (Owusu *et al.*, 2021), y sienta las bases sobre soluciones efectivas orientadas a la recuperación de humedales afectados por la construcción de diques. Tomando en cuenta estas experiencias, emerge la necesidad de adaptar y aplicar localmente este esquema en el contexto global de cambio climático y sus proyecciones de reducción de nevadas en la Cordillera de los Andes e incremento del régimen pluvial en las llanuras.

Para una transformación en el manejo y distribución de los recursos hídricos en Cuyo, y una efectiva restauración del sistema de Guanacache, es fundamental contar con información específica sobre la dinámica del humedal. Esto incluye: su relación con el caudal que lo alimenta, los factores climáticos y el impacto de la construcción de diques y represas en las cuencas superiores. El objetivo principal del presente trabajo es evaluar el efecto del caudal del río Desaguadero en la superficie de las lagunas de Guanacache. En el análisis integramos la variabilidad climática interanual e interdecadal y las políticas de manejo de los recursos hídricos. El enfoque aplicado

permite establecer un caudal ecológico mínimo, cuyo aporte facilite las tareas de restauración que se vienen aplicando (Sosa y Amaya, 2015; Sosa et al., 2021) y promueve la recuperación integral del sistema de humedales de Guanacache.

2. Área de Estudio

Las lagunas de Guanacache (Figura 1) se conectan entre sí y fluyen hacia el río Desaguadero, el cual continúa hacia el sur marcando el límite natural entre las provincias de Mendoza y San Luis, y recibiendo aportes ocasionales de los ríos Tunuyán, Diamante y Atuel y alimentar el sistema Salado-Chadileuvú-Curacó en la provincia de La Pampa (Del Ponti et al., 2015).

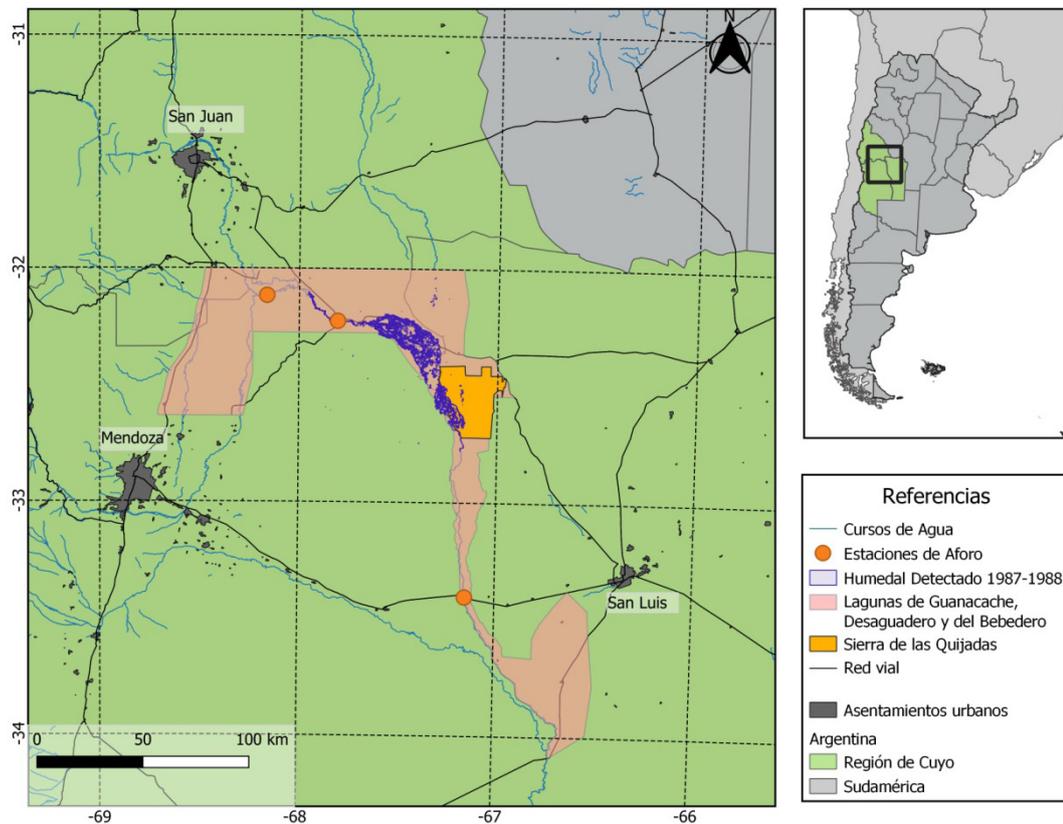
Las cuencas de los principales ríos de la región de estudio pertenecen al Sistema Hidrológico del río Colorado, el cual se extiende a lo largo del centro-oeste de Argentina en el rango latitudinal entre 28° S y 40° S. Las nacientes de estos ríos se sitúan en ambientes glaciares y periglaciares de la Cordillera de los Andes, que posee elevaciones superiores a los 5.000 m.s.n.m. con la topografía disminuyendo hacia el este, perdiendo altitud y con pendientes más suaves (Cazenave, 2015). De esta manera, el caudal de estos ríos se origina principalmente por aporte nivo-glaciar, totalizando entre 66 y 76% de la descarga total entre los meses de octubre y marzo (Lauro et al., 2019).

El Sistema Hidrológico del río Colorado forma una región homogénea en términos de la variabilidad interanual de caudales (Compagnucci y Araneo, 2005). Al abandonar las últimas elevaciones de la Cordillera de los Andes, todos los ríos se transforman en alóctonos y pierden su caudal en la llanura por infiltración o por aprovechamiento íntegro para riego (Vich et al., 2014).

La construcción de embalses y reservorios sobre los principales ríos de la región ha alterado la hidrología y el paisaje natural, con la reducción de los humedales del sistema hidrológico (Del Ponti et al., 2015). Tal es el caso del humedal denominado Ciénaga del Bermejo, uno de los más extensos de la cuenca del río Mendoza, que sufrió un marcado desecamiento a lo largo del siglo XIX, para finalmente desaparecer cerca de 1930, como consecuencia de la construcción de canales y drenajes para el desarrollo agrícola (Prieto y Rojas, 2012).

La precipitación en la región noreste de la provincia de Mendoza exhibe un régimen estival, debido a la acción del anticiclón semipermanente del Océano Atlántico Sur, que favorece el transporte de masas de aire cálidas y húmedas desde el norte y noreste de Argentina (Capitanelli, 1967). Estos sistemas, junto con la Baja de Chaco y la corriente en chorro de capas bajas, son relevantes para los intercambios de masas de aire entre los trópicos y las regiones extratropicales, modulando el transporte de calor y humedad a la porción sur de Sudamérica (Ferreira et al., 2010). Por otro lado, durante el invierno, las precipitaciones se asocian mayormente a pasajes de frentes fríos y sistemas de baja presión en altura, y en menor medida a factores orográficos (Capitanelli, 1967).

Figura 1. Localización de las Lagunas de Guanacache.



Fuente. Elaboración propia en base a datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Sistema de Información de Biodiversidad (SIB) de la Administración de Parques Nacionales.

3. Datos y Metodología

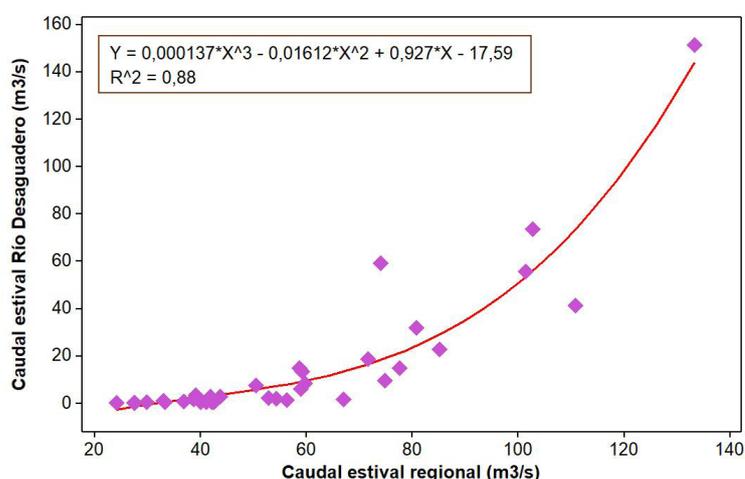
3.1. Caudales

Con el propósito de caracterizar las fluctuaciones hidrológicas regionales, se utilizaron registros de caudal medio mensual del río Desaguadero, obtenidos a partir del Sistema Nacional de Información Hidrológica (SNIH, <https://snih.hidricosargentina.gob.ar/>). Se emplearon las series temporales de los sitios de aforo Paso de las Tunitas, El Encón y Arco del Desaguadero (Figura 1). Complementariamente, se incluyeron los registros de los sitios Salto de la Tosca y Canalejas, ubicados al sur de 34° S sobre el río Desaguadero. Teniendo en cuenta que los máximos de caudal se dan durante los meses del verano austral, se consideró como año hidrológico el periodo de julio (año t) a junio (año $t+1$). A partir de estos registros, se obtuvo una serie de caudales anuales del río Desaguadero para el periodo comprendido entre los años hidrológicos 1936/37 y 2020/21. Estos registros observados fueron sometidos previamente a procesos de control de calidad y forman parte de una base de datos actualizada para la región de Cuyo (Rivera *et al.*, 2017; 2021). Para esta investigación se hace foco en la variabilidad de los caudales estivales, dado que entre los meses de octubre a marzo se generan los mayores aportes hídricos superficiales a las lagunas de Guanacache.

Los registros de caudales en el río Desaguadero presentan discontinuidades durante el periodo de análisis, la más importante entre los años 1951/52 y 1986/87. Para contrastar la variabilidad de los

caudales del río Desaguadero con las variaciones del resto de los ríos de la región, se construyó una serie considerando los registros históricos de los ríos Mendoza, Tunuyán y San Juan. Esto permitirá interpretar las variaciones de caudal del río Desaguadero en el periodo que no posee mediciones, así como también comparar las variaciones en los periodos en los que se tienen registros. Con el propósito de comparar la evolución temporal de los caudales del río Desaguadero con la variación en la superficie de las Lagunas de Guanacache, se realizó un ajuste cúbico entre los caudales observados y la reconstrucción regional a fin de obtener valores sintéticos para los años en los que no se disponen mediciones de caudales (1984/85 a 1986/87). Este ajuste presenta un coeficiente de determinación de $R^2 = 0,88$ lo cual garantiza una estimación adecuada de los caudales del río Desaguadero para esos años (Figura 2).

Figura 2. Diagrama de dispersión entre los caudales estivales del río Desaguadero y los caudales estivales regionales.



Fuente. Elaboración propia con datos obtenidos del Sistema Nacional de Información Hidrológica (SNIH).

3.2. Datos satelitales

Para medir la superficie irrigada de las Lagunas de Guanacache se utilizó la plataforma abierta Google Earth Engine (GEE), la cual permite el acceso a amplias bases de datos espaciales y gran capacidad de procesamiento (Gorelick et al., 2017). Con esta herramienta se procesaron 35 mosaicos de imágenes satelitales Landsat para el periodo comprendido entre 1985 y 2020. Cada mosaico está conformado mediante una combinación de las mejores escenas disponibles. Los sensores seleccionados fueron Landsat 5-TM, Landsat 7-ETM+ y Landsat 8-OLI/TIRS, de 30 m de resolución espacial, y 7, 8 y 11 bandas espectrales, respectivamente. Los periodos definidos para la combinación fueron de octubre a marzo, época estival que corresponde al mayor aporte de agua de los ríos tributarios del sistema de Guanacache. Con esta selección se filtraron y construyeron mosaicos libres de nubes, implementando la corrección al tope de la atmósfera (TOA) y mejorando la calidad general del producto final con el algoritmo Landsat Simple Composite.

Sobre cada mosaico se aplicó un índice que consiste en una operación aritmética entre bandas espectrales y varía entre -1 y 1. Para diferenciar superficies de agua y humedales de los alrededores, se utilizó el Índice Normalizado de Diferencia de Agua Modificado (Modified Normalized Difference Water Index -MNDWI-, Xu, 2006), el cual se calcula como:

$$\text{MNDWI} = (V - \text{SWIR1}) / (V + \text{SWIR1}),$$

donde V corresponde a la banda verde y SWIR1 corresponde a la banda del Infrarrojo de Onda corta 1, bandas 2 y 5 de Landsat 5-TM y Landsat 7-ETM+ y bandas 3 y 6 de Landsat 8 OLI/TIRS. Este índice fue utilizado con buenos resultados para la detección de otros humedales de la región (Bianchi *et al.*, 2017; Alvarez *et al.*, 2018) y para estudiar los efectos de obras de restauración ejecutadas por el gobierno de la provincia de San Luis en la localidad de Desaguadero (Calderón Achina y Alvarez, 2022).

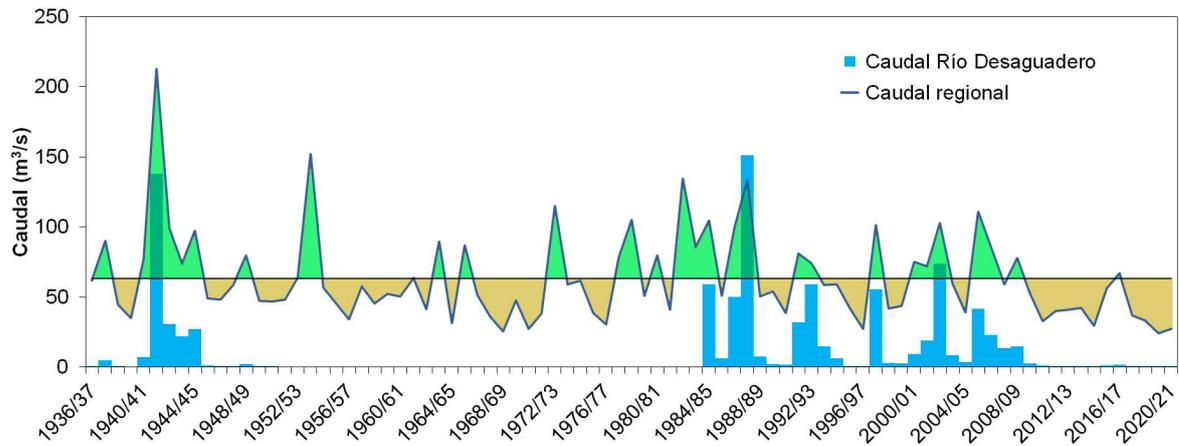
Los resultados fueron filtrados con un valor de umbral de 0.35, proyectados al sistema POSGAR 07, faja 2 y transformados a vectores para la estimación de las superficies. Para la representación cartográfica se seleccionaron dos periodos estivales: 1) 1987-1988, el año de mayor superficie detectado, y 2) 2009-2010, después de la construcción del dique embalse Potrerillos (2001) sobre el río Mendoza y la represa Los Caracoles (2008) sobre el río San Juan.

4. Resultados

4.1. Variabilidad observada en los caudales

Los caudales estivales del río Desaguadero presentan una concordancia temporal con la serie de caudales regionales para el periodo 1936/37-2020/21, donde los incrementos se asocian a la ocurrencia de periodos de excesos hídricos en el registro regional (Figura 3). Asimismo, los periodos con caudales bajos a escala regional, en particular durante los años 2010/11-2020/21, se asocian a escasos niveles de caudal en el río Desaguadero. A partir de esta relación es posible inferir el comportamiento de los caudales del río Desaguadero a lo largo del periodo que no posee mediciones, entre los años 1951/52 y 1986/87. En el mismo dominan los periodos de sequía hidrológica, en particular durante el periodo 1955/56 y 1971/72, interrumpidos por algunos años en los que los caudales superan los valores medios. Se destaca la presencia de un ciclo húmedo, parcialmente evidente en la serie de caudales anuales del río Desaguadero, el cual comienza en el año 1977/78 y finaliza en el año 1987/88, para luego continuar con una alternancia entre periodos secos y húmedos que desemboca en la ocurrencia de la sequía hidrológica reciente (2010/11-2020/21). Mediante el análisis de los periodos de caudales deficitarios a lo largo de los últimos 85 años se obtiene que ningún periodo de 10 años presentó las condiciones de sequía hidrológica observadas en el periodo 2010/11-2020/21, en el cual los caudales del río Desaguadero resultaron del orden de los 0,6 m³/s en promedio. Esto puede atribuirse tanto a fenómenos de variabilidad climática que propiciaron las condiciones de sequía como al manejo de los recursos hídricos a nivel cuenca.

Figura 3. Caudales estivales (octubre a marzo) del río Desaguadero (barras azules), junto con la serie de caudal regional (línea azul).

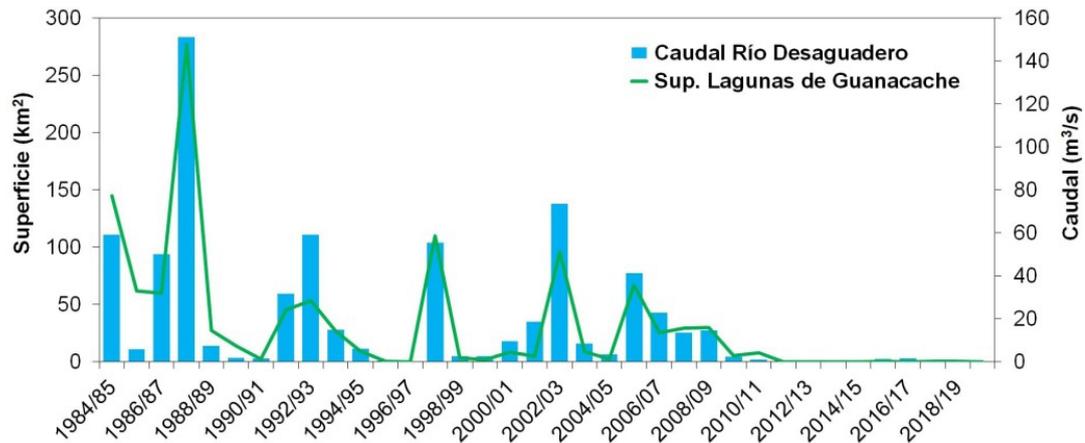


Fuente. Elaboración propia con datos obtenidos del Sistema Nacional de Información Hidrológica (SNIH). Se indican los períodos que se encuentran por encima del promedio de largo plazo (línea negra) con color verde y los períodos que se encuentran por debajo del promedio con color naranja.

4.2. Variabilidad en la cobertura de agua

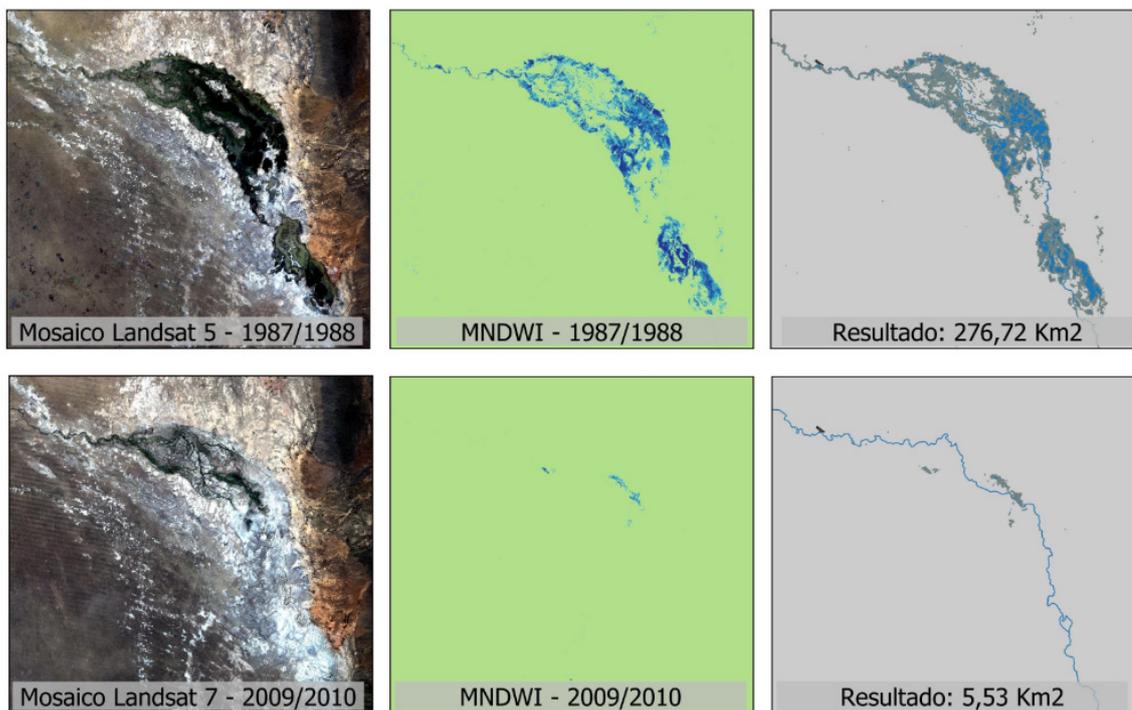
La evolución temporal de la superficie de las lagunas de Guanacache presenta una variabilidad significativamente relacionada con las fluctuaciones de los caudales estivales del río Desaguadero ($R = 0,953$, $p < 0,0001$). Se destaca la coherencia entre los valores de caudal estival y superficie de agua durante los años 1984/85 a 1986/87, lo cual corrobora que el método utilizado para estimar datos faltantes es adecuado. Se observa una predominancia de valores de superficie de agua superiores a los 25 km² entre los años 1985-1994, lo cual en parte se explica por incrementos en los caudales del río Desaguadero asociados al periodo húmedo registrado a partir de la década de 1980. Los máximos valores de superficie de las lagunas de Guanacache coinciden con los mayores caudales registrados en los aforos correspondientes al río Desaguadero, en particular para los años 1985 (144,99 km²), 1988 (276,62 km²), 1998 (109,7 km²), 2003 (95,74 km²) y 2006 (67,08 km²) (Figura 4). A modo de ejemplo, la Figura 5 muestra la cobertura de agua observada para el periodo estival 1987/88, el cual corresponde al mayor tamaño identificado a partir de las imágenes satelitales. Se observa el aporte de agua del río Desaguadero en el ingreso a las lagunas, las cuales presentan una ramificación importante en el límite entre las provincias de Mendoza y San Juan. Además, se observa una importante extensión de agua en la porción de las lagunas correspondiente al Parque Nacional Sierra de las Quijadas. La década de 2000 presentó algunos años con buenos aportes hídricos en la región, en particular durante los años 2002, 2003 y de 2006 a 2009 (Figura 4). A partir del año 2010, se observa una reducción marcada en la superficie de las lagunas de Guanacache, en consonancia con una disminución de los caudales superficiales de los principales ríos de la región. Los mínimos en la superficie de agua se dan en los años 1997, 2012, 2013, 2014 y 2020, con coberturas inferiores a 0,5 km². La Figura 5 muestra la cobertura estimada para el periodo estival 2009/10, la cual posee una extensión de 5,53 km². Se observa un importante desecamiento regional, con algunos cuerpos de agua aislados cerca del límite entre Mendoza y San Juan. Asimismo, no se observa caudal permanente en el río Desaguadero. Estos periodos de sequía hidrológica ocasionan importantes impactos negativos a los ecosistemas que dependen de los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos.

Figura 4. Variación temporal de la superficie de las lagunas de Guanacache y los caudales estivales del río Desaguadero.



Fuente. Elaboración propia en base a los resultados presentados en este trabajo.

Figura 5. Procesamiento de imágenes satelitales.



Fuente. Elaboración propia.

4.3. Rol de la variabilidad climática

Las mayores superficies detectadas para las lagunas de Guanacache se relacionan con la ocurrencia del fenómeno de El Niño, el cual suele generar nevadas por encima de los valores normales que generan excesos hidrológicos a escala regional (Masiokas *et al.*, 2006). Se destacan los años 1987/88 (276,62 km²); 1997/98 (109,7 km²) y 2002/03 (95,74 km²), que corresponden a eventos El Niño de intensidad fuerte (Guckenheimer *et al.*, 2017). En particular, el periodo húmedo identificado en la década de 1980 coincide con una transición hacia una fase cálida de la Oscilación

Decadal del Pacífico (PDO por sus siglas en inglés), la cual contribuye significativamente a la variabilidad decadal de los caudales regionales (Rivera et al., 2017). Por otro lado, las menores extensiones en las lagunas de Guanacache coinciden con la ocurrencia de fenómenos La Niña, como es el caso de los años 1995/96 (0,14 km²); 2011/12 (0,05 km²) y 2017/18 (0,22 km²). Cabe destacar que desde comienzos de la década de 2000 la PDO presenta mayormente características de fase fría, en consonancia con una mayor recurrencia de eventos La Niña, lo cual podría contribuir con la generación de la sequía hidrológica que afecta la región desde el año 2010. No obstante, la variabilidad climática no siempre explica el comportamiento hidrológico en cuencas con alta influencia antropogénica. Por ejemplo, durante los años 2015/16 se dio uno de los eventos El Niño más importantes del siglo XXI. A pesar de las mayores nevadas sobre la Cordillera de los Andes, los caudales del río Desaguadero presentaron niveles muy bajos, lo cual contribuyó al tamaño reducido de los cuerpos de agua de las lagunas de Guanacache. Debe tenerse en cuenta además que las precipitaciones durante los meses cálidos no generan aportes hídricos significativos ni para el río Desaguadero ni para las lagunas de Guanacache.

4.4. Rol del manejo del agua

Desde el año 2001 a la actualidad se construyeron 3 embalses sobre dos de los ríos que alimentan el río Desaguadero, mientras que en el río Tunuyán se llevó a cabo una ampliación en el volumen de almacenamiento del Embalse El Carrizal. Si bien estos cuerpos de agua sirvieron para hacer frente a las condiciones de sequía hidrológica que afectan a la región desde el año 2010/11, garantizando el riego en los oasis productivos de San Juan y Mendoza, se postula en función de estudios previos (Abraham y Prieto, 1991; Arancibia Abraham, 2019) y en base a nuestros resultados que el manejo de agua en las porciones media y alta de las cuencas de los ríos Mendoza, Tunuyán y San Juan contribuyó en el deterioro de sus cuencas inferiores. Estos cuerpos de agua generan alteraciones en los regímenes hidrológicos, afectando a la biodiversidad y los procesos ecológicos (Di Baldassarre et al., 2021), así como también el desarrollo de actividades humanas como la ganadería en zonas áridas (Montaña et al., 2016). Eso puede inferirse a partir de las series de superficie de las lagunas de Guanacache y los caudales del río Desaguadero, que presentaron sus niveles más bajos a lo largo de los últimos 10 años (Figura 4). Cabe destacar además que la deforestación, la pérdida de cobertura vegetal por sobrepastoreo del ganado y la invasión de especies exóticas, son factores antrópicos que aceleraron el proceso de degradación de las Lagunas de Guanacache (Sosa, 2021).

Teniendo en cuenta la proyección del embalse Tambolar, emplazado sobre el río San Juan y cuya capacidad máxima proyectada es de 605 hm³, el aporte de este río al caudal del río Desaguadero será menor. Del mismo modo, el Aprovechamiento Hidroeléctrico Uspallata (EMESA, 2022) se encuentra en etapa de prefactibilidad, donde se proyecta la construcción de varias represas sobre el río Mendoza, aguas arriba del Embalse Potrerillos. El incremento en la cantidad de embalses que regulan el caudal de los ríos que componen el Sistema Hidrológico del río Colorado afectará las actividades socioeconómicas en las porciones de las cuencas que se encuentran río abajo de los oasis productivos, así como también los humedales y ecosistemas que dependen de los aportes superficiales. Asimismo, estudios previos documentaron que zonas con humedales importantes fuera de la región de estudio, como el sistema de lagunas de Puelches o los Bañados del río Atuel, resultaron seriamente afectados por las obras de aprovechamiento de agua río arriba (González y Pratts, 2016; Rojas y Wagner, 2016).

5. Discusión

En este trabajo se indaga la relación entre el caudal estival del río Desaguadero y la superficie de las lagunas de Guanacache, para un periodo de 35 años (1984/85-2020/21). Diferentes autores han explorado esta problemática (Prieto y Rojas, 2012; Rojas y Wagner, 2016), dando cuenta que las políticas hídricas que implementaron las provincias de Mendoza y San Juan, desde 1880 a la actualidad, han ocasionado el deterioro y retracción de las lagunas de Guanacache. La disminución de los aportes de agua por el consumo de recursos hídricos en los oasis irrigados en los tramos superiores de los principales tributarios del río Desaguadero, la reducción de las nevadas en alta montaña y procesos de erosión retrocedente por falta de agua son algunas de las causas de esta problemática (Abraham y Prieto, 1991; Arancibia Abraham, 2019).

En este estudio ponemos énfasis en el rol de las políticas hídricas implementadas y en la relación directa entre la reducción de los aportes de agua proveniente de los ríos Mendoza y San Juan, y la retracción de los humedales que comprenden el sistema de lagunas de Guanacache. En este sentido, los resultados son interpretados en función del desarrollo de infraestructura hidráulica en los tramos superiores de la cuenca, considerando las oscilaciones de variabilidad climática de escalas interanuales e interdecadales. Los resultados obtenidos corroboran una relación positiva y directa entre el caudal del río Desaguadero y la superficie de las lagunas de Guanacache, fundamentalmente para el periodo comprendido entre 1984/85 y 2009/10. La correlación entre el caudal estival medio y la superficie irrigada del sistema es significativa ($R = 0,953$, $p < 0,0001$). Se destaca la presencia de oscilaciones de baja frecuencia, donde eventos húmedos, asociados a la fase positiva de la PDO, que está en línea con una mayor frecuencia del fenómeno El Niño, inciden en el registro de mayores valores de caudales y tamaño de los humedales. Por otro lado, los periodos asociados a la ocurrencia del fenómeno de La Niña resultan en una disminución de los cuerpos de agua y el caudal superficial que los alimenta. Diferentes estudios sobre el rol de la variabilidad climática en el centro-oeste de Argentina, destacan cómo operan mecanismos dinámicos que favorecen déficits y excesos en la nieve acumulada sobre la Cordillera de los Andes (Masiokas et al, 2006; Rivera et al., 2017; 2021). Esto afecta significativamente el aporte al río Desaguadero y al sistema de lagunas de Guanacache (Sosa y Amaya, 2015). No obstante, para el periodo reciente entre 2010/11 y 2021/21, el rol de la variabilidad climática parece ocupar un papel secundario frente al rol del manejo de agua en las porciones superior y media de las cuencas que alimentan a la región de estudio. La reducción reciente en el tamaño de las lagunas de Guanacache, obtenida a partir del índice MNDWI, está en línea con planteos previos (Arancibia Abraham, 2019), y muestra la existencia de un proceso de deterioro gradual y desaparición de cuerpos de agua superficiales que coincide con la reducción de los caudales del río Desaguadero.

Durante el año 2015/16 se registró el evento El Niño de mayor magnitud del siglo XXI, el cual generó acumulados de nieve cercanos al promedio climatológico, no obstante, no se observó un aumento en la superficie irrigada del área de estudio asociado a ese evento. En periodos anteriores, en el caso del río San Juan, después de inviernos de abundantes nevadas en la montaña se registraba la apertura de las compuertas del dique Ullum, con lo cual el paisaje de bañados y lagunas se recuperaba parcialmente (Abraham y Prieto, 1991). Esto coincide con lo observado por pobladores de la localidad de Desaguadero que en el invierno de 2017 presenciaron una inundación parcial de sus campos. Información que se observó mediante el procesamiento de imágenes satelitales con la metodología empleada para el presente trabajo pero a escala de ha. en lugar de Km^2 (Calderón Archina y Alvarez, 2022). Este contraste entre los efectos de El Niño y la apertura de compuertas para la erogación de agua en contextos de las nevadas, se puede explicar

debido a que las crecidas no se reflejan a una escala regional de paisaje pero sí pueden detectarse y operar a escala local.

Una revisión de las políticas hídricas que se implementan podría derivar en una reparación histórica de las lagunas de Guanacache, en las cuales se vienen aplicando diferentes tareas de restauración, por parte de las comunidades en conjunto con organizaciones no gubernamentales (Sosa *et al.*, 2021) y el gobierno de la Provincia de San Luis, el cual ha ejecutado parcialmente obras destinadas a retener el agua e incrementar la superficie de los humedales (Calderón Archina y Álvarez, 2022). Estas tareas de restauración que se han realizado a menor escala y las obras ejecutadas parcialmente en las inmediaciones de la localidad de Desaguadero, podrían potenciarse y completarse con la voluntad política de las Provincias que intervienen la cuenca aguas arriba.

Estudios realizados sobre la disponibilidad hídrica en el Oasis Norte de la Provincia de Mendoza señalan que la eficiencia global de riego tiene un valor aproximado del 35% (Torres *et al.*, 2003), un 95,2% de la demanda de agua corresponde al sector agrícola y si se realizarán mejoras en la matriz de distribución y en la industria en general se podría optimizar el consumo en un 37,4% (Duek, 2017). Medidas complementarias como la captación de agua pluvial, el reemplazo de especies forestales exóticas por plantas nativas y xerófitas en el arbolado público y los jardines, y mayor divulgación ambiental, pueden promover una cultura del cuidado del agua y un mejor uso de los recursos. Esta serie de reformas requiere de consenso y voluntad política, independiente de los partidos que se encuentren al mando del poder ejecutivo. Una modificación en el modelo de gestión de los recursos, mejoras en la infraestructura de riego y distribución urbana, y una mayor eficiencia de consumo de agua, podrían asegurar un aporte mínimo y estable de los ríos Mendoza y San Juan, mediante la liberación de un flujo constante de agua y promover la recuperación gradual del sistema de lagunas y bañados de Guanacache. Este tipo de iniciativas fueron llevadas a cabo exitosamente en otras regiones del mundo, lo cual muestra el potencial del manejo de represas y reservorios como estrategia para la conservación de la biodiversidad y los ecosistemas (Konrad *et al.*, 2012; Owusu *et al.*, 2021).

En términos globales, en el periodo previo a la desaparición de las lagunas de Guanacache, que comprende los años 1984/85-2010/11, hay una expansión de los oasis irrigados relacionada con inversiones de capitales internacionales (Martín y Larsimont, 2016) y un incremento en la demanda de recursos hídricos y la explotación de agua subterránea (Torres *et al.*, 2005). En este escenario, el cambio climático y la emergencia hídrica actúan como agravantes. Esta situación se asocia con la intervención de la cuenca, debido a la construcción de diversas obras de ingeniería como embalses, diques derivadores y otros sistemas de distribución de agua. Es necesario aclarar que las obras de infraestructura hidráulica son herramientas de gestión de los recursos, y el uso y regulación dependen fundamentalmente de las políticas que se implementan. Para seguir explorando la relación entre las políticas hídricas, la variabilidad climática y el rol de las provincias de Mendoza y San Juan en la degradación de los humedales de Guanacache, se requiere de estudios orientados al estudio de la dinámica hidrogeológica y la recarga subterránea.

La gestión hídrica regional no necesariamente garantiza la seguridad hídrica para las comunidades locales río abajo de los principales centros urbanos y para las necesidades ambientales en las porciones bajas de las cuencas involucradas. La determinación e implementación de caudales ecológicos como instrumento para la recomposición de los humedales de la región debe ser llevada a cabo lo antes posible, a fin de remediar el daño ambiental causado por las actividades socioeconómicas desarrolladas en los tramos medio y alto de las cuencas hídricas que forman

parte del río Desaguadero. Si bien existen diversas metodologías para estimar valores de caudal ecológico, algunos estudios sugieren como medida simple el caudal excedido el 90% del tiempo (Q90) como un indicador de las necesidades ambientales a nivel cuenca (Ren et al., 2018). De esta forma, podría establecerse un valor aproximado de caudal ecológico para el río Mendoza de 4,77 m³/s y para el río San Juan de 5,79 m³/s, lo cual constituiría aproximadamente un valor de 10 m³/s en el río Desaguadero. Esto permitiría la restauración del sistema de lagunas de Guanacache, la recuperación de los servicios ambientales que provee, los beneficios para los pobladores locales y su consecuente puesta en valor.

6. Conclusiones

Esta investigación cuantifica la dinámica superficial de las lagunas de Guanacache en el centro-oeste de Argentina, mediante el procesamiento de imágenes satelitales, y su nexa con la hidrología regional, a partir del análisis de los caudales de los principales ríos de la región. El rol de la variabilidad climática, cuya influencia fue muy relevante en la década de 1980, parece quedar relegado desde el año hidrológico 2010/11, donde a la situación de sequía hidrológica se le superpone un agravamiento como consecuencia del manejo del agua en las porciones superior y media de las cuencas de los ríos Mendoza y San Juan. Esto dio como resultado la desaparición casi total de los humedales y bañados de este sistema. Los cuales, como ya hemos mencionado, integran la Lista de humedales de la Convención Ramsar desde 1999 y 2007 (año en que se sumó el territorio correspondiente a San Luis). Si bien esta declaración señala la importancia ecológica de estos humedales y la necesidad de conservarlos, si no es acompañada de proyectos y medidas destinadas a la restauración de este sistema, su mera inclusión en la Lista no alcanza. Es decir, se requiere del acompañamiento político y económico del Estado, en sus diferentes niveles (municipal, provincial y nacional), a través de proyectos y políticas que promuevan su recuperación y aseguren su protección.

La recuperación de la trayectoria ecológica de los humedales depende fundamentalmente de la degradación del sitio y el nivel de conservación de los alrededores (Lindig-Cisneros y Zambrano, 2007). En este sentido, realizar liberaciones de agua programadas desde los diques y represas, y asegurar la disponibilidad y estabilidad de un flujo hidrológico mínimo es clave para el funcionamiento de los ecosistemas, su productividad e integridad ambiental (Mass, 2003), como es el caso específico de Guanacache. En función de los datos de caudales de los principales ríos que alimentan de las lagunas, es posible establecer un caudal ecológico mínimo preliminar de 10 m³/s para la restauración integral del sistema. Este flujo de agua permanente podría potenciar notablemente las tareas de restauración que se realizan a escala local con las comunidades (Sosa et al., 2021) y promover la finalización de obras pendientes para la recuperación de los humedales de Guanacache que realizó parcialmente la provincia de San Luis (Calderón Archina y Alvarez, 2022). El cambio que proponemos en el manejo de los recursos hídricos es necesario e inminente si tomamos en cuenta las proyecciones de cambio climático y la emergencia hídrica imperante. Ante este escenario, la adaptación y capacidad de gestión de crisis serán fundamentales, así como una distribución más equitativa de los recursos.

Bibliografía

- Abraham, E., & Prieto, M. D. R. (1991). Contributions of historical geography to the study of process of landscape change: the case of Guanacache, Mendoza, Argentina. *Bamberger Geographische Schriften*, 11, 309-336.

- Alvarez, L. M., Meglioli, P., Rivera, J.A., Bianchi, L.O., Martín, S. & Sosa, H. (2018). Efectos de la variación hidrológica sobre la dinámica poblacional del flamenco austral (*Phoenicopterus chilensis*) en el sitio Ramsar Laguna de Llanquanelo, Mendoza, Argentina. *Ornitología Neotropical*, 29, 275–280.
- Arancibia Abrahan, V. (2019). Fluctuación espacio-temporal del complejo de Lagunas de Guanacache, Divisadero y Bebedero durante 1987-2018. *Boletín de Estudios Geográficos*, (112), 161-180. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/beg/article/view/3396>
- Boelens, R. (2014). Cultural politics and the hydrosocial cycle: Water, power and identity in the Andean highlands. *Geoforum*, 57, 234-247. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2013.02.008>
- Calderón Archina, A., & Alvarez, L. (2022). Políticas del agua y de restauración de los humedales en lagunas de Guanacache: aproximaciones a un diálogo transdisciplinario. *Boletín de Estudios Geográficos*, (117), 11-32. <https://doi.org/10.48162/rev.40.012>
- Capitanelli, R. (1967). Climatología de Mendoza. *Boletín de Estudios Geográficos*, 14(54-57), 409-409.
- Cazenave, H. W. (2015). La cuenca del río Desaguadero: Un caso de desertificación por acción antrópica. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, 225-236. <https://doi.org/10.18766/2446-6549/interespaco.v1n2p225-236>
- Compagnucci, R. H., & Araneo, D. C. (2005). Identificación de áreas de homogeneidad estadística para los caudales de ríos andinos argentinos y su relación con la circulación atmosférica y la temperatura superficial del mar. *Meteorológica*, 30(1-2), 41-53.
- Contreras, S., Jobbágy, E. G., Villagra, P. E., Nosetto, M. D., & Puigdefábregas, J. (2011). Remote sensing estimates of supplementary water consumption by arid ecosystems of central Argentina. *Journal of Hydrology* 397, 10-22. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.11.014>
- Davidson, N. C. (2018). Ramsar convention on wetlands: Scope and implementation. In C. M. Finlayson, M. Everard, K. Irvine, R. J. McInnes, B. A. Middleton, A. A. van Dam, & N. C. Davidson (Eds.), *The Wetland Book I: Structure and function, management, and methods* (pp. 451-458). Springer. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9659-3_113
- Del Ponti, O., Cabrera, G. C., Vignatti, A. M., & Echaniz, S. A. (2015). Dynamics of the limnological parameters and zooplankton of La Brava, a shallow lake of the Atuel-Salado-Chadileuvú-Curacó system (La Pampa, Argentina). *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 3 (6), 193-199. <http://dx.doi.org/10.12691/aees-3-6-5>
- Di Baldassarre, G., Mazzoleni, M., & Rusca, M. (2021). The legacy of large dams in the United States. *Ambio*, 50(10), 1798-1808. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01533-x>
- Duek, A.E. (2017). Reseña de Tesis: Uso sostenible del agua en Mendoza. Estimación de la disponibilidad hídrica actual y escenarios futuros. *Cuyonomics. Investigaciones en Economía Regional* 1 (1): 94-99.
- Empresa Mendocina de Energía Sociedad Anónima (EMESA) (2022). Aprovechamiento Uspallata. Disponible en <https://emesa.com.ar/proyectos/aprovechamiento-uspallata/> (fecha de acceso: 26 de diciembre de 2022).
- Escolar, D., & Saldi, L. (2017). Making the indigenous desert from the European oasis: The ethnopolitics of water in Mendoza, Argentina. *Journal of Latin American Studies*, 49(2), 269-297. <https://doi.org/10.1017/S0022216X16001462>
- González, R.V., & Pratts, P.B. (2016). Usos del río Desaguadero – Salado en la alta cuenca y sus consecuencias en La Pampa. 3er Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos (IFRH) 2016, 6 y 7 de octubre, Ezeiza, Buenos Aires, Argentina.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Guckenheimer, J., Timmermann, A., Dijkstra, H., & Roberts, A. (2017). (Un)predictability of strong El Niño events. *Dynamics and Statistics of the Climate System*, 2(1), dzx004. <https://doi.org/10.1093/climsys/dzx004>
- Konrad, C. P., Warner, A., & Higgins, J. V. (2012). Evaluating dam re-operation for freshwater conservation in the sustainable rivers project. *River Research and Applications*, 28(6), 777-792. <https://doi.org/10.1002/rra.1524>
- Lauro, C., Vich, A., & Moreiras, S.M. (2019). Streamflow variability and its relationship with climate indexes in western river basins of Argentina. *Hydrological Science Journal*, 57 (1), 607-619. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1594820>
- Leberger, R., Geijzendorffer, I. R., Gaget, E., Gwelmami, A., Galewski, T., Pereira, H. M., & Guerra, C. A. (2020). Mediterranean wetland conservation in the context of climate and land cover change. *Regional Environmental Change*, 20(2), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01655-0>

- Lindig-Cisneros, R. & Zambrano, L. (2007). Aplicaciones prácticas para la conservación y restauración de humedales y otros ecosistemas acuáticos. En: Óscar Sánchez, Mónica Herzig, Eduardo Peters, Roberto Márquez-Huitzil y Luis Zambrano (Eds.), *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*, (pp. 167-188). Instituto Nacional de Ecología, México.
- Martín, F., & Larsimont, R. (2016). Agua, poder y desigualdad socioespacial. Un nuevo ciclo hidrosocial en Mendoza, Argentina (1990-2015). *Merlinsky, G.(comp.). Cartografía del conflicto ambiental en Argentina II. Buenos aires, CICCUS-CLACSO*, 31-56.
- Masiokas, M., Villalba, R., Luckman, B. H., Le Quesne, C., & Aravena, J. C. (2006). Snowpack variations in the Central Andes of Argentina and Chile, 1951-2005: large-scale atmospheric influences and implications for water resources in the region. *Journal of Climate* 19, 6334-6352. <https://doi.org/10.1175/JCLI3969.1>
- Mass, M. (2003). Principios generales sobre manejo de ecosistemas. En O. Sánchez, E. Vega, E. Peters & O. Monroy-Vilchis (Eds.), *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*, (pp. 117-137). Instituto Nacional de Ecología, México.
- Montaña, E., Diaz, H. P., & Hurlbert, M. (2016). Development, local livelihoods, and vulnerabilities to global environmental change in the South American Dry Andes. *Regional Environmental Change*, 16(8), 2215-2228. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0888-9>
- Owusu, A. G., Mul, M., van der Zaag, P., Slinger, J. (2021). Re-operating dams for environmental flows: From recommendations to practice. *River Res Applic*, 37, 176-186. <https://doi.org/10.1002/rra.3624>
- Prieto, M. D. R., & Rojas, F. (2012). Documentary evidence for changing climatic and anthropogenic influences on the Bermejo Wetland in Mendoza, Argentina, during the 16th-20th century. *Climate of the Past*, 8(3), 951-961. <https://doi.org/10.5194/cp-8-951-2012>
- Ren, K., Huang, S., Huang, Q., Wang, H., & Leng, G. (2018). Environmental Flow Assessment Considering Inter- and Intra-Annual Streamflow Variability under the Context of Non-Stationarity. *Water*, 10(12), 1737. <https://dx.doi.org/10.3390/w10121737>
- Rivera, J. A., Otta, S., Lauro, C., & Zazulie, N. (2021). A decade of hydrological drought in Central-Western Argentina. *Front. Water*, 3, 640544. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.640544>
- Rivera J. A., Araneo D. C., & Penalba O. C. (2017). Threshold level approach for streamflow droughts analysis in the Central Andes of Argentina: A climatological assessment. *Hydrological Sciences Journal*, 62(12), 1949-1964. <https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1367095>
- Rojas, J. F., & Wagner, L. (2016). Conflicto por la apropiación del río Atuel entre Mendoza y La Pampa (Argentina). *Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC) revista de la Solcha*, 6(2), 278-297. <https://doi.org/10.5935/2237-2717.20160016>
- Rojas, F., Sironi, O., & Martín, F. (2023). Water scarcity in Mendoza (Argentina): a socio-historical look from the second half of the 19th century. *Agua Y Territorio / Water and Landscape*, (22), 147-166. <https://doi.org/10.17561/at.22.7134>
- Salimi, S., Almuktar, S. A., & Scholz, M. (2021). Impact of climate change on wetland ecosystems: A critical review of experimental wetlands. *Journal of Environmental Management*, 286, 112160. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112160>
- Schwank, J., Escobar, R., Girón, G. H., & Morán-Tejada, E. (2014). Modeling of the Mendoza river watershed as a tool to study climate change impacts on water availability. *Environmental Science & Policy* 43, 91-97. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.01.002>
- Sosa, H. J., & Amaya, N. E. (2015). Restauración ecológica participativa de humedales en el sitio Ramsar Lagunas de Guanacache-Desaguadero-Bebedero, Mendoza, Argentina. *Restauración ecológica en la diagonal árida de la Argentina*. Mendoza: Editor Eduardo Martínez Carretero, 179-199.
- Sosa, H. J., Amaya, N., Blanco, D., Rodríguez, S., Aloy, G., Peralta, P., Sosa, J., & Delgado, J. (2021). Restauración ecológica de humedales del Monte. Técnicas participativas en el sitio RAMSAR Lagunas de Guanacache, Desaguadero y del Bebedero (provincias de Mendoza y San Luis, Argentina). *Multequina*, 30(2), 285-301.
- Torres, E., Abraham, E., Torres, L., & Rubio, C. (2005). El poder del agua en las tierras secas de Argentina. En: Fernández Cirelli, A. y E. Abraham (Eds.) *Uso y Gestión del Agua en Tierras Secas. Vol. XI, El agua en Iberoamérica. CYTED Área IV, Desarrollo Sostenible*, (pp 165-182). Mendoza, Argentina. ISBN 987-43-8181-7.
- Vich, A. I. J., Norte, F. A., & Lauro, C. (2014). Análisis regional de frecuencias de caudales de ríos pertenecientes a cuencas con nacientes en la Cordillera de los Andes. *Meteorológica*, 39(1), 3-26.

- Wardrop, D. H., Hamilton, A. T., Nassry, M. Q., West, J. M., & Britson, A. J. (2019). Assessing the relative vulnerabilities of Mid-Atlantic freshwater wetlands to projected hydrologic changes. *Ecosphere*, 10(2), e02561. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2561>
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing*, 27(14), 3025-3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>

Contribución de autorías

Leandro Manuel Alvarez tuvo la idea principal, realizó el análisis de imágenes satelitales y redactó el manuscrito. Juan Rivera efectuó el análisis climático y el estudio de los caudales y colaboró con la redacción del manuscrito. Aldana Calderón Archina, además de colaborar con la escritura del manuscrito, realizó trabajo de campo etnográfico en el área de estudio. Su experiencia en terreno fue clave para articular el estudio de factores climáticos con factores sociales y políticos y variables históricas.

Financiación

El trabajo fue realizado en las instalaciones del IANIGLA CONICET

Conflicto de intereses

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.