

Represas puntanas: Acceso, gestión y gobernanza del agua en las tierras áridas de San Luis

PATRICIO N. MAGLIANO^{1,2,✉}; MARCOS J. NIBORSKI^{1,3}; FRANCISCO MURRAY⁴; GUILLERMO HEIDER⁵; MARÍA V. PETIT¹; ALDANA CALDERÓN ARCHINA⁶; SILVINA I. BALLESTEROS¹; RICARDO A. PÁEZ¹; LUIS JOBBÁGY¹ & TOMÁS MILANI¹

¹Grupo de Estudios Ambientales-IMASL, Universidad Nacional de San Luis (UNSL) y CONICET. San Luis, Argentina.

²Departamento de Biología, Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia, Universidad Nacional de San Luis (UNSL). San Luis, Argentina. ³Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (UBA). CABA, Argentina. ⁴INTA, AER San Luis. San Luis, Argentina. ⁵Centro Científico Tecnológico de San Luis (CONICET). San Luis, Argentina. ⁶Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV), Chile.

RESUMEN. Los pobladores de la llanura árida del noroeste de San Luis cosechan agua de lluvia en pequeñas represas (tajamares) para producir ganado bovino y caprino en bosques nativos. Esta es una tecnología antigua que en las últimas dos décadas se complementó con acueductos que transportan agua desde la Sierra Central de San Luis (dique de Nogolí). En este trabajo, 1) presentamos una aproximación a las percepciones sociales y conocimientos locales sobre las represas, 2) aplicamos mejoras tecnológicas en seis de ellas para aumentar la eficiencia de cosecha y almacenamiento de agua, y 3) caracterizamos la dinámica temporal del recurso hídrico regional (represas y dique). Para ello, realizamos encuestas a usuarios de represas, instalamos sensores de nivel de agua, contratamos maquinaria vial para realizar mejoras y analizamos bases de datos existentes. Los resultados de las encuestas mostraron que las represas, lejos de ser un simple reservorio de agua, conforman el patrimonio cultural de las familias rurales. Por otra parte, la aplicación de mejoras tecnológicas aumentó el nivel de agua máximo promedio de las represas, de 144 a 220 cm ($P < 0.05$), lo cual se tradujo en un aumento del volumen máximo promedio albergado de 1282 m³ (113% mayor que la situación original; $P < 0.05$). El nivel de agua diario de las represas mejoradas fue mayor al de las testigos (en promedio, 110 vs. 62 cm, respectivamente; $P < 0.01$). La provisión de agua de las represas mostró complementariedades respecto a la dinámica temporal del dique de Nogolí en lo que refiere a la velocidad de respuesta a la lluvia y al desfase temporal del llenado y vaciado. Este trabajo aporta conocimiento clave para alcanzar la 'soberanía hídrica' de la llanura árida del noroeste de San Luis, proponiendo la puesta en valor de las represas existentes y el uso del acueducto como complemento de ellas.

[Palabras clave: aguadas, desierto, escorrentía, monte, pastoreo continuo, población rural]

ABSTRACT. Impoundments of San Luis: Water access, management and governance in these arid lands. The inhabitants of the arid plain of northwest San Luis harvest rainwater in impoundments (small dams) to support cattle and goat production in native forests. This ancient technology has been complemented, in the last two decades, by aqueducts that transport water from the central mountains of San Luis (Nogolí dam). In this study, we 1) present an approach to social perceptions and local knowledge about impoundments; 2) implement technological improvements in six of them to increase the efficiency of water harvesting and storage, and 3) characterize the temporal dynamics of the regional water resource (impoundments and Nogolí dam). To achieve this, we conducted surveys with impoundment users, installed water level sensors, hired road machinery for improvements, and analyzed existing databases. The survey results showed that the impoundments, far from being mere water reservoirs, constitute the cultural heritage of rural families. The application of technological improvements significantly increased the maximum average water level of the enhanced impoundments, from 144 to 220 cm ($P < 0.05$), resulting in a 113% increase in the average maximum stored volume, reaching 1282 m³ ($P < 0.05$). The daily water level of the improved impoundments was higher than control ones (on average, 110 vs. 62 cm, respectively; $P < 0.01$). The water supply from the impoundments exhibited complementarities concerning the temporal dynamics of the Nogolí dam in terms of the speed of response to rainfall and the time lag between filling and emptying. This study provides key knowledge to achieve 'water sovereignty' in the arid plain of northwest San Luis by proposing the enhancement of existing impoundments and the use of the aqueduct as a complement to them.

[Keywords: water points, desert, runoff, forest, continuous grazing, rural population]

INTRODUCCIÓN

El acceso al agua dulce es indispensable para el asentamiento humano y para el desarrollo de la producción agropecuaria en todo el planeta (Jackson et al. 2001; D'Odorico et al. 2013). Las regiones áridas y semiáridas ocupan un tercio de la superficie terrestre y se caracterizan por la dificultad para acceder al agua y la alta variabilidad climática (Reynolds et al. 2007; Maestre et al. 2022). Esta característica se hace aun más evidente en regiones de llanura o alejadas de montañas o de otros elementos del paisaje considerados como 'generadores de agua líquida' (Farley et al. 2005; Poca et al. 2020). El noroeste de la provincia de San Luis (i.e., sur de Chaco Árido) representa un ejemplo de sitio con dificultad para acceder al agua (Karlín et al. 2013; Magliano et al. 2023). Esto se debe a la combinación de cuatro factores: a) las precipitaciones son escasas (300-500 mm/año); b) la demanda atmosférica es alta (1300-1800 mm/año); c) las napas freáticas se encuentran muy profundas (>100 m) o son saladas (i.e., no aptas para consumo humano o animal), y d) no existen cuerpos de agua superficiales dulces (ríos o lagunas) permanentes (Niborski et al. 2022). Por esta razón, el asentamiento y el desarrollo de los actuales poblados se logró exclusivamente cosechando agua de lluvia (Magliano et al. 2015c; Magliano et al. 2023). Asimismo, existen evidencias de que los pobladores nativos y los pueblos originarios cosechaban agua (a menor escala) antes de que llegaran los europeos (Heider et al. 2019; Heider et al. 2020; Archina 2021; Calderón Archina 2022; Heider 2023).

El acceso al agua por parte de las familias que residen en zonas rurales del noroeste de San Luis se basa sobre el uso de represas (tajamares) (Greslebin 1931; Aurand 2012; Magliano et al. 2015c; Pelliza et al. 2020). Una represa es un pequeño dique artificial de media hectárea de superficie y dos metros de profundidad, que realizan los pobladores para cosechar el agua que escurre por la superficie en las tormentas de verano (Umazano et al. 2004; Basán Nickisch 2007). Su principal finalidad es abastecer de agua al ganado y satisfacer las demandas domésticas (Umazano et al. 2004; Basán Nickisch 2007). En la actualidad, cada familia que produce ganado bovino y caprino tiene al menos una represa en su campo. Esto genera una existencia total de casi 3000 represas, distribuidas en las 2.5 millones de hectáreas que comprenden esta región (Niborski et al. 2022) (Figura 1).

La cosecha de agua de lluvia en represas presenta varias ventajas como, por ejemplo, 1) no necesita grandes obras hidráulicas para funcionar; 2) no requiere transportar agua ni trasvasar agua de una cuenca a otra; 3) el agua se puede gestionar tanto de forma individual como conjunta o comunitaria; 4) se trata de una tecnología ancestral en la región, y 5) la calidad físico-química del agua cosechada es adecuada (Blanes and Giménez 2006; Basán Nickisch 2010; 2013; Adema 2015; Agüero et al. 2020). El último punto es en particular importante porque esta fuente de agua no presenta los problemas comunes (e.g., altos contenidos de arsénico) de regiones aledañas que acceden al agua mediante perforaciones (Blanes and Giménez 2006; Basán Nickisch 2013; Adema 2021).

Las represas siguen una dinámica estacional en lo que respecta a su contenido de agua. Esto se debe a que a) solo se llenan en verano (durante la estación de lluvias); b) con frecuencia se vacían a la salida del invierno (estación seca), y c) no todos los veranos logran volver a llenarse por completo (Magliano et al. 2019; Niborski et al. 2023). En la última década se observó una reducción generalizada de la cantidad de agua cosechada (Guillermo Ojeda y Diego Lorenzetti, comunicación personal), lo cual generó crisis de abastecimiento hídrico en momentos puntuales del año. Si bien esta situación impactó de manera negativa sobre la producción de las familias, resulta muy difícil estimar las pérdidas económicas que generan estas crisis. Esto se debe a la informalidad del mercado en el cual se comercializa la hacienda y a la colaboración entre vecinos para salir adelante en malos momentos. Cuando una represa se queda sin agua, los vecinos ofrecen su represa para salvar los animales. Esta acción evita que se reduzca el número de cabezas de una familia dada, pero impacta negativamente sobre la ganancia diaria de peso de la hacienda (mayor distancia para transitar, menor oferta de forraje debido al aumento en el número de cabezas repentino del campo que recibe la hacienda). En línea con esto, si bien la provisión de agua está muy condicionada por la ocurrencia de lluvias y por la ubicación de las represas en el paisaje, las características estructurales y funcionales de las represas juegan un papel importante en la capacidad para cosechar y almacenar el agua (Magliano et al. 2015c; Pelliza et al. 2020). En este sentido, la falta de recursos económicos de las familias y de los municipios para realizar las mejoras necesarias en las represas

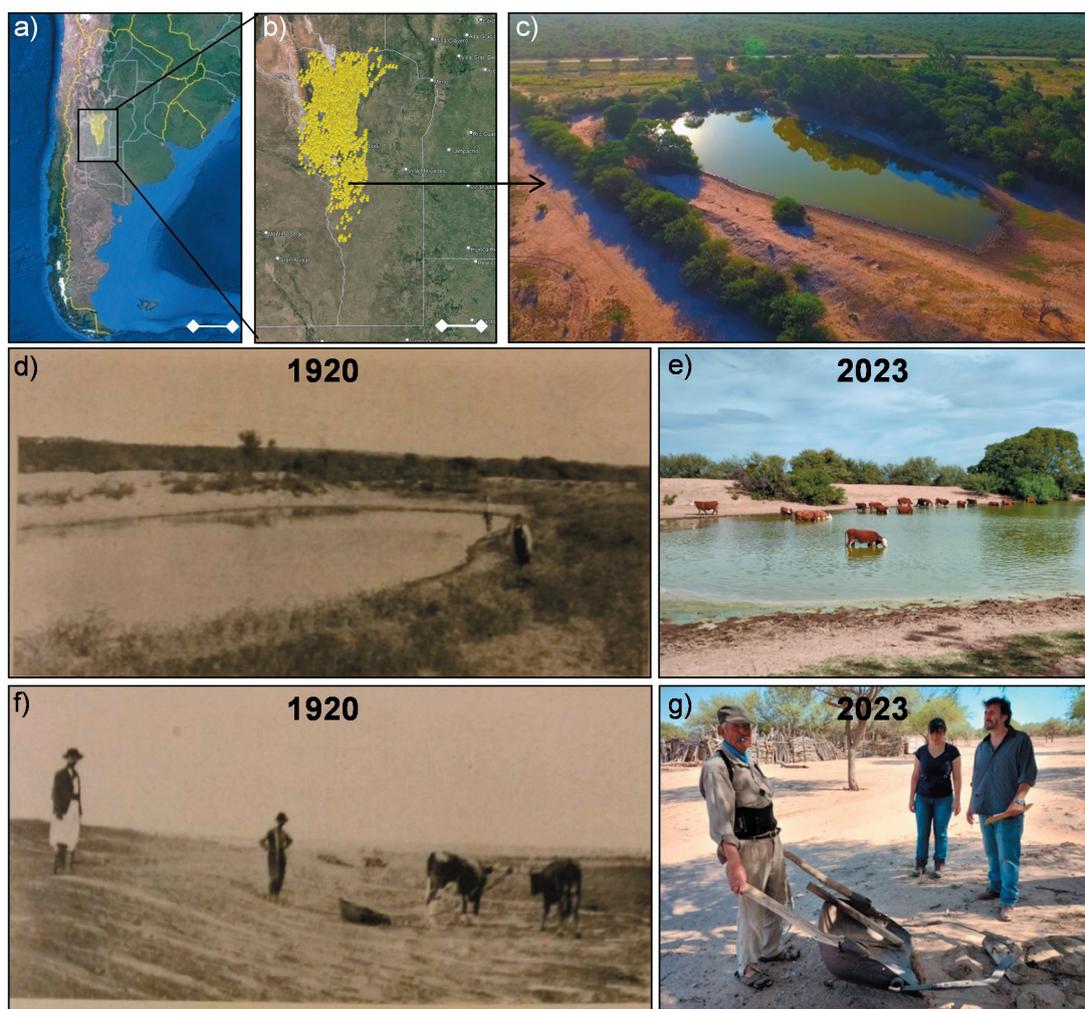


Figura 1. Región de estudio y sistemas de cosecha de agua de lluvia. a) Argentina. b) Provincia de San Luis, donde cada marcador amarillo identifica una represa (n=3000). c) Fotografía de represa típica de San Luis (gentileza del canal UNSL TV). d) y f) Fotografías de represas tomadas durante las travesías de la región occidental puntana en Chischaca, San Luis (Greslebin 1931). e) y g) Fotografías de represas actuales. En f) y g) se observa un rastrón (elemento manual para excavar represas en el pasado) traccionado por dos mulas hace 100 años y presentado por un productor en la actualidad, respectivamente.

Figure 1. Study area and rainwater harvesting systems. a) Argentina. b) Province of San Luis, where each yellow marker identifies an impoundment (n=3000). c) Photograph of a typical impoundment in San Luis (courtesy of UNSL TV channel). d) and f) Photographs of impoundments taken during journeys in the western region of San Luis in Chischaca, San Luis (Greslebin 1931). e) and g) Photographs of current impoundments. In f) and g), a scraper (manual tool used to excavate impoundments in the past) pulled by two mules 100 years ago and presented by a producer today can be observed, respectively.

aumenta de forma sustancial la incertidumbre en la disponibilidad hídrica (Aurand 2012). Aumentar la eficiencia hídrica de las represas (mayor cosecha de agua o menores pérdidas del agua almacenada) es uno de los grandes desafíos de la región.

Frente al problema de acceso al agua en la llanura árida del noroeste de San Luis, en el año 2002, el Estado Provincial realizó, en la localidad de Nogolí (Sierra Central de San Luis), un dique que embalsa el agua del río Nogolí y la conduce a través de una red de

acueductos subterráneos hacia el noroeste de la provincia. El recorrido del agua en acueductos va desde los 20 hasta los 200 km. Su principal finalidad es abastecer de agua a la producción ganadera. Esta obra muestra aspectos muy positivos en cuanto a aumentar la 'seguridad hídrica' de las familias que producen. Sin embargo, no ha logrado dar con una solución integral y permanente al problema. En términos generales, se observa que 1) el acueducto llega a una fracción minoritaria de los productores; 2) hay muchos requerimientos para acceder al mismo (e.g., título de las tierras,

infraestructura, etc.); 3) el suministro de agua se corta con frecuencia (e.g., en 2022 hubo 15 días continuos de suspensión del servicio), y 4) el costo de construir y mantener el dique y los acueductos es muy elevado, incluso para el Estado Provincial. Además, en los últimos años, el volumen de agua almacenada en el dique disminuyó marcadamente. Es importante mencionar que esta situación fue común a varios diques de la provincia, en especial durante el año 2022 (fuente: San Luis Agua). Esto deja en evidencia la necesidad de pensar alternativas que complementen a los diques para satisfacer la demanda hídrica.

En la actualidad, la demanda de agua en las tierras áridas del noroeste de San Luis es abastecida en forma deficiente por represas y acueductos. Esta situación genera una gran tensión en los municipios debido a que es allí donde suelen llegar los reclamos de las familias. La forma de sobrellevar esta problemática es enviando agua en camiones cisterna campo por campo. Cada municipio tiene un solo camión trabajando de lunes a lunes para repartir agua durante, como mínimo, tres meses al año (Guillermo Ojeda y Diego Lorenzetti, comunicación personal). Esto representa un costo enorme para el escaso presupuesto que manejan los municipios y una ineficiencia muy grande en términos logísticos. Por otra parte, si bien hace dos décadas el acueducto parecía ser la solución al problema, en los últimos años no hay seguridad de ello. Este complejo y difícil contexto nos lleva a pensar de nuevo en el rol que tuvieron las represas en el pasado, haciendo posible el asentamiento humano y desarrollo productivo de la región (Heider et al. 2019; Archina 2021; Heider 2023). El gran desafío es aumentar su 'eficiencia hídrica' para que vuelvan a ser protagonistas de la producción como lo fueron en el pasado, y buscar una asociación sinérgica con el acueducto.

En este trabajo nos propusimos tener una visión integral del acceso, la gestión y la gobernanza del agua en la llanura árida de San Luis en lo que respecta a las personas, la tecnología y la planificación del recurso hídrico. En particular, 1) buscamos aproximarnos a saberes y percepciones de las familias sobre las represas, su vínculo con el agua y los cambios relacionados con su provisión; 2) aplicamos mejoras tecnológicas a seis represas para evaluar su potencial aumento en eficiencia de cosecha y almacenamiento

de agua de lluvia, y 3) caracterizamos la dinámica temporal del recurso hídrico de las represas y del dique de Nogolí. Para ello, fue necesaria la participación activa de las familias productoras (tomando datos y proveyendo información sobre el funcionamiento de las represas), la contratación de una empresa con maquinaria vial para llevar adelante obras de infraestructura en terreno y la interacción permanente con intendentes de dos municipios (Alto Pencoso y La Calera).

MATERIALES Y MÉTODOS

Región de estudio

El noroeste de la provincia de San Luis se corresponde con una llanura de 2.5 millones de hectáreas que ocupan el extremo sur del Chaco Árido (Oyarzabal et al. 2018; Niborski et al. 2022). Los límites de esta llanura árida son el río Desaguadero al oeste, la Sierra Central de San Luis al este, el cerro Varela al sur y el límite político con La Rioja al norte (Karlin et al. 2013). Sus suelos son en su mayoría entisoles de origen sedimentario, compuestos por loess transportado por el viento desde la Cordillera de los Andes y trabajado localmente por el agua (Iriondo 1993; Peña Zubiarte et al. 1998; Kirby et al. 2001). La precipitación media anual oscila entre 300 y 500 mm, con eventos de lluvia concentrados en la estación cálida de verano (Magliano et al. 2015b; Magliano et al. 2016). La vegetación dominante son los bosques secos nativos de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) y algarrobo dulce (*Prosopis flexuosa*) (García et al. 2017; Oyarzabal et al. 2018; Nosetto et al. 2020). Los espacios rurales de esta región se encuentran poblados en forma de parajes (conjunto de viviendas cercanas) o puestos aislados distribuidos a lo largo y ancho de su territorio (Heider et al. 2019; Archina 2021; Cotroneo et al. 2021). Por ello, su densidad poblacional promedio es baja (4 habitantes cada 1.000 hectáreas) (Censo Nacional 2021), pero la presencia humana en el territorio es alta. La principal actividad económica es la ganadería de cría extensiva utilizando el bosque nativo (pastos y frutos de algarrobo) como principal recurso forrajero (Rueda et al. 2013; Fernández et al. 2020). En algunos campos, una fracción del bosque es reemplazada por pasturas C4, introducidas mediante la tecnología del rolado (Anriquez et al. 2005; Coria et al. 2015). El producto comercializado son terneros vacunos de 150 kg y chivos de 12 kg (Blanco and Vera 2020; Villagrán 2022). Como

se mencionó antes, el agua para bebida del ganado se consigue mediante la cosecha de agua de lluvia en represas (tajamares) y, en menor medida, con el acueducto del dique de Nogolí.

Trabajo con pobladores locales

Desde un enfoque cualitativo, trabajamos junto con pobladores rurales mediante tres aproximaciones distintas: encuestas, entrevistas y talleres participativos (Hernández Sampieri et al. 2018; Guber 2019). Las encuestas constaron de una lista de 15 afirmaciones cuyas únicas respuestas posibles fueron 'sí' o 'no'. De este modo, los resultados de las encuestas fueron un porcentaje de aceptación o de rechazo de cada afirmación, sin ningún tipo de intervención por parte del encuestador. Las encuestas se realizaron en los hogares de las familias durante tres viajes de campo en diciembre de 2022. En todos los casos, el encuestador fue Guillermo Heider y lo acompañaron Victoria Petit y Patricio Magliano. Los/as encuestados/as incluyeron a un total de 10 personas (8 hombres y 2 mujeres), con edades que varían entre los 18 y 70 años. Las identidades de los/as encuestados/as no son reveladas en este trabajo, a excepción de dos de ellas: los intendentes Guillermo Ojeda y Diego Lorenzetti (Alto Pencoso y La Calera, respectivamente). Los intendentes nos dieron su consentimiento para comunicar sus respuestas. Las entrevistas se realizaron sobre las mismas 10 personas que respondieron la encuesta. De igual modo, Guillermo Heider fue el entrevistador, acompañado por Victoria Petit y Patricio Magliano. Las entrevistas dieron la posibilidad de indagar acerca de las valoraciones, percepciones, conocimientos y prácticas culturales relacionadas con las represas y, en términos más generales, al vínculo de la gente con el agua. Las entrevistas constaron de 18 secciones (entre 3 y 5 preguntas por cada sección) y tuvieron un formato semiestructurado. O sea, si el entrevistado deseaba explayarse sobre alguno de los temas, o si comentaba cosas por fuera de las preguntas establecidas, se lo escuchaba sin objeciones. Finalmente, realizamos dos talleres participativos en los municipios de Alto Pencoso y La Calera el 24 y el 28 de febrero de 2023, respectivamente (Figura 2). El objetivo de los talleres fue discutir la problemática del agua en la región y compartir los resultados de las encuestas y las entrevistas en un ambiente de diálogo e intercambio de experiencias (Fernández 2016; Fernández et al.

2017). Además de este intercambio de ideas, se persiguió un objetivo específico que fue lograr un consenso acerca de las características que debe reunir una represa 'ideal'. Es decir, listar un conjunto de elementos que debe reunir una represa determinada para lograr cosechar la máxima cantidad de agua posible en verano y mantenerla durante todo el invierno. En los talleres participaron las personas entrevistadas individualmente y vecinos de la zona.

Mejoras tecnológicas en represas

Montamos una red de monitoreo sobre 12 represas situadas bajo la jurisdicción de los municipios de Alto Pencoso (lat-lon: -33.43, -66.42) y La Calera (lat-lon: -32.87, -66.84). El monitoreo se llevó adelante mediante la instalación de reglas de medición del nivel de agua y de pluviómetros manuales para registrar la lluvia. Las reglas constaron de caños cilíndricos de 11 cm de diámetro y 2.5 m de longitud, pintados en forma intercalada de blanco y rojo (50 cm cada color), con marcas de graduación negras cada 25 cm. Las mediciones de nivel de agua de las represas y de las lluvias fueron realizadas por las familias involucradas. Cada familia reportó en forma mensual el nivel de agua de su represa y el dato de lluvia cada vez que ocurría un evento. La forma de coleccionar los datos fue mediante registro fotográfico y envío por WhatsApp a Patricio Magliano. Los datos del nivel de agua de las represas y de lluvias reportados por las familias se utilizaron para validar datos provenientes de sensores electrónicos fijos instalados en 8 de las 12 represas.

De las 12 represas de la red, le realizamos mejoras tecnológicas a seis y dejamos las restantes como testigos (i.e., controles). De aquí en adelante llamaremos 'reparadas' a las represas que recibieron las mejoras y 'testigos' a las represas que no lo hicieron. La disposición espacial de las represas siguió un diseño experimental pareado: reparadas y testigos. En aquellos casos en los cuales una familia tenía dos represas en su campo, una fue considerada testigo y la otra se reparaba. La elección de la represa a reparar fue al azar. En los casos en los que las familias tenían solo una represa en su campo, se buscó la cercanía espacial para armar el par 'reparada-testigo'. En todos los pares, la distancia entre represas fue menor a 1.5 km para disminuir el error experimental generado por variables relacionadas con el suelo, la vegetación y el clima. Las mejoras se realizaron mediante la

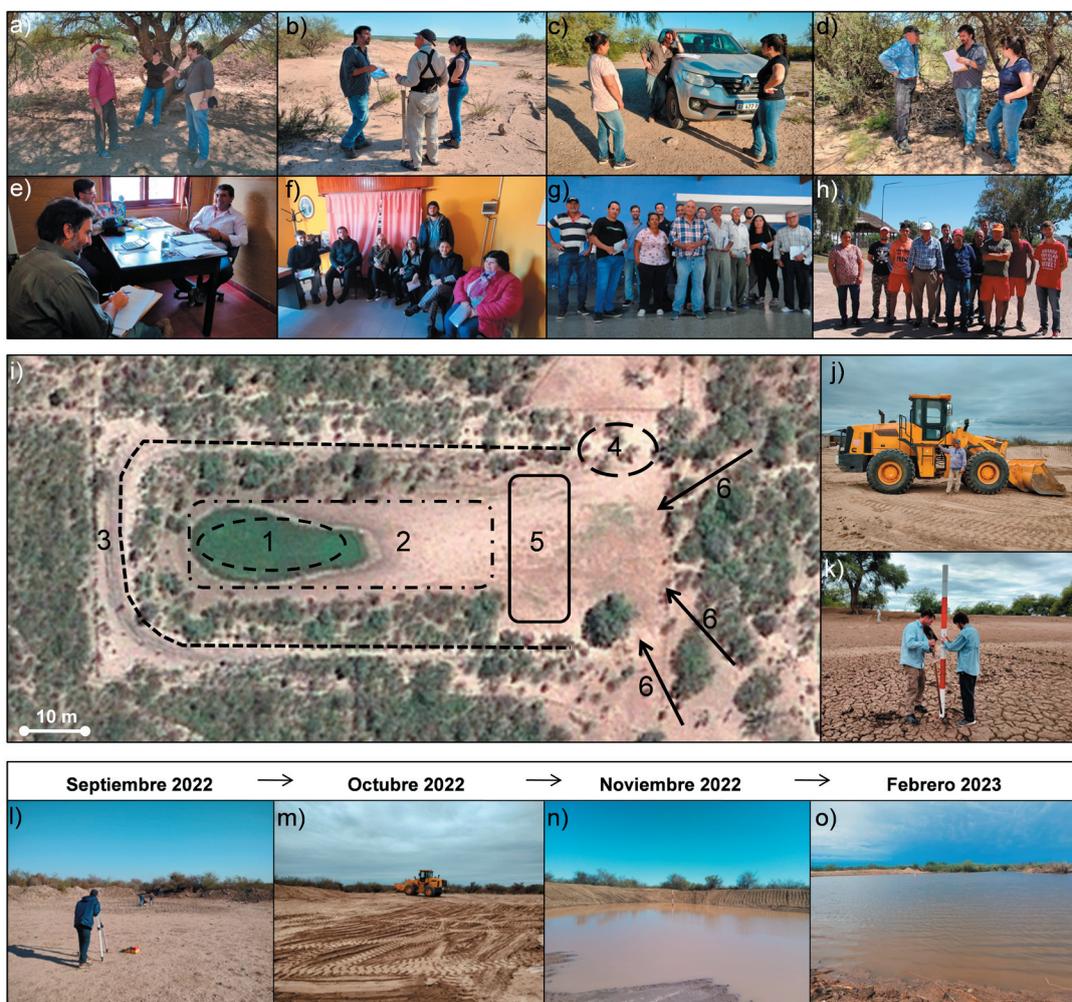


Figura 2. Arriba: trabajo con pobladores y usuarios de represas en el noroeste de San Luis. a-d) Encuestas realizadas a productores/as de bovinos y caprinos en sus campos. e) Entrevista realizada al intendente de Alto Penco. f) Encuentro con vecinas productoras y con el intendente de La Calera. g-h) Talleres participativos con productores/as de La Calera (g) y Alto Penco (h) en los municipios. Centro: aplicación de mejoras tecnológicas y montaje de red de monitoreo. i) Tareas realizadas sobre las represas: (1) remoción de sedimentos acumulados en la parte más profunda, (2) profundización y compactación del suelo, (3) elevación y fortalecimiento del terraplén de contención, (4) construcción de desagüe para evitar excesos hídricos, (5) construcción de desarenador para evitar sedimentación futura, y (6) limpieza y reapertura de avenidas de agua. j) Pala mecánica de carga frontal utilizada. k) Instalación de regla de medición del nivel de agua. Abajo: cronosecuencia de los trabajos realizados en una de las represas. l) Registro de niveles topográficos previo a las mejoras. m) Trabajo de la pala mecánica. n) Registro de primera lluvia de la temporada. o) Represa llena luego de la finalización de la temporada de lluvias. Para más información sobre el trabajo realizado, acceder a [youtube.com/watch?v=Xlc-wtjY1cE&t=23s](https://www.youtube.com/watch?v=Xlc-wtjY1cE&t=23s).

Figure 2. Top: work with inhabitants and users of impoundments in the northwest of San Luis. a-d) Surveys conducted with cattle and goat ranchers in their fields. e) Interview with the mayor (local government) of Alto Penco. f) Meeting with female ranchers and the mayor of La Calera. g-h) Participatory workshops with ranchers from La Calera (g) and Alto Penco (h) in the municipalities. Center: application of technological improvements and establishment of a monitoring network. i) Tasks performed on the impoundments: (1) removal of accumulated sediments in the deepest part, (2) soil deepening and compacting, (3) raising and strengthening of the containment embankment, (4) construction of drainage to prevent excess water, (5) construction of a sand trap to prevent future sedimentation, and (6) cleaning and reopening of water avenues. j) Front-loading mechanical excavator used. k) Installation of a water level ruler. Bottom: chronosequence of the work carried out on one impoundment. l) Record of topographic levels before the repairs. m) Mechanical excavator work. n) Record of the first rainfall of the season. o) Impoundment filled after the end of the rainy season. For more information, visit [youtube.com/watch?v=Xlc-wtjY1cE&t=23s](https://www.youtube.com/watch?v=Xlc-wtjY1cE&t=23s).

contratación de una empresa especializada en reparaciones de represas de la zona: MAPA S.R.L. (director ejecutivo: Ing. Agr. Pablo Capellini).

Las mejoras tecnológicas implementadas en las seis represas fueron el resultado de la interacción de tres componentes: los antecedentes científicos generados en la

región, la experiencia de la empresa contratista y los conocimientos empíricos específicos que cada familia aportó sobre su represa. El resultado de esto fue un listado de 6 tareas a realizar en cada represa: 1) remoción de sedimentos acumulados en la parte más profunda; 2) profundización y compactación de toda la superficie de la represa; 3) elevación y fortalecimiento del terraplén de contención; 4) construcción de desagüe para evitar excesos hídricos; 5) construcción de desarenador para evitar sedimentación futura, y 6) limpieza y reapertura de avenidas de agua (Figura 2). Las mejoras se realizaron con una pala cargadora frontal, modelo Lonking 856, de 2.5 metros cúbicos de capacidad. En total, destinamos 90 horas de trabajo, distribuidas en 15 horas para cada represa. Estas horas fueron suficientes para realizar las tareas 1, 2, 3 y 4 en todas las represas, mientras que las tareas 5 o 6 solo se pudieron realizar en aquellas represas de dimensiones más pequeñas o de mayor facilidad de trabajo.

En cada represa reparada registramos el nivel de profundidad máxima alcanzado antes y después de realizar las mejoras. Para ello, utilizamos un nivel óptico de campo (teodolito). Dichas mediciones se realizaron a principios de septiembre de 2022 (previo al trabajo de la maquinaria) y a finales de octubre de 2022 (luego del trabajo de la maquinaria). De manera complementaria, generamos un modelo de elevación digital sobre cada una de las represas mediante el uso de imágenes satelitales Planet (planet.com), el programa QGIS (qgis.org/es/site) y la metodología desarrollada por Niborski et al. (2023). Dicha metodología genera curvas de nivel (entre 6 y 8 por represa) asociadas a distintos niveles de agua logrando desarrollar un modelo de elevación digital que combina el nivel con el volumen de agua de cada represa. Una vez determinados los niveles y volúmenes de todas las represas reparadas, comparamos sus valores previos y posteriores al arreglo de la maquinaria. Para ello, realizamos dos pruebas t de Student para muestras pareadas: uno para evaluar el efecto sobre el nivel y otro sobre el volumen. Consideramos a cada represa como una unidad experimental y los tratamientos fueron 'antes' y 'después' de aplicar las mejoras (n=6 réplicas). Previamente, validamos los supuestos de normalidad y de homocedasticidad de los datos mediante las pruebas de Shapiro Wilk y Levene, respectivamente. Asumimos un nivel de significancia de 0.05 en todos los casos. Los análisis se realizaron en Rstudio.

De las 12 represas de la red de monitoreo, tomamos ocho (cuatro pares de reparadas/testigos) y las instrumentamos con sensores de nivel de agua electrónicos. Utilizamos transductores de presión HOBBO Onset Devices. En cada represa instalamos un sensor en la parte más profunda (al pie de la regla de medición visual) y dejamos otro instalado fuera de la represa como barómetro (compensador de presión atmosférica). El dato de nivel de agua surge como la diferencia entre el sensor de la represa y el barómetro. Programamos los sensores para registrar un dato por hora. Luego, promediamos los datos cada 24 horas para lograr un dato diario confiable y robusto. Instalamos los sensores el 4 de noviembre de 2022 y los retiramos el 24 de mayo de 2023 (200 días de registro). Las series temporales registradas partieron de igualdad de condiciones, con niveles de agua igual a cero (represas secas). La única excepción fue la represa de Vallejos que comenzó el registro de nivel con 26 cm de agua, pero se secó por completo 10 días después; por eso, se puede asumir que el ensayo comenzó en igualdad de condiciones para los cuatro pares de represas. Dentro de cada par reparada/testigo comparamos el 'nivel de agua' de las represas durante los 200 días. Elegimos esta variable debido a que es la más sensible al tratamiento aplicado y la más independiente respecto de las características originales de las represas (tamaño, ubicación en el paisaje, características de la cuenca, entre otras). Para cada par, construimos un modelo lineal generalizado (GLM, de las siglas en inglés de Generalized Linear Models) (Zuur et al. 2009). Para ello, consideramos al 'nivel de agua' como la variable respuesta, a los tratamientos (testigo vs. reparada) como factor fijo y al tiempo (200 días) como factor aleatorio. Asumimos un nivel de significancia de 0.05. Los análisis se realizaron en Rstudio.

Caracterización regional del recurso hídrico

Las series temporales generadas por los sensores en las 8 represas fueron completadas con datos estimados para alcanzar un 'año hidrológico' de duración (desde 1-8-2022 hasta 31-7-2023). Los datos estimados desde el 1-8-2022 hasta el 4-11-2022 (inicio de mediciones con sensores) se basaron en relevamientos de campo en los que se observó que las represas siempre estuvieron vacías, a excepción de Vallejos (como ya se explicó). Para estimar los datos desde 24-5-2023 (fin de las mediciones con sensores) hasta el 31-7-2023 realizamos extrapolaciones mediante

la generación de ecuaciones. Generamos una ecuación para cada serie a partir del ajuste de los últimos 55 valores de las mismas (desde el 1 de abril hasta el 24 de mayo de 2023). Elegimos cada ecuación mediante el criterio de Akaike, tras la comparación de un modelo lineal y uno exponencial decreciente. Solo se consideraron posibles estas dos opciones (lineal y exponencial) basándose en modelados previos realizados por Niborski et al. (2023). En todos los casos, buscamos un ajuste (R^2) superior a 0.95. Luego, validamos las series temporales con datos de campo provistos por las familias productoras a partir de las reglas instaladas en las represas. Las diferencias entre los valores estimados y observados fueron siempre menores al 5%. Por otra parte, accedimos a datos mensuales del nivel de cota y precipitación del dique Nogolí a partir de la empresa San Luis Agua (slagua.sanluis.gov.ar) y de la Red de Estaciones Meteorológicas de San Luis (clima.sanluis.gob.ar), respectivamente. Las series temporales del nivel de cota del dique y la precipitación correspondieron al período 2008-2023.

RESULTADOS

Resultados del trabajo con pobladores locales

Los resultados de las encuestas arrojaron que, en la actualidad, las represas se utilizan para abastecer de agua al consumo del ganado

vacuno y caprino (Figura 3; afirmación 1), y que nadie las usa para consumo humano (Figura 3; afirmación 2). El consumo humano hace referencia a la ingesta diaria y a la utilización del agua para higiene personal y tareas domésticas (e.g., ropa, utensilios de cocina, etc.) (Figura 3; afirmación 4). En cambio, el uso del agua para consumo humano en el pasado presentó una respuesta unánime y, a la vez, central para entender la impronta de las represas en el entorno social. Todos los encuestados aseguraron tomar y utilizar agua de la represa durante su niñez, juventud e incluso en la adultez (Figura 3; afirmación 3 y 5). Asimismo, varios de los encuestados utilizaron frases como 'el agua de la represa era muy rica y buena' para referir a sus características, y manifestaron que se la consumía en forma directa previo filtrado con 'trapos finos' en vasijas de cerámica.

Las afirmaciones 6, 7 y 8 muestran una foto actual sobre las formas con las que obtienen agua los encuestados. Solo el 30% tienen acceso al acueducto para uso domiciliario y para dar de beber a los animales. En contraposición, el 70% restante compra camiones de agua al municipio o la ciudad más cercana cuando se seca la represa. Los encuestados manifestaron que los municipios tienen la obligación de proveer de agua potable a las personas del campo, pero no al ganado. Aun así, los viajes de agua para consumo de ganado son subsidiados por los

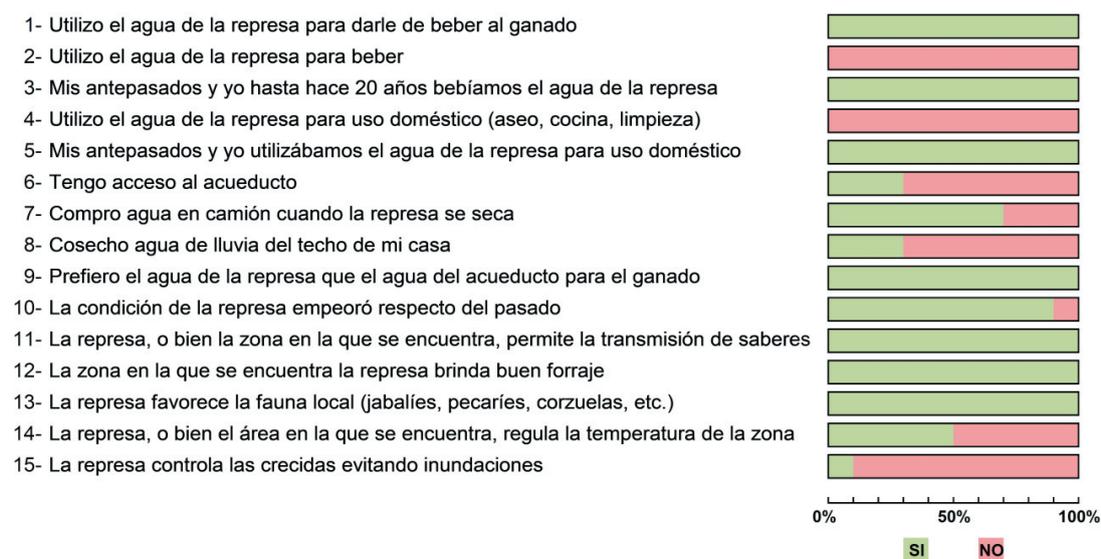


Figura 3. Resultados de las encuestas realizadas a 10 personas vinculadas a las represas del noroeste de San Luis. Las 15 afirmaciones fueron propuestas por el equipo de trabajo. Las respuestas posibles eran 'sí' o 'no'.

Figure 3. Results of surveys conducted with 10 people associated with impoundments in northwest San Luis. The 15 statements were proposed by the working team, and the possible responses were 'yes' or 'no'.

municipios; las familias únicamente pagan el costo del combustible del camión desde el municipio al campo (distancias entre 5 y 40 km). Resulta sorprendente que solo el 30% de los encuestados cosecha agua de lluvia de los techos de sus casas (Figura 3) (afirmación 8). Todos manifestaron que prefieren el agua de las represas para que beba el ganado, respecto del agua del acueducto (Figura 3; afirmación 9). Esta aseveración fue ampliada luego en la etapa de las entrevistas, manifestando que hacían alusión a la calidad del agua de las represas, pero también a la sensación de 'bienestar animal' que generan (dimensiones, entorno natural, etc.). Por ejemplo, varios entrevistados manifestaron que el ganado pasa más tiempo en las represas que en los bebederos, en donde el espacio reducido genera incomodidad y competencia en estos ambientes áridos.

Las afirmaciones 10-15 estuvieron orientadas al análisis de la represa como un elemento del paisaje circundante a las casas rurales. En general, se observó que los encuestados consideran 'útiles' a las represas en lo que respecta a los beneficios (i.e., servicios ecosistémicos) que las mismas proveen, además de la provisión de agua per-se (Figura 3; afirmaciones 10-14). Algunos ejemplos de ellos son: el uso de los espacios circundantes para forraje, el acceso al agua por parte de la fauna local y la transmisión de saberes entre personas. Incluso, la mitad de los encuestados planteó que la represa regula la temperatura en los espacios circundantes.

Como resultado de los talleres participativos se establecieron los cinco aspectos que debe tener una represa para lograr un funcionamiento óptimo. Primero, se la debe construir sobre las 'avenidas de agua', es decir, en aquellos sectores del paisaje en donde se observan patrones de escurrimiento superficial. Segundo, es ideal utilizar las medias lomas y no los bajos debido a que estos suelen acumular muchos sedimentos, mientras que las medias lomas 'traen agua más limpia'. Tercero, es fundamental buscar un sitio con 'buen piso'; o sea, con suelo poco permeable abundante en arcillas o carbonatos de calcio. Cuarto, la forma de la represa debe ser larga y fina, direccionada en forma transversal al viento predominante (que tiene dirección nort-sur). De este modo se reducen las pérdidas por evaporación. Quinto, una vez construida la represa, es fundamental que el ganado ingrese directamente a beber de ella. Todos

destacaron la importancia del pisoteo dentro de la represa como factor de compactación del suelo para aumentar el tiempo de permanencia del agua. Es importante destacar que ninguno de los pobladores manifestó tener una represa que reúna más de dos o tres de estas cinco condiciones. La integración de las experiencias compartidas en los talleres (sumadas a las encuestas y entrevistas) nos permitió comprender que las represas son mucho más que un reservorio de agua. Las represas son parte del patrimonio cultural de los pobladores rurales de la llanura árida de San Luis.

Mejoras tecnológicas en represas

En promedio, las mejoras aplicadas en las seis represas incrementaron significativamente el nivel y el volumen máximo de agua albergado ($P < 0.05$ para ambos casos) (Figura 4). El nivel máximo promedio aumentó de 144 ± 47 cm (media y desvío estándar, respectivamente) a 220 ± 44 cm (media y desvío estándar, respectivamente). Esto implica un aumento de 76 cm en la media (53% de incremento respecto del nivel original) y una reducción en la variabilidad de los niveles máximos (coeficiente de variación: 33 vs. 20%, antes y después de las mejoras, respectivamente). El volumen máximo promedio aumentó de 1.138 ± 781 m³ (media y desvío estándar, respectivamente) a 2.420 ± 1.257 m³ (media y desvío estándar, respectivamente). Esto implica un aumento de 1.282 m³ en la media ($P < 0.05$; 113% de incremento respecto del volumen original). Como se puede observar, el incremento en los niveles no se traduce en un incremento lineal del volumen debido a que la relación entre el nivel y el volumen de agua de las represas es exponencial. La gran variabilidad en los resultados obtenidos se debe a las características muy particulares que tienen las represas, lo cual es un atributo inherente de estos sistemas.

El nivel de agua de las represas reparadas fue significativamente mayor al de las represas testigo (110.7 vs. 62.5 cm, respectivamente; $P < 0.01$ en todos los casos), lo cual denota el efecto positivo del tratamiento aplicado (Figura 5). Esta diferencia fue, en promedio, 48.2 cm. Sus causas surgen de la combinación de los siguientes factores: a) la cantidad de agua almacenada en cada evento de lluvia; b) la mayor frecuencia de los eventos de llenado, o c) la disminución de la tasa de pérdida del agua. Si bien estos tres factores no tuvieron lugar simultáneamente en todos los casos,

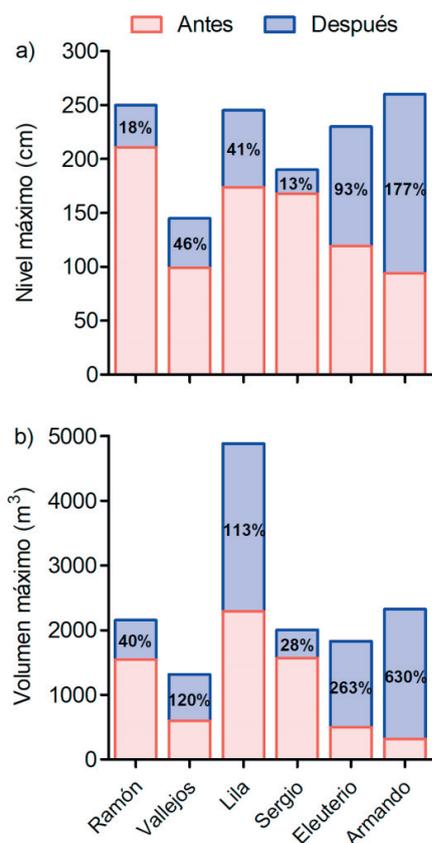


Figura 4. Nivel y volumen máximo alcanzados por las seis represas antes y después de aplicar las mejoras tecnológicas. Las barras rojas indican el nivel o volumen máximo previo, y las barras azules, el incremento absoluto logrado luego de las mejoras. Los valores indicados dentro de las barras azules indican el incremento porcentual alcanzado en cada represa. Los nombres de cada represa hacen referencia a la persona que nos recibía en cada campo.

Figure 4. Maximum level and volume reached by the six impoundments before and after the application of technological improvements. The red bars indicate the previous maximum level or volume, and the blue bars indicate the absolute increase achieved after the improvements. The values inside the blue bars indicate the percentage increase in each impoundment. The names of each impoundment refer to the person who hosted us in each field.

siempre hubo una diferencia favorable hacia la represa reparada, respecto de su par testigo, en las cuatro comparaciones.

En el caso de la productora Lila (Figura 5a), la represa reparada y la testigo registraron la misma cantidad de eventos de llenado ($n=8$), pero la reparada logró cosechar mayor cantidad de agua. Esto puede deberse a tener una mejor cuenca (no lo hemos podido evaluar en este trabajo), aunque también a la mayor capacidad de almacenar agua producto del tratamiento aplicado (mejoras con maquinaria). Por otra

parte, la tasa de pérdida de agua (calculada como el descenso diario promedio de los últimos 100 días de mediciones) fue mayor en la reparada respecto de la testigo (0.97 vs. 0.79 cm/día) debido a que la comparación se realizó con la represa reparada teniendo mayor nivel de agua (mayor presión hidráulica sobre el suelo). En promedio, durante todo el período de muestreo, la represa reparada presentó 154 cm de agua; y la testigo, 42 cm ($P<0.01$).

En el caso de los productores Juan y Vallejos (Figura 5b), se observó que la mayor cantidad de agua almacenada en la represa reparada se debió a dos factores: a) la mayor respuesta de la cosecha de agua en cada evento de lluvia (i.e., menor umbral de cosecha; 9 vs. 5 eventos cosechados para la represa reparada y la testigo, respectivamente), y b) la mayor altura o capacidad de almacenaje de la represa. Si bien sobre el primer factor puede haber incidencia de la cuenca, sobre el segundo se puede deducir que el efecto es netamente debido al tratamiento empleado. La suma de estos dos factores hizo que la represa reparada presentara un mayor nivel de agua que la testigo en el 98% de los días registrados. Esta mayor ganancia de agua superó al efecto desfavorable de la represa reparada de tener una mayor tasa de pérdida diaria (0.82 vs. 0.53 cm/día para la represa reparada y la testigo, respectivamente) por una mayor infiltración y consumo del ganado, dado que 90 animales abreven de la represa reparada y 20 de la testigo. Es importante destacar que dichas características (sustrato arenoso sobre el cual se construyó la represa y cantidad de cabezas de ganado que abreven de la misma) escapan al tratamiento aplicado (15 horas de maquinaria). En promedio, durante todo el período de muestreo, la represa reparada presentó 90 cm de agua; y la testigo, 61 cm ($P<0.01$).

En el caso del productor Ramón (Figura 5c), se observó que la represa reparada presentó mayor nivel de agua en gran parte del período de monitoreo (75% de los días la reparada superó a la testigo) debido a la mayor capacidad de almacenar agua y a la menor tasa de pérdida del agua almacenada. Si bien la tasa de pérdida puede estar influenciada por el sustrato donde se construyeron las represas, la mayor capacidad de almacenaje (nivel máximo) se debió al tratamiento aplicado. Estos dos factores compensaron el efecto que tuvo un evento de lluvia ocurrido a finales de diciembre de 2022 que incrementó el nivel de agua de la testigo, respecto de la reparada,

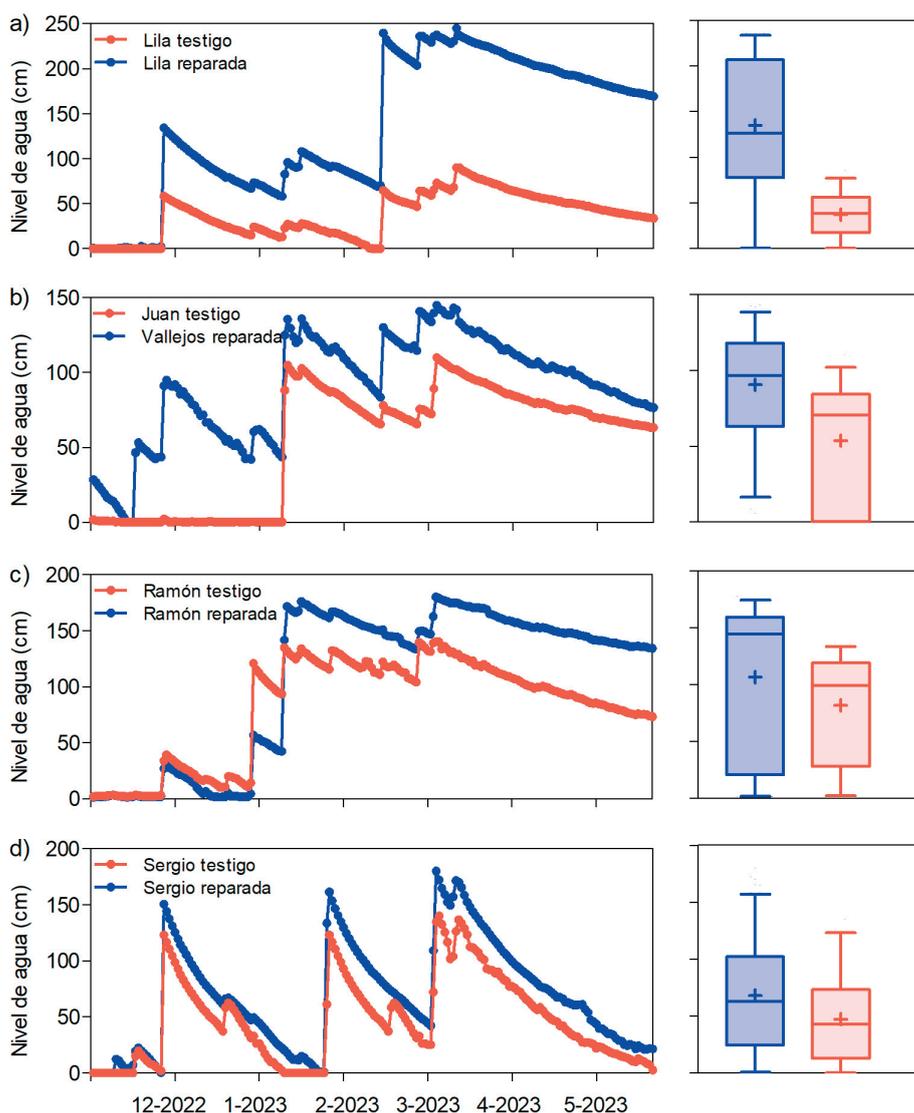


Figura 5. Nivel de agua de ocho represas durante el período 4/11/2022 – 24/5/2023. Las líneas azules corresponden a las represas reparadas (n=4); las rojas, a las represas testigos (n=4). El agrupamiento de las represas en cuatro pares (testigo vs. reparada) responde al diseño experimental propuesto. Cada marcador circular indica el nivel de agua para un día determinado. Los gráficos de caja y bigotes de la derecha resumen la información del nivel de agua para cada represa. Los bigotes representan los percentiles 5 y 95; las cajas indican los percentiles 25 y 75; la línea central, la mediana, y el signo '+', el promedio.

Figure 5. Water level of eight impoundments during the period 4/11/2022 – 24/5/2023. The blue lines correspond to the repaired impoundments (n=4); the red lines; to the control impoundments (n=4). The grouping of the impoundments into four pairs (control vs. repaired) responds to the proposed experimental design. Each circular marker indicates the water level for a specific day. The box and whisker plots on the right summarize the water level information for each impoundment. The whiskers represent the 5th and 95th percentiles; the boxes indicate the 25th and 75th percentiles; the central line represents the median, and the '+' sign indicates the average.

durante 16 días. En promedio durante todo el período de muestreo, la represa reparada presentó 121 cm de agua y la testigo 93 cm (P<0.01).

En el caso del productor Sergio (Figura 5d), se observó que la represa reparada presentó mayor nivel de agua en el 96% de los días registrados. En ambas represas, se

registraron 7 eventos de lluvia que generaron ascensos de nivel de agua. Asimismo, las tasas de pérdida de agua fueron similares (1.92 y 2.11 cm/día en la represa testigo y la reparada, respectivamente). Debido a ello, se puede asumir que la diferencia entre ambas represas se debe exclusivamente al mayor nivel que puede alcanzar la represa reparada debido al tratamiento aplicado. En promedio

durante todo el período de muestreo, la represa reparada presentó 77 cm de agua y la testigo 53 cm ($P < 0.01$).

Caracterización regional del recurso hídrico

El dique de Nogolí presentó un nivel de agua prácticamente constante en los diez años comprendidos entre 2008 y 2018 (Figura 6a). El nivel de cota de agua fue igual, o muy cercano, a cero en el 90% de los meses transcurridos en ese período. Esto significa que las entradas de agua del río y de las lluvias sobre el espejo

del dique fueron superiores a las pérdidas por evaporación, infiltración y consumo de agua por parte del acueducto. En el período comprendido entre 2018-2023, el nivel de agua mostró una tendencia interanual negativa con patrones estacionales de descensos en primavera y ascensos en otoño (Figura 6b). El punto de cota mínimo se alcanzó en diciembre de 2022 con valores de -16.6 m. El agua almacenada en las represas presentó una estacionalidad muy marcada, alcanzando niveles máximos y mínimos en el mismo año, y mostró respuestas instantáneas a los eventos

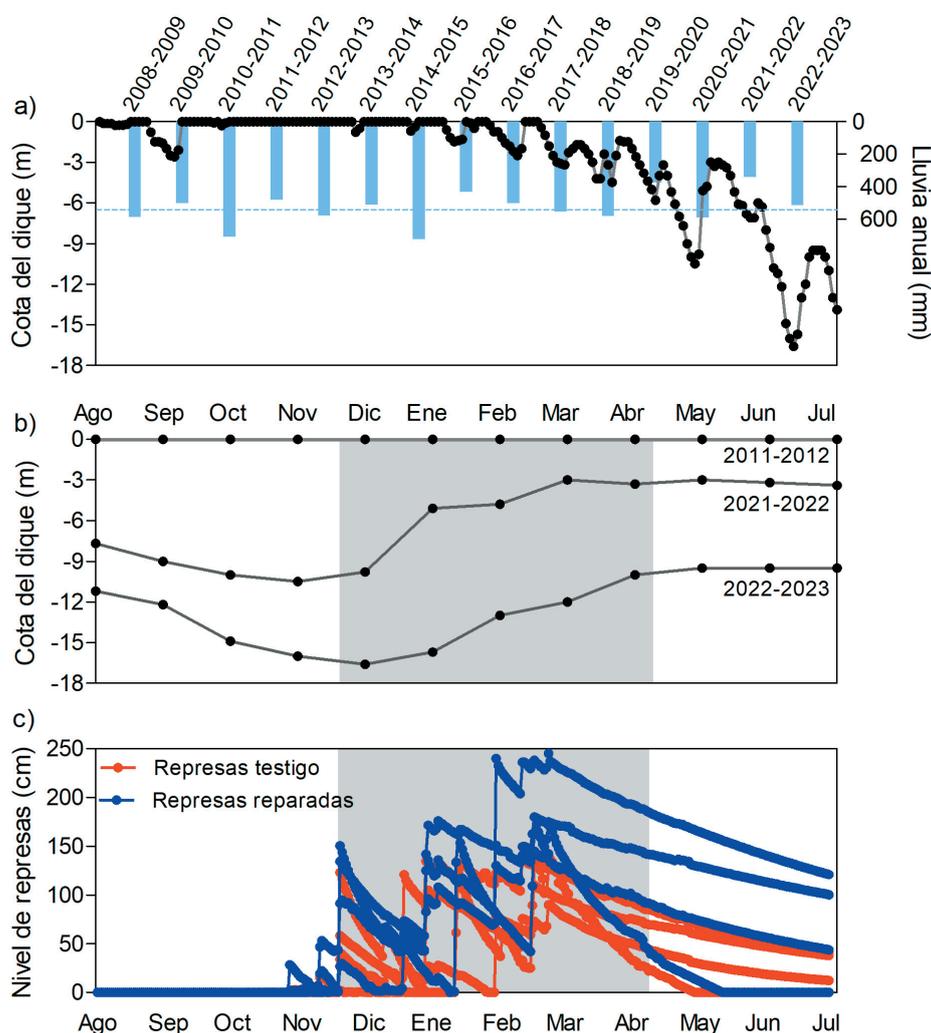


Figura 6. a) Cota del dique de Nogolí (marcadores circulares negros) y lluvia anual (barras celestes) para el período 2008-2023. La línea celeste indica el promedio anual de la lluvia. b) Cota mensual para tres años hidrológicos. c) Nivel de agua diario de ocho represas. Los marcadores rojos corresponden a las represas testigo, los azules, a las represas reparadas. En b y c, el área sombreada gris indica el período de tiempo en el cual al menos siete de las ocho represas presentaron ≥ 50 cm de agua.

Figure 6. a) Water level of the Nogolí dam (black circular markers) and annual rainfall (light blue bars) for the period 2008-2023. The light blue dashed line indicates the mean annual rainfall. b) Water level for three hydrological years. c) Daily water level of eight impoundments. The red markers indicate control impoundments and the blue markers indicate repaired impoundments. In b and c, the gray shaded area indicates the period during which at least seven out of eight impoundments had ≥ 50 cm of water.

de lluvia (Figura 6c). Hubo cinco meses en los cuales al menos siete represas presentaron más de 50 cm de agua, lo que se puede asumir como período de 'seguridad hídrica' de las mismas. Otro aspecto interesante es que si bien ambas tecnologías responden a las lluvias del verano, existe un desfase temporal entre ellas. Las represas salen rápidamente del período seco antes de que el dique comience a recuperarse y, por el contrario, comienzan las pérdidas lentas de agua durante el invierno, cuando el dique permanece en sus niveles máximos y con pocas fluctuaciones. Estas diferencias (velocidad de respuesta a la lluvia y desfase temporal) representan una oportunidad para planificar el recurso hídrico de la llanura árida de San Luis.

DISCUSIÓN

Este trabajo exploró la importancia social de las represas, su respuesta a mejoras tecnológicas y la complementariedad existente con una fuente alternativa de agua como es el dique de Nogolí. Para ello, combinamos distintas aproximaciones metodológicas que nos permitieron comprender de forma integral el acceso al agua en la llanura árida de San Luis. Si bien trabajamos con un número reducido de represas, los resultados son coherentes con los reportados en otros estudios de la región (Magliano et al. 2015c; Magliano et al. 2019; Niborski et al. 2023). Por otra parte, si bien el número de encuestados en el campo no fue muy alto, sus respuestas estuvieron alineadas con un grupo más grande de personas que asistieron a los talleres y compartieron sus experiencias. Esperamos que estos esfuerzos constituyan un punto de partida para lograr una planificación del recurso hídrico en la región.

La población local valora las represas de manera positiva; cumplen mucho más que una función hídrica, dado que abarcan distintas dimensiones de la vida social. Por ejemplo, son un punto de reunión para actividades ceremoniales y de transmisión oral de saberes y conocimientos entre generaciones. En este sentido, en trabajos anteriores planteamos la existencia de una relación social entre el agua, las represas y la política en el noroeste de San Luis (Archina 2021; Calderón Archina 2022). Esto abarca una dimensión histórica caracterizada por disputas por el agua, las tierras y los procesos de rearticulación identitaria (Sarmiento 1850, 1945; Escolar 2007). Es importante destacar que estas

disputas no son exclusivas del noroeste de San Luis, sino que tuvieron lugar en muchas regiones (incluso no tan áridas). Dado su carácter de esencial, el agua fue el primer organizador de los establecimientos humanos en el centro del país. Por ejemplo, muchos de los relatos de viajeros que atravesaron el oeste de la región pampeana (sur de Córdoba, norte de La Pampa, este de San Luis) destacaron el rol fundamental de las lagunas naturales en los asentamientos humanos durante el siglo XIX (Mansilla 1875; Martínez Estrada 1933). Tomando en cuenta este tipo de antecedentes y el trabajo aquí realizado, consideramos que las percepciones de los pobladores son una herramienta empírica clave para contribuir al diseño de políticas públicas que aseguren el acceso al agua de la población.

Las represas no solo hacen posible el acceso al agua de la llanura árida del noroeste de San Luis, sino que cumplen un rol simbólico, de gran valor social, para los pobladores del campo. Además de los resultados aquí presentados, abundan los testimonios recolectados en el campo sobre el tema. Un ejemplo de ello es que las represas —en especial, las más antiguas— tienen el nombre de sus dueños, cosa que no sucede con el nombre de los campos. Esto muestra la importancia que los pobladores le otorgan a estos elementos, confiriéndole identidad. Otro aspecto a destacar es su valor comunitario. Antes de que existiera la maquinaria moderna, construir estos reservorios de agua implicaba compromiso colectivo y trabajo mancomunado. Uno de los entrevistados comentó que 'entre los vecinos planificaban las represas'. Otro nos dijo 'ponían a la difunta correa en la represa'. En la línea del valor simbólico que se les otorga a las represas, se identificó que todos los entrevistados conocen o realizan ceremonias relacionadas con ellas. La ceremonia más común es el 'baile de San Vicente'. Esta tradición se remonta a la época colonial y al proceso de evangelización, dado que vecinos de la zona se reúnen para rendir tributo al santo que le da nombre y para pedir o agradecer por un verano lluvioso. La ceremonia transcurre alrededor de una represa. Primero se prende una vela al santo, luego suenan las guitarras que tocan unas 20 o 30 cuecas cuyanas, mientras los vecinos bailan y comparten alimentos y bebidas hasta que la vela se apaga. Uno de los entrevistados mencionó que los niños le dan varias vueltas a la represa caminando por su terraplén, y que las represas eran barridas con escobas antes

de la reunión para poder bailar descalzos. Este tipo de relatos abunda en la región y ponen de manifiesto el componente emocional asociado a las represas que tienen los pobladores del noroeste de San Luis.

Dado el valor simbólico y el rol social de las represas, se deben pensar soluciones regionales de acceso al agua que se apoyen en ellas. Las mejoras tecnológicas aquí aplicadas (15 horas de maquinaria sobre cada represa), con una durabilidad estimada de 5 años, tienen un costo equivalente a tres terneros de 150 kg (producto comercializado por las familias de la región). Si bien es difícil tener una estimación precisa del stock ganadero de los campos de esta región, la información relevada en terreno sugiere un dato modal de 30 madres por productor (15 terneros por año considerando el índice de destete de 0.5 de esta región). Esto sugiere que el costo de las mejoras aplicadas en este trabajo es bajo si se lo compara con la mejora sustancial en volumen de agua generado. El incremento en el volumen de agua, estadísticamente significativo (Figura 3) ($P < 0.05$ para nivel y volumen), se logró a pesar de la gran variabilidad (tamaño, forma, orientación) que las represas presentaban previo a la aplicación de las mejoras. Estudios previos reportaron la heterogeneidad de las represas en la región (Magliano et al. 2015; Niborski et al. 2023). Esta situación, sumado al bajo número de represas para aplicar las mejoras (e.g., las seis tratadas en este trabajo), implican que lograr una significancia sólo es posible si se logra un cambio sustancial como el aquí alcanzado (Figura 3).

Aunque nuestros resultados demuestran el impacto favorable de las mejoras aplicadas sobre la ganancia de agua, los recursos limitados de las familias de esta región hacen que estas prácticas no sean accesibles para gran parte de ellas. Los resultados de las figuras 3 y 4 sugieren que se podría pensar en un planteo mixto entre el Estado y los privados, en donde el Estado Provincial asuma parte del costo de la maquinaria (e.g., el flete y 5 horas de máquina) y las familias asuman el costo restante. Experiencias de este tipo abundan en el Chaco paraguayo, en donde familias menonitas desarrollaron industrias y ciudades enteras en base a la cosecha de agua de lluvia (Junker 1996; Von Hoyer et al. 2000; Duarte et al. 2003; Pasig 2005; Harder 2013; Jobbágy 2013). La simplicidad de las tareas a realizar, la buena predisposición de las familias del campo y los antecedentes de que la cosecha de agua de lluvia lleva al menos dos siglos en

la región, sugieren que es factible potenciar esta tecnología.

El gran desafío futuro para la llanura árida de San Luis es lograr el acceso al agua o tener seguridad hídrica durante todo el año. Basándonos en este trabajo, vemos tres pasos a seguir de aquí en adelante. Por un lado, es necesario montar una red de monitoreo del nivel de agua de represas de largo plazo para caracterizar la gran heterogeneidad estructural y la respuesta de las mismas a fenómenos biofísicos (e.g., sequías prolongadas, aumentos en la carga animal y reemplazos de bosques por pasturas, entre otros). Por otro lado, es necesario convertir el dato de nivel de agua en volumen de agua, a partir de modelos de elevación digitales realizados sobre las represas monitoreadas. De esta forma se podrá disponer de un dato más preciso del agua disponible en cada represa. Finalmente, es necesario calibrar información satelital (e.g., espejos de agua detectados por Sentinel-2) con los datos de volumen de agua de las represas monitoreadas para extrapolar los datos de la red de campo a las 3000 represas de la región (incluso, se podría hacer extensivo al resto del Chaco Árido). Una vez recorrido este camino, se estará en condiciones de hacer una planificación hídrica que permita abastecer de agua a las 2.5 millones de hectáreas que comprenden la llanura árida de San Luis haciendo un uso eficiente de los recursos y en forma sostenible en el tiempo.

CONCLUSIONES

Las represas fueron —y siguen siendo— el elemento más importante de la producción ganadera en la llanura árida del noroeste de San Luis. Este trabajo abordó tres aspectos clave para lograr la seguridad hídrica de dicha región. Por un lado, destacó la importancia social y cultural de las represas en lo que respecta a la generación de bienestar de las personas que viven, trabajan o dependen del campo. Por otro lado, las represas mostraron una respuesta muy favorable a las mejoras tecnológicas aplicadas, duplicando su capacidad de almacenaje de agua con 15 horas de trabajo de maquinaria. Finalmente, se destacó la gran complementariedad que existe entre las represas y el dique de Nogolí (fuente alternativa de agua que abastece al acueducto) en lo que respecta a la dinámica temporal de la provisión de agua para la región. El desafío futuro radica en mejorar el funcionamiento de las represas de la región (tal como se hizo en las seis de este trabajo)

y complementarlas con el acueducto solo cuando sea necesario. Esto implica, lograr un complemento eficiente de ambas tecnologías para descomprimir la tensión que se genera en los municipios en torno al agua. En otras palabras, los resultados de este trabajo sugieren que la 'soberanía hídrica' de la llanura árida del noroeste de San Luis se logrará con las represas como protagonistas y el acueducto como complemento.

AGRADECIMIENTOS. Los autores de este trabajo agradecen la participación comprometida de las familias del campo y usuarios de represas, especialmente a Lila, Cholo, Ariel, Sara, Martín, Juan, Etchenique, Ramón, Rufina, Santos, Jorge, Eleuterio, Gustavo, Sergio, Estela, Armando y Ricardo. También agradecemos la participación activa y el apoyo

logístico de los intendentes Guillermo Ojeda y Diego Lorenzetti, y de los/as empleados/as de los municipios de Alto Pencoso y La Calera. Se agradece a Juan Whitworth Hulse por su ayuda con algunos análisis, a Esteban Jobbágy por su acompañamiento permanente, a Roberto Fernández por sus consejos en momentos clave, y a dos revisores/as anónimos/as cuyos aportes ayudaron a enriquecer este artículo. Este trabajo fue subsidiado por la Fundación Bunge y Born (convocatoria Aguas Claras), por el MINCyT (programa IMPACTAR, desafío N°129), por la AGENCYT (PICT 2020-2972) y por el CONICET (PIP-716). Este trabajo dio origen a un documental titulado: 'Cosecha de agua de lluvia en pequeñas represas para solucionar el problema de acceso al agua en regiones áridas de San Luis' ([youtube.com/watch?v=Xlc-wtJY1cE&t=23s](https://www.youtube.com/watch?v=Xlc-wtJY1cE&t=23s)).

REFERENCIAS

- Adema, E. 2015. Manejo de agua, suelo y vegetación en ambientes semiáridos y áridos. 38 Congreso de Ciencia del Suelo.
- Adema, E. O. 2021. Gestión de aguas para usos múltiples en el semiárido-árido de La Pampa. FECIC-Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Agüero, J. J., D. N. Pereyra, E. M. Pelliza, and D. D. Garay. 2020. Represas, un recurso que ha perdurado apropiadamente en el Árido riojano: pequeños embalses agroganaderos del Dpto. Chaco. 2683-8893, Estación Experimental Agropecuaria La Rioja, INTA.
- Anriquez, A., A. Albanesi, C. Kunst, R. Ledesma, C. López, A. Rodríguez Torresi, and J. Godoy. 2005. Rolado de fachinales y calidad de suelos en el Chaco occidental, Argentina. *Ciencia del Suelo* 23:145-157.
- Archina, A. C. 2021. Más allá del reconocimiento indígena. Construcciones de estatalidad en San Luis, Argentina. *Revista Latinoamericana de Estudios Rurales*.
- Aurand, S. J. 2012. Campesinos y adopción tecnológica en el Noroeste de San Luis. 9876791087. Ediciones INTA.
- Basán Nickisch, M. 2007. Manejo de los recursos hídricos en zonas áridas y semiáridas para áreas de secano. INTA, Buenos Aires.
- Basán Nickisch, M. 2010. Manejo de recursos hídricos para áreas de secano. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Basán Nickisch, M. 2013. Experiencias de captación de agua de lluvia para la recarga artificial de acuíferos someros en el chaco argentino. *En Aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos para el sistema agropecuario en condiciones semiáridas*.
- Blanco, L. J., and O. N. D. Vera. 2020. Manejo del pastizal en campos ganaderos de La Rioja: ¿alambrados o aguadas?. *Tecnoárido* 2:2683-8893.
- Blanes, P. S., and M. C. Giménez. 2006. Evaluación de los Niveles de Hierro y Arsénico en Aguas Naturales Subterráneas de la Región Centro-Oeste de la Provincia del Chaco-Argentina. *Información Tecnológica* 17:3-8. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642006000300002>.
- Boers, T. M., and J. Ben-Asher. 1982. A review of rainwater harvesting. *Agricultural Water Management* 5:145-158. [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(82\)90003-8](https://doi.org/10.1016/0378-3774(82)90003-8).
- Calderón Archina, A. 2022. Etnicidad Saá: una aproximación etnográfica al estudio del estado y los movimientos indígenas en San Luis, Argentina.
- Coria, R. D., O. R. Coria, and C. R. Kunst. 2015. Influencia del rolado selectivo de baja intensidad (RBI) sobre las comunidades de aves de bosques del Chaco Occidental. *Ecología Austral* 25:158-171. <https://doi.org/10.25260/EA.15.25.3.0.236>.
- Cotroneo, S. M., E. J. Jacobo, and M. M. Brassiolo. 2021. Degradation processes and adaptive strategies in communal forests of Argentine dry Chaco. Integrating stakeholder knowledge and perceptions. *Ecosystems and People* 17:507-522. <https://doi-org/10.1080/26395916.2021.1972042>.
- D'Odorico, P., A. Bhattachan, K. F. Davis, S. Ravi, and C. W. Runyan. 2013. Global desertification: drivers and feedbacks. *Advances in Water Resources* 51:326-344. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.01.013>.
- Duarte, G., J. H. Palmieri, S. Frutos, and J. O. Guerrero. 2003. Estudio de alternativas de abastecimiento de agua para el Chaco Central. Asunción, Paraguay.
- Escolar, D. 2007. Los dones étnicos de la Nación: identidades huarpe y modos de producción de soberanía en Argentina.

- Prometeo Libros editorial.
- Farley, K. A., E. G. Jobbágy, and R. B. Jackson. 2005. Effects of afforestation on water yield: A global synthesis with implications for policy. *Global Change Biology* 11:1565-1576. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01011.x>.
- Fernández, P. D., T. Kuemmerle, M. Baumann, H. R. Grau, J. A. Nasca, A. Radrizzani, and N. I. Gasparri. 2020. Understanding the distribution of cattle production systems in the South American Chaco. *Journal of Land Use Science* 15:52-68. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2020.1720843>.
- Fernández, R. J. 2016. How to be a more effective environmental scientist in management and policy contexts. *Environmental Science and Policy* 64:171-176. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.07.006>.
- Fernández, R. J., C. A. Pizarro, and M. C. Plencovich. 2017. Sustentabilidad de los sistemas de producción agropecuaria: agenda y propuestas surgidas de un taller participativo. *Agronomía and Ambiente* 37.
- García, A. G., C. M. Di Bella, J. Houspanossian, P. N. Magliano, E. G. Jobbágy, G. Posse, R. J. Fernández, and M. D. Noretto. 2017. Patterns and controls of carbon dioxide and water vapor fluxes in a dry forest of central Argentina. *Agricultural and Forest Meteorology* 247:520-532. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.08.015>.
- Greslebin, H. 1931. Las represas de la región occidental de la travesía puntana (provincia de San Luis). Sección Geografía Humana de la Primera Reunión Nacional de Geografía.
- Guber, R. 2019. La etnografía: método, campo y reflexividad. Siglo XXI editores.
- Harder, W. 2013. Provisión de Agua para la producción agropecuaria del Chaco Central. Uso sustentable de los recursos hídricos para la producción agropecuaria del Chaco Paraguayo, Loma Plata, Paraguay.
- Heider, G. 2023. La Cosecha De Agua En La Pampa Occidental De Argentina Durante Los Siglos XVIII Y XIX, Una Vía Para Repensar El Registro Arqueológico Prehispánico. *Chungará (Arica)* 55:193-208. <https://doi.org/10.4067/S0717-73562022005001903>.
- Heider, G., C. Gogorza, C. Greco, A. Goguitchaichvili, M. Irurzun, J. Morales, and M. Ávila Navas. 2020. Sobre la edad de hornillos en Las Travesías, San Luis, Argentina, Colombia. *International Journal of South American Archaeology-IJSA*.
- Heider, G., E. Jobbágy, and A. Tripaldi. 2019. Uso del espacio semiárido por poblaciones prehispánicas: el papel de los paisajes de dunas como eco-refugios en el Centro de Argentina. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 71. <https://doi.org/10.18268/BSGM2019v71n2a1>.
- Hernández Sampieri, R., C. Fernández Collado, and P. Baptista Lucio. 2018. Metodología de la investigación. McGraw-Hill Interamericana México.
- Iriondo, M. 1993. Geomorphology and late quaternary of the Chaco (South America). *Geomorphology* 7:289-303. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(93\)90059-B](https://doi.org/10.1016/0169-555X(93)90059-B).
- Jackson, R. B., S. R. Carpenter, C. N. Dahm, D. M. McKnight, R. J. Naiman, S. L. Postel, and S. W. Running. 2001. Water in a changing world. *Ecological Applications* 11:1027-1045. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[1027:WIACW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[1027:WIACW]2.0.CO;2).
- Jobbágy, E. G. 2013. Uso de la tierra en el Gran Chaco y el caso de los menonitas en Paraguay. *En El gran Chaco Americano*, Buenos Aires.
- Junker, M. 1996. Determinación de las características hidrogeológicas y evaluación de la recarga de agua subterránea en el área del Tajamar Serenidad, Filadelfia., Cooperativa Hidrológica Paraguaya.
- Karlin, M. S., U. O. Karlin, R. O. Coirini, G. J. Reati, and R. M. Zapata. 2013. El Chaco Árido. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina. Pp. 420. <https://doi.org/10.1155/2013/945190>.
- Kirby, J., R. Kingham, and M. Cortes. 2001. Texture, density and hydraulic conductivity of some soils in San Luis province, Argentina. *Ciencia del Suelo* 19:20-29.
- Maestre, F. T., Y. Le Bagousse-Pinguet, M. Delgado-Baquerizo, D. J. Eldridge, H. Saiz, M. Berdugo, B. Gozalo, V. Ochoa, E. Guirado, and M. García-Gómez. 2022. Grazing and ecosystem service delivery in global drylands. *Science* 378:915-920. <https://doi.org/10.1126/science.abq4062>.
- Magliano, P. N., D. D. Breshears, R. J. Fernández, and E. G. Jobbágy. 2015a. Rainfall intensity switches ecohydrological runoff/runon redistribution patterns in dryland vegetation patches. *Ecological Applications* 25:2094-2100. <https://doi.org/10.1890/15-0550.1>.
- Magliano, P. N., D. D. Breshears, F. Murray, M. J. Niborski, M. D. Noretto, C. B. Zou, and E. G. Jobbágy. 2023. South American Dry Chaco rangelands: Positive effects of cattle trampling and transit on ecohydrological functioning. *Ecological Applications* 33:e2800. <https://doi.org/10.1002/eap.2800>.
- Magliano, P. N., R. J. Fernández, R. Giménez, V. A. Marchesini, R. A. Páez, and E. G. Jobbágy. 2016. Cambios en la partición de flujos de agua en el Chaco Árido al reemplazar bosques por pasturas. *Ecología Austral* 26(2):95-106. <https://doi.org/10.25260/EA.16.26.2.0.148>.
- Magliano, P. N., R. J. Fernández, J. L. Mercou, and E. G. Jobbágy. 2015b. Precipitation event distribution in central Argentina: Spatial and temporal patterns. *Ecohydrology* 8:94-104. <https://doi.org/10.1002/eco.1491>.
- Magliano, P. N., D. Mindham, W. Tych, F. Murray, M. D. Noretto, E. G. Jobbágy, M. J. Niborski, M. C. Rufino, and N. A. Chappell. 2019. Hydrological functioning of cattle ranching impoundments in the Dry Chaco rangelands of Argentina. *Hydrology Research* 50:1596-1608. <https://doi.org/10.2166/nh.2019.149>.
- Magliano, P. N., F. Murray, G. Baldi, S. Aurand, R. A. Páez, W. Harder, and E. G. Jobbágy. 2015c. Rainwater harvesting in Dry Chaco: Regional distribution and local water balance. *Journal of Arid Environments* 123:93-102. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.03.012>.
- Mansilla, L. V. 1875. Una excursión a los indios ranqueles. Edición Anaconda. Pp. 486.

- Martínez Estrada, E. 1933. Radiografía de la Pampa. Editorial Planeta. Pp. 355.
- Niborski, M. J., O. A. Martín, F. Murray, E. G. Jobbágy, M. D. Nosetto, R. A. Paez, and P. N. Magliano. 2023. Modeling Rainwater Harvesting and Storage Dynamics of Rural Impoundments in Dry Chaco Rangelands. *Water* 15:2353. <https://doi.org/10.3390/w15132353>.
- Niborski, M. J., F. Murray, E. G. Jobbágy Gampel, M. D. Nosetto, P. D. Fernández, G. Castellanos, and P. N. Magliano. 2022. Distribución espacial y controles ambientales de las represas (tajamares) en el Chaco Árido. 0327-5477. Asociación Argentina de Ecología. <https://doi.org/10.25260/EA.22.32.1.0.1797>.
- Nosetto, M. D., E. Luna Toledo, P. N. Magliano, P. Figuerola, L. J. Blanco, and E. G. Jobbágy. 2020. Contrasting CO₂ and water vapour fluxes in dry forest and pasture sites of central Argentina. *Ecohydrology* 13:e2244. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.08.015>.
- Oweis, T. Y. 2017. Rainwater harvesting for restoring degraded dry agro-pastoral ecosystems: a conceptual review of opportunities and constraints in a changing climate. *Environmental Reviews* 25:135-149. <https://doi.org/10.1139/er-2016-0069>.
- Oyarzabal, M., J. Clavijo, L. Oakley, F. Biganzoli, P. Tognetti, I. Barberis, H. M. Maturo, R. Aragón, P. I. Campanello, and D. Prado. 2018. Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología Austral* 28:040-063. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.0.399>.
- Pasig, R. 2005. Origen y Dinámica del Agua Subterránea en el noroeste del Chaco Sudamericano (Chaco Tarijeño y oeste del Chaco Paraguayo).
- Pelliza, E. M., E. N. Villagran, D. I. Pereyra, and D. R. Vera. 2020. Manejo comunitario del agua para uso ganadero. Estación Experimental Agropecuaria La Rioja, INTA.
- Peña Zubiate, C. A., D. L. Anderson, M. A. Demmi, J. L. Saenz, and A. D'Hiriart. 1998. Carta de suelos y vegetación de la provincia de San Luis. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, San Luis, Argentina.
- Poca, M., M. D. Nosetto, S. Ballesteros, G. Castellanos, and E. G. Jobbágy. 2020. Isotopic insights on continental water sources and transport in the mountains and plains of Southern South America. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 56:586-605. <https://doi.org/10.1080/10256016.2020.1819264>.
- Reynolds, J. F., D. M. Stafford Smith, E. F. Lambin, B. L. Turner II, M. Mortimore, S. P. J. Batterbury, T. E. Downing, H. Dowlatabadi, R. J. Fernández, J. E. Herrick, E. Huber-Sannwald, H. Jiang, R. Leemans, T. Lynam, F. T. Maestre, M. Ayarza, and B. Walker. 2007. Ecology: Global desertification: Building a science for dryland development. *Science* 316:847-851. <https://doi.org/10.1126/science.1131634>.
- Rueda, C. V., G. Baldi, S. R. Verón, and E. G. Jobbágy. 2013. Apropiación humana de la producción primaria en el Chaco Seco. *Ecología Austral* 23:44-54. <https://doi.org/10.25260/EA.13.23.1.0.1191>.
- Sarmiento, D. 1850. Recuerdos de Provincia.
- Sarmiento, D. 1945. Facundo: civilización y barbarie en las pampas argentinas.
- Umazano, A. M., A. E. O., and S. B. Aimar. 2004. Tajamares: una tecnología alternativa para la zona árida-semiárida de La Pampa. Argentina.
- Villagran, E. N. 2022. Estrategias de venta del ganado bovino de los pequeños y medianos productores ganaderos del Dpto. Chamental. Estación Experimental Agropecuaria La Rioja, INTA.
- Von Hoyer, M., M. Junker, C. Centurion, D. Irrazabal-Soza, F. A. Larroza, S. Farina Larroza, and J. L. Paredes-Rolon. 2000. Sustained water supply by artificial groundwater recharge in the chaco of paraguay. *Zeitschrift für Angewandte Geologie* 207-215.
- Zuur, A. F., E. N. Ieno, N. J. Walker, A. A. Saveliev, and G. M. Smith. 2009. Mixed effects models and extensions in ecology. R. M. Gail, Krickeberg, J. M. Samet, A. Tsiatis and W. Wong (eds.). New York, NY: Springer Science and Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-87458-6>.