
**DINÁMICA DE LAS TIERRAS IRRIGADAS EN EL CENTRO-OESTE DE ARGENTINA
DURANTE EL PERÍODO 1986-2018: ANÁLISIS A PARTIR DE LA ANOMALÍA
DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN MEJORADO**

**Sebastián A. Otta^{a*}, Esteban G. Jobbágy^b, Alberto I. J. Vich^{a,c}, Ernesto F. Viglizzo^d,
Carolina Lauro^a, Emilce Vaccarino^a, Luis Bastidas^a**

^a Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), CCT Mendoza. CONICET, Universidad Nacional de Cuyo & Gobierno de Mendoza. Av. Ruiz Leal s/n. Parque General San Martín, Mendoza, Argentina. CP: 5501

^b Grupo de Estudios Ambientales. Instituto de Matemática Aplicada San Luis (IMASL). Universidad Nacional de San Luis & CONICET. Av. Italia 1556. San Luis, Argentina. CP: 5700

^c Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo. Centro Universitario UNCuyo, Mendoza, Argentina. CP: 5502

^d Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa (INCITAP). CONICET & Universidad de La Pampa. Mendoza 109. Santa Rosa, La Pampa, Argentina. CP: 6302

*sotta@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN

Los cambios en las áreas de riego de zonas áridas tienen fuertes implicancias para la producción de alimentos, la demanda de agua, la sustentabilidad de los cultivos y los acuíferos subterráneos. Los oasis del Centro-Oeste de Argentina constituyen una de las mayores áreas de riego en zonas áridas de Sudamérica. El objetivo del presente trabajo es estudiar la dinámica espacial y temporal de las áreas irrigadas del Centro-Oeste de Argentina en el período 1986-2018, su relación con la evolución del sistema agrícola-productivo y los factores impulsores de cambio en los usos de la tierra. Para el análisis de las áreas de riego se utilizó un modelo empírico que permite estimar las anomalías de evapotranspiración a partir del índice EVI, implementado en la plataforma *Google Earth Engine*. El área irrigada se incrementó un 17%, impulsada por el crecimiento en las cuencas de los ríos Tunuyán Superior (36%), San Juan (19%) y Mendoza (10,4%). El crecimiento de las áreas irrigadas comprende, principalmente, la expansión hacia el pedemonte mediante el aprovechamiento de aguas subterráneas y nuevas zonas de reúso de efluentes cloacales. El abandono de sitios de riego se asocia al avance urbano sobre áreas irrigadas y el abandono en áreas marginales, donde se produce una profunda transformación en el uso de la tierra y del agua. Los resultados encontrados sugieren un aporte sostenido de agua de riego en sitios abandonados para la producción agrícola y una disminución del área irrigada y cultivada durante la última década.

Las transformaciones encontradas en los patrones de riego, tipo de cultivos y el área irrigada total tienen fuertes implicancias para los balances hídricos, por lo que deben ser consideradas para la planificación territorial y la gestión sustentable del agua en las cuencas del Centro-Oeste de Argentina.

Palabras Claves: OASIS AGRÍCOLAS; TIERRAS SECAS IRRIGADAS; AGRICULTURA DE RIEGO; GOOGLE EARTH ENGINE; CAMBIO DE USO Y COBERTURA DE LA TIERRA

ABSTRACT

Irrigated cropland changes in arid regions have strong implications for food production, water demand, crop and groundwater sustainability. The oases of Central-Western Argentina constitute one of the largest irrigated areas across South America. The aim of this paper is to study the spatial and temporal dynamics of the irrigated lands in Central-Western Argentina in the period 1986-2018, their relationship with the evolution of the agricultural-productive system and the drivers of land use change. For the analysis of irrigated areas, an empirical model was used to estimate evapotranspiration anomalies based on the EVI index, implemented in the Google Earth Engine cloud-computing platform. The irrigated area increased by 17%, driven by growth in the Upper Tunuyán (36%), San Juan (19%) and Mendoza (10.4%) river basins. The growth of irrigated areas mainly includes expansion into the foothills through the use of groundwater and new sewage effluent reuse areas. The abandonment of irrigated plots is associated with urban sprawling over irrigated croplands and abandonment in marginal areas, where a deep transformation in land and water use occurs. The results suggest an irrigation water supply sustained in plots abandoned for agricultural production and a decrease in irrigated and cultivated area during the last decade. The transformations found in irrigation patterns, crop choices and total irrigated area have strong implications for water balances and should be considered for territorial planning and sustainable water management in the Central-Western Argentina basins.

Key Words: AGRICULTURAL OASES; IRRIGATED DRYLANDS; IRRIGATION AGRICULTURE; GOOGLE EARTH ENGINE; LAND USE AND LAND COVER CHANGE

INTRODUCCIÓN

Las regiones áridas y semiáridas cubren aproximadamente un tercio de la superficie terrestre mundial (Okin et al., 2006) y enfrentan grandes dificultades para satisfacer las demandas de agua, que se intensificarán en el futuro con el aumento de la población, el desarrollo de infraestructura, el incremento del uso de agua para riego y los impactos del cambio climático en el sistema hidrológico (Koch & Missimer, 2016). Los oasis agrícolas juegan un importante rol en el balance hídrico regional y su supervivencia es un aspecto crítico para mantener la población creciente en regiones áridas y

semi-áridas (Maliva & Missimer, 2012). Los cambios en las áreas de riego tienen fuertes implicancias para la producción de alimentos, la demanda de agua, la sustentabilidad de los cultivos y los acuíferos subterráneos. La expansión de las áreas cultivadas es uno de los principales factores que amenazan la sustentabilidad de las áreas irrigadas a escala global. El 5% de la expansión de las tierras de cultivo a nivel mundial, durante las últimas 2 décadas, ha sido el resultado de la ampliación del riego en tierras secas (Potapov et al., 2022). En los últimos años se observa un creciente interés en el estudio de las transformaciones de las áreas de cultivo bajo riego en distintas regiones del mundo, mediante el uso de herramientas de teledetección, estadísticas nacionales y bases de datos de riego históricas (Lai et al., 2022; Narayanamoorthy, 2022; Potapov et al., 2022; Rufin et al., 2021; Yin et al., 2020; Zhang et al., 2022; Zhu et al., 2021).

En la región Centro-Oeste de Argentina (provincias de Mendoza y San Juan), debido a las condiciones de aridez, las actividades productivas y la población (2,6 millones de habitantes) se concentran en cuatro grandes oasis y algunos más pequeños (560.000 ha) situados en la vertiente oriental de los Andes Centrales. La región constituye una de las mayores zonas de riego de toda Sudamérica. El agua utilizada para el riego, la generación de energía hidroeléctrica y el abastecimiento doméstico e industrial en estos oasis proviene de ríos permanentes alimentados por el deshielo y la ablación glaciar de la Cordillera de los Andes. Como consecuencia de la variabilidad y el cambio hidro-climático, la agricultura de regadío podría estar en peligro a corto y medio plazo, amenazando la seguridad hídrica y alimentaria de la región (Boninsegna, 2014; Magrin et al., 2014; Montaña & Boninsegna, 2016).

Durante las últimas décadas, diversos estudios (Bernabeu Fernández & Martín, 2019; Cardús Monserrat & Ruiz, 2017; Martín, 2008; Martín & Larsimont, 2016; Miranda, 2015; Rojas et al., 2020; Scoones, 2018; Scott et al., 2012; Taber & Nozica, 2011; Torres et al., 2018) han referido transformaciones en los usos de la tierra en los oasis de la región vinculadas a la expansión urbana, la ampliación del área cultivada, el reemplazo de diferentes tipos de cultivos y transformaciones socio-económicas de los sistemas productivos, entre otras. Sin embargo, los procesos de transformación de las áreas irrigadas en los distintos oasis de la región no han sido evaluados en forma sistemática. El objetivo del presente trabajo es estudiar la dinámica espacial y temporal de las áreas irrigadas del Centro-Oeste de Argentina en el período 1986-2018, su relación con la evolución del sistema agrícola-productivo y los factores impulsores de cambio en los usos de la tierra referidos en la bibliografía. Las preguntas que guiaron este análisis fueron: 1) ¿cómo se ha transformado el área irrigada en cada oasis productivo del Centro-Oeste de Argentina?; 2) ¿los cambios en el área irrigada, en cada oasis y a escala regional, pueden ser explicados por transformaciones del sistema agrícola-productivo o son impulsados por otros factores de cambio?

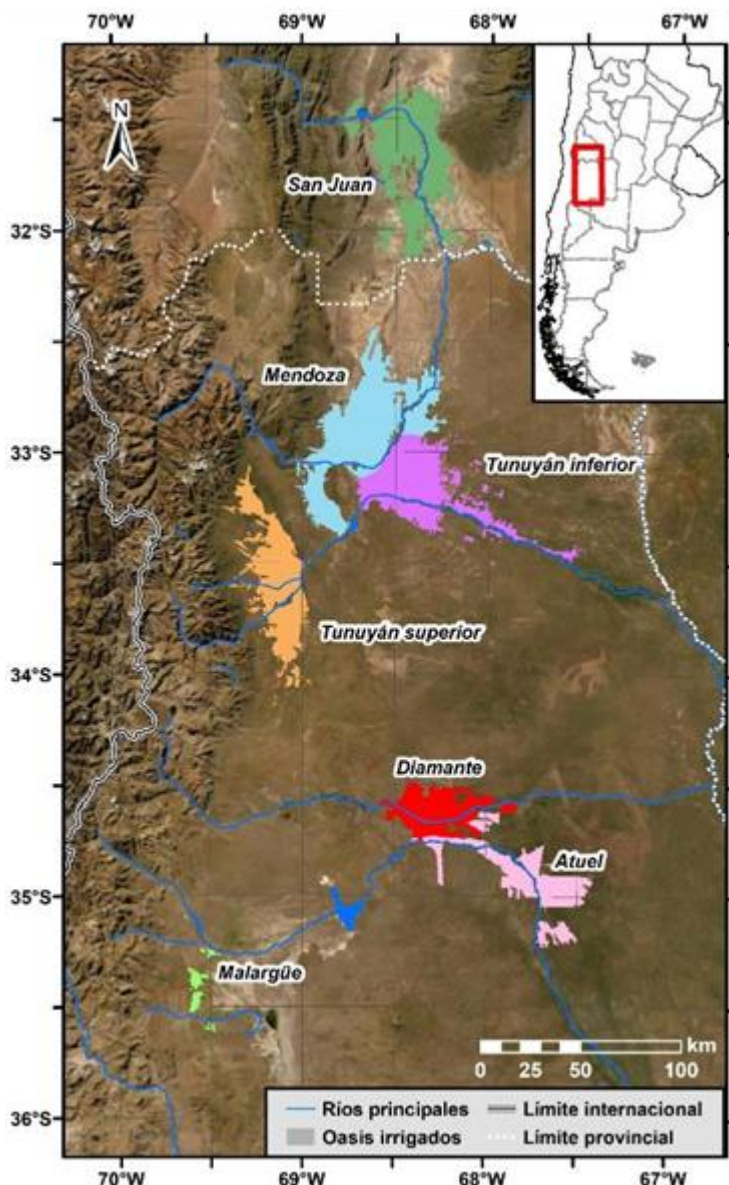


Figura 1. Ríos principales y áreas de riego en el Centro-Oeste de Argentina consideradas en el trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se consideraron las principales áreas irrigadas del Centro-Oeste de Argentina, en las provincias de Mendoza y San Juan (Figura 1). Se diferenció la superficie irrigada en cada una de las cuencas hidrográficas de los principales ríos de la región: San Juan, Mendoza, Tunuyán superior, Tunuyán inferior, Diamante, Atuel y Malargüe. La cuenca del río Tunuyán fue dividida en subcuencas superior e inferior, aguas arriba y abajo del embalse El Carrizal, respectivamente.

Modelo EVI-MAP para la identificación de áreas irrigadas

Para estudiar la evolución del área irrigada en cada oasis se utilizó un modelo empírico que permite estimar las anomalías de evapotranspiración anual, a partir de anomalías del índice verde mejorado anual (EVI por las siglas en inglés de *Enhanced Vegetation Index*). Este modelo, desarrollado originalmente por Contreras et al. (2011) para la región, se basa en la relación positiva y lineal entre los aportes de agua recibidos por los ecosistemas y su capacidad de captar luz y sus tasas de evapotranspiración, como sugiere la hipótesis del equilibrio hidrológico (Nemani & Running, 1989). Los autores definieron la relación entre la precipitación media anual y el EVI medio anual obtenido a partir de imágenes MODIS, como sustituto de la evapotranspiración

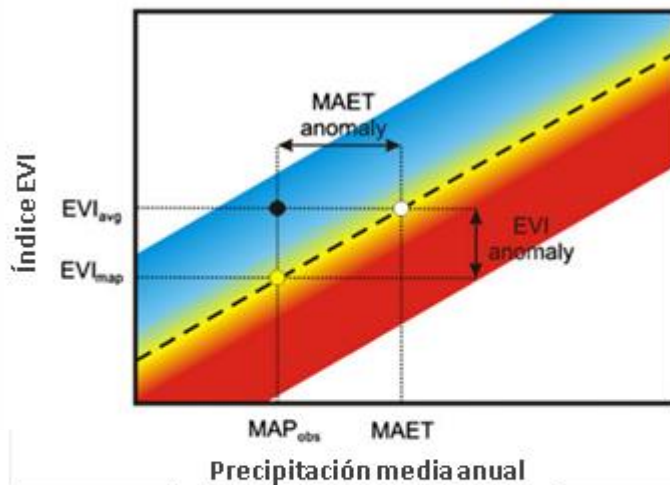


Figura 1. Modelo ecológico EVI-MAP (adaptado de Contreras et al., 2011). A partir del ajuste del modelo lineal, es posible cuantificar las anomalías de EVI y ET anual en un determinado sitio.

(Ecuación 1).

$$EVI_{MAP} = b + a \cdot MAP \quad [1]$$

donde EVI_{MAP} es el EVI basado en la precipitación, MAP es la precipitación media anual, a y b son parámetros ajustados regionalmente.

$$ET_y = \frac{EVI_y - b}{a} \quad [2]$$

$$AET = ET_y - MAP \quad [3]$$

El modelo permite estimar la precipitación media anual necesaria (ET_y , Ecuación 2) para mantener el valor de EVI observado (EVI_y). De esta forma, la anomalía de ET (AET) representa el agua adicional a la precipitación consumida en un sitio (Ecuación 3, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Para el presente estudio se utilizó el EVI obtenido a partir de imágenes LANDSAT 5 y 7, desde el año 1986, con una resolución espacial de 30 m, y la base de datos grillada de precipitación CHIRPS v.2.0 (C. Funk et al., 2015; C. C. Funk et al., 2014). Si bien las imágenes LANDSAT 5 están disponibles desde el año 1984, no se consideraron los 2 primeros años de la serie por la gran cantidad de datos faltantes. Se ajustó el modelo de la ecuación 6 a partir de 180 puntos aleatorios en áreas naturales sin evidencias de aporte de agua extra a la precipitación (69,7° - 66,5° longitud O; 30,9° - 35,9° latitud S). Posteriormente se obtuvo las imágenes de EVI anual en las áreas de oasis, considerando períodos anuales de julio a junio coincidentes con los ciclos hidrológicos y agrícolas en la región. A partir del modelo ajustado ($EVI_{MAP} = 0,032 + 2,67 \times 10^{-4} MAP$; $r = 0,90$; $p < 0,01$) y las imágenes de EVI medio anual, se obtuvo la imagen (raster) de ET_y y AET para cada año en el área de los oasis estudiados. A partir de las imágenes de AET anual se analizó la evolución del área irrigada en cada oasis, considerando diferentes valores umbrales de AET (5-300 mm). Debido a que los diferentes valores umbrales reflejaron evoluciones similares en las superficies irrigadas de cada oasis, se escogió un umbral de 200 mm en la AET para la definición de las áreas irrigadas. Todo este análisis se desarrolló en la plataforma de computación en la nube *Google Earth Engine* (Gorelick et al., 2017), que permite procesar eficientemente un gran número de imágenes Landsat. La tendencia lineal del área irrigada en cada oasis y en toda la región se evaluó mediante el test no paramétrico de Mann-Kendall (Hirsch et al., 1982; Westmacott & Burn, 1997) y los valores de tendencia fueron obtenidos a partir del método no paramétrico de estimación de la tendencia (Sen, 1968).

Transformaciones del área cultivada y factores impulsores de cambio en los usos de la tierra

Para estudiar la asociación de las transformaciones en las áreas de riego con cambios en el sistema productivo, se analizó la evolución de los diferentes cultivos en cada oasis. Se consideraron los registros de área cultivada, por tipo de cultivos, de los Censos Nacionales Agropecuarios (CNA 1988, 2002, 2008, 2018). El área de los diferentes cultivos en cada oasis fue obtenida agregando los registros por departamentos. En los oasis del Norte de Mendoza (NM, NT), los registros de los departamentos compartidos por ambas cuencas (San Martín y Luján de Cuyo) fueron asignados en forma proporcional a la superficie irrigada del departamento en cada cuenca. Los oasis de los ríos Diamante y Atuel (oasis Sur de Mendoza) fueron considerados en conjunto por la imposibilidad de desagregar la producción por cuencas. Dado que las estadísticas censales pueden ser afectadas por diversos sesgos, se compararon los registros de superficie cultivada de vid de los Censos Nacionales Agropecuarios con los correspondientes a los Anuarios del Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV). Los valores del INV son, en promedio, 16% mayores que los correspondientes a los CNAs, por lo que la superficie cultivada podría ser levemente superior a la indicada por estos últimos. Sin embargo, ambas fuentes de información son consistentes en la evolución del área cultivada de vid en cada oasis, por lo que se consideró que los CNA reflejan adecuadamente la evolución de los cultivos en la región. Finalmente, se discuten las transformaciones del área irrigada en los distintos oasis en relación a los cambios en la superficie cultivada y otras transformaciones en los usos de la tierra referidas en la bibliografía.

RESULTADOS

Evolución del área irrigada

El área irrigada total en la región presentó una tendencia creciente significativa de 3.101 ha/año, lo que representa un incremento del 17% durante el período estudiado (Figura). Este crecimiento se verificó principalmente hasta 2007-2010, manteniéndose estable la superficie irrigada a partir de ese período e incluso registrando una disminución durante los últimos 3 años (2016-2018). Esta disminución en el área irrigada del último trienio con respecto a los años anteriores fue encontrada en todos los oasis estudiados. Las nuevas áreas de riego contemplan sitios donde se registraron anomalías de ET superiores a los 200mm, donde anteriormente no habían sido observadas. Por el contrario, los sitios de abandono experimentaron una caída en la anomalía de ET por debajo de los 200 mm, que se mantuvo hasta el final del período estudiado. Durante la década de los 90' se registraron incrementos crecientes del área irrigada, alcanzando las 13.800 ha/año durante 1998-2001. Posteriormente se incorporaron, en promedio, 6.649 ha/año hasta el 2015. Esta disminución en la incorporación de nuevos sitios desde el 2001 fue acompañada por un incremento sostenido en el abandono de áreas de riego, alcanzando las 6.060 ha/año en el período 2013-2016.

La evolución del área irrigada es diferente en los distintos oasis de la región (Figura 2). En el oasis del río San Juan (SJ) se identificó una tendencia creciente significativa ($p < 0,05$) de 817 ha/año, que representa un incremento del 19% del área irrigada durante el período estudiado. A pesar de este incremento sostenido, la menor superficie irrigada para todo el período de estudio (127.000 ha) se registró durante los años 1998-2001. El establecimiento de nuevos sitios de riego registró un

promedio anual de 1.548 ha/año, alcanzando 2.386 ha/año durante 2001-2004. Durante las décadas de 1990 y 2000, la incorporación de nuevas áreas de riego se produjo principalmente en los valles de Ullum y Zonda, y hacia el Sur en áreas periféricas del Valle del Tulum (departamentos 25 de Mayo, Rawson, Pocito y Sarmiento principalmente). El mayor incremento del área irrigada se registró en el departamento Sarmiento, con el establecimiento de nuevos emprendimientos agro-productivos en el pedemonte de la Precordillera que se verificó hasta la última década de estudio. A partir del año 2010 se observa un marcado crecimiento en el abandono de tierras de riego, alcanzando las 1.979 ha/año durante el último trienio analizado (2013-2016). Estas últimas se concentran principalmente en cercanías del Área Metropolitana de San Juan (departamentos Chimbas, Santa Lucía, Rawson, Pocito y Rivadavia) y las áreas más distales del oasis (departamentos 25 de Mayo, Sarmiento, San Martín y Angaco).

El oasis del río Mendoza (NM) presentó una evolución similar a la del San Juan, con una tendencia creciente significativa ($p < 0,05$) de 427 ha/año, que representa un incremento del 10,4% del área irrigada durante el período estudiado. También se observó una estabilidad relativa desde el 2004 y una disminución del área durante los últimos 3 años. Durante la década de 1990 se registró un establecimiento sostenido de nuevas áreas de riego, alcanzando las 3.632 ha/año durante 1998-2001, y 1.410 ha/año durante los años siguientes. Estas se registraron principalmente en el sector Centro-Norte del oasis, en los departamentos de Lavalle y Maipú. También se han incorporado nuevos sitios por expansión del oasis hacia la periferia en los departamentos Las Heras, Lavalle, San Martín, Maipú y Luján de Cuyo. En este último el crecimiento se produjo principalmente hacia el Oeste, sobre la región del pedemonte. El abandono de tierras irrigadas se registró desde 1995, incrementándose hasta alcanzar 1.474 ha/año durante 2013-2016. Estos comprenden principalmente sitios de urbanización, por expansión del Área Metropolitana de Mendoza hacia el Este y Sur, en los departamentos Maipú, Luján de Cuyo, Guaymallén y Las Heras y sectores marginales del oasis, correspondientes a los departamentos Lavalle, San Martín, Maipú y Luján de Cuyo.

En la cuenca del río Tunuyán se encontró una situación contrastante entre ambas subcuencas. Mientras que en la subcuenca inferior el área irrigada se mantuvo estable durante el período analizado, en la subcuenca superior se registró una tendencia creciente significativa ($p < 0,01$) de 938 ha/año, que representa el mayor incremento (36%) del área irrigada de todos los oasis estudiados. La incorporación de nuevas áreas de riego en esta última se verificó durante todo el período analizado con un valor medio de 1.952 ha/año, y valores máximos entre 1995 y 2001 de 3.021 ha/año. Esta extensión del área irrigada se produjo principalmente hacia el pedemonte (Oeste) del oasis, en los departamentos Tupungato, Tunuyán y San Carlos. También se registraron nuevas áreas irrigadas por expansión del oasis hacia el Norte, en el departamento Tupungato, y en el departamento de San Carlos por crecimiento del oasis hacia el Este, en inmediaciones de las localidades San Carlos y Chilecito, y hacia el Sur con el establecimiento de sistemas de riego de pivote central en las localidades de Pareditas y Paso de las Carretas. El abandono de sitios irrigados es considerablemente menor en la subcuenca superior, registrándose principalmente desde el 2001 con valores medios de 284 ha/año en sectores medios del centro del oasis. En la subcuenca del Tunuyán inferior la incorporación de nuevos sitios de riego fue relativamente homogénea durante todo el período con valor medio de 276 ha/año, mientras que los registros de abandonos se incrementaron desde 1998, alcanzando 889 ha/año al final del período analizado. Las áreas

periféricas del oasis (departamentos San Martín, Santa Rosa, La Paz y zona Este de Junin y Rivadavia) concentran una importante superficie de abandono, junto con la incorporación de nuevos sitios de riego.

En el oasis Sur de la provincia de Mendoza el área irrigada presentó una evolución similar en ambas cuencas (ríos Diamante y Atuel), sin registrarse tendencias significativas durante el período de estudio. Sin embargo, se observa un crecimiento del área irrigada hasta el período 2001-2004 en el oasis del río Diamante y 2007-2010 en el oasis del río Atuel, con una posterior disminución en los años subsiguientes. La incorporación de nuevas áreas de riego fue creciente hasta el período 1998-2001, con un valor promedio de 1.433 ha/año en el oasis del río Diamante y 1.356 ha/año en el Atuel. A partir del 2001 la incorporación de nuevas zonas de riego fue menor: 598 ha/año en el oasis del río Diamante y 606 ha/año en el Atuel. Estos sitios presentaron una distribución homogénea y dispersa en ambos oasis, con algunos sectores de mayor superficie en Cuadro Benegas, Rama Caída, El Cerrito, Salto de las Rosas, Goudge y Colonia Elena en la cuenca del río Diamante, y en Villa Atuel, Jaime Prats y Noreste de Real del Padre en la cuenca del río Atuel. A partir del año 2001, junto con la disminución en la incorporación de nuevas zonas de riego, se incrementó la superficie de abandono: 431 ha/año en el oasis del río Diamante y 386 ha/año en el Atuel. Los sitios de abandono también se distribuyen en forma dispersa en gran parte de ambos oasis. Comprenden, además, sectores de expansión del área urbana de la ciudad de San Rafael en sus inmediaciones y hacia el distrito de Las Paredes principalmente. En el caso del oasis del río Atuel, las áreas de abandono se concentran principalmente en el sector Norte, en los distritos La Llave, Goudge, Cañada Seca y Villa Atuel.

En el oasis del río Malargüe tampoco se registró un cambio significativo del área irrigada. Sin embargo, esto responde a un importante incremento del área irrigada hasta el período 2007-2010 y una posterior disminución durante la última década, alcanzando el registro de menor superficie irrigada (3.700 ha) en los últimos 3 años del período de estudio. Entre los años 1988 y 2010 se incorporaron, en promedio, 84 ha/año de nuevas áreas de riego, disminuyendo a 23 ha/año en los años siguientes. La incorporación de nuevas áreas de riego se registró principalmente en el sector Sur del oasis, con algunas parcelas de menor tamaño hacia el Norte de la ciudad de Malargüe. También se identificó la expansión del área irrigada en Las Chacras, localidad ubicada al Sur del río Malargüe, por la incorporación de parcelas de riego y cortinas forestales en los bordes de parcelas.

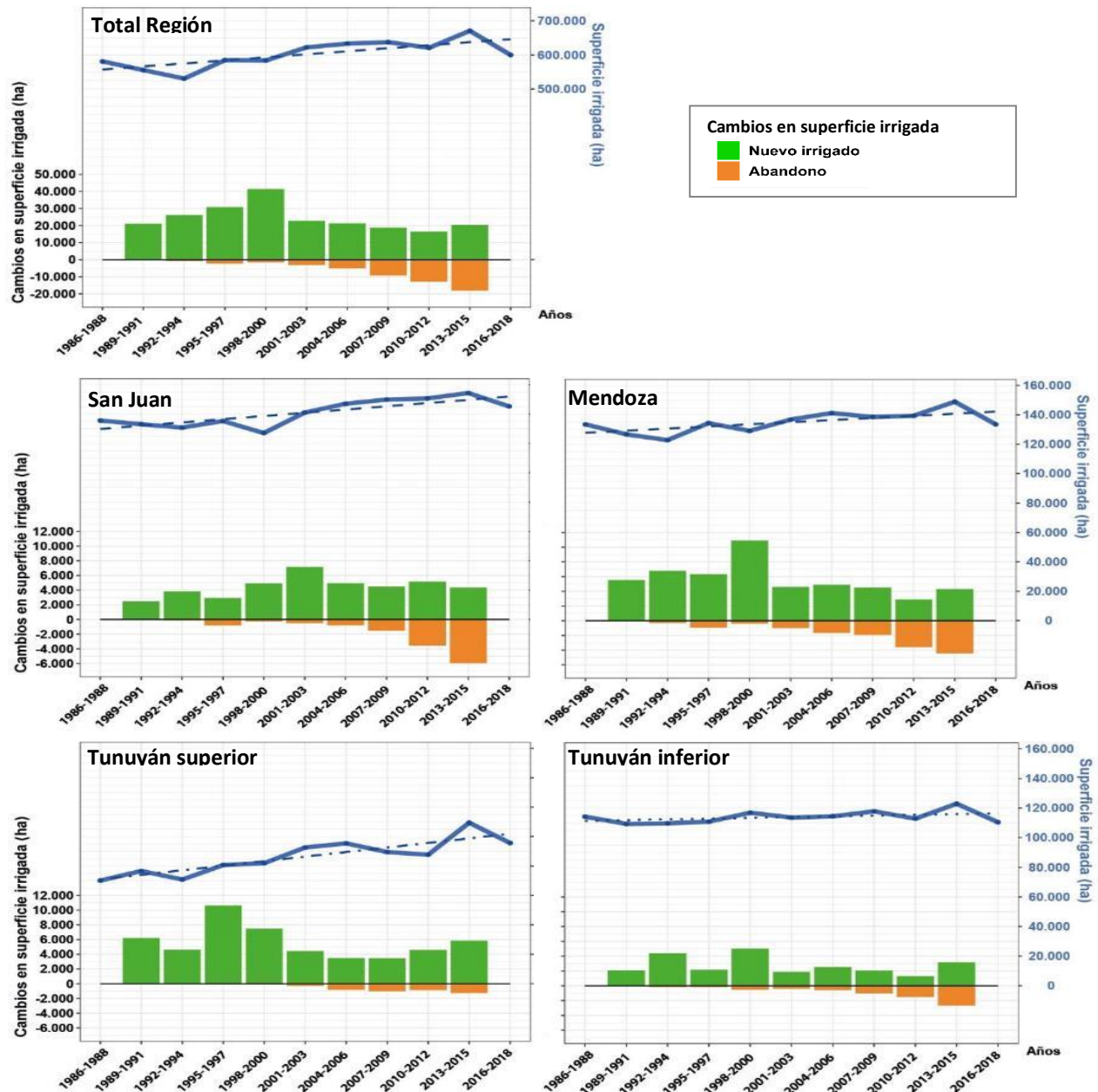


Figura 1. Evolución del área irrigada total (1986-2018), abandono y nuevas áreas de riego trianuales definidas a partir de valores de AET superiores a 200 mm, en cada oasis y en la totalidad de la región. Se indican las tendencias lineales de las series de área irrigada total. Las líneas de guiones (puntos y guiones) indican tendencias significativas para $\alpha=0,05$ ($\alpha=0,01$). En el oasis del río Malargüe, por la faltante de datos en las imágenes satelitales, se interpolaron los valores de superficie irrigada entre 1989 y 1998 (puntos en rojo) y se analizaron los cambios a partir de 1998.



Figura 3. Continuación.

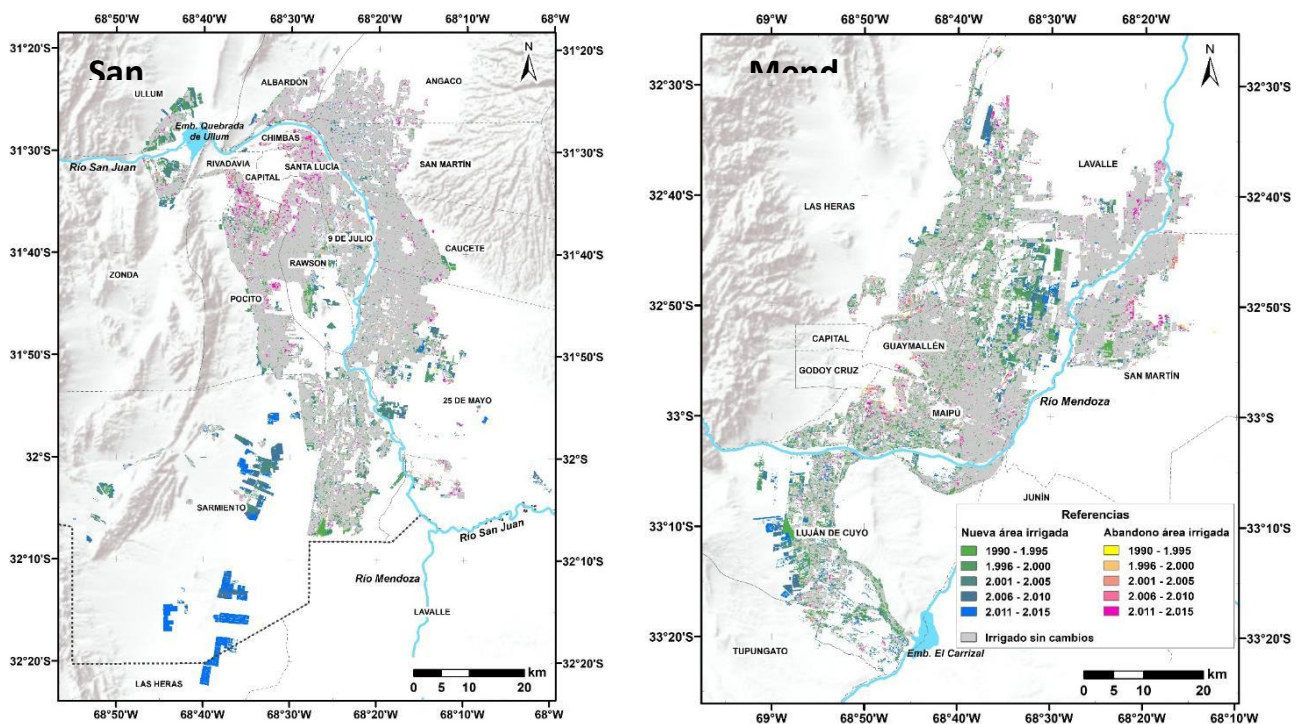


Figura 2. Cambios en el área irrigada de cada oasis, evaluados mediante el modelo EVI-MAP (Contreras et al., 2011) ajustado a la región a partir de imágenes LANDSAT 5 y 7 y la base de datos de precipitación CHIRPS v.2.0. Se consideraron como irrigadas áreas con anomalía de evapotranspiración (AET) mayor a 200mm. Se indica el período de abandono e incorporación de nuevas áreas de riego, identificadas durante el período 1990-2015.

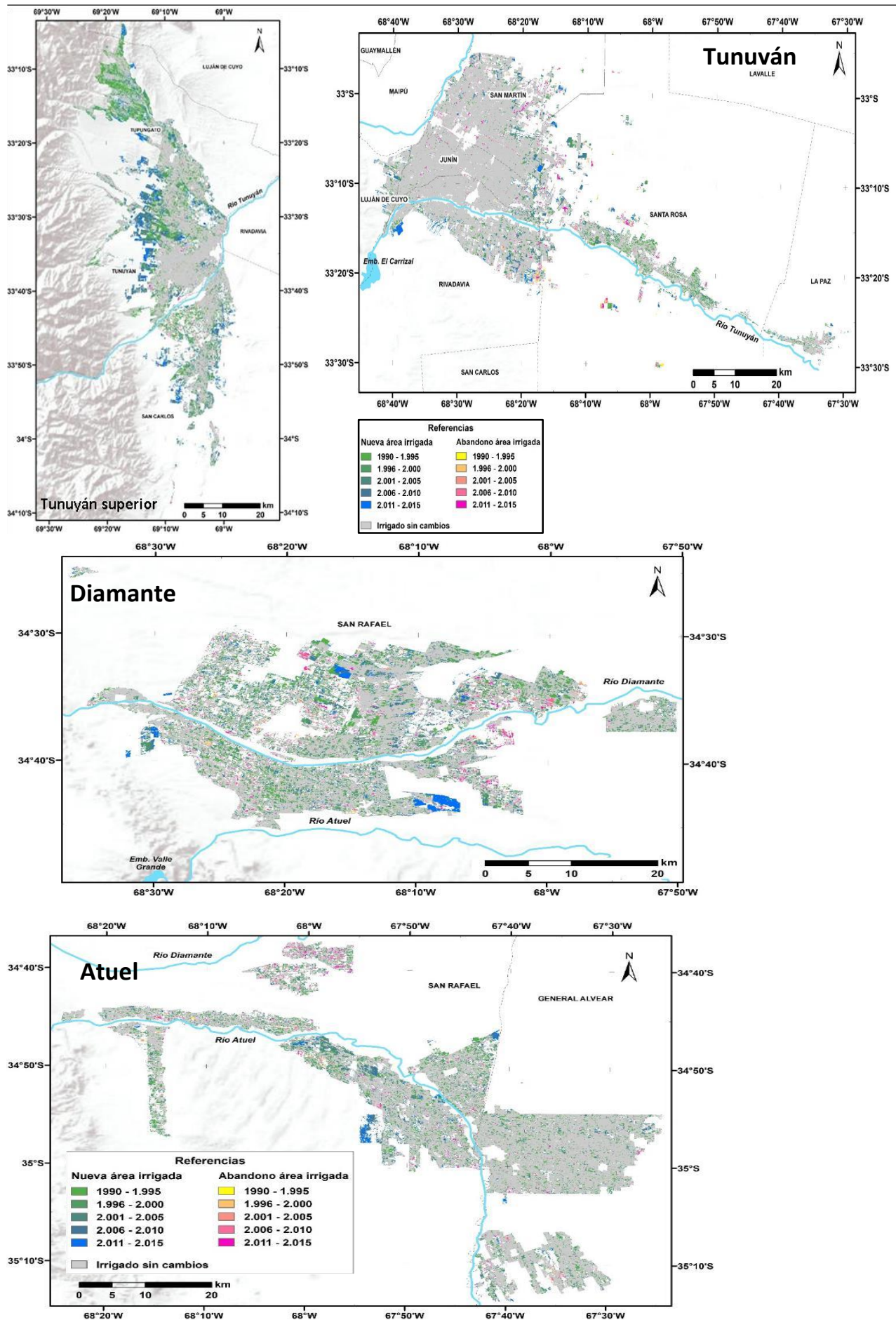


Figura 4. Continuación.

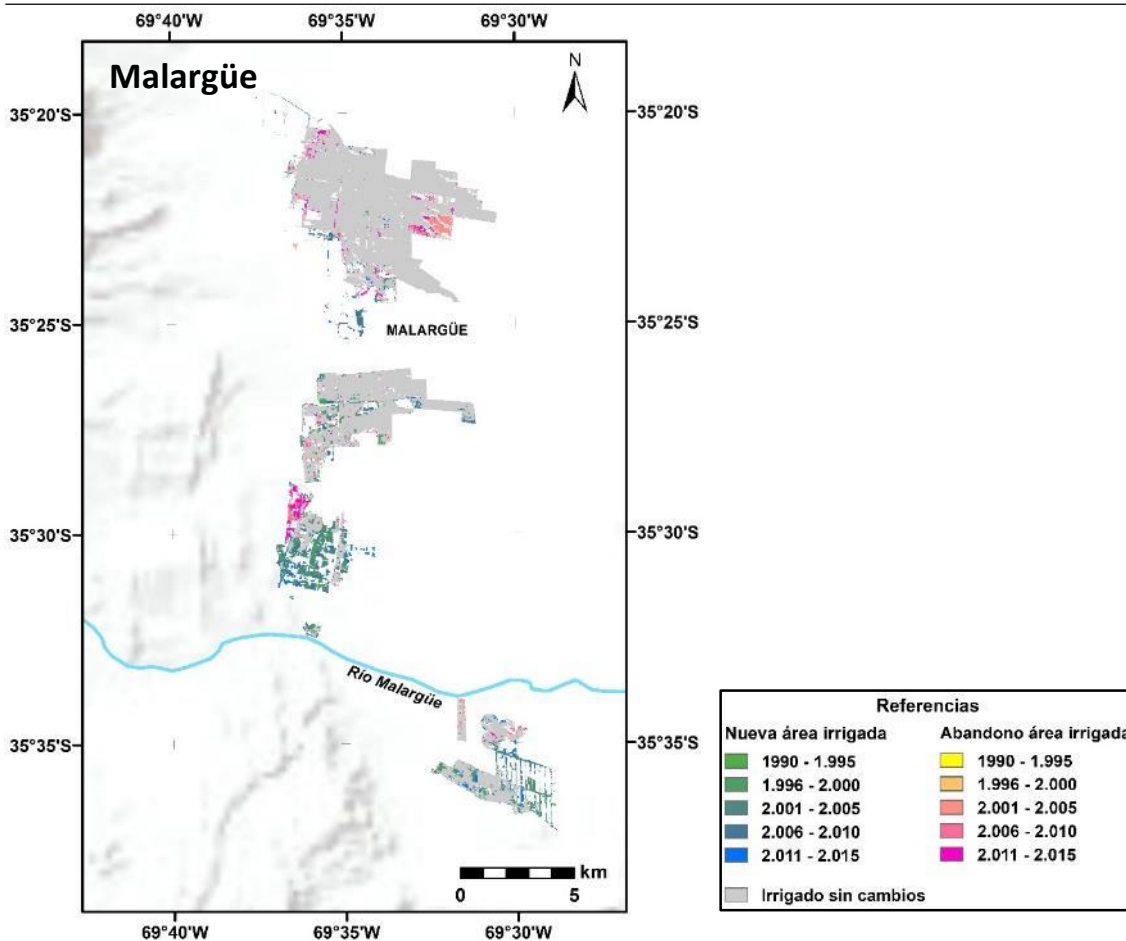


Figura 4. Continuación.

Transformaciones vinculadas a cambios en el área cultivada

Las transformaciones del área irrigada en las distintas cuencas de la región pueden ser vinculadas con cambios en el sistema productivo u otros factores impulsores de cambio. Para evaluar los cambios en el área cultivada y su relación con las áreas irrigadas en las distintas cuencas, se consideraron los registros de los Censos Nacionales Agropecuarios. La evolución del área cultivada en los oasis estudiados (Figura 4) responde principalmente a cambios en la superficie de vid, cultivo predominante en la región, seguido por olivos, forrajeras y frutales. Contrariamente al crecimiento registrado en el área irrigada a escala regional, la superficie cultivada en el 2018 (2008) sufrió una disminución del 8,0% (2,6%) con respecto a 1988, impulsada por la retracción de la superficie de vid, forestales y frutales. La proporción de vid disminuyó del 57,8% al 51,1%, forestales de 5,3% a 1,3% y la superficie cultivada con frutales se redujo en forma proporcional al área cultivada total, conservando una participación de 14,3%. Por el contrario, los cultivos que incrementaron su superficie fueron olivo (3,2% a 8,7%) y forrajeras (7,0% a 11,0%). En el caso de las hortalizas, la superficie cultivada se mantuvo estable, incrementando su participación del 10,9 % al 11,5%. En forma similar a la evolución observada del área irrigada, el área cultivada refleja una importante reducción durante la última década (2018-2008) a escala regional y en las cuencas de los ríos San Juan, Mendoza y Tunuyán inferior.

En el oasis del río San Juan, a pesar de una importante reducción en la superficie de vid, se registró un incremento del área cultivada entre 1988 y 2008, impulsado por el crecimiento de la superficie con olivos y otros frutales. Este incremento del área cultivada se condice con la importante

expansión del área irrigada encontrada durante dicho período. Posteriormente, en la última década, se registra una disminución del área cultivada producto de una retracción de todos los cultivos, excepto hortalizas y forrajeras. Durante el período analizado las superficies de olivo y frutales se incrementaron, respectivamente, de 5,7% a 21,5% y de 1,5 % a 4,1% del área cultivada. Por el contrario, la proporción de vid, hortalizas, forrajeras y forestales en el área cultivada se redujo de 77,0% a 59,7%, de 8,6% a 8,0%, de 4,3% a 3,4% y de 2,0% a 0,4%, respectivamente.

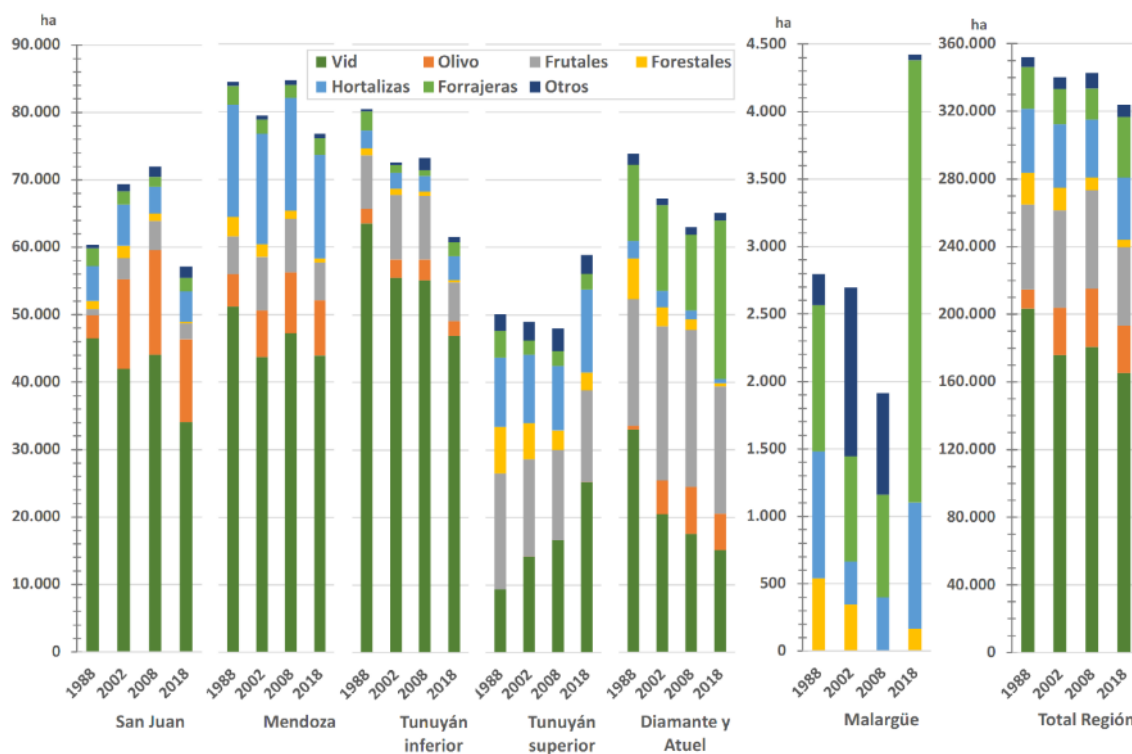


Figura 3. Superficie cultivada de cada tipo de cultivos por oasis y considerando todos los oasis de la región en forma agregada (Censos Nacionales Agropecuarios 1988, 2002, 2008 y 2018).

En el oasis del río Mendoza el área cultivada se mantuvo estable hasta el 2008, con aumento en la proporción de olivos y otros frutales, en detrimento de la participación de vid, forestales y forrajeras. Durante la última década, se registró una reducción del área cultivada del 9,3%, impulsada principalmente por la disminución de los cultivos de vid, frutales y hortalizas. Durante el período de estudio los cultivos de vid y forestales disminuyeron su participación de 60,6% a 57,2% y de 3,4% a 0,7% del área cultivada, respectivamente. En cambio, la superficie con olivos se incrementó significativamente de 5,7% a 10,7%; mientras que los frutales y cultivos hortícolas permanecieron estables, incrementando su participación de 6,6% a 7,3% y 19,6% a 20,0% del área cultivada, respectivamente. Las forrajeras mantuvieron una participación cercana al 3,3% de la superficie cultivada total. En esta cuenca, la tendencia creciente encontrada para el área irrigada no parece ser impulsada por una expansión de los cultivos en la misma.

En la cuenca del río Tunuyán la evolución del área cultivada también fue contrastante entre ambas subcuencas, modulada casi exclusivamente por la transformación de la actividad vitícola. En el oasis del Tunuyán superior el incremento del 17,5% del área cultivada entre 1988 y 2018 explica, en parte, el crecimiento (36%) del área irrigada en dicha subcuenca. Esta expansión es impulsada por el cultivo de vid, el cual se incrementó un 170% durante el período estudiado, alcanzando el 42,9% del área cultivada del oasis. La superficie hortícola experimentó un leve incremento del 20,3% al 20,9% del área cultivada, mientras que los otros frutales, forestales y forrajeras disminuyeron su

superficie. Por el contrario, el oasis del Tunuyán inferior redujo un 23,5% su superficie cultivada, impulsada también por la caída en la superficie de vid, reduciendo su participación de 79,0% a 76,0%. Frutales, forrajeras y forestales también disminuyeron su superficie, mientras que las hortalizas y olivos fueron los únicos cultivos que aumentaron levemente su superficie, de 3,4% a 5,6% y de 2,7% a 3,7%, respectivamente. A pesar de la importante disminución de la superficie cultivada, el área irrigada mantuvo una superficie estable durante el período de estudio.

En el oasis Sur de la provincia de Mendoza, conformado por las cuencas de los ríos Diamante y Atuel, la superficie cultivada sufrió una importante caída del 14,7% de 1988 a 2008, impulsada por la disminución de los cultivos de vid, forestales y hortalizas. Por el contrario, en este período se incrementó la superficie de olivos y frutales. Durante la última década, a pesar de mantenerse la disminución de los cultivos nombrados, un importante incremento en el cultivo de forrajeras impulsó un aumento de la superficie cultivada. Estas últimas se convirtieron en el cultivo predominante (36,1%) del oasis Sur, mientras que el olivo incrementó su participación de 0,8% a 8,3% durante el período analizado. Los otros frutales presentaron una superficie estable, mientras que la vid, forestales y hortalizas disminuyeron su participación de 44,6% a 23,3%, 8,2% a 0,8% y 3,5% a 0,9% de la superficie cultivada, respectivamente.

En el caso del oasis del río Malargüe, el menor de toda la región, la superficie cultivada registró una importante disminución hasta el 2008 y un posterior incremento durante la última década. El gran crecimiento de las forrajeras impulsó este crecimiento del área cultivada, alcanzando el 74,1% de la misma en 2018. El cultivo de hortalizas se mantuvo estable durante el período de estudio, representando el 21,2 % del área cultivada en 2018, mientras que los forestales disminuyeron significativamente del 19,3% al 3,5% del área cultivada. Sin embargo, los registros de este oasis deben ser considerados con recaudo debido su baja superficie y cantidad de explotaciones agropecuarias, que podrían incrementar los errores y/o sesgos en dichos registros.

DISCUSIÓN

El área irrigada en los oasis del Centro-Oeste de Argentina se ha incrementado un 17% durante los últimos 30 años, impulsada por el crecimiento en las cuencas de los ríos Tunuyán Superior, San Juan y Mendoza. Estos cambios en el área irrigada pueden ser asociados, parcialmente, a cambios en la superficie cultivada que reflejan transformaciones del sistema productivo agrícola. Si bien la superficie cultivada total en la región no ha experimentado cambios significativos, el aumento del área irrigada responde a cambios en los sitios de riego, producto de la expansión y relocalización de algunos cultivos (vid, olivo y forrajeras principalmente).

Ciclos económicos, así como políticas nacionales de fomento a la actividad agrícola y provinciales de manejo del agua han sido referidos como factores impulsores de cambio en los usos de la tierra en las cuencas del Norte de la región (Rojas et al., 2020). Desde la década de 1990, la reorientación de la industria agrícola hacia la exportación ha implicado una reconversión del sistema agro-productivo que implica el abandono de tierras y la expansión del área cultivada en otros sitios (Martín, 2008; Martín & Larsimont, 2016; Rojas et al., 2020; Torres et al., 2018). En la cuenca del

río San Juan esta reconversión ha sido impulsada, además, por el Sistema de Promoción Agrícola establecido por la Ley Nacional N° 22.021/1.979 (conocida también como Ley de Diferimientos Impositivos) que posibilitaba diferir el pago de impuestos nacionales hasta 75% de lo invertido en el sector agropecuario. La provincia de San Juan fue incorporada al régimen anterior en el año 1.983 (Ley Nacional N° 22.973) y su implementación ha implicado la renovación de plantaciones de vid y cambio de variedades, implantación de nuevas superficies con frutales y olivos, aplicación de un conjunto de técnicas para riego que favoreció el incremento de la superficie cultivada y la ampliación de la frontera agrícola hacia áreas consideradas marginales hasta entonces (Cardús Monserrat & Ruiz, 2017; Miranda, 2015). Durante la década de 1990, la expansión del área irrigada se concentró en áreas periféricas del Centro y Sur del Valle del Tulum (departamentos 25 de Mayo, Rawson, Pocito y Sarmiento principalmente) y en los valles de Ullum y Zonda, impulsada en estos últimos por la implementación de la ley mencionada y la puesta en funcionamiento del embalse Ullum en el año 1980 (Cardús Monserrat & Ruiz, 2017). Posteriormente, durante las últimas 2 décadas, la expansión del área irrigada registrada en el pedemonte de la Precordillera del departamento Sarmiento responde al auge de la actividad olivícola en la región. A partir de 2000-2005, condiciones económicas favorables para la actividad han impulsado el desarrollo agroindustrial de la región con el establecimiento de explotaciones de gran escala y elevada tecnificación, que comprende cosecha y poda mecanizada. Esta transformación ha comprendido, incluso, la relocalización de olivos desde 25 de Mayo hacia el departamento de Sarmiento, concentrando este último actualmente más del 50% de la producción olivícola de la provincia de San Juan (Martínez Dodda, 2021). Estos nuevos emprendimientos se abastecen, mayoritariamente, de agua subterránea y cuentan con sistemas de riego presurizado.

Rojas et al. (2020) evaluaron los cambios en el uso y cobertura de la tierra en las cuencas de los ríos Mendoza, Tunuyán Superior y Tunuyán inferior mediante clasificación supervisada de imágenes satelitales LANDSAT, en un período similar al del presente estudio. Los patrones espaciales de establecimiento de nuevos sitios de riego son similares a la incorporación de cultivos reportada por el trabajo anterior para las tres cuencas. La expansión de los oasis irrigados hacia el pedemonte en las cuencas de los ríos Tunuyán superior y Mendoza (localidades Perdriel y Agrelo) está especialmente vinculada al establecimiento de nuevos emprendimientos vitivinícolas altamente capitalizados y orientados a la exportación de vinos de alta gama. Los mismos son abastecidos mediante el aprovechamiento de agua subterránea (Scott et al., 2012). En el Tunuyán inferior, Rojas et al. (2020) registraron una estabilidad en la superficie cultivada durante el periodo 1986-2018, junto con importantes cambios en el uso de la tierra que reflejan el abandono de antiguas áreas de cultivo y la incorporación de nuevos sitios para la producción agrícola. En el año 1994, se incorporaron al Sistema de Promoción Agrícola los departamentos de Lavalle, Santa Rosa y La Paz de la provincia de Mendoza (Ley Nacional N° 24.447). Si bien se registró una importante incorporación de nuevos sitios de riego en Santa Rosa durante la década de 1990, que podrían estar vinculados con la política de diferimientos fiscales, los impactos concretos de esta medida en la provincia de Mendoza no han sido previamente estudiados. Otro sector de importante expansión del área irrigada en el oasis del río Mendoza se asocia al Área de Cultivos Restringidos Especiales (ACRE) "Lavalle" (departamento homónimo), donde se realiza el aprovechamiento productivo de los efluentes tratados en la planta depuradora de líquidos cloacales El Paramillo. La planta de tratamiento funciona desde el año 1987 y recibe los líquidos cloacales provenientes de toda la zona

Este del Área Metropolitana de Mendoza. La expansión del área irrigada en el ACRE durante la década de 1990 es coincidente con la ampliación de la capacidad de la planta de tratamiento en 1995 y puede haber sido impulsada, además, por la política de diferimientos fiscales descripta anteriormente. Actualmente el ACRE cuenta con 3.500 ha habilitadas para riego.

En las cuencas del Sur de la región, si bien el área irrigada ha permanecido relativamente estable, se registraron transformaciones importantes en los patrones espaciales de los sitios de riego. En el oasis alimentado por los ríos Diamante y Atuel, el cambio en los sitios de riego responde a la profunda transformación agro-productiva que ha significado el reemplazo de cultivos de vid y forestales por una gran expansión del cultivo de forrajeras y olivos. En la cuenca del río Malargüe también se registró un crecimiento importante del área cultivada con especies forrajeras. El crecimiento ganadero de la zona, los altos precios de los cereales y la menor vulnerabilidad frente a contingencias climáticas como granizo, han impulsado la producción local de forraje, principalmente alfalfa, y la reconversión de fincas abandonadas (Manini, 2021).

En cuanto al abandono de áreas de riego, las superficies identificadas son significativamente menores que las pérdidas de cultivos reportadas por Rojas et al. (2020). En consecuencia, el crecimiento del área irrigada registrado en las cuencas de los ríos Tunuyán superior (36%) y Mendoza (10,5%) es superior al crecimiento en la superficie de cultivos reportado en el estudio anterior (30,2% y 4,7%, respectivamente) y analizados en este trabajo a partir de los Censos Nacionales Agropecuarios. Esta situación sugiere un aporte sostenido de agua de riego en sitios abandonados para la producción agrícola. El patrón de abandono de sitios de riego encontrado refleja 2 procesos predominantes en los oasis de la región: expansión de áreas urbanas y abandono en áreas marginales. La problemática de avance urbano sobre áreas agrícolas ha sido previamente estudiada en la región (Bernabeu Fernández & Martín, 2019; Scoones, 2018; Taber & Nozica, 2011) y se verifica principalmente en la pérdida de áreas de riego en inmediaciones del área metropolitana de San Juan, Mendoza y, en menor medida, San Rafael (cuenca del río Diamante), San Martín (cuenca del río Tunuyán inferior) y Malargüe. En las áreas marginales de los oasis se registra un marcado patrón contrastante de incorporación y abandono de sitios de riego, lo que implica una profunda transformación y reemplazo en el uso de la tierra y del agua en estos sectores. Este fenómeno en la periferia de los oasis de la región ha sido mucho menos estudiado y podría estar asociado a la disponibilidad de agua y/o procesos de degradación de suelos (Guida-Johnson et al., 2017, 2020; Tozzi et al., 2017).

La caída en el área irrigada encontrada a partir del 2010 en las cuencas del Sur de la región y durante los últimos 3 años en cuencas del Norte y a escala regional, junto con la disminución del área cultivada acusada por los Censos Nacionales Agropecuarios, podría estar asociadas a una menor disponibilidad hídrica. Si bien el impacto de la sequía hidrológica en la producción agrícola suele ser difícil de cuantificar, se han reportados restricciones al riego e impacto sobre la producción agrícola durante la persistente sequía hidrológica registrada desde el 2010, profundizados a partir del año 2017 (Rivera et al., 2021). Siendo la agricultura la actividad de mayor consumo de agua en la región, resulta imperioso profundizar el estudio de los vínculos agua-agricultura en los oasis del Centro-Oeste de Argentina, máxime en el contexto de prolongada sequía hidrológica de la última década.

Finalmente, el modelo ecológico empírico utilizado en el presente trabajo, basado en la propuesta de Contreras et al. (2011), resultó adecuado para estimar la evapotranspiración a escala anual e identificar las transformaciones de las áreas de riego. La metodología propuesta se presenta como una valiosa alternativa para el estudio de los usos de la tierra y el agua para riego en zonas áridas, frente a modelos de balance de energía con alto requerimiento de parametrización (e.g. SEBAL, METRIC).

CONCLUSIONES

En este trabajo se evaluó la dinámica espacial y temporal de las áreas irrigadas en el Centro-Oeste de Argentina en el período 1986-2018, su relación con la evolución del sistema agrícola-productivo y los factores impulsores de cambio en los usos de la tierra referidos en la bibliografía.

El área irrigada total en la región presentó una tendencia creciente durante el período estudiado, impulsada por el crecimiento en las cuencas de los ríos Tunuyán Superior, San Juan y Mendoza. Se identificaron cambios importantes en los patrones de las áreas de riego y una evolución diferente en los distintos oasis de la región. El establecimiento de nuevos sitios de riego se vincula a dos procesos principales: expansión del área cultivada hacia el pedemonte mediante el aprovechamiento de aguas subterráneas, asociada a transformaciones agro-industriales de la producción vitivinícola y olivícola; reúso de efluentes cloacales tratados para riego. El abandono de sitios de riego se asocia a dos transformaciones predominantes: avance urbano sobre áreas irrigadas; abandono en áreas marginales de los oasis. En las áreas marginales se presenta un patrón contrastante de incorporación y abandono de sitios de riego, que refleja una profunda transformación en el uso de la tierra y del agua en estos sectores.

Los cambios en el sistema agrícola productivo han conducido a una expansión del área irrigada, que parece no haber implicado un crecimiento similar del área cultivada. Los contrastes entre la evolución de las áreas de riego y los cultivos en los oasis de la región sugieren un aporte sostenido de agua de riego en sitios abandonados para la producción agrícola. La disminución en el área irrigada y cultivada observadas durante la última década podrían estar vinculadas con la persistente sequía hidrológica registrada desde el 2010 en la región. Esta situación deberá ser mayormente estudiada en futuros trabajos.

Las transformaciones encontradas en los patrones de riego, tipo de cultivos y el área irrigada total tienen fuertes implicancias para los balances hídricos, por lo que deben ser consideradas para la planificación territorial y la gestión del agua en las cuencas del Centro-Oeste de Argentina.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo posee financiamiento de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) mediante el proyecto PICT 2019-03430.

BIBLIOGRAFÍA

- Bernabeu Fernández, M. M., & Martín, F. (2019). El periurbano recreado. Urbanizaciones cerradas como nuevos híbridos en el paisaje hídrico del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina. *Quid 16: Revista Del Área de Estudios Urbanos*, 11, 55–85.
- Boninsegna, J. A. (2014). Impacto del Cambio Climático en los Oasis del Oeste argentino. *Ciencia e Investigación*, 64(1), 45–58.
- Cardús Monserrat, A. L., & Ruiz, M. del C. (2017). Cartografía del oasis agrícola de Ullum Zonda (1973 - 2014). In *El Ojo del Cóndor* (No. 8; pp. 8–11). Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- 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(1–2), 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.11.014>
- Funk, C. C., Peterson, P. J., Landsfeld, M. F., Pedreros, D. H., Verdin, J. P., Rowland, J. D., Romero, B. E., Husak, G. J., Michaelsen, J. C., & Verdin, A. P. (2014). A Quasi-Global Precipitation Time Series for Drought Monitoring. *U.S. Geological Survey Data Series*, 832, 4. <https://doi.org/http://dx.doi.org/110.3133/ds832>
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations - A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2, 1–21. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- 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>
- Guida-Johnson, B., Abraham, E. M., & Cony, M. A. (2017). Salinización del suelo en tierras secas irrigadas: Perspectivas de restauración en Cuyo, Argentina. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(1), 205–215.
- Guida-Johnson, B., Sales, R., & Mastrantonio, L. (2020). Planificando territorios rurales sustentables: factores causales de la salinización secundaria en las tierras secas irrigadas del norte de Mendoza. *Revista de La Asociación Argentina de Ecología de Paisajes*, 9(1), 170–174.
- Hirsch, R. M., Slack, J. R., & Smith, R. A. (1982). Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research*, 18(1), 107–121. <https://doi.org/10.1029/WR018i001p00107>
- Koch, M., & Missimer, T. M. (2016). Water resources assessment and management in drylands. *Water (Switzerland)*, 8(6), 1–5. <https://doi.org/10.3390/w8060239>
- Lai, J., Li, Y., Chen, J., Niu, G.-Y., Lin, P., Li, Q., Wang, L., Han, J., Luo, Z., & Sun, Y. (2022). Massive crop expansion threatens agriculture and water sustainability in northwestern China. *Environmental Research Letters*, 17(3), 034003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac46e8>

Magrin, G. O., Marengo, J. A., Boulanger, J. P., Buckeridge, M. S., Castellanos, E., Poveda, G., Scarano, F. R., & Vicuña, S. (2014). Central and South America. In V. R. Barros, C. B. Field, D. J. Dokken, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, & L. L. White (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (pp. 1499–1566). Cambridge University Press.

Maliva, R., & Missimer, T. (2012). Arid Lands Water Evaluation and Management. In *Canadian Journal of Civil Engineering* (Vol. 18, Issue 1). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29104-3>

Manini, M. (2021, May 15). El cultivo de forrajes crece impulsado por la ganadería. *Diario Los Andes*. <https://www.losandes.com.ar/fincas/el-cultivo-de-forrajes-crece-impulsado-por-la-ganaderia/>

Martín, F. (2008). AGUA Y MODELO PRODUCTIVO. INNOVACIONES TECNOLÓGICAS E IMPACTOS TERRITORIALES EN EL SISTEMA AGROALIMENTARIO DE MENDOZA. *Estudios Socioterritoriales*, 7, 26–45.

Martín, F., & Larsimont, R. (2016). Agua, poder y desigualdad socioespacial. Un nuevo ciclo hidrosocial en Mendoza, Argentina (1990-2015). In *Cartografías del conflicto ambiental en Argentina* (Issue November 2016). https://www.researchgate.net/publication/312669892_Agua_poder_y_desigualdad_socioespacial_Un_nuevo_ciclo_hidrosocial_en_Mendoza_Argentina_1990-2015_Facundo_Martin_y_Robin_Larsimont

Martínez Dodda, J. (2021, March 21). Sarmiento, el departamento de San Juan que se revolucionó con tecnologías olivícolas. *Diario Clarín*. https://www.clarin.com/rural/sarmiento-departamento-san-juan-revoluciono-tecnologias-olivícolas_0_SmTbcJ4k3.html

Miranda, O. (2015). El riego en la provincia de San Juan, Argentina: su dinámica institucional en los últimos dos siglos. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 12(3), 385. <https://doi.org/10.22231/asyd.v12i3.235>

Montaña, E., & Boninsegna, J. A. (2016). Drought in the Oasis of Central Western Argentina. In H. Diaz, M. Hurlbert, & J. Warren (Eds.), *Vulnerability and Adaptation to Drought: The Canadian Prairies and South America* (pp. 327–348). University of Calgary Press.

Narayanamoorthy, A. (2022). *Temporal Trends and Regional Patterns in Development of Irrigation in India* (pp. 49–72). https://doi.org/10.1007/978-3-030-89613-3_3

Nemani, R. R., & Running, S. W. (1989). Testing a theoretical climate-soil-leaf area hydrologic equilibrium of forests using satellite data and ecosystem simulation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 44(3–4), 245–260. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(89\)90020-8](https://doi.org/10.1016/0168-1923(89)90020-8)

Okin, G. S., Gillette, D. A., & Herrick, J. E. (2006). *Multi-scale controls on and consequences of aeolian processes in landscape change in arid and semi-arid environments*. 65, 253–275. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.06.029>

Potapov, P., Turubanova, S., Hansen, M. C., Tyukavina, A., Zalles, V., Khan, A., Song, X. P., Pickens, A., Shen, Q., & Cortez, J. (2022). Global maps of cropland extent and change show

accelerated cropland expansion in the twenty-first century. *Nature Food*, 3(1), 19–28.
<https://doi.org/10.1038/s43016-021-00429-z>

Rivera, J. A., Otta, S. A., Lauro, C., & Zazulie, N. (2021). A Decade of Hydrological Drought in Central-Western Argentina. *Frontiers in Water*, 3(April), 1–20.
<https://doi.org/10.3389/frwa.2021.640544>

Rojas, F., Rubio, C., Rizzo, M., & Bernabeu, M. (2020). *Land Use and Land Cover in Irrigated Drylands : a Long-Term Analysis of Changes in the Mendoza and Tunuyán River Basins , Argentina (1986 – 2018)*.

Rufin, P., Müller, D., Schwieder, M., Pflugmacher, D., & Hostert, P. (2021). Landsat time series reveal simultaneous expansion and intensification of irrigated dry season cropping in Southeastern Turkey. *Journal of Land Use Science*, 16(1), 94–110.
<https://doi.org/10.1080/1747423X.2020.1858198>

Scoones, A. E. (2018). TERRITORIOS RURALES EN MENDOZA : INVERSIONES VITIVINÍCOLAS Y AVANCE URBANO EN EL OASIS NORTE RURAL TERRITORIES IN MENDOZA : VINICULTURE INVESTMENTS AND URBAN ADVANCEMENT IN THE NORTH OASIS. *Convergencias. Revista de Educación*, 1(1), 87–105.

Scott, C. A., Varady, R. G., Meza, F., Montaa, E., De Raga, G. B., Luckman, B., & Martius, C. (2012). Science-policy dialogues for water security: Addressing vulnerability and adaptation to global change in the arid Americas. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 54(3), 30–42.
<https://doi.org/10.1080/00139157.2012.673454>

Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389.
<https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>

Taber, E., & Nozica, G. (2011). Problemáticas Del Crecimiento Urbano Sobre Áreas Rurales En Sistemas De Oasis. *Revista Iberoamericana de Urbanismo*, 06(06), 65–71.
http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/12524/1/06Dossier_06_Nozica_Taber.pdf

Torres, L., Pastor, G., Grosso, M., & Scoones, A. (2018). Turismo de lujo y extractivismo: la ruralidad como presa del capital. Reflexiones a propósito de Valle de Uco (Mendoza, Argentina). *Scripta Nova*, XXII(585), 1–32.

Tozzi, F., Mariani, A., Vallone, R., & Morábito, J. (2017). *Evolución de la salinidad de los suelos regadíos del río Tunuyán Inferior (Mendoza-Argentina) Salinity evolution in irrigated soils in the Lower Tunuyán River basin (Mendoza-Argentina)*. 49(1), 1853–8665.

Westmacott, J. R., & Burn, D. H. (1997). Climate change effects on the hydrologic regime within the Churchill-Nelson River Basin. *Journal of Hydrology*, 202(1–4), 263–279.
[https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00073-5](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00073-5)

Yin, L., Feng, X., Fu, B., Chen, Y., Wang, X., & Tao, F. (2020). Irrigation water consumption of irrigated cropland and its dominant factor in China from 1982 to 2015. *Advances in Water Resources*, 143, 103661. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2020.103661>

Zhang, C., Dong, J., Zuo, L., & Ge, Q. (2022). Tracking spatiotemporal dynamics of irrigated croplands in China from 2000 to 2019 through the synergy of remote sensing, statistics, and historical irrigation datasets. *Agricultural Water Management*, 263(October 2021), 107458. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107458>

Zhu, Z., Zhang, Z., Zuo, L., Sun, F., Pan, T., Li, J., Zhao, X., & Wang, X. (2021). The Detecting of Irrigated Croplands Changes in 1987-2015 in Zhangjiakou. *IEEE Access*, 9, 96076–96091. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3092408>