

El rol del Estado en la reproducción de la escasez hídrica en territorios agrícolas. Un análisis a los subsidios de riego en la Región del Maule, Chile

The role of the state in the reproduction of water scarcity in agricultural territories. An analysis of irrigation subsidies in the Maule Region, Chile

Ana Caroline Avanco¹ ; Mayarí Castillo²  y Rodrigo Pérez-Silva³ 

RESUMEN

Desde 1985, Chile ha entregado subsidios para la tecnificación del riego mediante la Ley N°18.450, buscando incrementar la superficie regada y mejorar la eficiencia hídrica. Aunque estas medidas parecen ser necesarias para abordar la escasez hídrica, también podrían aumentar el consumo de agua al incentivar la incorporación de nuevas áreas cultivables, impidiendo a la vez la recarga de acuíferos. Esto es especialmente preocupante dado que desde 2008 Chile enfrenta una baja significativa en las precipitaciones, reduciendo progresivamente el nivel de los caudales. Tomando como caso de análisis la Región del Maule y utilizando un modelo de regresión en dos etapas, que busca eliminar el sesgo de selección en la postulación a los subsidios de riego, este manuscrito estima el impacto de los subsidios de riego sobre el nivel de los caudales de los ríos durante 1987-2018. Los resultados sugieren que, en adición a los efectos propios de la sequía que enfrenta el país, el incremento en la superficie de los proyectos de riego tecnificado produce una disminución significativa en el nivel de los caudales de los ríos. Así, el Estado tendría un rol activo en la exacerbación de los efectos de la sequía en los territorios agrícolas del Maule.

Palabras claves: escasez hídrica, sequía, gobernanza del agua, tecnificación de riego, Chile.

ABSTRACT

Since 1985, Chile has provided subsidies for irrigation modernization under Law N°18.450, aiming to expand irrigated areas and enhance water efficiency. While these measures seem necessary to address water scarcity, they may also increase water consumption by encouraging the incorporation of new cultivable areas, hindering aquifer recharge. This is particularly concerning since Chile has been experiencing a significant decline in precipitation since 2008, progressively reducing river flow levels. Focusing on the Maule Region and employing a two-stage regression model to address selection bias in irrigation

¹ Institución: Centro de Economía y Políticas Sociales, Universidad Mayor; Correo electrónico: ana.avanco@mayor.cl

² Institución: Centro de Economía y Políticas Sociales, Universidad Mayor; Núcleo Milenio Centro para el Desarrollo Integral de los Territorios (CEDIT) y Centro de Estudios Interculturales e Indígenas (CIIR). Correo electrónico: mayari.castillo@umayor.cl

³ Institución: Departamento de Economía Agraria, Pontificia Universidad Católica de Chile; Milenio Centro para el Desarrollo Integral de los Territorios (CEDIT). Correo electrónico: raperezs@uc.cl

subsidy applications, this manuscript estimates the impact of irrigation subsidies on river flow levels from 1987 to 2018. The results suggest that, in addition to the inherent effects of the country's drought conditions, the expansion of technified irrigation projects significantly decreases river flow levels. Thus, the state plays an active role in exacerbating the effects of drought in the agricultural territories of the Maule Region.

Keywords: water scarcity, drought, water governance, irrigation technology, Chile.

Introducción

El actual escenario de cambio ambiental global presenta desafíos urgentes a los países, especialmente en relación con el desarrollo agrícola en el largo plazo (Nelson et al., 2009). Estos desafíos no solo incluyen eventos climáticos extremos que pueden afectar la productividad y sustentabilidad de los cultivos, sino también un aumento del estrés hídrico en países como Chile, debido a la disminución de precipitaciones y reservas en altas cumbres (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, 2015; Álvarez-Garretón et al., 2023). Hoy en día, Chile figura entre los países más afectados por el estrés hídrico (Kuzma et al., 2023) y enfrenta una megasequía que se caracteriza por una disminución gradual de las precipitaciones, lo que ha comprometido la seguridad hídrica del sector agrícola, el principal usuario de agua superficial y subterránea. Actualmente, este sector demanda más del 70% del agua consuntiva del país (Dirección General de Aguas, 2016).

Desde la década de los ochenta, el desarrollo agrícola chileno ha estado orientado a fortalecer la presencia agroexportadora en los mercados globales. Esta estrategia ha recibido un fuerte respaldo financiero estatal a través de subsidios directos para la tecnificación del riego, canalización y construcción de embalses, bajo la Ley N°18.450 de Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje, conocida como Ley de Riego. Estos subsidios han facilitado un notable aumento en la superficie cultivable, incluyendo la agricultura en laderas y el desarrollo de cultivos demandantes de agua en seco, los que han contribuido a fortalecer la presencia agroexportadora de Chile en las últimas décadas (Jordan et al., 2023; Budds, 2020).

El desarrollo de la industria agroexportadora inicialmente buscó revitalizar zonas rurales empobrecidas, pero ha generado preocupaciones por sus altos costos ambientales y sociales en décadas recientes, una problemática compartida con otros países (Panez-Pinto et al., 2018; Bolas-García et al., 2018; Wheeler et al., 2020; Malik et al., 2018). Las políticas de modernización del riego mediante subsidios han sido criticadas por obstaculizar la recarga de acuíferos (Rinaudo & Donoso, 2019), y por contribuir a la concentración de tierras en grandes propietarios y al acceso desigual al agua, históricamente favoreciendo al sector agroexportador por sobre la economía familiar campesina (Budds, 2020). Pese al debate que generan, actualmente las políticas de modernización de riego, como la Ley N° 18.450, son consideradas una estrategia efectiva para enfrentar la escasez hídrica en varios países, destacando beneficios como la eficiencia en el uso del recurso hídrico (Berbel et al., 2019; Borrego-Marín & Berbel, 2019).

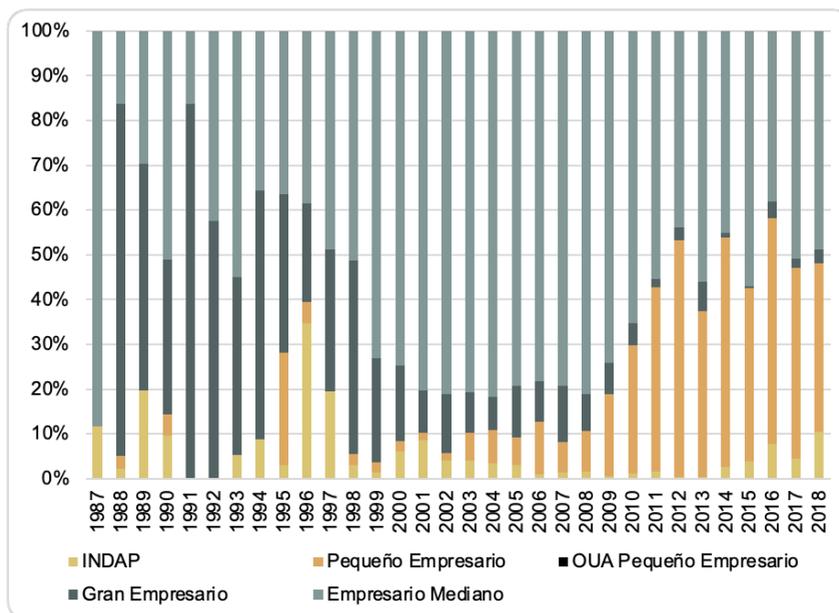
Sin embargo, sus efectos a nivel territorial y su relación con el uso sustentable del agua en tiempos de crisis aún no están completamente comprendidos. Aunque los subsidios para la tecnificación de riego parecen haber mejorado la eficiencia técnica en el uso del agua, también podrían haber contribuido al aumento del consumo total y generado situaciones de mayor estrés

hídrico, sobre todo debido a que posibilitan la incorporación de nuevas áreas agrícolas y nuevos cultivos demandantes de agua (Perez-Blanco et al., 2020; Perry & Steduto, 2017). El principal sistema de riego en Chile es el gravitacional, abarcando el 72% del área irrigada. Este método incluye la inundación, que es considerado poco eficiente debido a las pérdidas significativas de agua antes de alcanzar las plantas. En contraste, el riego por goteo cubre el 23% del área irrigada y es reconocido por su eficiencia al llevar agua directamente a las raíces de las plantas. El riego por aspersión representa el 5% restante, aplicando agua sobre los cultivos de manera similar a la lluvia. Entre 1997 y 2007, la eficiencia promedio del riego en Chile mejoró del 48,6% al 56,9%, impulsada por la reducción en el uso del riego gravitacional y el aumento en el uso del riego por aspersión y por goteo (Donoso, 2021).

Así, la efectividad de esta política pública no sólo ha debido enfrentar cuestionamientos del punto de vista ambiental, sino también ha sido apuntada por temas de equidad, debido a la distribución desigual de subsidios estatales entre pequeños, medianos y grandes propietarios. Desde su implementación en 1985 hasta principio de la década de 2000, una parte importante de estos subsidios fue captada por grandes y medianos empresarios, generando escenarios de concentración de recursos y de ciertos tipos de agroindustria en áreas específicas (Panez-Pinto et al., 2018; Jordan et al., 2023). Este fenómeno se observa en la figura N°1, que muestra la concentración de los subsidios de la Ley N°18.450 por tipos de usuarios en la región del Maule, para el periodo de 1987 a 2018. Desde el 2009, la histórica marginación de los pequeños agricultores ha sido compensada gracias a la implementación del “Programa Especial para Pequeños Agricultores” y también ha intentado ser corregida en las recientes modificaciones realizadas a la Ley de Riego en el año 2023.

Figura N°1.

Concentración de la Ley N°18.450 en la Región del Maule, por tipos de usuarios durante el periodo 1987 - 2018.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Comisión Nacional de Riego (2023).

Estudios como el de Perry & Steduto (2017) que analizaron más de 100 casos a nivel mundial, concluyen que, a pesar de suponer un ahorro de agua, en muchos casos los programas de modernización de riego resultaron en un aumento del consumo, mientras que la productividad se mantuvo constante. Resultados similares fueron resaltados por Perez-Blanco et al., (2020). En Australia, se observó que los beneficios de los subsidios no se distribuyen equitativamente, con entidades corporativas recibiendo una porción desproporcionada del financiamiento (Wheeler et al., 2020). En India, según Malik et al., (2018), el complejo proceso de solicitud de subsidios, junto con requisitos técnicos y procedimientos burocráticos, limita la adopción de nuevas tecnologías. Según la Comisión Nacional de Riego (2020), entre 2010 y 2018 la Ley de Riego facilitó la tecnificación de más de 154 mil hectáreas en Chile. En los últimos años, los cultivos de frutales, todos ellos demandantes de mayor cantidad de agua, han experimentado un significativo incremento en el país, especialmente en zonas usualmente no dedicadas a la agricultura, como las regiones de Los Ríos y Los Lagos, con aumentos de casi un 70% en la Región de Los Lagos y cerca del 50% en la Región de Los Ríos entre 2016 y 2019 (Agnieszka Dec, 2020).

La incorporación de nuevas áreas cultivables es especialmente preocupante dado el mencionado escenario de estrés hídrico, sobre todo cuando este aumento se ha producido en laderas y/o zonas que podrían afectar los caudales. A pesar de ello, el Estado ha incrementado significativamente los recursos destinados a la Ley N°18.450, renovada recientemente en 2023. El debate público en torno a su renovación estuvo marcado por cuestionamientos en términos de justicia hídrica y, sobre todo, en relación con la sustentabilidad de los subsidios de riego para las cuencas en zonas afectadas por la sequía (Biblioteca del Congreso Nacional, 2021). No obstante, la Ley de Riego aún carece de objetivos de conservación del agua, lo que pone en riesgo la sostenibilidad de los recursos hídricos de varias maneras, por ejemplo, los proyectos se evalúan de manera individual, sin considerar la escala de cuenca (Jordan et al., 2021).

En este marco, la discusión sobre la política pública de riego y su impacto social y ambiental, no sólo tienen que ver con la eficiencia y eficacia de su diseño, sino también implica comprender su dimensión política y de poder tras las visiones de desarrollo en conflicto en torno al manejo del agua (Smith, 1990). En esos términos, este estudio parte de la noción de ciclo hidrosocial, a partir de la cual comprendemos el agua inserta en ciclos económicos que le confieren politización, que la hacen un recurso en disputa entre grupos con diferenciales importantes de poder y recursos (Swyngedouw, 2011). En contextos de crisis, el control del ciclo hidrosocial resulta clave, ya sea por la vía de derechos de propiedad y/o aprovechamiento, pero también por el acceso a tecnología y conocimiento técnico que permite su uso eficiente y, con esto, la posibilidad de dar continuidad a actividades económicas que se ven amenazadas en tiempo de escasez. En esos términos, la Ley N°18.450 ha resultado un dispositivo clave desde donde el estado ha podido influir y/o controlar este ciclo hidrosocial, focalizando el agua en ciertas actividades económicas y en ciertos territorios. Hoy, en tiempos de sequía, el estado se ha visto confrontado a los posibles costos ambientales que la política de subsidios de riego puede haber tenido, pero que permanecen aún sin determinar de manera precisa.

En este contexto, el objetivo principal de este manuscrito es aportar en esta dirección, determinando la relación potencial entre la entrega de subsidios de riego y la reducción de los caudales en las zonas favorecidas por dicho subsidio, usando como estudio de caso la región del Maule, a fin de poder comprender el rol del estado en la producción/reproducción de escasez hídrica en

contextos de sequía. Nuestra hipótesis es que un mayor acceso a subsidios de riego produce una disminución adicional de los caudales, más allá de la reducción causada por la sequía. Utilizando un modelo de regresión en dos etapas para evaluar el impacto de los subsidios de riego en los niveles de caudales, nuestros resultados principales sugieren efectivamente una asociación negativa entre el aumento en la superficie de proyectos de riego tecnificado y los niveles de caudales en la región del Maule.

Esta investigación contribuye a la literatura sobre la adopción de tecnología de riego, evaluando cómo los subsidios de riego afectan los niveles de caudales y proporcionando una visión crítica de los posibles efectos adversos de esta política. Con esta evidencia, buscamos discutir el rol del estado en tanto actor clave en la focalización de los subsidios de riego, tanto en términos de usuarios como en términos territoriales, en miras de contribuir a una discusión que ponga la justicia hídrica y la sustentabilidad, al centro de las estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático. El artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se contextualiza la región de estudio, justificando la elección del Maule como caso de estudio relevante. La sección 3 detalla los materiales y métodos empleados. Los resultados clave se presentan en la sección 4, mientras que las conclusiones se abordan en la sección 5.

Área de estudio

El estudio se concentra en la Región del Maule, Chile. Esta región fue seleccionada por los siguientes criterios: i) su ubicación geográfica en una región con condiciones de sequía extrema; ii) su gran importancia económica para las actividades agrícolas; y iii) su alta tasa de participación en la postulación a subsidios de riego.

La región del Maule está ubicada en la zona más afectada por la denominada megasequía⁴, llevando 12 años bajo decretos de escasez hídrica (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, 2015; Dirección General de Aguas, 2023).

En cuanto a su sistema hidrográfico cuenta con la cuenca del Río Mataquito, cuyas aguas son utilizadas fundamentalmente para el riego agrícola, y la cuenca del Río Maule, que además de agrícola, contribuye a la generación de energía eléctrica (Dirección General de Aguas, 2017). Asimismo, según la Oficina de Estudios de Políticas Agrarias (ODEPA, 2018), la región aporta el 14% del PIB agrícola nacional y suma el 17,2% de la superficie nacional dedicada a categorías silvoagropecuarias.

En lo que se refiere a la Ley N°18.450, esta región es la que concentra los mayores montos destinados al subsidio de riego. Entre 1990 y 2019, recibió un total de 10,5 millones de Unidades de Fomento (UF),⁵ un 54% más que la Región de Coquimbo, que es la segunda región que más

⁴ La "megasequía" ha afectado desde 2010 a las regiones que van de Coquimbo a La Araucanía, presentando una disminución del 30% en las lluvias. Este evento ha coincidido con la década más calurosa registrada en los últimos 100 años, lo que ha provocado un aumento en la evaporación de lagos, embalses y áreas agrícolas. (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, 2015).

⁵ La UF es un índice de reajustabilidad que calcula el Banco Central de Chile. A modo de referencia, una UF equivale a aproximadamente \$36 mil pesos chilenos o US\$ 42. Así, la Región del Maule ha recibido cerca de \$378 mil millones de pesos chilenos (aproximadamente US\$ 450 millones) para subsidios de riego entre 1990 y 2019.

concentra montos de subsidios de riego y que acumula un total de 6,8 millones de UF para el mismo periodo (Comisión Nacional de Riego, 2023; Pavez, 2021).

Al analizar la concentración de hectáreas tecnificadas al interior de la Región del Maule para el periodo de 1987-2018, la superficie de proyectos de riego tecnificados (en hectáreas) se concentra territorialmente en ciertas comunas, tales como Pencahue (7.069 ha), Retiro (6.169 ha), Curicó (5.720 ha), Sagrada Familia (5.355 ha) y Molina (5.480 ha) (figura N°2).

Figura N°2.

Concentración de hectáreas tecnificadas a través de la Ley N°18.450 por comunas en la Región del Maule durante el periodo de 1987-2018.



Fuente: Elaboración propia con datos de la Comisión Nacional de Riego (2023).

Esto evidencia la formación de *clústeres* en relación con las comunas que han tecnificado las mayores superficies, principalmente ubicadas en la zona conocida como el “valle regado”. Esta formación de polos de asignación heterogénea del subsidio podría estar relacionada con el fomento a la producción de medianos y grandes productores que participan en los mercados nacionales e internacionales (Pavez, 2021). Por otro lado, en la “zona costera”, se encuentran las cinco comunas que han tecnificado menos hectáreas a través de la Ley N°18.450, siendo ellas Vichuquén (13 ha), Constitución (44 ha), Empedrado (51 ha), Chanco (76 ha) y Hualañé (225 ha). Esta menor asignación de subsidios en la costa podría deberse a la predominancia de plantaciones forestales, lo cual reduce la necesidad y la demanda de tecnificación de riego agrícola en estas áreas (Corporación Nacional Forestal, 2014).

Materiales y métodos

La base de datos inicial abarca las 30 comunas de la Región del Maule durante un periodo de 32 años (1987-2018), generando un universo de 960 observaciones (comunas por año). Sin embargo, al considerar únicamente las observaciones con valores para todas las variables, el conjunto de datos resultante se reduce a 329 observaciones. Los datos principales de las variables de interés provienen del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2), de la Comisión Nacional de Riego (CNR), y del Censo Agropecuario y Forestal del año 2007. De manera adicional se incluyen datos del Censo de Población y Vivienda del año 2002.

Los datos del CR2 abarcan información meteorológica para 61 estaciones en 22 comunas y datos fluviométricos para 60 estaciones en 19 comunas de la Región del Maule durante 1987-2018 (ver anexo N°1A, Estaciones fluviométricas en la Región del Maule, y Anexo N°1B, Estaciones meteorológicas en la Región del Maule). Los datos de la CNR aportan información sobre 3.137 proyectos de tecnificación entre 1987 y 2018, abarcando las 30 comunas del Maule. Además, el Censo Agropecuario de 2007 proporciona datos de 38.365 propiedades agrícolas en las 30 comunas.

Es importante destacar que los datos del CR2 se presentan en una escala de cuenca, mientras que los datos de la CNR están a nivel de proyecto. De esta forma, para homogeneizar la información, se trasladaron los datos del CR2 al nivel comunal, el nivel más bajo de análisis administrativo para Chile.

La variable dependiente para este estudio es el nivel promedio anual de los caudales⁶ (medido en m³/segundos), y la variable explicativa es la suma de la superficie de los proyectos de riego tecnificado por comuna (en hectáreas)⁷, ambas en logaritmos.⁸

Se utiliza como principal variable de control la precipitación acumulada anual promedio de la comuna (en mm³), como una forma de controlar por la disponibilidad hídrica general y las condiciones de sequía esperables en cada comuna (en ausencia de los subsidios). Adicionalmente se consideran variables de control económicas, como el porcentaje de Población Económicamente Activa (PEA) de los sectores: agrícola, forestal y de pesca. Como se mencionó, las precipitaciones dan cuenta de las condiciones de sequía general en cada comuna, mientras que las variables de población empleada en distintos sectores económicos permiten tener una idea de las potenciales necesidades y usos de agua para agricultura, sector económico que es el principal usuario de agua consuntiva a nivel nacional. Asimismo, se incluye efectos fijos por año para capturar factores temporales específicos que son transversales a todas las comunas en un año determinado y que no están directamente medidos en el conjunto de variables explicativas. Por último, se incorporan variables que identifican los tipos de cultivos presentes en cada comuna, como la plantación de frutales, así como la superficie agrícola total comunal, expresada en hec-

⁶ Se calculó el promedio anual para cada estación y luego el promedio de las estaciones para cada comuna.

⁷ Además, se consideró la posibilidad de utilizar el monto del subsidio (\$) como variable explicativa. No obstante, algunos proyectos presentan costos elevados debido a las características específicas de la propiedad y al tipo de tecnología de riego utilizada. A pesar de estos costos más altos, es importante señalar que no todos son proyectos extensos en superficie, por lo tanto, no demandan alta cantidad de agua.

⁸ Se utilizan variables en logaritmos debido a que éstas no presentan una distribución normal y, adicionalmente, a que la transformación logarítmica permite la lectura de las asociaciones entre variables en términos de elasticidades (relaciones porcentuales entre las variables), facilitando así la interpretación de los resultados y la comparación entre unidades de análisis.

táreas, cómo una forma de controlar por la intensidad tanto del uso de agua como de la actividad agrícola en cada municipalidad⁹.

La relación de interés se centra en la asociación entre los subsidios de riego y el nivel de los caudales, considerando que otras variables explicativas ya hayan sido contempladas. La hipótesis plantea que un mayor acceso a subsidios de riego produce una reducción adicional (adicional a la causada por la sequía) en el nivel de los caudales. No obstante, es posible que, debido al avance de la sequía y la reducción de los caudales, los agricultores afectados necesiten solicitar subsidios de riego. En este caso, no se podría afirmarse que existe una única relación unidireccional entre los subsidios de riego y los niveles de los caudales, sino que bien podría ser el caso que sean los bajos caudales quienes generen una mayor demanda por subsidios de riego, la que a su vez podría o no generar una reducción adicional en los caudales.

Parte de este problema se soluciona mediante el uso de la variable que controla por el nivel de las precipitaciones a nivel comunal, la que da cuenta del nivel de sequía y que es exógena a las acciones de los agricultores y de la política. Sin embargo, cómo se argumenta en el párrafo anterior, la duda sobre una potencial causalidad reversa (que los subsidios sean una consecuencia del bajo nivel de los caudales y no al revés) persiste.

Cuando existe causalidad reversa en un análisis estadístico, pueden surgir problemas en la interpretación de los resultados y en la estimación de los efectos de las variables. Uno de los problemas comunes es que puede llevar a estimadores sesgados, ya sea hacia arriba (sobrestimación del efecto de los subsidios de riego) o hacia abajo (subestimación de los efectos de los subsidios de riego). En este caso, si hay un problema de endogeneidad, probablemente estemos sobreestimando el efecto del subsidio si los agricultores que más solicitan subsidios de riego se encuentran en áreas con menores niveles de caudales. Por otra parte, si la fuente del sesgo proviene de una mayor demanda por subsidios en zonas con menores problemas de sequía, entonces el efecto calculado por el modelo de mínimos cuadrados ordinarios se encontraría sesgado a la baja y el modelo de dos etapas corregiría este estimado al alza.

Por lo tanto, la estrategia elegida para abordar este problema potencial es el uso de una regresión de mínimos cuadrados en dos etapas (2SLS), que considera una variable instrumental para eliminar la posible endogeneidad en la variable independiente. Lo que se necesita es una variable que, estando correlacionada con la variable independiente endógena (los subsidios de riego), no esté directamente correlacionada con la variable dependiente considerada en el modelo (el nivel de los caudales).

Se elige como variable instrumental el tamaño promedio de las propiedades agrícolas en cada comuna, que teóricamente cumple con los requisitos mencionados anteriormente. En primer lugar, está directamente correlacionada con la variable explicativa (subsidio), ya que, para asignar puntos a los postulantes, la Ley N°18.450 ordena de mayor a menor la superficie del proyecto¹⁰,

⁹ También se consideró la inclusión de la variable temperatura promedio comunal, sin embargo, dada la baja cobertura de estaciones de monitoreo a nivel comunal, el número de observaciones cae de forma significativa tras su inclusión. A fin de evitar esta reducción en el número de observaciones, se elige no considerar dicha variable.

¹⁰ Artículo 5: "El total de las superficies de nuevo riego, drenadas y de sus equivalentes cuando se trate de mejoramientos, ponderadas por el incremento de la potencialidad de los suelos de acuerdo con los factores que establezca el reglamento, se dividirá por el costo total del proyecto" (Decreto con Fuerza de Ley N° 1122, 1981).

atribuyendo 250 puntos al mayor y 0 al menor. Del mismo modo, está solo indirectamente relacionada (a través del subsidio) con la variable explicada (nivel de los caudales), ya que, en el contexto chileno, el Código de Aguas separa la propiedad del agua del dominio de la tierra (Decreto con Fuerza de Ley N°1122, 1981)¹¹.

Además, la literatura ha demostrado que diferentes tipos de cultivos tienen necesidades de agua distintas debido a sus características fisiológicas (como la tasa de transpiración, tamaño de las hojas, tamaño y extensión de las raíces, y otras) y ciclos de crecimiento (Allen et al., 1998). Por otro lado, la tecnología de riego utilizada puede tener un impacto considerable en la eficiencia del uso del agua. Diferentes sistemas de riego, como el riego por goteo, el riego por aspersión, o el riego por gravedad, presentan distintos niveles de eficiencia en la distribución del agua a los cultivos (Howell, 2003). Estas consideraciones son fundamentales para entender la variabilidad en la demanda hídrica y para argumentar que el tamaño de la propiedad no influye directamente en el nivel de los caudales. De todas formas, tanto la pertinencia como el poder de la variable instrumental se verifican mediante el uso de pruebas estadísticas usuales y se presentan junto a los resultados.

Así, se construye un modelo en dos etapas: la primera etapa estima el valor predicho del subsidio de riego en función del tamaño promedio de las propiedades más las variables de control mencionadas, y la segunda etapa determina el impacto del subsidio predicho sobre el nivel de los caudales.

Con i indexando comunas y t los años, el modelo propuesto para la primera etapa es el siguiente:

$$S_{it} = \alpha + \beta_1 TP_{it} + \beta_2 x_{it} + Z_{it}\delta + T_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Donde S_{it} son los subsidios obtenidos en la comuna i en el año t . La variable x_{it} es la precipitación en la comuna i en el año t , mientras que Z_{it} es un vector de controles económicos y T_t es una dummy de años. Nuestra variable de interés es TP_{it} que es el tamaño promedio de las propiedades agrícolas en la comuna i en el año t . En la ecuación (1), α es el intercepto. Con el valor predicho de S_{it} estimado en la primera etapa. La segunda etapa consiste en el modelo:

$$C_{it} = \alpha + \beta x_{it} + Z_{it}\delta + \sigma \widehat{S}_{it} + T_t + \mu_{it} \quad (2)$$

Donde C_{it} es el promedio del nivel de los caudales obtenidos en la comuna i en el año t . El resto de los parámetros se mantiene como en la ecuación (1), salvo por \widehat{S}_{it} que es el valor predicho del nivel de subsidios en cada comuna, como una función del tamaño promedio de la propiedad agrícola de la comuna más controles.

¹¹ La Constitución Política de 1980 y el Código de Aguas de 1981, al constituir el derecho de aprovechamiento de agua, consideran el agua como un bien que se puede comprar y vender, como cualquier otro recurso económico, como un producto de mercado. Eso significa que, en Chile, el mercado ha sido el principal asignador de agua, decidiendo quienes pueden usar cuánta agua, de qué manera, y por cuánto tiempo, sin que el gobierno intervenga o regule (Prieto, 2016).

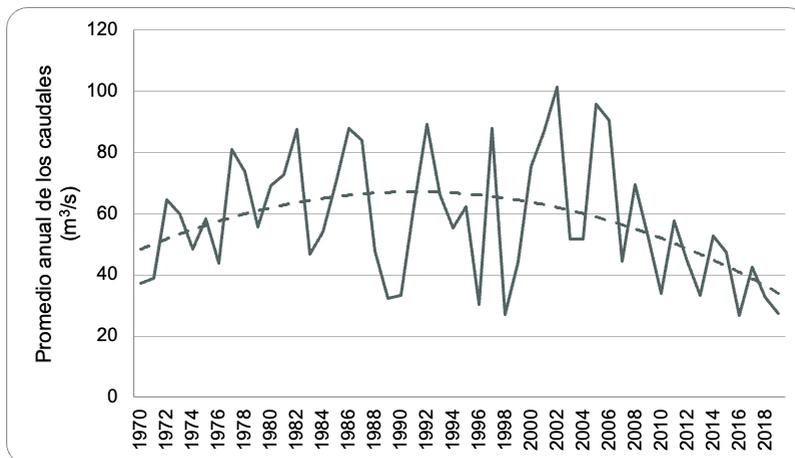
Resulta importante notar que las ecuaciones (1) y (2) omiten el uso de efectos fijos a escala comunal, algo quizás deseable cuando se utiliza un panel de municipalidades. La razón para la omisión se debe a la relativa estabilidad (escasa variación anual relativa) en las variables de interés entre las comunas consideradas. Un modelo de efectos fijos requiere necesariamente de una variación interanual importante y cambios relativos significativos entre las unidades analizadas (las comunas) en términos de sus características, lo que desafortunadamente no sucede en los datos considerados. Así, por ejemplo, si se analiza el ranking de comunas con mayores subsidios de tecnificación de riego, estas prácticamente no presentan variabilidad relativa, manteniéndose el orden año a año. Algo similar sucede con el nivel de los caudales entre comunas. Pese a lo anterior, modelos de EF fueron realizados, entregando resultados similares a los presentados acá (ver anexo N°4: Resultados de los modelos de mínimos cuadrados ordinarios (OLS) con efecto fijo comunal).

Resultados

Antes de pasar a los resultados principales del manuscrito, es importante mostrar cuál ha sido la evolución de los caudales y de los subsidios de riego en el tiempo para el caso de la Región del Maule. En la figura N°3, se puede observar el comportamiento histórico de los caudales de los ríos de la Región del Maule para el período 1970-2018, con una media comunal que fluctúa alrededor de los 60 metros cúbicos por segundo, y una tendencia negativa, acentuada a partir del año 2008. Si se observa el último año de la serie, por ejemplo, el caudal promedio es de aproximadamente 28 metros cúbicos por segundo, representando una disminución de más de un 50% respecto a la media del período considerado.¹²

Figura N°3.

Comportamiento del promedio anual de los caudales (m^3/s) de la Región del Maule entre 1970 y 2018.



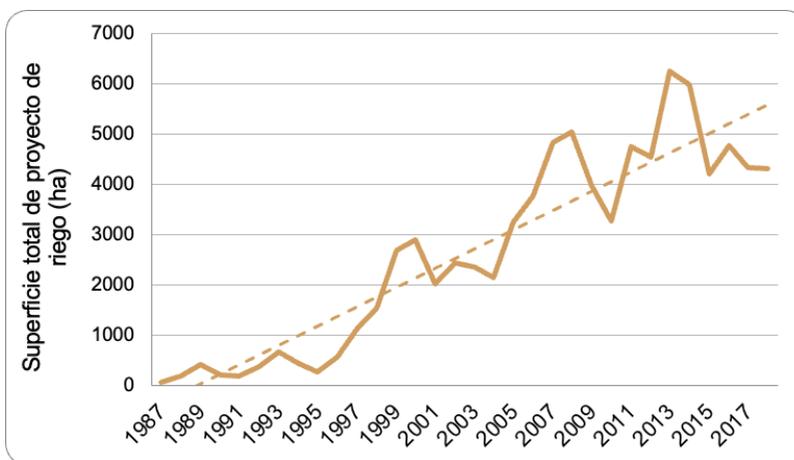
Fuente: Elaboración propia a partir de la información del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, (2023).

¹² Para poder comparar los subsidios (a nivel comunal) con el nivel de los caudales, se calculó el promedio anual de cada estación fluviométrica, posteriormente se calculó el promedio de las estaciones dentro de la misma comuna.

Paralelamente a la caída en los niveles de los caudales, entre 1987 y el año 2018, los subsidios para la tecnificación de riego en Maule han experimentado un aumento explosivo en el número de hectáreas tecnificadas, con un incremento especialmente significativo a partir del año 1996 (figura N°4).

Figura N°4.

Evolución de la Ley N°18.450 en la Región del Maule durante 1987 y 2018.

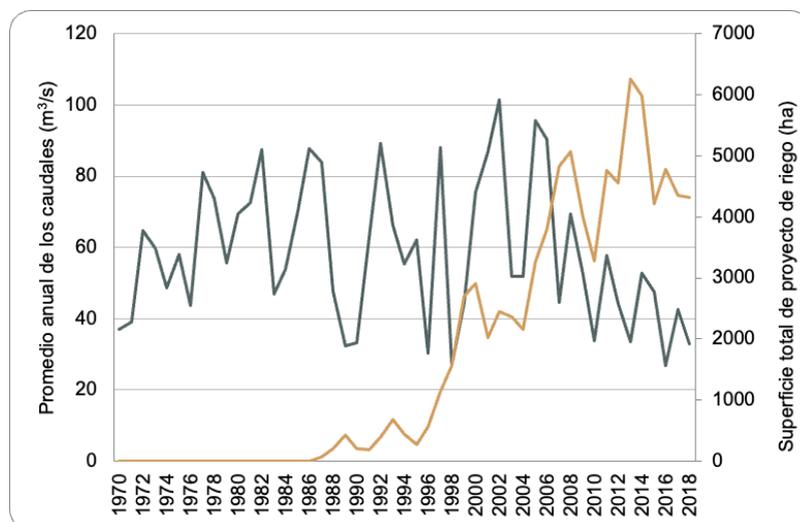


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Comisión Nacional de Riego (2023).

Lo más relevante es que, al considerar solo el período previo a la vigencia de la ley, se observa una ligera tendencia positiva en el nivel de los caudales, que comienza a caer de forma sostenida alrededor de los años en que la ley empezó a aplicarse. Por lo tanto, la entrada en vigor de la Ley N°18.450 coincide con el período en el cual el nivel de los caudales comienza a reducirse rápidamente (figura N°5). No obstante, como se planteó anteriormente, es importante tener en cuenta que la ley pudo haber entrado en vigor y haber sido aplicada precisamente porque se observaba o preveía una reducción en el nivel de los caudales, y no necesariamente que la ley sea la causa directa de la disminución de los caudales. Esto constituye una pregunta empírica, que es precisamente lo que se trata de dilucidar en los resultados principales del documento.

Figura N°5.

Comportamiento de los caudales (m^3/s) y evolución de la Ley N°18.450 en la Región del Maule entre 1970 y 2018.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (2023), y de la Comisión Nacional de Riego (2023).

Los resultados principales del estudio se presentan en el Cuadro N°1. Se incluyen resultados para tres modelos distintos. El primero de ellos es una regresión simple sin controles, que sirve como resultado base y punto de partida del análisis. El modelo 2 repite lo estimado en el modelo 1, pero agrega variables de control, siendo la de mayor relevancia aquella que se relaciona con el nivel de precipitaciones en la comuna. Finalmente, el modelo 3 representa nuestro modelo preferido, con los resultados de la regresión en dos etapas y el uso de variable instrumental.

Cuadro N°1.

Resultados de los modelos de mínimos cuadrados ordinarios (OLS) y de dos etapas (2SLS).

Variable dependiente: nivel de los caudales (m^3/s en logs)			
Variables	Modelo 1 OLS sin control	Modelo 2 OLS con controles	Modelo 3 IV2SLS (prom_ha)
Superficie de riego (ha en logs)	-0.253*** (0.059)	-0.185*** (0.055)	-0.705*** (0.155)
Precipitación (mm^3 en logs)	-	0.231* (0.129)	0.210 (0.154)
PEA Agrícola (%)	-	-0.011*** (0.002)	-0.008*** (0.002)
PEA Forestal (%)	-	0.069*** (0.016)	0.072*** (0.020)
PEA Pesca (%)	-	0.073* (0.041)	0.002 (0.060)
Plantación de frutales (ha)	-	2.13e-05	5.24e-05*

Variable dependiente: nivel de los caudales (m³/s en logs)			
Variabes	Modelo 1 OLS sin control	Modelo 2 OLS con controles	Modelo 3 IV2SLS (prom_ha)
	-	(2.33e-05)	(2.75e-05)
Superficie agrícola total comunal (ha)	-	1.80e-06*	1.00e-06
	-	(1.07e-06)	(1.33e-06)
Constante	3.312***	1.497	2.763**
	(0.129)	(0.913)	(1.194)
Prueba F	-	-	33.582
Observaciones	329	329	329

Nota: Errores estándares robustos entre paréntesis. Todas las regresiones incluyen dummy de año. *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (2023), de la Comisión Nacional de Riego (2023), y del Instituto Nacional de Estadísticas (2002, 2007).

En el Cuadro N°1, la variable dependiente es el nivel promedio de los caudales en la comuna, medidos originalmente en metros cúbicos por segundo, pero transformados a logaritmos. La variable independiente de interés es la superficie bajo riego tecnificado, medida en hectáreas, también transformada a logaritmos.

Lo más importante de señalar es que todos los modelos presentan resultados significativos, evidenciando una relación negativa entre el aumento de la superficie de riego tecnificado y el nivel de los caudales. Esto sugiere que hay una disminución en el nivel de los caudales como consecuencia del aumento en el número de hectáreas bajo subsidios de riego.

En el primer modelo (OLS sin controles), se observa que un incremento de 1% en la superficie tecnificada disminuye en promedio el nivel de los caudales de los ríos en la Región del Maule en un 0.25%. En el segundo modelo (OLS con controles), el mismo incremento disminuye el nivel de los caudales en un 0.18%. Esta reducción en la magnitud del coeficiente estimado es esperada, ya que la variable de precipitación, no considerada en el primer modelo, pero sí en el segundo, probablemente está midiendo las condiciones básicas de sequía en la zona y, por ende, absorbiendo una parte importante de la variación en la reducción de los caudales. De hecho, la variable precipitación es altamente significativa y está positivamente relacionada con el monto de los caudales, lo que implica que un aumento en la precipitación conlleva a un aumento en el nivel de los caudales.

En nuestro modelo preferido (2SLS), la relación sigue siendo negativa y significativa, pero la magnitud del coeficiente es mucho más alta que la obtenida por los modelos OLS. Bajo este modelo, un incremento de 1% en la superficie tecnificada disminuye el nivel promedio de los caudales en un 0.70% en las comunas de la Región del Maule. Es interesante notar que la corrección del sesgo incrementa significativamente el impacto de los subsidios sobre el nivel de los caudales, sugiriendo que la mayor parte de los subsidios se solicita en áreas relativamente menos afectadas por la sequía. De esta manera, el potencial problema de observar una causalidad inversa, en la cual los subsidios se solicitan en zonas con mayor sequía, no parece encontrar sustento en los resultados presentados.

Los resultados sugieren que la ley de riego tiene un impacto altamente significativo en la reducción de los caudales en la Región del Maule, afectando directamente, mucho más allá de lo que lo haría la falta de precipitaciones y la producción agrícola, la disponibilidad de agua en la región. Esto va en la dirección de lo establecido en la literatura para el caso de Petorca (Budde, 2012), en tanto la Ley de Riego no sólo ha ido fomentando la introducción de cultivos demandantes de agua en zonas en las que sin riego tecnificado es posible su subsistencia, sino que también, al hacer más eficiente el uso del agua superficial, impide que los acuíferos y cauces subterráneos se recarguen de manera natural por filtración. De manera adicional, el diseño mismo de la ley, que pone especial énfasis en el valor por m² de obra de riego, incentiva la presentación de proyectos que cuenten con mayor número de hectáreas para su aprobación. Por un lado, esto potencia la expansión constante de hectáreas en riego, y por otro, pone trabas decididas a la participación de los pequeños propietarios en los beneficios de la ley. Todo esto, sin considerar las obras de revestimiento de canales, autorización de pozos profundos, embalses y otro tipo de intervenciones sobre las cuencas que se encuentran operando de manera simultánea.

En esta misma línea, llama la atención que las zonas con una situación menos crítica en términos de sequía sean quienes parecieran recibir mayor cantidad de subsidios de riego, lo que está estrechamente relacionado con el rol del Estado y la gobernanza hídrica en Chile en el manejo de la escasez. Estudios previos (Perez-Silva & Castillo, 2023) indican que la gobernanza del agua podría ser vulnerable a presiones informales de ciertos sectores de grandes propietarios, dado lo estratégico del sector agroindustrial en términos económicos a nivel local y nacional.

Además, es interesante observar que la precipitación mantiene su relación positiva y significativa con el nivel de los caudales, y que en la medida que aumenta el empleo agrícola, disminuye el nivel de los caudales, lo que es consistente con la idea de que la agricultura es uno de los sectores que más afecta las condiciones de sequía a nivel local.

En lo que se refiere al modelo estadístico, por razones de parsimonia, hemos optado por dejar los resultados de la regresión de primera etapa del modelo 2SLS y las pruebas estadísticas de la variable instrumental en los anexos, sin embargo, vale la pena mencionar que la variable instrumental resultó válida, pertinente y altamente significativa, entregando un importante sustento a los resultados encontrados y a las conclusiones que de ello derivan.

En tal sentido es relevante destacar que la variable instrumental muestra un coeficiente negativo en la primera etapa, sugiriendo que la mayor parte de los subsidios de riego se otorgan en zonas con un mayor porcentaje de productores relativamente menores. Esto coincide fuertemente con la información proporcionada en la figura N°1, que refleja un aumento progresivo y consistente en el porcentaje de subsidios obtenidos por productores de INDAP y pequeños, además de OUA y empresarios medianos. Más aún, a partir de la prueba F se verifica la relevancia de la variable instrumental (tamaño promedio de las propiedades), ya que el resultado de la prueba es 33.582, superando el punto de corte de 10, comúnmente aceptado en la literatura (ver, por ejemplo, Stock & Yogo (2002) o Stock & Watson (2015)). Por último, la prueba de endogeneidad señala que la variable de interés, el número de hectáreas bajo subsidio de riego es efectivamente endógena (p -value = 0.000), lo que confiere mayor confianza a la estimación realizada y a los resultados del modelo preferido presentado.

Conclusiones y recomendaciones de políticas públicas

Los resultados de este estudio sugieren una relación significativa entre el aumento de los subsidios de riego y la reducción de los caudales de los ríos en la Región del Maule durante el periodo de 1987-2018, indicando que estos subsidios podrían estar contribuyendo a una mayor extracción de agua más allá de los efectos de la sequía. Estos hallazgos son consistentes con lo que ha sido apuntado por las organizaciones socioambientales durante la última década para el caso chileno, en particular en los Cabildos por el Agua (Larocque et al., 2021), que han puesto en cuestión el rol de la expansión de la tecnificación del riego, en la agudización de ciertas situaciones de sequía. Esta discusión tomó particular relevancia para la discusión de política pública, cuando se realizó la discusión parlamentaria de la prórroga de la Ley N°18.450 entre el año 2021 y el año 2023, en donde organizaciones de usuarios de agua, organizaciones ambientales y de la sociedad civil, aportaron al debate en torno a los posibles efectos negativos de este instrumento legal¹³ (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2021).

Esto también es coincidente con investigaciones similares realizadas en otros países con condiciones climáticas comparables y sistemas de gobernanza similares, donde los subsidios de riego pueden mejorar la eficiencia hídrica y la productividad agrícola, pero también, presentan desafíos ambientales y de equidad (Perry et al., 2017; Pérez-Blanco et al., 2020). Un ejemplo de relevancia para el caso chileno, dada la similitud de los regímenes de administración y propiedad del agua, es el caso de Australia, en donde los regantes que recibieron un subsidio para infraestructura de riego aumentaron su extracción de agua en casi un 30%, en comparación con aquellos que no recibieron ninguna subvención (Wheeler et al., 2020).

Los hallazgos, si bien refieren a un caso específico, sugieren mirar con mayor detenimiento la complejidad de la gestión de los recursos hídricos en contextos agrícolas intensivos, enfatizando la necesidad de políticas que equilibren el desarrollo agrícola con la sostenibilidad ambiental. A la vez, queda como tarea pendiente abordar los temas de equidad en el acceso a los subsidios de la ley, tema que no fue abordado en este texto, pero que sin duda es uno de los grandes pendientes de la ley: ir reduciendo las barreras de entrada para los pequeños productores y fortaleciendo así la resiliencia de las comunidades agrícolas, frente a los desafíos de la escasez hídrica que impone el cambio climático.

En esta línea, la reciente modificación de la Ley N°18.450 marca un paso significativo hacia una distribución más equitativa del subsidio y una mayor consideración de criterios ambientales. Esta modificación, aprobada en 2023, introduce a las comunidades indígenas y establece criterios de equidad para las personas con menos hectáreas de riego. Uno de los elementos más relevantes de las modificaciones a la ley, para efectos de los hallazgos de este trabajo, es que establece bonificaciones adicionales para proyectos con objetivos ambientales, incorporando restricciones y criterios de sostenibilidad que limitan los proyectos en suelos no aptos, cerca de servicios sanitarios rurales o en terrenos con pendientes superiores al 30%.

¹³ Para más detalles, véase Historia de la Ley N° 21.597: Introduce modificaciones y prorroga la vigencia de la ley N°18.450, que aprueba normas para el fomento de la inversión privada en obras de riego y drenaje. Disponible en: <https://www.bcn.cl/historiadelailey/historia-de-la-ley/visita-expandida/8216/>.

Finalmente, es crucial considerar el rol que en un futuro podría tener una gestión integrada de la cuenca en las convocatorias de la Ley N°18.450. A partir del gobierno de Gabriel Boric, se ha impulsado de manera decidida la conformación de consejos de cuencas piloto a lo largo del territorio nacional, siguiendo recomendaciones que, desde la evidencia internacional, destacan la importancia del manejo integral de las cuencas en tiempos de escasez hídrica. Pese a que éstas son aún experiencias pilotos, cabe preguntarse de qué manera en el futuro el financiamiento destinado a la infraestructura y tecnificación de riego se integrará como herramienta de la política pública en el marco de este manejo integral, incentivando o restringiendo la expansión de cultivos en zonas de cuencas sobreexplotadas. De la misma manera, el manejo integral de las cuencas, implica mirar aguas subterráneas y superficiales como parte del mismo ciclo hidrosocial, lo que hoy en la actual legislación y en la forma en que se diseñan y adjudican los fondos de riego, no es posible. Integrar aguas superficiales y subterráneas en una misma estructura de administración podría mejorar la sostenibilidad de los proyectos y mitigar posibles impactos negativos. Avanzar en esta dirección, en un escenario de creciente escasez por cambio climático, es uno de los principales desafíos de una agricultura sostenible en Chile en las próximas décadas.

Agradecimientos:

Investigación financiada por FONDECYT Regular N°1210858; Núcleo Milenio Centro para el Desarrollo Integral de los Territorios NCS2022_013 (CEDIT) y Centro de Estudios Interculturales e Indígenas (CIIR).

Referencias

Agnieszka Dec, D. (2020, 26 octubre). *¿Cuál es la importancia del riego tecnificado en Chile? Campo Sureño*. <https://agrarias.uach.cl/wp-content/uploads/2020/10/26-10-20-campo-sureño-Riego.pdf>

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements*. https://www.researchgate.net/publication/235704197_Crop_evapotranspiration-Guidelines_for_computing_crop_water_requirements-FAO_Irrigation_and_drainage_paper_56

Álvarez-Garretón, C., Boisier, J. P., Blanco, G., Billi, M., Nicolas-Artero, C., Maillet, A., Aldunce, P., Urrutia-Jalabert, R., Zambrano-Bigiarini, M., Guevara, G., Galleguillos, M., Muñoz, A., Christie, D., Marinao, R., & Garreaud, R. (2023). *Seguridad hídrica en Chile: Caracterización y perspectivas de futuro*. https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2023/12/Informe_Seguridad_HidricaCR2.pdf

Berbel, J., Expósito, A., Gutiérrez-Martín, C., & Mateos, L. (2019). Effects of the Irrigation Modernization in Spain 2002–2015. *Water Resources Management*, 33(5), 1835–1849. DOI: 10.1007/s11269-019-02215-w

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2021, 02 marzo). *Historia de La Ley N° 21.597 Introduce modificaciones y prorroga la vigencia de la ley N° 18.450, que aprueba normas para el fomento de la inversión privada en obras de riego y drenaje*. <https://www.bcn.cl/historiadelaley/historia-de-la-ley/vista-expandida/8216/>

Bolados García, P., Henríquez Olguín, F., Ceruti Mahn, C., Cuevas, A. S., Bolados García, P., Henríquez Olguín, F., Ceruti Mahn, C., & Cuevas, A. S. (2018). La eco-geo-política del agua: una propuesta desde los territorios en las luchas por la recuperación del agua en la provincia de Petorca (zona central de Chile). *Revista Rupturas*, 8(1), 159–191. doi.org/10.22458/RR.V8I1.1977

Borrego-Marín, M. M., & Berbel, J. (2019). Cost-benefit analysis of irrigation modernization in Guadalquivir River Basin. *Agricultural Water Management*, 212, 416–423. doi.org/10.1016/J.AGWAT.2018.08.032

Budds, J. (2012). La demanda, evaluación y asignación del agua en el contexto de escasez: un análisis del ciclo hidrosocial del valle del río La Ligua, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 52, 167–184. doi.org/10.4067/S0718-34022012000200010

Budds, J. (2020). Gobernanza del agua y desarrollo bajo el mercado: las relaciones sociales de control del agua en el marco del Código de Aguas de Chile. *Investigaciones Geográficas*, 59, 16–27. doi.org/10.5354/0719-5370.2020.57717

Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia. (2015). *La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro*. <https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2015/11/informe-megasequia-cr21.pdf>

Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia. (2023). *Datos de Caudales*. <https://www.cr2.cl/datos-de-caudales/>

Comisión Nacional de Riego. (2020). *Planificación del Riego en Chile*. https://planeamiento.mop.gob.cl/Carpeta/sites/3/2023/07/91-Planificacion_del_Riego_en_Chile-CNR.pdf

Comisión Nacional de Riego. (2023). *Concursos de Riego y Drenaje*. <https://www.cnr.gob.cl/agricultores/concursos-de-riego-y-drenaje/>

Corporación Nacional Forestal - CONAF. (2014). *Plantaciones Forestales establecidas durante el año 2013*. <https://www.conaf.cl/centro-documental/plantaciones-forestales-establecidas-durante-el-ano-2013/>

Decreto Con Fuerza de Ley N°1122 (1981). <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=5605>.

Dirección General de Aguas. (2016). *Atlas del Agua Chile 2016*. <https://biblioteca.digital.gob.cl/items/0fb704de-0070-4773-82e2-ae5445d268c7>

Dirección General de Aguas. (2017). *Plan Maestro de los Recursos Hídricos Región del Maule*. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/34ee787d-075d-47cd-afbe-ab8a45872217>

Dirección General de Aguas. (2023). *Decretos declaración zona de escasez vigentes*. <https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/decretosZonasEscasez/Paginas/default.aspx>

Donoso, G. (2021). Management of Water Resources in Agriculture in Chile and its Challenges. *Agricultural Economics Int. J. Agric. Nat. Resour*, 48(3), 171–185. <https://doi.org/10.7764/ijanr.v48i3.2328>

Howell, T. A. (2003). Irrigation Efficiency. *Encyclopedia of Water Science*, 467-472. DOI:10.1081/E-EWS120010252

Instituto Nacional de Estadísticas. (2002). *Censo de Población y Vivienda*. <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/sociales/censos-de-poblacion-y-vivienda/censo-de-poblacion-y-vivienda>

Instituto Nacional de Estadísticas. (2007). *Censo Agropecuario*. <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios>

Jordan, C., Donoso, G., & Speelman, S. (2021). Measuring the effect of improved irrigation technologies on irrigated agriculture. A study case in Central Chile. *Agricultural Water Management*, 257, 107-160. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2021.107160>

Jordan, C., Donoso, G., & Speelman, S. (2023). Irrigation subsidy policy in Chile: lessons from the allocation, uneven distribution and water resources implications. *International Journal of Water Resources Development*, 39(1), 133-154. <https://doi.org/10.1080/07900627.2021.1965964>

Kuzma, S., Saccoccia, L., & Chertock, M. (2023, August 16). *25 Countries, Housing One-quarter of the Population, Face Extremely High Water Stress*. World Resources Institute. <https://www.wri.org/insights/highest-water-stressed-countries>

Larocque, F., Maillet, A., Flores, C., Martínez, F., Abad, P., Cariaga, V., Hernández, M., & Lorenzo, Y. (2021). Los cabildos por el agua del Movimiento por el Agua y los Territorios (octubre 2019-marzo 2020): Un caso de experimento participativo y estratégico. In C. S. C. (EDS.) Biskupovic (Ed.), *Experiencias participativas en el Chile actual*. RIL editores. <https://www.researchgate.net/publication/358339788>

Malik, R. P. S., Giordano, M., & Rathore, M. S. (2018). The negative impact of subsidies on the adoption of drip irrigation in India: evidence from Madhya Pradesh. *International Journal of Water Resources Development*, 34(1), 66-77. <https://doi.org/10.1080/07900627.2016.1238341>

Nelson, G. C., Rosegrant, M. W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte-Santos, R., Ewing, M., & Lee, D. (2009). *Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf

Oficina de Estudios de Políticas Agrarias - ODEPA. (2018). *Región del Maule Información regional 2018*. www.odepa.gob.cl

Panez-Pinto, A., Mansilla-Quiñones, P., & Moreira-Muñoz, A. (2018). Agua, tierra y fractura socio-metabólica del agronegocio. Actividad frutícola en Petorca, Chile. *Bitácora Urbano Territorial*, 28(3), 153-160. <https://doi.org/10.15446/BITACORA.V28N3.72210>

Pavez, M. (2021). Distribución Espacial y Actores Privilegiados en la Ley de Riego: Análisis Comunal de la Región de O'Higgins. *Revista Territorios y Regionalismos*, 5, 1-17. <https://doi.org/10.29393/rtr5-6DEMP10006>

Perez-Blanco, C. D., Hrast-Essenfelder, A., & Perry, C. (2020). Irrigation technology and water conservation: A review of the theory and evidence. *Review of Environmental Economics and Policy*, 14(2), 216–239. <https://doi.org/10.1093/REEP/REAA004>

Perez-Silva, R., & Castillo, M. (2023). Taking advantage of water scarcity? Concentration of agricultural land and the politics behind water governance in Chile. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1143254. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1143254>

Perry, C. J., & Steduto, P. (2017). *Does Improved Irrigation Technology Save Water? A review of the evidence*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35540.81280>

Prieto, M. (2016). Transando el agua, produciendo territorios e identidades indígenas: el modelo de aguas chileno y los atacameños de Calama. *Revista de Estudios Sociales*, 2016(55), 88–103. <https://doi.org/10.7440/RES55.2016.06>

Rinaudo, J. D., & Donoso, G. (2019). State, market or community failure? Untangling the determinants of groundwater depletion in Copiapó (Chile). *International Journal of Water Resources Development*, 35(2), 283–304. <https://doi.org/10.1080/07900627.2017.1417116>

Smith, N. (1990). *Uneven development: nature, capital, and the production of space*. University of Georgia Press. <http://www.jstor.org/stable/j.ctt46nmvk>

Stock, J. H., & Watson, M. W. (2015). *Introduction to Econometrics*. Pearson. <https://users.ssc.wisc.edu/~mchinn/stock-watson-econometrics-3e-lowres.pdf>

Stock, J. H., & Yogo, M. (2002). Testing for Weak Instruments in Linear IV Regression. *National Bureau of Economic Research*. <https://doi.org/10.3386/T0284>

Swyngedouw, E. (2011). ¡La naturaleza no existe! La sostenibilidad como síntoma de una planificación despolitizada / Nature does not exist! Sustainability as Symptom of a Depoliticized Planning. *Urban*, 0(01), 41–66. <https://polired.upm.es/index.php/urban/article/view/410>

Wheeler, S. A., Carmody, E., Grafton, R. Q., Kingsford, R. T., & Zuo, A. (2020). The rebound effect on water extraction from subsidising irrigation infrastructure in Australia. *Resources, Conservation and Recycling*, 159, 104755. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104755>

Conflictos de interés

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

Anexo N°1A.

Estaciones fluviométricas en la Región del Maule.

Estación	Región	Código comuna	Comuna
6033011	Maule	7308	Teno
7104002	Maule	7306	Romeral
7102005, 7103001	Maule	7306	Romeral
7116001, 7112001	Maule	7301	Curicó
7123001	Maule	7303	Licantén
7115001	Maule	7304	Molina
7200002, 7383001, 7400001	Maule	7102	Constitución
7372001	Maule	7108	Río Claro
7381001, 7379002	Maule	7107	Pencahue
7378011, 7378012, 7378013, 7374001, 7374002, 7374003, 7320003, 7322007, 7322008, 7321002, 7321003, 7321007, 7306001, 7308000, 7308001, 7308002, 7303000, 7300001	Maule	7109	San Clemente
7341001, 7359001	Maule	7406	San Javier
7322001	Maule	7105	Maule
7322005, 7322006, 7358001	Maule	7408	Yerbas Buenas
7322002, 7358010, 7317003, 7321005, 7317005	Maule	7402	Colbún
7339001, 7335001, 7336001	Maule	7201	Cauquenes
7355001, 7355008, 7355002, 7317002, 7354002	Maule	7401	Linares
7351002, 7357002, 7350001	Maule	7403	Longaví
7343001	Maule	7405	Retiro
7331004, 7350003, 7350002, 7352004, 7335002	Maule	7404	Parral

Fuente: Elaboración propia (2023).

Anexo N°1B.

Estaciones meteorológicas en la Región del Maule.

Estación	Región	Código comuna	Comuna
7120002	Maule	7309	Vichuquén
7106007, 7104005	Maule	7308	Teno
6130003	Maule	7302	Hualañé
7104002, 7103003	Maule	7306	Romeral
7118003, 7116004, 7116005	Maule	7301	Curicó
7123001	Maule	7303	Licantén
7119007, 7121003	Maule	7307	Sagrada Familia
7200001	Maule	7103	Curepto
7371002, 7115001, 7370001	Maule	7304	Molina
7210001, 7383001, 7384002	Maule	7102	Constitución
7373003	Maule	7108	Río Claro
7381003, 7379002	Maule	7107	Pencahue
7373004	Maule	7110	San Rafael
7378002	Maule	7101	Talca
7378003, 7374004, 7374005, 7376002, 7320002, 7320003, 7321002, 7306001, 7303000, 7301000, 7301001	Maule	7109	San Clemente
7341002, 7342002, 7359001, 7359005	Maule	7406	San Javier
7358008, 7317005, 7355006	Maule	7402	Colbún
7340002, 7337002, 7335004, 7336003, 8142001	Maule	7201	Cauquenes
7358007, 7357003, 7355002, 7355007, 7353001	Maule	7401	Linares
7352002, 7352003, 7350001	Maule	7403	Longaví
7340003	Maule	7405	Retiro
7345001, 7350006, 7350007, 7331002, 7332003	Maule	7404	Parral

Fuente: Elaboración propia (2023).

Anexo N°2.

Concentración de la Ley N°18.450 en la Región del Maule 1987-2018, por comunas.

Provincia	Código de comuna	Comuna	Hectáreas tecnificadas	% Tecnificado de la comuna
Talca	7101	Talca	1250	21%
	7102	Constitución	44	0%
	7103	Curepto	1303	6%
	7104	Empedrado	51	0%
	7105	Maule	787	11%
	7106	Pelarco	3561	26%
	7107	Pencahue	7069	14%
	7108	Río Claro	3661	18%
	7109	San Clemente	4942	3%
	7110	San Rafael	3976	30%
Cauquenes	7201	Cauquenes	2987	3%
	7202	Chanco	76	1%
	7203	Pelluhue	0	0%
Curicó	7301	Curicó	5720	7%
	7302	Hualañé	225	1%
	7303	Licantén	280	2%
	7304	Molina	5480	5%
	7305	Rauco	1167	8%
	7306	Romeral	2354	3%
	7307	Sagrada Familia	5355	16%
	7308	Teno	4935	32%
	7309	Vichuquén	13	0%
Linares	7401	Linares	2018	3%
	7402	Colbún	1811	1%
	7403	Longaví	4944	7%
	7404	Parral	4744	5%
	7405	Retiro	6169	22%
	7406	San Javier	4422	7%
	7407	Villa Alegre	2002	44%
	7408	Yerbas Buenas	2824	62%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Comisión Nacional de Riego (2023).

Anexo N°3.

Resultado de la primera etapa del modelo 3 (IV2SLS).

Variable dependiente: nivel de los caudales (m³/s en logs)	
Variab	Modelo 1 OLS sin control
Superficie de riego (ha en logs)	-0.009*** (0.001)
Precipitación (mm³ en logs)	0.333 (0.127)
PEA Agrícola (%)	0.005* 0.003
PEA Forestal (%)	0.034* (0.019)
PEA Pesca (%)	-0.120* (0.067)
Plantación de frutales (ha)	0.000*** (2.87e-05)
Superficie agrícola total comunal (ha)	1.85e-06 (1.29e-06)
Constante	1.810 (1.256)
Observaciones	329

Nota: Errores estándares robustos entre paréntesis. Todas las regresiones incluyen dummy de año. ***
p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fuente: Elaboración propia (2023).

Anexo N°4.

Resultados de los modelos de mínimos cuadrados ordinarios (OLS) con efecto fijo comunal.

Variable dependiente: nivel de los caudales (m³/s en logs)		
Variabes	Modelo 1 OLS sin control	Modelo 2 OLS con controles
Superficie de riego (ha en logs)	-0.705* (0.039)	-0.076** (0.038)
Precipitación (mm³ en logs)	-	0.130 (0.082)
PEA Agrícola (%)	-	-0.170*** (0.009)
PEA Forestal (%)	-	1.661*** (0.076)
PEA Pesca (%)	-	-12.27*** (0.507)
Plantación de frutales (ha)	-	0.002*** (0.000)
Superficie agrícola total co- munal (ha)	-	-1.30e-07 (1.94e-06)
Constante	5.374*** (0.101)	5.009*** (0.741)
Observaciones	329	329

Nota: Errores estándares robustos entre paréntesis. Todas las regresiones incluyen dummy de año y efecto fijo a nivel comunal. *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.

Fuente: Elaboración propia (2023).