

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA SEQUÍA EN EL PRECIO DE MERCADO DE LOS DERECHOS DE AGUA

Emilio Antonio Álvarez Rupayán

Tesis para optar al Título de Ingeniero(a) Civil Industrial

Profesor Guía: Jorge Antonio Sabat Silva

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Santiago, Chile

2022



ESTUDIO DEL EFECTO DE LA SEQUIA EN EL PRECIO DE MERCADO DE LOS DERECHOS DE AGUA

Emilio Antonio Álvarez Rupayán

Tesis para optar al Título de Ingeniero(a) Civil Industrial

Profesor Guía: Jorge Antonio Sabat Silva

Profesor Comisión: Jocelyn Andrea Tapia Stefanoni

Profesor Comisión 2: Rodrigo Antonio Cáceres González

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Santiago, Chile

2022

Dedicatoria

Con mucho cariño se la dedico a mi madre que desde pequeño me guio y apoyo fielmente en todas mis decisiones, por darme las herramientas para estudiar e impulsarme en mi futuro y lo más importante por creer en mí y nunca dudar de mis capacidades.

Igualmente dedico esta tesis a la vida, y aunque suene un poco confuso, creo que en el tiempo que he vivido me han pasado situaciones inesperadas y difíciles de aceptar y sobrellevar, por lo mismo siento que me ha dado una segunda oportunidad para demostrar y demostrarme que soy capaz y que pese a las circunstancias difíciles tengo que creer en mí y superarme.

Vive como si fueras a morir mañana, aprende como si fueras a vivir para siempre. -Mahatma Gandhi.

Agradecimientos

Sin dudarlo este proyecto ha sido uno de los mayores retos que se me han presentado, ha requerido de mucho tiempo, esfuerzo y dedicación. Esto me ha ayudado a superarme en muchos aspectos, ya sea en lo profesional, intelectual y en lo creativo.

En este largo y difícil camino de la realización de mi tesis agradezco a las personas que estuvieron conmigo apoyándome en todo momento, sobre todo en circunstancias en las que ya no tenía energía ni fuerzas para seguir.

Primeramente, quiero agradecer a mi profesor guía Jorge Sabat por su tiempo y dedicación, por ser un pilar fundamental en la elaboración de mi tesis gracias a sus conocimientos y consejos. De igual manera quiero dar un agradecimiento a mi familia que se ha preocupado de mi bienestar, que han tenido siempre una palabra de aliento cuando la he necesitado, sin ellos no podría haberlo logrado.

# Resumen

La literatura empírica pareciera no haber resuelto la dirección y magnitud del efecto de una sequía, entendida cómo un shock de oferta en la cantidad total de agua en una zona geográfica determinada, en el precio de mercado de derechos de explotación de esa agua. Este estudio se aprovecha del caso de Chile, donde se puede tener heterogeneidad respecto al efecto de la sequía en distintas zonas de Chile, a partir de la diversidad geográfica que existe en país, además de la posibilidad de establecer científicamente el año 2010 cómo inicio de la sequía. Este estudio estima a través del método econométrico diferencias-en-diferencias (DiD) para estimar el efecto de la sequía en el valor de mercado de un derecho de agua. Para estimar el efecto se construye un panel de transacciones de compra y venta de derechos de agua utilizando los datos del Conservador de Bienes Raíces de Chile (CBR), y complementando esto con mediciones de caudal de los ríos a los cuáles se asocian estos derechos desde el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (.

El análisis empírico sugiere que el efecto de la sequía depende de la actividad económica en la zona en que se encuentra el mercado de agua, donde en zonas no agrícolas que presenten estrés hídrico, se observa un efecto negativo en el precio de mercado de los derechos de aprovechamiento de agua (DAA), disminuyendo su precio,

mientras en el caso de las zonas agrícolas, que presentan estrés hídrico, la sequía provoca que, eventualmente poca agua disponible, se haga significativamente más valiosa, aumentando su valor. Este estudio pretende contribuir al estudio de los efectos del Cambio Climático en la economía, lo cual podría ser un insumo para el diseño de políticas que permitan lidiar con el Cambio Climático.

**Conceptos clave:** Estrés hídrico – Precio mercado de derechos de agua - Econometría – Sequía – Capacidad agrícola - DID.

# Abstract

The empirical literature does not seem to have resolved the direction and magnitude of the effect of a drought, understood as a supply shock in the total amount of water in a given geographical area, in the market price of exploitation rights for that water. This study takes advantage of the case of Chile, where there can be heterogeneity regarding the effect of drought in different areas of Chile, based on the geographical diversity that exists in the country, in addition to the possibility of scientifically establishing the year 2010 as the beginning of the drought This study implements the differences-in-differences (DiD) micro econometric to estimate the effect on the market value of a water right, in areas where the 2010 drought causes water stress, following the designation of the General Directorate of Waters (DGA). To estimate the effect, a panel of transactions for the purchase and sale of water rights is constructed using data from the Chilean Real Estate Conservator (CBR), and complementing this with flow measurements of the rivers to which these rights are associated from the Center for Climate Science and Resilience (CR2). Empirical analysis suggests that the effect depends on economic activity in the area where the water market is located. In non-agricultural areas, the lower supply of water destroys most of its value as a financial asset, while in the case of agricultural areas it makes the possibly little available water significantly more valuable. This study aims to contribute to the study of the effects of Climate Change on the economy, which could be an input for the design of policies that allow dealing with Climate Change.

Key concepts: Water stress - Market price of water rights - Econometrics - Drought - Agricultural capacity - DID.

Tabla de contenido

[Resumen V](#_Toc110719630)

[Abstract VI](#_Toc110719631)

[1) Introducción 1](#_Toc110719632)

[1.1.) Antecedentes 5](#_Toc110719633)

[1.1.1) Sequía y estrés hídrico. 5](#_Toc110719634)

[1.1.2) Código de agua: 7](#_Toc110719635)

[1.1.3) Mercado de derechos de agua 7](#_Toc110719636)

[1.2) Problemática de la investigación. 8](#_Toc110719637)

[1.2.1) Descripción del problema a resolver 8](#_Toc110719638)

[1.2.2) Problemas detectados 9](#_Toc110719639)

[1.3) Objetivo general 9](#_Toc110719640)

[1.3.1) Objetivos específicos 9](#_Toc110719641)

[1.4) Hipótesis 10](#_Toc110719642)

[1.5) Marco teórico 11](#_Toc110719643)

[1.5.1) Estrés hídrico 11](#_Toc110719644)

[1.5.2) Mercado de Derechos del Agua 13](#_Toc110719645)

[1.5.3) Precio de Mercado 14](#_Toc110719646)

[2) Metodología 18](#_Toc110719647)

[2.1) Datos 18](#_Toc110719648)

[2.1.1) Análisis descriptivo de las variables 19](#_Toc110719649)

[2.2) Método Diferencia en Diferencias 22](#_Toc110719650)

[2.3) Estrategia de identificación empírica 24](#_Toc110719651)

[3) Resultados y discusión 26](#_Toc110719652)

[4) Conclusiones 31](#_Toc110719653)

[Referencias 33](#_Toc110719654)

[Anexo 1 36](#_Toc110719655)

[Anexo 2 36](#_Toc110719656)

[Anexo 3 37](#_Toc110719657)

[Anexo 4 37](#_Toc110719658)

**Índice de gráficos**

[Gráfico 1 Demanda consuntiva de uso de agua por tipo de usuario. Fuente: DGA. 2017 2](#_Toc110717327)

[Gráfico 2 Número de decretos de escasez hídrica Chile 2008-2020 6](#_Toc110717328)

[Gráfico 3 Niveles de caudales durante 1980 a 201 21](#_Toc110717329)

**Índice de Tablas**

[Tabla 1 Estadísticos principales, aplicando filtro según capacidad agricola, sobre el precio y caudal. 20](#_Toc110521046)

[Tabla 2 Estadísticos principales, aplicando filtro según capacidad agrícola, sobre el precio y caudal. 20](https://d.docs.live.net/c8eb3a4d3d4d2af2/Escritorio/Borrador%20Tesis%20-%20nuevo%20full.docx#_Toc110521047)

[Tabla 3 Porcentaje de transacciones con filtros 21](#_Toc110521048)

[*Tabla 4 Suma de precios por región, en fuentes hídricas que presentan o no estrés hídrico.* 22](https://d.docs.live.net/c8eb3a4d3d4d2af2/Escritorio/Borrador%20Tesis%20-%20nuevo%20full.docx#_Toc110521049)

[Tabla 5. Efecto en los precios de los derechos de agua según intensidad de la economía agrícola regional 27](#_Toc110521050)

[Tabla 6 Profundizar en el efecto de la sequía, a través de modelos con efectos fijos. 29](#_Toc110521051)

[Tabla 7 Determinante empírico de la categoría de estrés hídrico, a través de modelo probit y Ols. 31](#_Toc110521052)

**Índice de ilustraciones**

[Ilustración 1 Información pluviométrica y embalses. Fuente: DGA (2017) 3](https://d.docs.live.net/c8eb3a4d3d4d2af2/Escritorio/Borrador%20Tesis%20-%20nuevo%20full.docx#_Toc110515419)

**Índice de ecuaciones**

Ecuación

[(1) 23](#_Toc110538681)

[(2) 24](#_Toc110538682)

[(3) 25](#_Toc110538683)

[(4) 26](https://d.docs.live.net/c8eb3a4d3d4d2af2/Escritorio/Borrador%20Tesis%20-%20nuevo%20full.docx#_Toc110538684)

[(5) 26](https://d.docs.live.net/c8eb3a4d3d4d2af2/Escritorio/Borrador%20Tesis%20-%20nuevo%20full.docx#_Toc110538685)

# Introducción

Hoy en día, la sequía es una realidad en Chile, la cual ha posicionado al país como un caso interesante en el estudio en la lucha contra el cambio climático, el cual ha provocado diversos efectos negativos en el país, destacando los cambios de temperaturas y problemas en la disponibilidad de agua en diversos puntos del país (BBC Mundo, 2019). Si bien Chile presenta una marcada heterogeneidad a lo largo de su territorio en se concentra en zonas del norte y sur, con menor y mayor oferta del cuanto a niveles de precipitaciones y volúmenes de caudales. Gran porcentaje de las precipitaciones recurso respectivamente. Los efectos negativos posicionan a Chile en el grupo de los 18 países con mayor riesgo climático en el mundo. Estando cercano a ser considerado en la categoría de riesgo extremo, en la cual se encuentra India, Botswana y Pakistán (Willem & Rutger, 2019).

En el informe a la nación realizado por Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (2015), establece que desde el 2010, Chile presenta una mega sequía. La cuál evidencia el efecto de la falta de lluvias está teniendo en los caudales de los ríos de la zona norte, centro y sur. A su vez DGA (2017), señala que todas las regiones se han visto afectadas por la sequía a excepción de las zonas extremas del norte y del sur. Presentando un déficit de volúmenes de caudales histórico desde Atacama a Aysén, en comparación con el promedio histórico entre los años 1981 y 2010, incluso en zonas donde las precipitaciones son abundantes, existen déficits. Un ejemplo claro es la Región de Biobío donde las precipitaciones actuales comparadas con su promedio histórico registran un déficit de -41%, en La Araucanía es de un -36% y en Los Lagos de -21%. En la ilustración 1, realizada en el boletín hidrológico, el año 2019, por la Dirección general de agua (DGA), se puede observar claramente que todos los ríos tienen caudales que están por debajo de sus promedios y, destacan los ríos Choapa y Maule, donde los caudales están por debajo de su mínimo histórico.

A su vez, se puede observar en el anexo 1, obtenidos desde la página web del banco mundial, que Chile ha presentado un crecimiento constante en el tiempo, en términos demográficos. Lo cual podría ser, una razón de por qué el consumo de agua en Chile ha ido aumentado durante los últimos años (The world Bank, 2022). En donde al año 2017, las extracciones de agua de las fuentes superficiales superan los 4.900 m3/s, lo que equivale a 166 mil millones de m3/año (Dirección general de aguas, 2017). A su vez el Ministerio de Obras Públicas (2020), en el primer informe de la mesa nacional del agua, indica que, del total de agua utilizada, el rubro agrícola es el que consume mayor cantidad de agua en Chile, contabilizando un 72,3%, señalando que la industria agrícola se ha ido expandiendo con el pasar de tiempo, sobre todo el por el crecimiento constante de cuidades que requieren de una mayor demanda de alimentos. Luego del rubro agrícola, viene el consumo en agua potable e industrias con un 11,8% y 6,7%, respectivamente. Los porcentajes de uso por sector económico se pueden observar en el grafico 1 en base a la información publicada por la Dirección General de Aguas.

Gráfico, Gráfico circular

Descripción generada automáticamente

Gráfico 1 Demanda consuntiva de uso de agua por tipo de usuario. Fuente: DGA. 2017

*Gráfico distribución de demanda consuntiva por sector año 2015. Fuente: DGA.*

Es importante tener claro que la sequía causa escasez hídrica, la cual esta es provocada principalmente por procesos hidrológicos-meteorológicos y factores sociales relacionados a la toma de decisiones y gestión del agua por parte de los privados, cómo las regulaciones por parte del Estado, juegan un rol en agravar la situación.

Por lo que el proceso de competencia en el uso de los recursos hídricos entre el consumo humano y la industria comienza a ser un problema social en situaciones cómo la actual. Aprovechando de la existencia de un mercado donde se transan derechos de agua, algo poco común a nivel mundial, para estimar la elasticidad precio de los derechos de agua frente a un cambio en la oferta del recurso hídrico.

Hasta ahora son escasos los estudios que estimen el efecto de la sequía, a través de métodos de inferencia causal modernos. Por lo tanto, este estudio aprovecha que la sequía afecta diferenciadamente a distintas zonas del país, para considerarla cómo un shock exógeno en la disponibilidad del agua de algunas zonas que la DGA designa en estrés hídrico. La estimación se realiza utilizando el método de diferencias-en-diferencias (DiD). Donde se considera que la sequía comienza en 2010, y afecta desproporcionadamente más a las zonas que la DGA designa en estrés hídrico (grupo de tratamiento), mientras que los derechos de zonas cercanas no declaradas en estrés hídrico se utilizan cómo grupo de control.

En el estudio se utilizarán datos obtenidos del Conservador de bienes raíces (CBR) y . De la primera fuente obtenemos los registros de transacciones de los derechos de aprovechamiento de agua, como el precio y fecha de la transacción. De la segunda fuente se obtendrán los caudales registrados en las transacciones (explicados con detalles en la sección de datos). En base a los datos recopilados se construye un panel que contiene los precios de los derechos de agua asociados a los ríos que se observa en el anexo 2 para el periodo de 1980 a 2018. Adicionalmente se obtiene el caudal del río en el tiempo para observar otras características del derecho.

Ilustración 1 Información pluviométrica y embalses. Fuente: DGA (2017)

Diagrama

Descripción generada automáticamente con confianza media

Ilustración 1 Información pluviométrica y embalses. Fuente: DGA (2017)

## 1.1.) Antecedentes

### 1.1.1) Sequía y estrés hídrico.

La sequía se considera como un periodo extenso de tiempo en ausencia de lluvias, produciendo escasez de agua, la cual se puede observar una baja en la cantidad de agua que lleva una corriente o que fluye de una fuente. Los periodos de sequía causan problemas cómo desabastecimiento de agua potable y cruda, problemas de salud pública, y reducción en la capacidad de producción de alimentos, entre otros. Por esta misma razón los estados se preocupan de regularizar su uso, distinguiendo entre zonas urbanas o rurales (Centro Nacional de Salud Ambiental, 2021).

En la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en Chile, el año 2019, se afirma que Chile vive una sequía prolongada con déficit de lluvias y desertización, de la cuál no existen registros (Rojas et al., 2019). A su vez en 2019, la DGA, lanzó su licitación pública para elaborar los primeros planes de gestión estratégica. Identificando que las principales cuencas con mayor estrés hídrico son, el río Huasco, Maule, Choapa, Limarí, Elqui, Maipo, Copiapó, Petorca, Loa, Quilimarí y Aconcagua. Los cuales se seleccionaron al ser las fuentes mayor decreto de escasez hídricas en las distintas comunas del país (Dirección General de Aguas, 2019).

En la actualización del balance hídrico nacional del año 2017, se declara que Chile es un país privilegiado en cuanto a los recursos hídricos que posee, ya que, la cantidad de precipitaciones que escurren en las fuentes subterráneas y superficiales es equivalente a 8 veces la media del mundo. Aun así, este valor promedio no considera la heterogeneidad hídrica a lo largo de Chile, lo que hace que sea más complejo el estudio del diseño de políticas públicas respecto al agua. Además, en la actualización del balance hídrico, afirma que gran parte de las cuencas de Chile registra una baja en las precipitaciones, promediando un 29% menos a nivel nacional. Sin embargo, esto no explica del todo la baja de los caudales. Sugiriendo cambios en el uso del suelo e infraestructura (DGA, 2017). A su vez Aquaterra (2017) con ayuda de la dirección general de agua, afirman que, aunque el agua potable está garantizada hoy en día, se deben tomar medidas para entregar soluciones a comunas rurales debido a los factores exógenos, pero también endógenos que pueden determinar la situación que viven las personas y empresas del país.

Una de las medidas que busca proveer de herramientas para reducir los daños provocados por la sequía, son los decretos de escasez, los cuales a través del Artículo 314º del Código de Aguas, le entrega ciertas atribuciones a la DGA, como la distribución de aguas, la extracción de aguas superficiales o subterráneas; y la distribución de caudales naturales. A tal punto que desde el año 2008 al 2021, se emitieron 167 decretos. Siendo el 2020 el año récord con un máximo de 33 decretos, en donde la mayoría corresponde a la Región Metropolitana, luego viene Valparaíso, Coquimbo y Maule.

Se puede apreciar en el gráfico 2, que la utilización de decretos como medida de mejoría para la escasez hídrica, ha ido aumentando en los últimos años (DGA, 2022).

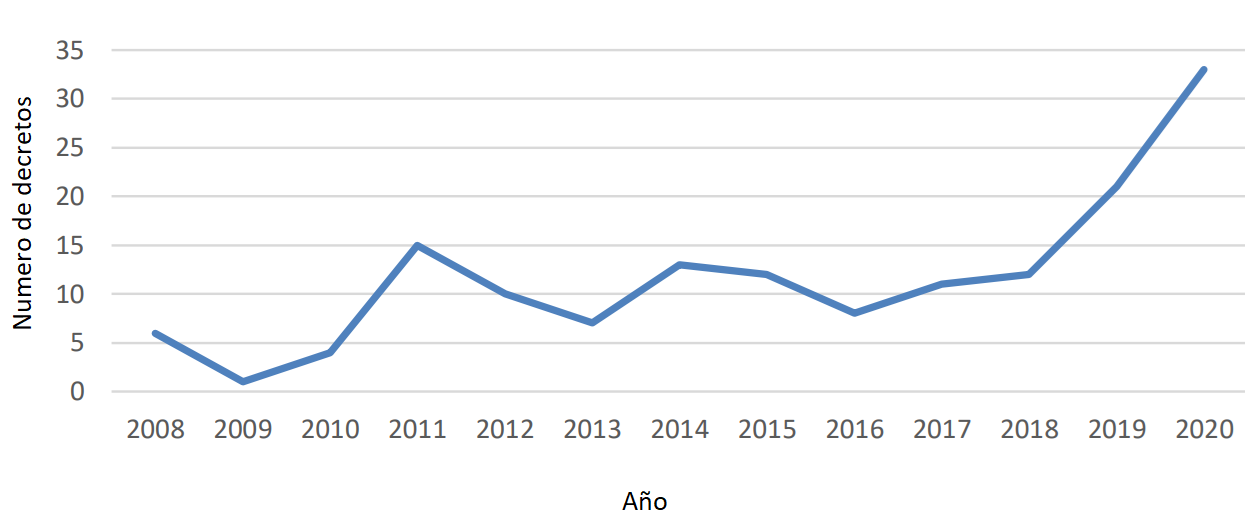


Gráfico 2 Número de decretos de escasez hídrica Chile 2008-2020

Gráfico SEQ Grafico\_ \\* ARABIC 2 Serie temporal número de decretos. Fuente: DGA 2021

### 1.1.2) Código de agua:

El Código de Aguas, es el marco legal que regula el uso de los recursos hídricos en Chile. El derecho de aprovechamiento de aguas es creado por el Código de Aguas de 1981, el cual autoriza al titular del derecho al uso de las aguas asociadas a este. Una vez otorgados estos derechos se consideran como propiedad privada, por lo que pueden ser transada libremente, de forma independiente de la tierra. El carácter de propiedad privada permite que el agua se considere un bien transable e hipotecable (La tribuna, 2015).

Se han realizado diversas reformas desde que se estableció el código de agua en 1952. En donde a medida que pasa el tiempo se consideran distintos puntos de vistas y estudios de diversos autores que han analizado el código de agua y DDA. Por ejemplo, Macpherson y O’Donnell (2015), señalan que efectivamente el mecanismo de mercado permite una gestión más eficiente del agua. Por otro lado, Bauer (2009) argumenta que el código de aguas hace perder autoridad al Estado en términos de regulación sobre este bien público. Es por esto que el mercado de derecho de agua regido por el código de agua es un tema muy interesante de estudiar y verificar si un mercado de derechos es o no la mejor opción para Chile.

### 1.1.3) Mercado de derechos de agua

Se debe considerar que en el mundo son muy escasos los países que tienen un mercado de aguas. Específicamente existen solo en Chile, Canadá, Australia y en estados del oeste de EE. UU. (WWF, 2005). Por lo que Chile se considera como un país pionero en utilizar un mecanismo legal, a través del cual una persona o empresa puede comprar, vender o arrendar un derecho de aprovechamiento del agua, bajo un control de regularización de forma pública ante la DGA. Mecanismo legal creado por el Código de Aguas de 1981.

A su vez, Jiménez (2014) analiza el marco regulatorio del mercado del agua, el cual se basa en el concepto de que la regularización trata al agua como un bien económico.

El objetivo de esta decisión sería que la gestión sería más eficiente, a través de precios de mercado, que la asignación estatal. Al ser los precios fijados por el mercado, se permite la reasignación eficiente de recursos hídricos hacia los usuarios que más valoran el recurso hídrico. En la práctica esta reasignación puede ser realizada mediante la compra directa de derecho de propiedad de forma perpetua, o a través de un arriendo temporal.

En Chile existen cuatro tipos de mercados constituidos y regulados, los cuales son: El mercado de arriendo, en el cual se transa una cierta cantidad de recurso hídrico por un tiempo determinado. Segundo, el mercado de compra y venta, donde efectivamente se traspasa la propiedad del derecho de agua indefinidamente. Tercero, el mercado de opciones, en el cuál, se transan opciones que le dan el derecho al propietario la opción de utilizar una cierta cantidad de recurso hídrico por un tiempo limitado. Cuarto, un mercado que permuta, donde los derechos de agua se cambian por inversiones en equipo de capital.

El organismo encargado del correcto funcionamiento del mercado de los derechos de agua es la DGA, encargándose de gestionar, verificar y difundir la información hídrica del país, con el objetivo de contribuir a una mayor competitividad del mercado y el resguardo de la certeza jurídica e hídrica para el desarrollo sustentable del país. A su vez las transacciones realizadas deben registrarse en los Conservadores de Bienes Raíces de forma clara a través de un formulario.

## 1.2) Problemática de la investigación.

### 1.2.1) Descripción del problema a resolver

Chile es afectado por una sequía hace más de 12 años, la cual ha traído consigo una baja de caudales en los ríos, lo que tiene consecuencias socioeconómicas múltiples. En este trabajo nos enfocaremos específicamente en el efecto financiero de este fenómeno natural. Intentando responder la siguiente pregunta, ¿Cómo afecta la sequía, a través de la menor oferta de agua, a los precios de mercado de los Derechos de Aprovechamiento de agua (DAA) que se transan en el mercado?, dado que en la literatura académica las estimaciones sobre la elasticidad precio de la oferta del agua son escasas, y las existentes tienden a no utilizar métodos de inferencia causal modernos.

Se aprovecha la oportunidad de tomar los datos de transacciones históricas de DAA, el evento de la sequía que parte en 2010, y la heterogeneidad en los efectos de la sequía en distintas geografías de Chile para realizar una estimación de esta elasticidad. Tener una buena estimación de esta elasticidad es un factor clave para diseñar políticas económicas que balanceen la ecología, y la actividad económica de las distintas zonas geográficas del país.

### 1.2.2) Problemas detectados

1. Escasez de estudios sobre el efecto de la disponibilidad del agua en el precio de mercado de los DAA.
2. Ausencia de análisis de políticas públicas basadas en evidencia empírica construida utilizando las últimas técnicas de inferencia causal desarrolladas por la literatura econométrica.

## 1.3) Objetivo general

Estimar el efecto de la sequía, y por ende de la menor disponibilidad de agua en algunas zonas de Chile, en el precio de mercado de los DAA.

### 1.3.1) Objetivos específicos

* Construir una base de datos de panel que permita seguir un grupo de fuentes hídricas por un largo periodo de tiempo (1980 – 2018).

Las variables principales de esta base de datos son: el precio del DAA transado, el caudal de la fuente hídrica asociada a la transacción observado mensualmente; características contractuales del DAA transado; identificación de stress hídrico para cada fuente hídrica siguiendo las designaciones de la DGA.

* Estimar la elasticidad precio de los DAA respecto a un cambio en la oferta de agua. La estimación se realizará por el método de diferencias-en-diferencias (DiD), para luego interpretar los resultados.
* Estudiar los determinantes de la probabilidad de que la DGA designe una fuente hídrica en estrés hídrico, utilizando un modelo de probabilidad lineal y un modelo Probit.

## 1.4) Hipótesis

Las principales hipótesis de este trabajo son las siguientes:

• H1: La sequía provoca un aumento general en el precio de mercado de los DAA en Chile, a través del efecto negativo de la sequía sobre el caudal, una medida observable de oferta de agua para el DAA asociado. Dado que un DAA es un derecho a poseer propiedad sobre un bien que ahora es más escaso es esperable que aumente el precio de los derechos transados. Este efecto también sería consistente con la dirección del efecto documentado por Brown (2006) con datos del Estado de Colorado en EE. UU.

HA2: La sequía afecta de forma heterogénea a los precios de los DAA en Chile, a través de características propias de la zona en que se ubica la fuente hídrica. Específicamente, es esperable un efecto positivo en zonas de alta intensidad en agricultura lo que sería consistente con el modelo teórico de Donna y Espin (2013).

## 1.5) Marco teórico

La contribución a la literatura es la estimación del efecto en el precio de mercado del agua de un shock permanente en la disponibilidad del recurso hídrico, producido por la sequía que afecta a Chile desde 2010. Aprovechándonos de la disponibilidad de precios de mercado históricos del agua para distintas zonas de Chile, y de este experimento natural que afecta desproporcionalmente más la disponibilidad de agua de algunas zonas (grupo de tratamiento) y menos a otras (grupo de control). Se propone identificar la elasticidad precio de los derechos de agua frente a un cambio en la oferta del recurso hídrico. En esta sección se entrega información de distintos estudios que abordan diversos temas con estudios relacionados con los mercados de los derechos de agua en Chile y en países con sistemas similares.

### 1.5.1) Estrés hídrico

Existen a lo menos dos definiciones de estrés hídrico, Pnuma (2022) define como estrés hídrico como un estado en el cuál la [demanda de agua](https://www.iagua.es/respuestas/que-es-agua) es más alta que la cantidad disponible durante un periodo determinado, o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad. Por otro lado, Sarabia et al. (2020) define como estrés hídrico a la demanda de agua en proporción a los recursos disponibles, considerando la necesidad del medio ambiente.

Por otro lado, diversos estudios se han enfocado en la condición actual y las proyecciones del estrés hídrico en Chile, un claro ejemplo es el de DGA (2017) publican la “[Actualización del Balance Hídrico Nacional](https://snia.mop.gob.cl/sad/REH5796v1.pdf)”en ella proyectan como será el clima el año 2030, obteniendo la conclusión que, en el peor de los casos, debido al cambio climático, se presentaría un aumento de 3°C y una disminución de precipitaciones del 50% en promedio en todo el país. Esta proyección pone a Chile en el lugar 18 de 164 países, de los más afectados por el cambio climático en el mundo. En este contexto afirman que el mayor desafío que propone el estrés hídrico para Chile es en la gestión del agua.

Un reconocido ejemplo, para entender la ciencia económica de los recursos naturales es el de Ostrom (2003), el cual estudia la gestión de recursos comunes tales como ríos y bosques. Teóricamente concluye que, a través de hábitos cooperativos, las sociedades pueden preservar los recursos naturales. Ostrom señala que para la explotación de los recursos comunes es necesario establecer límites. Para ello es importante que los derechos y deberes estén regulados a través de contratos legales. Estos contratos deben supervisarse y sancionar a los que no cumplan. Para esto deben diseñarse una serie de mecanismos para resolver las diferencias de diversos tipos. También Santibáñez (2016), confirma que una mayor regularización en las normativa y nuevas exigencias como, filtros o restricciones serán necesarias para disminuir el estrés hídrico en Chile.

Otro estudio que respalda la necesidad de una mejora en regularizaciones debido a la sequía en Chile es el Estay (2021), ya que investiga sobre los beneficios de la evaluación de la relación oferta/demanda de agua en Chile, conocida a nivel internacional como índice de escasez hídrica, avalada por organizaciones internacionales. Concluyendo que hoy en día existe mucho trabajo por hacer en cuanto a la importancia de desarrollar indicadores en la materia de no tan solo los escases hídrica sino de todos los indicadores posibles relacionado al cambio climático, como una urgente modernización de la infraestructura hidráulica y mejora en la técnica del riego, con el fin de obtener un control constante en ellos. Asimismo, Macpherson y O´donnell (2015), plantean que se proyecta un aumento de la demanda de agua en Chile, debido principalmente el crecimiento de la población en zonas céntricas y de las actividades económicas desde un punto de vista de la gestión de recursos hídricos de Australia. Se observa un aumento en el consumo de agua de casi 3 veces en solo 25 años, donde la agricultura y minería explican en gran parte el incremento de la demanda. Los autores concluyen que sería indispensable el uso efectivo de tecnología y gestión de los recursos hídricos en un futuro cercano.

### 1.5.2) Mercado de Derechos del Agua

En Chile el mercado del agua se conforma por las interacciones entre vendedores y compradores de derechos de aprovechamiento de agua (DAA). Al existir un mercado de DAA los usuarios generan incentivos para realizar reasignaciones de los derechos de propiedad, ya sea por un arriendo o perpetuidad, en el caso de que el beneficio de realizar esta operación sea mayor que la utilización de estos. Distintos estudios del mercado de los derechos de agua en Chile mercado señalan que existe una disminución de los registros de derechos y un alza en la demanda de los derechos, lo cual se pueden explicar por uso intensivo de la agricultura, minería, el aumento en la demanda de los usuarios del agua, los cambios en el uso de suelo y las variaciones climáticas (Gómez, 2018).

Un claro ejemplo es el de Bauer (2018), el cual muestra que en los mercados más activos cómo Limarí y Elqui, se observa una reasignación hacia un uso, en actividades que generan mayor valor económico. Sin embargo, el autor también muestra que en muchas zonas el mercado tiene baja actividad, una alta dispersión en los precios, e irregularidades en los registros. Similarmente, Morales (2015) afirma que el mercado del agua en Chile ha sido menos activo de lo esperado. Los autores sugieren que una de las razones seria la falta de registros de propiedad de aguas en el Conservador de Bienes Raíces y el alto número de derechos no inscritos. Es por esto existen muchos estudios que buscan encontrar una medida efectiva para la gran concentración en la propiedad del recurso hídrico razón por la cual se han realizado reformas cómo la de marzo del año 2021, la cual implementó un pago de un impuesto por no uso del agua por la Ley Nº 20.017 del código de agua, con el objetivo desincentivar la perdida de DAA. Como también el estudio de Bauer (1960), el cual estudia los factores que hacen que los costos de las transacciones que los derechos de propiedad sean difíciles de definir, en donde los derechos de agua deben ser condicionales y superpuestos en lugar de simplemente privados exclusivos y transferibles. Además, concluye que las regularizaciones son más serias solo cuando se trata de usos múltiples del agua, gestión de cuencas y protección del medio ambiente.

Indicando que esta baja regularización ha ido ocasionando problemas de mediciones y sobreexplotación, empeorando a medida que el desarrollo económico ejerce cada vez más presión sobre el recurso del agua.

Es por esto que existen diversos estudios de las condiciones indispensables para obtener un mercado de derechos de aprovechamiento eficientes, como el estudio de Bauer (2009), el cual a través de un estudio de antecedentes de países que tienen un mercado de derechos de agua, concluye que el agua debe tener sentido de individualidad, es decir separado de la tierra, como también regulaciones adecuadas que aborden externalidades, perjuicios contra terceros, interés público y libre transferibilidad del derecho.

### 1.5.3) Precio de Mercado

Para entender la elasticidad precio de la oferta de agua en países que tienen un mercado de derechos de agua, se han realizado diversos estudios con diferentes métodos. Uno de los primeros estudios sobre los precios de mercado del agua, lo realizaron Booker y Young (1992), los autores estudiaron el caso del río Colorado Big Thompson en Estados Unidos, concluyendo que el precio de derechos de aprovechamiento de aguas aumentó un 300 por ciento aproximadamente entre 1961 y 1972, Aumento que estaría explicado principalmente por la gran rentabilidad del uso de agua en agricultura y minería. Otro claro ejemplo de estudios basados en el caso de Chile es, Hearne et al (1997), en este estudio los autores estiman las ganancias que produce la transferencia de derechos de agua en la región de Coquimbo. Para esto contabilizan esta ganancia como la diferencia en el valor para compradores y vendedores de DAA. Sus resultados sugieren que los mayores beneficios del modelo de mercado chileno se relacionarían a la producción agrícola.

Un año más tarde Bjornlund y McKay (1998), a través de regresiones lineales múltiples señalan que los precios de los DAA en una parte de Australia han ido aumentando en el tiempo y que ciertos actores en el mercado tienden a pagar un premio para conseguir derechos de aprovechamiento de aguas. Además, señala que se producirían descuentos por cantidad comprada en el mercado cuando se realizan transacciones con costos más elevados.

Otro estudio similar es el realizado por Lewin (2003), realizando un Análisis de eficiencia del mercado de derechos de aprovechamiento de agua en Chile, a través de estimaciones de las elasticidades de los precios la oferta de asignaciones de agua. Para obtener una conclusión consistente, también realiza un modelo teórico con un enfoque beneficio costos para obtener una asignación del agua desde el punto de vista social, como también estimaciones a través de regresiones lineales y un análisis de antecedentes. Concluyendo que para que se cumpla un mecanismo de asignación eficiente se deben cumplir características como, flexibilidad en la definición y tenencias de los derechos de aprovechamiento, seguridad en la definición, internalizar los costos de oportunidad del uso del bien, conocer y predecir los mejores usos alternativos del agua, y reflejar el valor social del recurso. Señalando también problemas en la falta de información de precios a los compradores y la gran diferencia en derechos reales a nominales, lo cual va produciendo una sobre explotación, en donde el estado debería regular estas diferencias.

A su vez Brown (2006), analiza datos de transacciones de compraventa y arriendos en Estados Unidos, a través de modelos de regresión lineal multivariadas. El autor encuentra que el índice de condiciones climáticas, (el cual a medida que va aumentando indica una mejor condición climática). Se relacionaría negativamente con los precios de arriendos de derechos de agua. Por otro lado, condiciones de sequía se relacionarían con precios de mercados más altos. Los autores muestran que, durante el periodo de estudio, los precios de los derechos de agua irían al alza. Y que los mayores compradores serían municipalidades y los vendedores serían empresas agrícolas.

De forma similar, Donna y Espin (2013), observan que la falta de liquidez en mercados de agua en España explica los retornos marginales de la producción agrícola, mostrando rendimientos decrecientes en la producción agrícola, en donde los precios alcanzan valores tan altos, que los regantes no pueden comprar el agua, aunque la valoren mucho, ya que no tienen efectivo suficiente para hacer el pago. Para arribar a sus resultados, los autores ocupan un modelo con fundamentos microeconómicos, el cuál es estimado con microdatos. A través de su modelo, los autores comparan un sistema de remates con un sistema de mercado como el chileno. Su principal resultado es que la eficiencia social relativa de un sistema de remates, versus un sistema de mercado depende del acceso al crédito, o los problemas de liquidez, que enfrentan los agricultores.

Por otro lado, Wheele et al. (2008)**,** realizan unanálisis de las estimaciones de las elasticidades de los precios de la oferta de asignaciones de agua, basado en los precios para asignaciones de agua en el río Murray en Australia entre 1997–2007. Para ello se realizando modelos de regresión lin-lin y log-log. Los modelos concluyeron que la elasticidad está fuertemente influenciada por la capacidad agrícola y la sequía. La elasticidad precio de la oferta para las asignaciones de agua también es elástica, aunque menos elástica que la demanda. A su vez la demanda de agua está positivamente relacionada con el precio y es inelástica, y parece ser más influenciados por la demanda del mes anterior, factores de sequía y estacionalidad.

A su vez, Zuo et al. (2006), plantea que el principal problema para medir la elasticidad precio de la oferta y la demanda del agua y obtener un precio promedio, son las limitaciones de datos y de endogeneidad. Para solucionarlo se realiza una estimación de la demanda de agua de riego, basada en regresiones lineales múltiples. A partir transacciones de derechos de agua en Australia. La estimación de demanda se utiliza para su principal resultado es que las elasticidades de la demanda de agua de riego serían más elásticas que las de agua residencial. Los autores también sugieren que la elasticidad oferta de derechos de agua sería más inelástica que la demanda.

Por último, se encontraron algunas diferencias en las preferencias de venta de agua para los regantes optando por no vender toda su agua.

Debido a los eventos de sequía significativa en Chile, ha crecido la necesidad de abordar los impactos que generan sobre los precios de compra de los derechos de agua y sectores productivos basado en criterios cuantitativos a fin de contar con apreciaciones objetivas sobre el tema. Para ello, Fernández et al. (1999), determina la oferta y demanda hidrológica mensual para un período estadístico de 1985-1997. En donde la demanda se asocia a la probabilidad de excedencia que ella tiene dentro del espectro de la oferta, a través de regresiones lineales múltiples, evaluando el impacto económico en cada área productiva, principalmente, agrícola, potable, minero-industrial e hidroeléctrica. En donde se utilizan las variables como comuna, centros de población, población rural y urbana superficie agrícola y número de usuarios de agua de riego. Finalmente, la evidencia empírica indica que existe una relación entre la sequía y la exportación de bienes agrícolas con los precios de mercado de lo uso de agua, como también una relación positiva en el PIB silvoagropecuario. Por otro lado, no se observó una evidencia clara del efecto de la sequía sobre la producción ni sobre el rendimiento agrícola. Esto podría significar que efectivamente la sequía no logra disminuir la producción con los datos disponibles, debido a la dificultad de aislar adecuadamente el efecto sequía de otros efectos. Por otro lado, no se pudo relacionar los precios de los derechos de agua con la sequía, lo cual se puede indicar que se suman otros efectos de los cuales la sequía no puede ser aislada.

Por otra parte, Hadjigeorgalis y Riquelme (2002), estudian los precios de los derechos de agua para el Río Cachapoal durante 2000-2010. Para esto proponen una estimación de precios hedónicos. Los autores encuentran una alta dispersión en precios de los derechos de aprovechamiento de aguas que se explicaría en parte por la heterogeneidad de los derechos y sus características particulares en cada mercado. Adicionalmente sus resultados muestran que la ubicación del punto de captación del agua sería un determinante importante de los precios. Esto explica que existe una relación decreciente en los precios y su cercanía al Mar.

# Metodología

En esta sección se describe la metodología empírica a través de la cual se busca cuantificar el efecto de la sequía en los precios de los derechos de agua en Chile.

## 2.1) Datos

El primer paso para estimar el efecto de la baja de caudales y la disponibilidad de agua en el precio de mercado de los derechos de aprovechamiento de agua es la confección de una base de datos que recoge datos de 3 fuentes principalmente.

La primera es a través del Conservadora de Bienes raíces (CBR), el cuál es el organismo del Estado encargado de los registros de transacciones de bienes raíces cuyo objeto principal es mantener la historia de la propiedad del inmueble. Por lo cual entrega información de todas las transacciones del mercado de los derechos de agua registradas en Chile. Utilizando datos desde 1980-2018 que indican la fecha de transacción del mes y año, región y la fuente que indica el nombre del rio que se realizó la transacción con el tipo de naturaleza de agua correspondiente, y el precio de venta de cada transacción.

La Segunda Base se obtuvo desde el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, el cual reúne investigadores de distintas disciplinas de las ciencias naturales y sociales que se enfocan al estudio de cómo el cambio climático impacta a los ecosistemas y a la sociedad chilena. Se obtuvieron datos de caudal de cuencas entre 1980-2018 de forma mensual, en metros cúbicos por segundo (m3/s), fuente, región, día, mes y año de la transacción.

Por último, se obtienen los datos del PIB anual de la rama de agricultura y silvicultura por región, entre el año 2003 y 2009 desde la Oficina de Estudios y Políticas agrarias (Odepa), con el fin de clasificar las regiones en dos grupos, alta o baja producción agrícola, considerando la participación en el PIB regional de esta rama, respecto al promedio nacional.

Combinando las tres bases de datos descritas anteriormente, es posible seguir las siguientes fuentes hídricas: ríos Maule, Copiapó, Choapa, Limarí, Elqui, Huasco, Maipo, Aconcagua, Loa, Quilimarí y Petorca, Cautín, La Ligua, Laja, Lluta, Longaví, Malleco, Mapocho, Putaendo, Teno, Tinguiririca, Toltén y Ñuble. De las cuáles, las siguientes fuentes hídricas se asocian a zonas agrícolas: IV Región de Coquimbo, VI Región del Gral. Bernardo O'Higgins, VII Región del Maule, IX Región de la Araucanía y X Región de Los Lagos.

La base de datos utilizada en este estudio impone las siguientes restricciones a los datos no procesados. Primero, se consideran transacciones de derechos de agua del tipo compra y venta, para evitar el sesgo que puede introducir al analizar transacciones hereditarias o transacciones de caudales pequeños debajo de 0,05 litros por segundo (Ossó, 2013)**.** Por otro lado, se mantienen sólo las transacciones en donde pueda se obtiene el precio en unidades de fomento.

La base de datos es un panel con 1818 transacciones, el cual corresponde a 21 fuentes hídricas a lo largo de 38 años (1980 – 2018).

### 2.1.1) Análisis descriptivo de las variables

En la Tabla 1 y 2 se muestra una estadística descriptiva del precio promedio medido en UF y los caudales promedio en litros por segundo, En el primer panel se agregan todas las observaciones, independiente de la fuente o del tiempo. En el segundo y tercer panel de la Tabla 1, se reportan los estadísticos, realizando un filtro en la base de datos, según intensidad agrícola de la zona. En términos comparativos, los niveles de caudales de se observa baja del promedio. A su vez en sector agrícola se observa una baja de caudales del 20%, en promedio y una baja en la mediana del 37%. En cuanto a las transacciones de derechos de agua en zonas no agrícolas son un 79% y un 72% más caros que en zonas agrícolas, a nivel de promedio y mediana respectivamente.

Tabla 1 Estadísticos principales, aplicando filtro según capacidad agrícola, sobre el precio y caudal.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Todos | | | | | | | |
|  | N | Promedio | Desv. Est. | p10 | p25 | p50 | p75 | p90 |
| Precio | 1818 | 6,4 | 29,998 | 19 | 57 | 221 | 1,273 | 10,968 |
| Caudal | 1818 | 48 | 65 | 1 | 6 | 28 | 65 | 123 |
|  | Agrícola | | | | | | | |
|  | N | Promedio | Desv. Est. | p10 | p25 | p50 | p75 | p90 |
| Precio | 884 | 2,7 | 10,187 | 16 | 46 | 133 | 428 | 2,200 |
| Caudal | 884 | 43 | 66 | 1 | 4 | 22 | 54 | 100 |
|  | No Agrícola | | | | | | | |
|  | N | Promedio | Desv. Est. | p10 | p25 | p50 | p75 | p90 |
| Precio | 934 | 10,5 | 40,247 | 24 | 85 | 474 | 3,595 | 23,488 |
| Caudal | 934 | 54 | 64 | 1 | 7 | 35 | 73 | 135 |

Por otro lado, en la tabla número 2, se realiza un filtro en la base de datos, con el fin de realizar una comparación estadística de las transacciones antes y después del año 2010, lo que marca en Chile el inicio de la sequía. Cómo se puede observar, la Tabla 2, se observa una caída en la cantidad promedio de los caudales y precios de los derechos transados, tanto a nivel de promedios o de la mediana de los precios. Donde se observa una baja del 46% en promedio y una baja de la mediana de 62,5%, en la cantidad promedio de caudales en tracciones de DAA, después de la sequía. A su vez, se observa una caída porcentual del precio promedio (mediana) de los derechos de agua transados después de la sequía es de un 65% en la mediana de los precios y con una caída del 90% en el promedio.

Tabla 2 Estadísticos principales, aplicando filtro según capacidad agrícola, sobre el precio y caudal.



Para ilustrar la importancia empírica de utilizar el año 2010 cómo inicio oficial del estado de sequía, en el Grafico 3, se muestra la tendencia bajista a nivel de volumen de caudal promedio para las fuentes hídricas que están en nuestra muestra, como también una baja en los precios de forma general.

Gráfico 3 Niveles de caudales durante 1980 a 201

Por otro lado, en la tabla 3, se observa, que se registran levemente más transacciones de derechos de agua en zonas con baja capacidad agrícola que en zonas de alta capacidad, donde un 49% de las transacciones se realizan solo en zonas de alta agricultura. A su vez se observa que, un 55% de la cantidad de derechos reasignados se realizaron en la región metropolitana, indicando claramente el gran uso de derechos en esas zonas, en comparación a otras regiones.

Tabla 3 Porcentaje de transacciones con filtros



En la tabla número 4, se realiza una comparación estadística de la suma de los precios promedio de cada transacción en regiones que presenta estrés hídrico o no, se puede observar que el total de precios de las transacciones en ríos que presentan estrés hídrico es 4,7 veces más, que en ríos que no presentan. Además, se observa que región que más se realizaron ventas de derechos en ríos que presenta estrés hídrico, es la región metropolitana, por el contrario, la región que presenta menos total de transacciones es Maule con un total de 11.583 uf. Por otro lado, la región con mayor suma de precios de ríos que no presentan estrés hídrico es la región de O’Higgins, y la que menos es la región de Arica con tan solo un total de 9.089 uf.



*Tabla 4 Suma de precios por región, en fuentes hídricas que presentan o no estrés hídrico.*

## 2.2) Método Diferencia en Diferencias

Para estimar el efecto de la sequía en el precio de mercado de los DAA, se utiliza, el método econométrico diferencia en diferencia (DiD), el cual se basa en estimar el impacto/efecto causal de un programa sobre una variable objetivo, a través de dos diferencias. En este estudio el programa o evento para medir el efecto a través de la variación temporal corresponde a la sequía establecida en el año 2010 por el centro de la ciencia del clima y resiliencia, y como variable objetivo, el precio de los derechos de agua en Chile. Donde, el estimador DID presenta la diferencia entre la pre y post sequía, dentro de grupos de tratamiento y control. El grupo de tratamiento corresponderá a los ríos o fuentes hídricas que se hayan designado con estrés hídrico según la dirección general de aguas, los cuales serán los río Maule, Copiapó, Choapa, Limarí, Elqui, Huasco, Maipo, Aconcagua, Loa, Quilimarí y Petorca. A su vez como grupo de control, corresponde a los ríos que no presentan estrés hídrico, los cuales son los observado en el anexo 3.

Para obtener el efecto exclusivo de la sequía, y no considerar otras variables que pueden afectar en el precio de los DAA, se analiza la diferencia de nuestra variable objetivo, como grupo de tratamiento después de la sequía, menos el grupo de tratamiento antes de la sequía, de forma similar se analiza con la variable objetivo, la diferencia entre el grupo de control, antes y después, del programa. Obteniendo dos diferencias, para luego obtener el contrafactual. Se puede observar la ecuación número 1 que representa, las diferencias para obtener el contrafactual, a continuación:

(1)

En donde: - Y: Precio de mercado de los DAA

- T: Grupo de ríos que presentan estrés hídrico.

-C: Grupo de ríos que no presentan estrés hídrico.

-A: Antes de la sequía establecida en 2010.

-D: Después de la sequía establecida en 2010.

Finalmente se establecen dos variales binarias para utilizarlas en el modelo, en conjunto a variables de control explicadas en la siguiente sección. Las variables se definen como:

Por lo tanto, a partir de que estas dos variables podemos construir un modelo econométrico, donde se incluye las dos variables binarias, y su interacción, en donde además se debe controlar por otras variables explicativas como y , que se definirán en la siguiente sección. La forma general del modelo econométrico es:

(2)

## 2.3) Estrategia de identificación empírica

El estudio se realiza analizando un panel de transacciones de derechos de agua asociados a distintas fuentes hídricas a lo largo de Chile. Cada transacción entrega información sobre el precio en unidades de fomento (UF) por litros por segundo () para transacción observada en tiempo y relacionada a la fuente hídrica . El estudio se límite a fuentes hídricas superficiales debido a que en el caso de los ríos es posible obtener medidas históricas de caudal, lo cual permite controlar por la oferta de agua disponible para cada fuente hídrica (). La muestra se restringe a transacciones de compra y venta de más de 0,05 litros por segundo. Esta decisión se basa en evitar sesgos en la valoración en el caso de transacciones hereditarias y transacciones de caudales pequeños, en donde se realiza basándose en un punto de la metodología VAC (Ossó, 2013).

Dado que el foco de este estudio es la identificación del efecto causal de un estado de sequía en los precios de los derechos de agua. Este estudio se aprovecha del comienzo de la sequía en Chile el año 2010, y la designación de estrés hídrico de la DGA (2019), para plantear un modelo econométrico de diferencias en diferencias (DiD). En este caso, la variable que mide el comienzo de la intervención corresponde una variable binaria () que toma un valor de uno si la transacción observada en tiempo tiene fecha de 2010 o posterior, y cero en otro caso. Por otro lado, el grupo de tratamiento y de control se definen a partir de la variable binaria , construida a partir de la designación en stress hídrico de la DGA, tal que toman un valor de uno las transacciones asociadas a 23 ríos, (ver anexo 3), De manera de controlar por cambios en los precios relacionados a movimientos cíclicos o estacionales del caudal, antes y después del comienzo de la sequía, y por factores estructurales relacionados a las fuentes hídricas declaradas en estrés, se incluyen cómo variables de control las interacciones entre caudal (), sequía () y stress (). Matemáticamente, el modelo de regresión propuesto se puede escribir cómo sigue:

(3)

Donde y son el logaritmo natural del precio del derecho de agua y del caudal, respectivamente. Esta transformación tiene sólo cómo fin facilitar la interpretación de los resultados. Para controlar por otros efectos sistemáticos que puedan afectar la valoración de todos los derechos de agua año a año es posible incluir efectos fijos por año (), y para controlar por características específicas de cada fuente hídrica que sean constantes en el tiempo se incluyen ().

La atención de este estudio se concentra en el coeficiente de la Ecuación 3, el cuál medirá el cambio porcentual en los precios de los derechos de agua para un río promedio que después de la sequía cae en stress hídrico. De manera de profundizar en los mecanismos económicos que podrían explicar los resultados encontrados. Se estima la misma regresión presentada en la Ecuación 4 considerando submuestras basadas en alta y baja intensidad agrícola de la zona en la que se encuentra cada fuente hídrica estudiada. Para esto se utilizan los datos del producto interno bruto (PIB) anual para el sector silvoagropecuario por región entre el año 2003 y 2009 que pueden obtenidos de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Específicamente, se construye una variable binaria () que identifica con un uno si la transacción del derecho de agua se asocia a una zona intensa en actividad agrícola, es decir, con una participación de la agricultura en el PIB regional mayor al promedio, y cero en otro caso.

Dada la importancia del sector agrícola en la demanda por recursos hídricos, adicionalmente estima la siguiente variación de la Ecuación 4 para estudiar específicamente los efectos de la sequía en las zonas agrícolas declaradas en stress:

(4)

Por último, de manera de interpretar de mejor manera los resultados se estudia cómo variables observables respecto a las fuentes hídricas se relacionan con la clasificación de stress hídrica realizada por la DGA. Para cuantificar la importancia en la probabilidad de ser considerado en stress hídrico, se estima el siguiente modelo de probabilidad lineal, así como también su versión Probit, con en el fin de obtener el signo del efecto, y luego cuantificarlo con la versión Ols observada en la sección de resultados:

(5)

# 3)Resultados y discusión

En la tabla 5, se presentan los resultados del modelo de regresión documentado en la Ecuación 3 de la sección de metodología, y de otras 2 especificaciones con el fin de obtener resultados consistentes en su interpretación del efecto en los precios de los derechos de agua según intensidad de la economía agrícola regional, en donde también se observa el error estándar de cada estimación entre paréntesis, y en donde se observará su nivel de significancia, a través de los asteriscos al lado de cada estimación, como también un indicador en la parte final de la tabla, que indica si se utilizan efectos fijos o no, y la cantidad de observaciones de la muestra (N).

En las especificaciones (1), (2) y (3), se estima el efecto de la sequía en el precio de los derechos de agua, medido en UF por litro o metro por segundo, distinguiendo entre zonas menos y más intensas en agricultura, medida por la importancia en la participación en el PIB de la región del sector silvoagropecuario. Los principales resultados del análisis presentado en Tabla 5 sugieren que la sequía afectaría negativa y sin significancia a los precios de los derechos de agua de zonas no agrícolas. A su vez que en zonas intensivas en agricultura la sequía pareciera no tener efecto en los precios de los derechos. Por otro lado, los resultados sugieren que la designación de la DGA cómo zona de stress está relacionada con precios menores, en promedio, lo que sugiere que los precios de mercado ya castigaban los precios de los derechos en zonas que se encuentran en stress hídrico antes de que comenzara la sequía de forma oficial en Chile. La concentración del efecto negativo en zonas no agrícolas sugiere que la sequía que comienza en 2010 y las zonas que presentan estrés hídrico podría haber tenido un efecto en derechos de agua debido al atractivo inmobiliario esperado de estas zonas, turístico o industrial no agrícola.

Tabla 5. Efecto en los precios de los derechos de agua según intensidad de la economía agrícola regional

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | No Agrícola | Agrícola | Todos |
|  | (1) | (2) | (3) |
| Log (Caudal) | -0.036 | -0.236\* | -0.027 |
|  | (0.073) | (0.135) | (0.063) |
| Sequia | -0.049 | -0.244 | -0.129 |
|  | (0.339) | (0.677) | (0.296) |
| Stress | 0.393 | -1.862\*\*\* | -0.778\*\* |
|  | (0.445) | (0.594) | (0.335) |
| Log (Caudal) x Sequia | 0.022 | -0.076 | -0.017 |
|  | (0.098) | (0.185) | (0.082) |
| Log (Caudal) x Stress | 0.699\*\*\* | 0.119 | 0.794\*\*\* |
|  | (0.116) | (0.174) | (0.090) |
| Stress x Sequia | -0.628 | 0.617 | 0.394 |
|  | (0.544) | (0.753) | (0.406) |
| Log (Caudal) x Sequia x Stress | -0.570\*\*\* | -0.145 | -0.816\*\*\* |
|  | (0.152) | (0.226) | (0.117) |
| E.F | NO | NO | NO |
| N | 934 | 884 | 1,818 |
|  | 0.323 | 0.084 | 0.209 |
| Adj. R2 | 0.318 | 0.077 | 0.206 |

En la Tabla 6 se profundiza en el análisis de cómo la sequía afecta los precios de los derechos de agua. Se realizan 3 principales, en donde se presentan las estimaciones de las variables de control en un principio, y las variables de interacción al final. En donde se observará su nivel de significancia, a través de los asteriscos al lado de cada estimación. Enfocándose principalmente en significancias del 99%. En la especificación (4), se observa con la estimación de la interacción último coeficiente de interacción de la variable Log (Caudal) x Sequía x estrés, con un coeficiente negativo de 0,3, que la sequía, en promedio, afecta negativamente los precios de los derechos de agua. Este efecto se mantiene, cuándo se controla por factores invariantes en el tiempo asociados a cada zona, explicada por las variables sequía y estrés en la especificación (5) (en un 95% de significancia). Sin embargo, este resultado sugiere que la estimación presentada, tiende a sobreestimar el efecto, debido a que en la especificación número (6), se agrega efectos fijos, y se observa un efecto positivo en el precio en la interacción de las variables Sequía x estrés.

Por otro lado, en la especificación (5) de la tabla 6, se investiga específicamente el efecto en precios en los derechos de agua de zonas agrícolas que presenten estrés hídrico establecido por la DGA, después del mega sequia del año 2010. A su vez cómo se puede observar en la especificación (6), cuando se agregan efectos fijos, se sigue observando un impacto positivo, en los precios de DAA, pero de una forma más baja.

Utilizando los datos obtenidos en la sección de análisis descriptivo y la estimación del efecto de la sequía en zonas de alta agricultura, Se encuentra una caída de 68%-73% del valor de los derechos de zonas no agrícolas, que corresponde a una caída de 24 o 26 UF por litro por segundo. En zonas agrícolas se estima un alza de 321% lo que es equivalente a un incremento de 45 UFs por litro por segundo nominal.

Tabla 6 Efecto de la sequía, a través de modelos con y sin efectos fijos.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Todos | | |
|  | (4) | (5) | (6) |
| Agrícola |  | 0.538\*\*\* |  |
|  |  | (0.196) |  |
| Log (Caudal) | -0.019 |  |  |
|  | (0.044) |  |  |
| Sequía | 0.143 | 0.035 | 0.01 |
|  | (0.165) | (0.230) | (0.214) |
| Stress | 0.133 | 3.013\*\* |  |
|  | (0.284) | (0.177) |  |
| Agrícola x Sequía |  | -0.446 | 0.336 |
|  |  | (0.297) | (0.279) |
| Agrícola x Stress |  | -4.239\*\* |  |
|  |  | (0.308) |  |
| Log (Caudal) x Sequía | -0.026 |  |  |
|  | (0.044) |  |  |
| Log (Caudal) x Stress | 0.159\*\* |  |  |
|  | (0.067) |  |  |
| Sequía x Stress | -0.243 | -3.009\*\* | 1.66\*\*\* |
|  | (0.208) | (0.306) | (0.301) |
| Log (Caudal) x Sequía x Stress | -0.372\*\*\* |  |  |
|  | (0.060) |  |  |
| Agrícola x Sequía x Stress |  | 3.627\*\*\* | 1.437\*\*\* |
|  |  | (0.440) | (0.421) |
| E.F | SI | NO | SI |
| N | 1,818 | 1,818 | 1,818 |
| R2 | 0.135 | 0.252 | 0.035 |
| Adj. R2 | 0.132 | 0.249 | 0.011 |

Finalmente, en la tabla 7, se estudian los determinantes empíricos que estarían detrás de la clasificación de estrés hídrico realizada por la DGA, especialmente se busca observar que probabilidad existe en zonas de alta y baja agricultura. Por lo tanto, la variable dependiente es la variable estrés, la cual busca la identificación de zonas afectadas por la sequía. En donde en la especificación (7) se busca principalmente obtener el signo de la probabilidad, de ser consideradas una zona en particular en estrés hídrico, y luego 2 modelos Ols para obtener cuantitativamente la probabilidad.

Es por esto que, en especificación (7) podemos observar que la probabilidad de que una zona sea considerada en estrés se relaciona positivamente con la intensidad agrícola de la zona geográfica, el precio de sus derechos de agua, y negativamente con la interacción entre intensidad agrícola y precios de los derechos (los efectos marginales se observan en el anexo 4). Cuantitativamente primero se estima desde la especificación (8) que las zonas agrícolas tendrían un 46% más de probabilidad de ser consideradas en estrés hídrico (con un 99% de confianza). Además, entre las zonas agrícolas, las que tienen derechos de agua una desviación estándar mayor observa una probabilidad de 33 puntos porcentuales menor. Una interpretación de estos resultados sería que la DGA considera la intensidad de la demanda por agua al momento de realizar esta designación. Al mismo tiempo que las empresas agrícolas tienen a ubicarse en lugares con menor riesgo hídrico. En la especificación (9), en la interacción entre , podemos corroborar esta idea, dado que derechos de agua asociados a zonas agrícolas y de alto caudal tendrían una menor probabilidad de ser declarados en estrés.

Tabla 7 Determinante empírico de la categoría de estrés hídrico, a través de modelo probit y Ols.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | | |
|  | Probit | OLS | OLS |
|  | (7) | (8) | (9) |
| Agrícola | 1.327\*\*\* | 0.464\*\*\* | 0.373\*\*\* |
|  | (0.166) | (0.057) | (0.037) |
| Log (Precio) | 0.189\*\*\* | 0.067\*\*\* |  |
|  | (0.018) | (0.006) |  |
| Agrícola x Log (Precio) | -0.329\*\* | -0.115\*\* |  |
|  | (0.029) | (0.010) |  |
| Log (Caudal) |  |  | 0.037\*\*\* |
|  |  |  | (0.011) |
| Agrícola x Log (Caudal) |  |  | -0.208\*\*\* |
|  |  |  | (0.011) |
| E.F | NO | NO | NO |
| N | 1,818 | 1,818 | 1,818 |
| Pseudo / R2 |  | 0.129 | 0.213 |
| Adj. R2 |  | 0.128 | 0.212 |

# 3)Conclusiones

Este estudio se aprovecha de la ocurrencia de la mega sequía declarada en Chile desde 2010, que afecta heterogéneamente a distintas zonas del país, para aplicar el popular método econométrico de diferencias en diferencias (DiD) para estudiar cómo la escasez de agua afecta los precios del agua. Este estudio contribuye a la literatura que estudia los efectos del cambio climático en la economía.

El objetivo es estimar cuantitativamente el efecto de la sequía en el precio de mercado de un derecho de agua (DAA). Los resultados de este estudio sugieren que los DAA, en promedio, tienen una caída de 68%-73% del valor de los derechos de zonas no agrícolas, que corresponde a una caída de 24 o 26 UF por litro por segundo. En zonas agrícolas se estima un alza de 321% lo que es equivalente a un incremento de 45 UFs por litro por segundo nominal.

El principal resultado de este estudio, y que contradice la hipótesis inicial, se puede explicar por la existencia de efectos heterogéneos a nivel de industrias. Las zonas más afectadas por la sequía, medido a través de la designación de la Dirección General de Aguas cómo zona en estrés hídrico, provoca un alza o baja en el valor de mercado después del 2010 sí el DAA está asociado a una zonas agrícola o no agrícola. Este resultado es consistente con la idea de que en zonas que continuarán siendo agrícolas, la menor oferta de agua hace que en el margen las empresas requieran demandar una mayor cantidad de derechos para suplir sus necesidades productivas de agua, lo que causaría un alza en el precio. Por otro lado, en zonas no agrícolas la sequía provoca pérdidas en su atractivo inmobiliario, turístico o industrial no agrícola, lo que es consistente con una menor valoración del DAA transado en el mercado.

Finalmente, para complementar la comprensión del efecto de la sequía en la economía, por ejemplo, a través de decisiones gubernamentales cómo la designación de estrés hídrico de una zona geográfica. Las estimaciones sugieren que en promedio las zonas con derechos de agua más caros tienen mayor probabilidad de ser declarados en estrés. Sin embargo, no son las zonas intensivas en agricultura, con derechos más caros, y con ríos de bajo caudal, los más propensos a ser declarados en estrés.

# Referencias

Hadjigeorgalis, E., & Riquelme, C. (2002). Análisis de los Precios de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas en el Río Cachapoal. *Cien. Inv. Agr*, 91-100.

Aqua terra ingenieros LTDA. (2017). *ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ACTUAL, PROYECCIONES FUTURAS Y CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE.* Santiago: GOBIERNO DE CHILE.

Bauer, C. (1960). *Against the current: Privatizacion, water markets, and the state in Chile.* Berkeley: LLC. doi:10.1007/978

Bauer, C. (2009). Dams and Markets: Rivers and Electrical Power in Chile. *Natural Resources Journal* , 583-651.

Bauer, C. (2018). *Siren Song: Chilean Water Law as a Model for International Reform.* Resources for the Future: Resources for the Future.

BBC Mundo. (11 de octubre de 2019). *bbc*. Obtenido de https://www.bbc.com/

Bjornlund, H., & McKay, J. (Junio de 1998). Factors affecting water prices in a rural water market: A South Australian experience. *Water resources research, 34*, 1563-1570. Obtenido de www.agupubs.onlinelibrary.wiley.com

Booker, J., & Young, R. (1992). Modeling intrastate and interstate markerts for Colorado river water resources. *Journnal of environmental economics anda management*, 66-87.

Brown, T. (2006). Trends in water market activity and price in the western United States. *Water Resources, 42*. doi:0.1029/2005WR004180

Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia. (Noviembre de 2015). *CR2.* CR2. Obtenido de www.cr2.cl

Centro nacional de salud ambiental. (26 de julio de 2021). *Las sequias y su salud*. Obtenido de www.cdc.gov

DGA. (2017). *Actualización del balance hidrico nacional.* Santiago: Gobierno de Chile. Obtenido de www.snia.mop.gob.cl/

DGA. (19 de Enero de 2022). *dga.mop*. Obtenido de www.dga.mop.gob.cl

Dirección general de aguas. (2017). *Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile.* Santiago: gobienro de Chile.

Direccion General de Aguas. (2019). *Balance de Gestión Integral.* Santiago: Gobierno de Chile. Obtenido de dga.mop.gob.cl

Donna, J., & Espin, J. (2013). *The illiquidity of water markets.* Evanston: CSIO Working Paper.

Estay, P. (12 de Abril de 2021). *Biblioteca del congreso nacional de Chile.* Obtenido de www.bcn.cl

Fernández et al, B. (1999). *Estimación del impacto económico asociado a sequías hidrológicas.* Santiago: MOP. Obtenido de www.snia.mop.gob.cl

Gómez, E. B. (13 de abril de 2018). *Mercado del agua en Chile e inscripción y transacciones de los derechos de aprovechamiento de aguas.* Obtenido de Camara de diputadas y diputados: https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=130134&prmTIPO=DOCUMENTOCOMISION

Hearne et al, R. (1997). The economic and financial gais from water markets in Chile. *Agricultural economics*, 187-199.

Jimenez, S. (2014). *La Gestión del Agua en Chile.* Santiago: Libertad y desarrollo.

La tribuna. (05 de Noviembre de 2015). *La tribuna*. Obtenido de www.latribuna.cl

Lewin, P. (2003). *Análisis de la Eficiencia del Mercado de Derechos.* Santiago. Obtenido de http://www.tinguiririca.cl/

Macpherson, E., & O´donnell, E. (2015). Desafíos para la gestión ambiental del agua en Chile: perspectiva australiana. *Revista de Derecho Administrativo Económico*, 171-202.

Ministerio de obras publicas. (2020). *Mesa nacional del agua.* Obtenido de www.mop.cl

Morales, B. (2015). *La naturaleza pública del agua en el mercado.* Santiago. Obtenido de http://bcn.cl/24i4x

Ossó, R. Q. (2013). *Mercados de derechos de agua y valor del agua cruda: análisis en la primera seccion del Rio maipo.* Tesis Magister, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE , Santiago.

Ostrom, E. (2003). Water rights in the commons . *Water Resources IMPACT*, 9-12.

Pnuma. (4 de Abril de 2022). *UNEP*. Obtenido de https://www.unep.org

Rojas M et al. (2019). *Evidencia científica y cambio climático en Chile:Resumen para tomadores de decisiones.* Santiago: Ministerio de Ciencia, Tecnología,.

Sancho, A., & Serrano, G. (2004). *Econometria de Econometria de económicas.* Valencia: Universidad de Valencia.

Santibáñez Quezada, F. (28 de Diciembre de 2016). El cambio climático y los recursos hídricos de Chile. *Agricultura Chilena*, 147-178. Obtenido de www.odepa.gob.cl

Sarabia et al. (2020). *“Desafíos hídricos en Chile y recomendaciones para el cumplimiento del ODS 6 en América Latina y el Caribe”.* Santiago: serie Recursos Naturales y Desarrollo.

The world Bank. (26 de mayo de 2022). *The world Bank*. Obtenido de www.datacatalog.worldbank.org

Wheele et al, S. (2008). Price elasticity of water allocations demand in the goulburn-Murrai irrigation district. *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 37-55. doi:doi: 10.1111/j.1467

Willem, R., & Rutger, t. (6 de agosto de 2019). *Instituto Mundial de Recursos*. Obtenido de www.wri.org

WWF. (2005). *Los mercados de aguas y la conservación del medio ambiente.* Madrid: Living planet.

Zuo et al, A. (2006). Measuring price elasticities of demand and supply of water entitlements based on stated and revealed preference data. . *American Journal of Agricultural Economics*, 314.

# Anexo 1

Serie temporal de población en Chile

Gráfico, Gráfico de líneas

Descripción generada automáticamente

# Anexo 2

Serie Producto interno bruto

Gráfico, Gráfico de líneas

Descripción generada automáticamente

# Anexo 3

Fuentes que presentan y no presentan estrés

|  |  |
| --- | --- |
| **fuente** | **estrés** |
| RIO COPIAPO | 1 |
| RIO HUASCO | 1 |
| RIO LIMARI | 1 |
| RIO CHOAPA | 1 |
| RIO ELQUI | 1 |
| RIO MAIPO\_RM | 1 |
| RIO PUTAENDO | 0 |
| RIO MAIPO\_V | 1 |
| RIO ACONCAGUA | 1 |
| RIO PETORCA | 1 |
| RIO LA LIGUA | 0 |
| RIO CACHAPOAL | 0 |
| RIO TINGUIRIRICA | 0 |
| RIO LLUTA | 0 |
| RIO LAUCA | 0 |
| RIO LONGAVI | 0 |
| RIO TENO | 0 |
| RIO MAULE | 1 |
| RIO ÑUBLE | 0 |
| RIO LAJA | 0 |
| RIO LAJA | 0 |
| RIO CAUTIN | 0 |
| RIO MALLECO | 0 |
| RIO TOLTEN | 0 |

# Anexo 4

Efectos Marginales

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Average marginal effects** | **Term** | **Effect** | **Std. Error** |
| 1 | alta\_agricultura | 0.47247 | 0.056073 |
| 2 | log\_precio\_uf\_caudal | 0.06724 | 0.005635 |
| 3 | alta\_agricultura\_x\_log\_precio\_uf\_caudal | -0.11699 | 0.009089 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **z value** | **Pr(>|z|)** | **2.50%** | **97.50%** |
| 8.426 | < 0.000000000000000222 | 0.3626 | 0.5823 |
| 11.933 | < 0.000000000000000222 | 0.0562 | 0.07829 |
| -12.872 | < 0.000000000000000222 | -0.1348 | -0.09918 |