

PRESIÓN EN EL CONSUMO HÍDRICO POR LA EXPANSIÓN DE CULTIVOS FRUTÍCOLAS EN MELIPILLA, REGIÓN METROPOLITANA DE CHILE

PRESSURE ON WATER CONSUMPTION BY THE EXPANSION OF FRUIT CROPS IN MELIPILLA, METROPOLITAN REGION OF CHILE

Sr. Marco A. Peña¹ y Sr. Benjamín Mallea¹

RESUMEN

Este estudio investigó la expansión de la superficie de cinco especies de cultivos frutícolas entre 2004 y 2020 y la magnitud de su consumo hídrico, para tres comunas de la Provincia de Melipilla, Región Metropolitana de Chile. La información estadística de los cultivos fue obtenida de los catastros frutícolas de la Región y su información espacial del SIT (Sistema de Información Territorial) Rural, en tanto que diversas fuentes de información secundaria fueron utilizadas para aproximar los requerimientos hídricos de cada especie de interés. Los resultados detallan la cartografía de expansión y aumento en el consumo hídrico de las especies en las fechas de interés, lo que en un contexto de megasequía persistente desde el año 2010, trasunta en una fuerte correlación inversa entre consumo y oferta hídrica en la cuenca del Río Maipo. Por otro lado, la magnitud de esos consumos hídricos representa una importante proporción de los usos del agua dentro de la cuenca del Río Maipo, sobrepasando el conjunto de los usos de agua potable rural, forestal, pecuario y minero, y abarcando el 22 % del consumo de agua potable urbana de la Región Metropolitana. Al estrecharse la relación entre disponibilidad y déficit de agua, es palpable la ausencia de una gestión hídrica sostenible, que pueda garantizar la seguridad hídrica dentro de la cuenca más poblada del país.

Palabras clave: Sequía meteorológica, expansión frutícola, consumo hídrico agrícola, presión hídrica, seguridad hídrica.

ABSTRACT

This study investigated the expansion of the surface of five fruit crop species between 2004 and 2020 and the magnitude of their water consumption, for three communes in the Province of Melipilla, Metropolitan Region of Chile. The statistical information about the crops was obtained from the fruit crop cadasters of the Region, and their spatial information was taken from the Rural Territorial Information System (SIT), while various sources of secondary information were used to approximate the water requirements of each species of interest. The results detail the cartography of expansion and increase in water consumption of the species on the dates of interest, which, in a context of mega-drought persisting since 2010, translates into a strong inverse correlation between consumption and water supply in the lower basin of the Maipo River. On the other hand, the magnitude of these water consumptions represents a significant proportion of water uses within the Maipo River basin, surpassing the combined uses of rural drinking water, forestry, livestock, and mining, and encompassing 22 % of urban drinking water consumption in the Metropolitan Region. As the relationship between availability and water deficit narrows, the absence of sustainable water management that could ensure water security within the country's most populous basin becomes palpable.

Keywords: Meteorological drought, fruit expansion, agricultural water consumption, water pressure, water security.

1 Universidad Alberto Hurtado

INTRODUCCIÓN

La agricultura chilena se concentra principalmente en su zona central; favorecida por un clima templado y la presencia de valles secanos (ODEPA, 2017). Dentro de esta macrozona, la Región Metropolitana (RM) se caracteriza por una alta prevalencia de cultivos vitivinícolas, hortícolas y frutícolas. Estos últimos, pasaron de cubrir 43 mil ha en 2004 (primer año de confección del catastro frutícola de la RM), a más de 54 mil en 2020 (i.e., un aumento del 25,28 %), abarcando el 15,9 % de la superficie total de cultivos frutícolas del país. Paralelamente, la agricultura es la actividad que más consume agua consuntiva (i.e., sin retorno a los cauces) en la cuenca del Río Maipo, principal afluente de la RM, acaparando para los años 2020-21 el 68,83 % de su disponibilidad (seguida de agua potable: 27,78 %, minería: 1,96 %, industria: 1,34 % y ganadería: 0,06 %) (CNR, 2022).

Durante el siglo XX, la RM evidenció significativos cambios en sus suelos de uso agrícola, siendo muchos de estos absorbidos por la expansión urbana (Rivas et al. 2013). En efecto, según Schultz et al. (2010), entre 1975 y 2008, la superficie total cultivada de las Regiones Metropolitana, Valparaíso, y O'Higgins, pasó de 14,5 a 21 %. En la RM en particular, los suelos agrícolas fueron relegados a terrenos de laderas, desplazando con ello, a la vegetación nativa de tipo esclerófila preexistente (Tesser, 2013). Más aún, entre 1987 y 2020, la Corporación Nacional Forestal (CONAF) autorizó la tala de 33 mil ha de cobertura vegetal nativa en la RM, a través de planes de manejo de restitución de terrenos agrícolas, con el fin de suplir superficie agrícola (Bazán, 2021).

La persistencia del fenómeno La Niña en las costas del país, ha ocasionado una megasequía que afecta a su zona central desde 2010, tornando frecuentes eventos climáticos extremos como olas de calor, que propician a su vez la ocurrencia de incendios forestales (Becerra, 2019; Garreaud et al., 2019). Los promedios históricos (PHs) de precipitaciones, generalmente estudiados en treintenos, han disminuido consistentemente, aquel comprendido entre 1991 y 2017, que inscribe a la mentada megasequía. Esto ha repercutido en la acumulación hídrica de la

RM, que en 2020 alcanzaba tan solo el ~ 20 % de su almacenamiento histórico de nieve. Asimismo, el embalse El Yeso, principal reservorio de agua potable de la Región, se encontraba 33 % bajo su PH en ese mismo año (Crocco, 2021). Por otra parte, desde inicios de la megasequía, el caudal del Río Maipo, de régimen mixto, ha disminuido, con el progresivo aumento de la altura de la isoterma cero, propiciando la elevación de la línea de nieve y el derretimiento de glaciares en las cabeceras de su cuenca (Becerra, 2019; Mardones, 2019).

En Chile, existen numerosos conflictos vinculados con la expansión de cultivos frutícolas y su subsecuente presión sobre el recurso hídrico, principalmente aquellos de palto, que, debido a su relativamente alto consumo de agua, extensión y densidad, generan problemáticas de abastecimiento hídrico (Páñez-Pinto et al., 2017). Como ejemplo, en la cuenca del río Choapa, Región de Coquimbo, la superficie plantada de paltos se duplicó entre 2005 y 2011, generando una escasez hídrica que secó el río y afectó a la agricultura de subsistencia (GORE Coquimbo, 2021). En el caso de la Provincia de Petorca, Región de Valparaíso, durante la década anterior, las plantaciones de palto interrumpieron los sistemas de agua potable rural, obligando abastecer a su población mediante camiones aljibes (Mayorga, 2021). En la Comuna de Las Cabras, Región de O'Higgins, la apertura de pozos para el riego de nuevas plantaciones de palto socavó su abastecimiento de agua para consumo humano. En Pichidegua, Región de O'Higgins, además de plantaciones de palto, existen numerosas plantaciones de cítricos, ambas acentuadas desde 2015, creando conflictos de disponibilidad de agua para riego de pequeños agricultores (Carrere, 2020).

Los problemas anteriormente referidos se agudizan ante la seguridad hídrica, una temática emergente desde los años 90, la cual busca garantizar el acceso sostenible de todos los usos que tenga el recurso hídrico, ya sean domésticos o de producción, considerando los riesgos aceptables, es decir sin afectar el componente económico y social que conlleve la priorización de los usos (Peña, 2016). La seguridad hídrica incluye costos y beneficios resultantes de la acción o inacción frente al cambio climático, siendo la

agricultura un rubro sensible por su vínculo con el medio físico (Meza, 2017). Como señalan Sadoff y Müller (2010), es necesaria la inversión en seguridad hídrica para la mayor resiliencia ante el cambio climático y su aprovechamiento productivo, disminuyendo el poder destructivo del agua (inundaciones). Lo anterior, es posible de realizar mediante una gestión integrada de recursos hídricos (GIRH), la cual define y maneja prioridades para el contexto de un determinado país.

Consecuentemente, una ineficiente GIRH propicia presión hídrica, lo que para la zona central de Chile significa que la diferencia entre la demanda y la disponibilidad de agua a nivel de cuencas oscile entre el límite de reposición y el déficit. En efecto, entre noviembre de 2020 y marzo de 2021, la cuenca del Río Maipo presentó un déficit de 317 millones de m³, valor que resulta ser alto en relación con la capacidad máxima del embalse El Yeso; de 250 millones de m³ (CNR, 2022). Parte de ese déficit fue cubierto con aguas subterráneas, otra porción mediante regulación y redistribución mediante infraestructura (en embalses y canales) y una última, con el retorno de agua desde los canales al río.

La Provincia de Melipilla, ubicada en la RM, es un caso emblemático de la expansión reciente de cultivos agrícolas y en especial frutícola, siendo la que posee la mayor superficie de dicho uso (ODEPA, 2007). La Provincia también presenta las mayores cifras de superficie frutícola de la Región, alcanzando en 2020 el 45 % del total de este rubro. Los catastros frutícolas oficiales del 2004 al 2020, evidencian que la proliferación de cultivos frutales a nivel Provincial ha continuado en un contexto de megasequía, pasando de 16 706 ha en 2010 a 24 622 ha en 2020, es decir un aumento del 47,38 %. Entre 2004 y 2020, la Provincia de Melipilla albergaba 8 de las 11 mil ha del crecimiento Regional de este rubro (ODEPA, 2020)

El presente estudio evaluó el patrón espaciotemporal de la presión en el consumo hídrico producido por la expansión reciente de cultivos frutícolas en la Provincia de Melipilla, RM, Chile, bajo un contexto de escasez hídrica propiciada por una megasequía, que amenaza la seguridad hídrica de la Región. Para esto, se construyó la trayectoria

espaciotemporal de la superficie de los principales cultivos frutícolas del área de estudio antes y durante la megasequía: 2004, 2014 y 2020, calculando luego sus consumos hídricos, para así relacionarlos con datos de precipitaciones. Con esto, se espera que el trabajo contribuya a orientar acciones de planificación y gestión de los recursos agrícolas del área de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende las Comunas de la Provincia de Melipilla, RM de Chile, que concentran la mayor expansión agrícola reciente: San Pedro, María Pinto y Melipilla, con una superficie total de ~ 2 528 500 ha (Figura 1). Según la clasificación de Köppen-Geiger, esta corresponde a una zona de clima Mediterráneo con lluvia invernal, a excepción de una franja occidental de la Comuna de San Pedro; con clima Mediterráneo de lluvia invernal con influencia costera. El rango de precipitaciones es de ~ 396 mm anuales (Municipalidad de Melipilla, 2015) y una temperatura media anual de 12,6 °C (Municipalidad de Melipilla, 2022), siendo enero el mes más cálido; con una media de 27,8 °C, y julio el mes más frío; con 5 °C (SIT Rural, 2021).

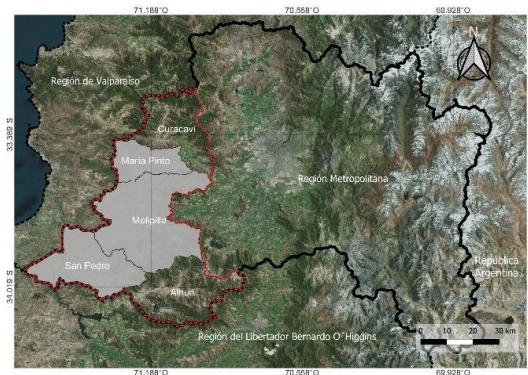


Figura 1: Área de estudio; correspondiente a las tres Comunas (destacadas en gris) que muestran la mayor expansión agrícola reciente dentro de la Provincia de Melipilla (en línea roja segmentada), perteneciente a la RM de Chile (en línea negra sólida). Fuente: Elaboración propia.

Según la clasificación de formaciones vegetacionales de Gajardo (1994), en las Comunas de María Pinto y Melipilla se presenta la formación de Bosque Esclerófilo,

en tanto que la Comuna de San Pedro inscribe Bosque Espinoso. De acuerdo con Pliscoff, (IDE, 2017) el área de estudio presenta dos pisos de Bosque Esclerófilo Mediterráneo Costero; *Lithraea caustica*-*Cryptocarya alba* (Litre-Peumo) y *Cryptocarya alba*-*Peumus boldus* (Peumo-Boldo), además del Bosque Esclerófilo Mediterráneo Andino de Quillaja saponaria-*Lithraea caustica* (Quillay-Litre) y el Bosque Espinoso Mediterráneo Costero de *Acacia caven*-*Maytenus boaria* (Espino-Maitén). El catastro oficial de vegetación y uso de suelo (CONAF, 2016), muestra que el estado de la cobertura de la vegetación nativa fluctúa principalmente entre bosques semidensos y abiertos, seguidos de bosques muy abiertos y, en una menor proporción, bosques densos.

CREACIÓN DE LAS CAPAS TEMÁTICAS DE CULTIVOS FRUTALES EN LOS AÑOS DE INTERÉS

Los cultivos frutícolas de mayor relevancia en el área de estudio fueron mapeados antes y durante el acaecimiento de la megasequía, estos fueron: olivos, paltos, nogales, limoneros y naranjos. La superficie frutícola que abarcan en conjunto corresponde a 77,17 % para el área de estudio, 66 % para la Provincia de Melipilla y 30,54 % para la RM.

Los años de mapeo correspondieron a tres de los cinco años de publicación de los informes de catastros frutícolas confeccionados por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), principal organismo gubernamental de información y registro de actividades agropecuarias del país, los que corresponden a 2004 (primer año catastrado por ODEPA), 2014 (catastro con fecha intermedia) y 2020 (último catastro publicado). Los catastros mencionados anteriormente evidencian un crecimiento de superficie cultivada dentro del área de estudio de 40,39 %, entre 2004 y 2014, y de 35,46 %, entre 2014 y 2020 (Tabla 1). Para este estudio se descartaron dos Comunas de la Provincia: Alhué; por presentar un desarrollo frutícola temprano, contando con solo 1.508 ha hacia 2020 (Tabla 1), y Curacaví; por carecer de un crecimiento de superficie frutícola relevante, siendo este de solo 69 ha entre 2004 y 2020.

Comuna	Superficie (ha)		
	2004	2014	2020
Melipilla	9.100	9.427	11.376
San Pedro	974	3.115	5.403
María Pinto	1.343	3.446	4.856
Alhué	119	583	1.508
Curacaví	1.410	1.605	1.479

Tabla 1: Superficie (ha) ocupada por las especies frutícolas de interés en las Comunas de la Provincia de Melipilla, durante los años 2004, 2014 y 2020. Fuente: ODEPA (2004, 2014, 2020).

La espacialización de los predios de cultivos frutícolas catastrados a lo largo de los tres años de interés, fue derivada del visor SIT Rural (<https://visor.sitrural.cl/mapa>). La asignación de los predios frutales desplegados por este visor a cada año de interés fue realizada en base al año de plantación registrado en su base de datos, permitiendo así organizarlos en capas temáticas vectoriales mediante el uso del software QGIS (versión 3.26, Buenos Aires).

CÁLCULO DE CONSUMO HÍDRICO PARA LAS ESPECIES FRUTÍCOLAS DE INTERÉS

Posteriormente, se procedió a asignar el consumo hídrico de las cinco especies frutícolas para cada año de interés según tipo de riego (goteo, surco, microaspersión), para lo cual, primeramente, se realizó una revisión bibliográfica que tuvo por objeto recabar diferentes variables asociadas a su consumo hídrico, como variedad (subespecie), tipo de riego empleado (ver Figura 2), densidad y clima. A través de esto, fue posible obtener los valores de consumo hídrico para todas las especies, mediante riego por goteo (exceptuando el limonero), y adicionalmente, mediante riego por microaspersión para el palto y el nogal (Tabla 2).

Para obtener el consumo hídrico de los cítricos mediante riego por surco, se realizó una revisión bibliográfica que permitió precisar cuál es el porcentaje de agua utilizada por un sistema de riego por goteo respecto del de uno por surco. Con lo anterior, fue posible aplicar una regla de tres simple directa, donde el valor (m³/ha/año) del consumo hídrico por goteo para una especie dada, es igual al porcentaje utilizado respecto de aquel por

surco, siendo la incógnita, i.e., el valor del consumo hídrico para el riego por surco de la especie, igual a 100 %. Para obtener el riego por microaspersión de los cítricos y el riego por surco del nogal y el palto, fueron revisados los porcentajes de eficiencia por tipo de riego, establecidos por la Sociedad Químico-Minera de Chile (Sanga, 2001) y respaldados por el Instituto de Innovación Agraria (INIA, 2017), los cuales establecen una eficiencia de 90 % para el riego por goteo, 85 % para el riego por microaspersión y 50 % para el riego por surco. El procedimiento consistió en establecer el consumo hídrico neto, es decir bajo un 100 % de eficiencia, sin pérdidas, el que se obtuvo mediante la multiplicación consumo hídrico (m³/ha/año) del riego mediante goteo, por el porcentaje de eficiencia de tal riego. Una vez establecido, se calculó la cantidad de agua necesaria para satisfacer tal demanda hídrica, para lo cual se tomó en cuenta el porcentaje de eficiencia de cada tipo de riego para satisfacer la misma demanda hídrica del cultivo mediante otros tipos de riego. Este valor se obtuvo dividiendo el valor del consumo neto del cultivo (m³/ha/año), obtenido anteriormente por el porcentaje de eficiencia del riego buscado. Tal cantidad de agua varía en función del tipo de riego, siendo menor en aquel por goteo, seguidos consecutivamente de aquellos por microaspersión y por surco, que, al poseer el menor porcentaje de eficiencia, requieren de más agua para suplir las pérdidas.

Debido a la falta de información sobre limoneros de similares características a los del área de estudio, su consumo hídrico mediante riego por goteo se calculó a partir de la huella hídrica, es decir, toda el agua utilizada por el proceso de producción de cada kilogramo de producto de la especie frutal. En particular, se utilizó la huella hídrica “azul”, que se refiere al agua utilizada exclusivamente para riego, que en conjunto con las huellas hídricas “gris” (usada para agroquímicos) y “verde” (proveniente de las precipitaciones), conforman la huella hídrica total. Posteriormente, considerando los datos de producción (ton/ha) promedio a nivel Regional, provistos por los catastros frutícolas de cada año de interés, se procedió a multiplicar el consumo hídrico de cada kilogramo de la especie por las toneladas de producción, obteniendo así el consumo anual

de la especie mediante riego por goteo (m³/ha/año).

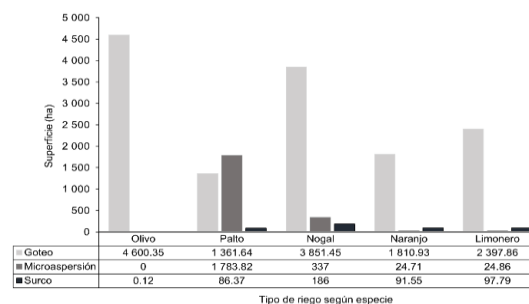


Figura 2: Superficie según tipo de riego para las especies de cultivos frutales de interés. Fuente: SIT Rural (2021).

Especie frutal	Tipo de riego (m ³ /ha/año)		
	Goteo	Microaspersión	Surco
Nogal	9.200 ^a	10.100 ^a	16.560 ^c
Palto	11.131 ^a	12.952 ^a	20.034 ^c
Olivo	5.500 ^a	No aplica	9.900 ^c
Limonero	10.500 ^d	11.117 ^c	16.400 ^b
Naranja	9.000 ^a	9.529 ^c	16.070 ^b

Tabla 2: Consumos hídricos (m³/ha/año) asignados a cada especie de cultivo frutal de interés, mediante: revisión bibliográfica, aplicación de una relación matemática entre riego por goteo y riego por surco, porcentajes de eficiencia de los tipos de riego, huellas hídricas. Fuente: Elaboración propia.

A partir de lo anterior, fue posible multiplicar los consumos hídricos de cada especie frutícola de interés por su superficie cultivada en cada año de interés, según los mapeos previamente descritos, permitiendo con esto, espacializar tales consumos.

Estos cálculos fueron también efectuados sobre los datos numéricos provistos por los catastros frutícolas de los años de interés, a fin de poder apreciar cuan diferentes fueron los valores de consumo hídrico derivados de la espacialización de cultivos frutícolas aquí efectuada, de aquellos basados en la totalidad de la superficie cultivada por año, provista por esos catastros. Estas diferencias estarían en la subestimación de superficie cultivada que arrastraría el método de espacialización aquí empleado, por cuanto el SIT Rural sólo muestra la historicidad de aquellos predios de

cultivos que se mantienen al 2020. Para cometer esos cálculos, las superficies cultivadas por especie de interés para un año dado, provistas por un catastro, fueron multiplicadas por su riego ponderado, en función de los porcentajes de tipo de riego prevalentes en ese año.

DATOS DE PRECIPITACIÓN

Adicionalmente, fueron empleados datos de precipitación acumulada por año del área de estudio, recogidos por cinco estaciones meteorológicas del Centro de Ciencia del Clima y Resiliencia (CR2, 2022); tres ubicadas en el área rural de la Comuna de Melipilla, una en la Comuna de María Pinto, eminentemente rural, y la última perteneciente a la Comuna de Santo Domingo, que a pesar de situarse a ~ 5 km del límite oeste del área de estudio fue igualmente incluida, debido a que representa la influencia costera que condiciona al clima y la vegetación del área de estudio.

La información de las precipitaciones acumuladas recabadas fue promediada anualmente dentro del período de interés (Figura 3). Finalmente, los datos de precipitaciones acumuladas promedio de cada año de interés del área de estudio fueron correlacionados (mediante el método de Pearson) con sus equivalentes de consumo hídrico según cada tipo de cultivo frutal y de su conjunto, a fin de obtener una medida de asociación entre la oferta y demanda hídrica de estos.

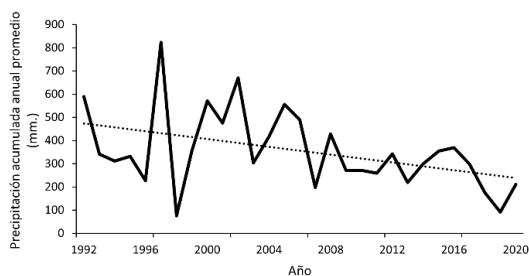


Figura 3: Precipitaciones acumuladas anuales promedio (1992-2020) de las cinco estaciones meteorológicas asociadas al área de estudio. Fuente: CR2 (2022).

RESULTADOS

La Figura 4 muestra la distribución espacial a nivel Comunal de las cinco especies frutícolas

de interés del área de estudio en 2004, 2014 y 2020. Los cultivos más antiguos (2004), se sitúan en su mayoría en la Comuna de Melipilla, para luego, en 2014, expandirse mayoritariamente hacia las Comunas de María Pinto y San Pedro. El año 2020 en tanto, muestra una distribución heterogénea de los cultivos en las tres Comunas, con grandes predios inscritos en la Comuna de San Pedro, mientras que, en María Pinto y Melipilla, estos se distribuyen más dispersos, cubriendo una menor superficie en esta última Comuna.

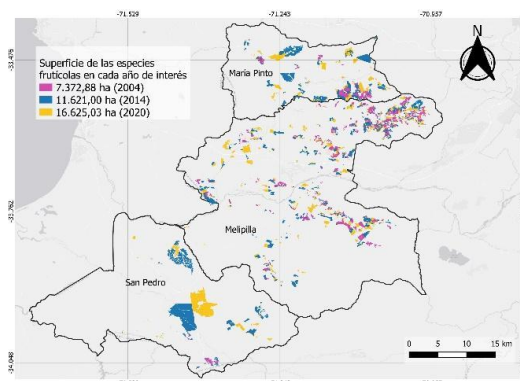


Figura 4: Distribución espacial de las cinco especies frutícolas de interés del área de estudio en los años 2004, 2014 y 2020. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 5 muestra la distribución espacial a nivel Comunal de las cinco especies frutícolas de interés del área de estudio, específicamente en 2020. En la Comuna de San Pedro predomina el olivo, representando el 92,35 % de la superficie total de frutales de la Comuna. En Melipilla predomina el nogal (35,19 %) seguido de limonero (24,19 %) y palto (23,65 %). Asimismo, en María Pinto también predomina el nogal (32,18%), pero secundado el palto (30,82 %) y naranjo (15,27 %).

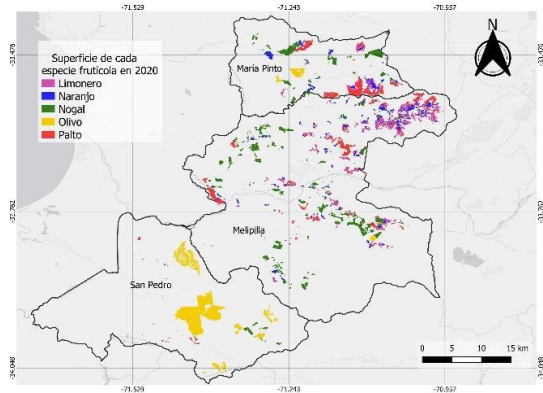


Figura 5: Distribución espacial de las cinco especies frutícolas de interés del área de estudio en el año 2020. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 6 grafica la distribución espacial a nivel Comunal de las cinco especies frutícolas de interés del área de estudio, para el mismo año 2020. El cultivo con el crecimiento más palpable corresponde al nogal, con un crecimiento de 1.639,2 y 2.240,39 ha en los años 2014 y 2020, respectivamente, seguido del olivo, con un crecimiento de 2.254,37 y 2.177,21 ha en esos mismos años, respectivamente.

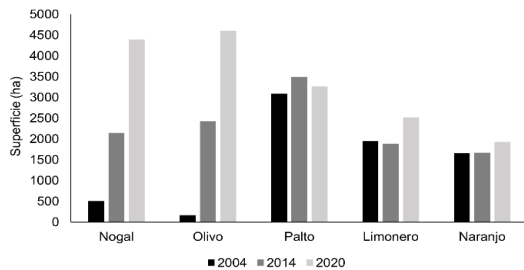


Figura 6: Superficie ocupada por las especies frutícolas de interés del área de estudio en los años 2004, 2014 y 2020. Fuente: ODEPA (2020).

El volumen de consumo hídrico de las especies frutícolas de interés del área de estudio en los años 2004, 2014 y 2020 (Figura 7), revela un patrón temporal consistente con el aumento de sus respectivas superficies, i.e., a mayor número de hectáreas plantadas, mayor cantidad de millones de metros cúbicos (hm³) de agua demandada.

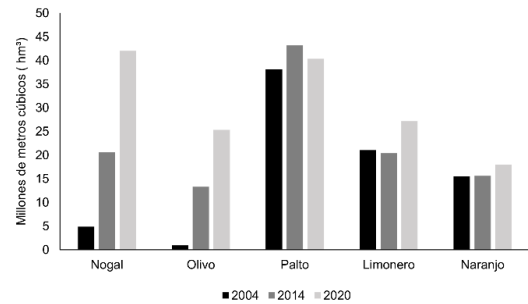


Figura 7: Consumo hídrico de las especies frutícolas de interés del área de estudio en los años 2004, 2014 y 2020 según catastro frutícola. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al consumo hídrico por especie frutícola (Tabla 2), se aprecia que aun cuando el olivo posee la mayor superficie plantada en 2020 (ver Figura 6), su consumo hídrico es uno de los más bajos. Así, si bien en 2020 el limonero posee 2.083,15 ha menos que el olivo, su consumo hídrico es 2.513.000 m³ mayor que ese. De igual manera, en 2014 se evidencia que la superficie del limonero supera en 261,1 ha al nogal, sin embargo, su consumo hídrico es 178.208 m³ menor. En general, el crecimiento del consumo hídrico de las cinco especies frutícolas fue de 40,42 % en 2014 y de 35,18 % en 2020. La representación espacial del consumo hídrico para los tres años de interés es presentada en las Figuras 8, 9 y 10.

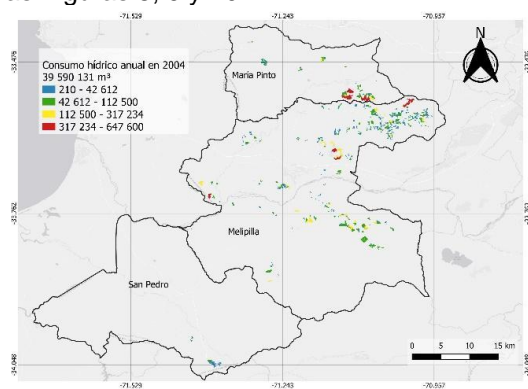


Figura 8: Consumo hídrico anual (m³) por predio en 2004. Fuente: Elaboración propia.

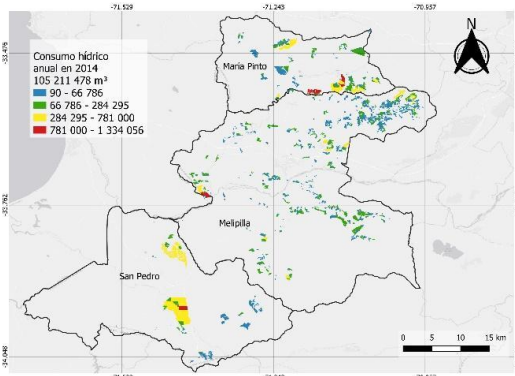


Figura 9: Consumo hídrico anual (m3) por predio en 2014. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 10, muestra el escenario hídrico del año de interés más actual (2020), revelando que los mayores consumos hídricos en la práctica no solo dependen de la especie frutícola, sino también del tamaño de los predios. Así, a pesar de que el olivo posee predios con mayor superficie, existen predios de paltos y nogales que, con menor superficie, le superan en consumo hídrico anual.

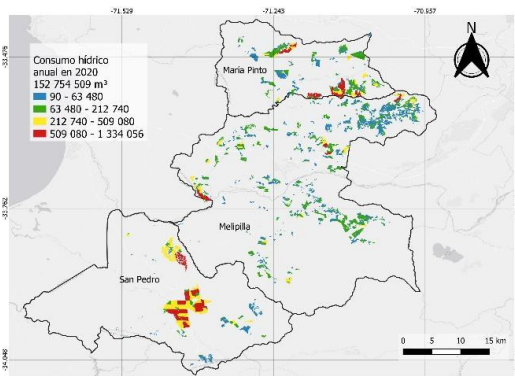


Figura 10: Consumo hídrico anual (m3) por predio en 2020. Fuente: Elaboración propia.

La demanda hídrica está relacionada con las precipitaciones, ya que de ellas depende la disponibilidad u oferta hídrica que posean los diferentes cultivos. Como se desprende de la Figura 5, las cinco especies frutícolas de interés aumentaron su superficie en 2004, 2014 y 2020, aumentando subsecuentemente su demanda hídrica. Sin embargo, como revela la Tabla 3, las precipitaciones fueron en constante disminución en ese período, resultando esto en una muy fuerte correlación negativa entre la demanda hídrica de la mayoría de los cultivos en cuestión y las precipitaciones acumuladas en los años de interés. La excepción a esta tendencia la

confirma el palto, exhibiendo una correlación negativa mucho menor como consecuencia de su menor aumento en superficie; solo 5% en todo el período de interés, presentando un descenso de superficie y consumo hídrico en 2020.

Especie frutal	Consumo hídrico (m ³)			r
	2004	2014	2020	
Nogal	4.870.472	20.574.008	42.036.944	-0,99
Olivo	931.865	13.330.900	25.305.555	-0,99
Palto	38.170.109	43.189.855	40.329.540	-0,41
Limonero	21.056.220	20.395.800	27.192.888	-0,82
Naranja	15.501.598	15.594.064	18.006.586	-0,88
Total	80.530.264	113.084.627	152.871.513	-0,99
Pp acum. (mm)	416,27	299,28	176,55	

Tabla 3: Consumo hídrico de las especies frutícolas de interés y su correlación (r) con las precipitaciones acumuladas (mm) del área de estudio en 2004, 2014 y 2020. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la Tabla 4, entre 2021 y 2022, la cuenca del Río Maipo presentó un consumo hídrico total de 2.471,48 millones de m³, (CNR, 2022), del que 68,83 % fue destinado a uso agrícola, correspondiendo el 11,12 % (152.871.513 m³) a las cinco especies frutícolas de interés. Lo anterior, implica que el consumo de estas equivale al 22,29 % del uso de agua potable urbana de la cuenca, que contempla 6.849.310 habitantes (INE, 2017). Además, dichas especies representan un mayor consumo hídrico que el total del agua potable para uso rural, industria eléctrica, minería, forestal y pecuario de la RM, que combinados suman 84,82 millones de m³.

Uso de agua	Consumo hídrico	
	m ³	%
Agrícola	1.701.000.000	68,83
Agua potable urbana	685.660.000	27,74
Agua potable rural	820.000	0,03
Forestal	80.000	0,00
Minería	48.500.000	1,96
Generación eléctrica	930.000	0,04
Industrial	33.100.000	1,34
Pecuario	1.390.000	0,06
Total	2.471.480.000	100,00

Tabla 4: Consumo hídrico según uso del agua en la cuenca del Río Maipo. Fuente: CNR (2022).

En la Tabla 5, se aprecia que la superficie total cultivada de las especies frutícolas de interés en el año 2020 presentó una diferencia relativamente pequeña (60 ha) entre su cálculo a partir del método de espacialización basado en el SIT Rural y a partir del catastro frutícola. Tales diferencias se tornaron más notorias para los años anteriores, debido a las diferencias basadas en la recolección de datos de ambas fuentes, pues el SIT Rural considera las superficies de los predios vigentes al 2020, sin tomar en cuenta los cambios y transformaciones experimentadas por estos durante las fechas de interés predecesoras. Por otro lado, los catastros frutícolas publicaron los documentos en los tres años de interés, al reconstruir las trayectorias de las superficies, resulta en la subestimación del proceso de espacialización, en contraste de los catastros frutícolas.

Especie frutícola	Superficie cultivada (ha) por año		
	2004	2014	2020
Nogal	(508,40)	(2.331,6	(4.387,99
	331,24	2))
Olivo	(209,11)	2.147,6	4.374,45
	169,43	(3.164,1	(4.601,01
Palto	(3.085,7	3))
	0)	2.423,8	4.600,45
Limoner	(1.192,14	(3.491,5	(3.260,27
	(1.949,6	0))
o	5)	2.601,67	3.230,93
	857,29	(1.888,5	(2.517,86
	0)	2.519,28)

	1.729,05		
Naranja	(1.659,7	(1.669,6	(1.927,90
	0)	0))
Total	789,73	1.478,14	1.927,19
	(7.372,8	(11.621)	(16.695,0
	8)	11.304,6	3)
	3.379,51	1	16.652,3

Tabla 5: Superficie cultivada según especie frutícola de interés en los años 2004, 2014 y 2020, calculada a partir de los catastros frutícolas (valor en paréntesis) y el SIT Rural. Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este estudio se espacializó en tres fechas recientes: 2004, 2014 y 2020, la superficie cubierta por las principales especies de cultivos frutícolas de la Provincia de Melipilla, Chile Central, concentradas en tres de sus Comunas eminentemente agrícolas, para con ello estimar su consumo hídrico, relacionándolo luego con las precipitaciones acumuladas del área de estudio para esos años. A este respecto, se evidenció un sostenido aumento de la superficie cultivada para todas las especies consideradas: olivos, paltos, nogales, limoneros y naranjos, aparejado de fuertes correlaciones inversas con las precipitaciones acumuladas de los años de interés, cuestión que acentúa resguardar la seguridad hídrica ante el pervasivo escenario de megasequía que afecta a Chile central (Garreaud et al., 2019).

El estudio, conforma un aporte inédito al estado del arte de la agricultura del país, por cuanto aproximó a nivel de predio la demanda hídrica de cultivos frutícolas relevantes para la RM de Chile, que podría ser replicado en otras Provincias o Regiones, así como ampliado a más especies y años de interés.

Una de las principales limitantes enfrentadas por este estudio, fue la de compatibilizar las fuentes de información secundaria empleadas para espacializar las especies frutícolas en cada año de interés. Por un lado, el catastro frutícola provee información numérica de los cultivos frutícolas del país a nivel Regional. Por otro, el SIT Rural entrega la espacialización a nivel predial de esos cultivos en un visor virtual, mostrando sólo aquellos aún presentes a la fecha del último catastro frutícola (2020), añadiéndoles los datos de tipo de riego y año de plantación. Así, el

proceso de asignación de cada uno de esos predios a uno de los años correspondientes a los tres catastros frutícolas considerados en este estudio, tomando como referencia su año de plantación, no consideró aquellos que para 2020 desaparecieron de la base de datos del SIT Rural. A raíz de lo anterior, el cálculo de las superficies de las especies de cultivos frutícolas de interés fue irremisiblemente subestimado en pos de favorecer su espacialización, si bien los resultados evidenciaron que tal subestimación fue bastante baja.

Las especies frutícolas aquí estudiadas son autóctonas de climas más bien lluviosos. Así, el palto y los cítricos son de origen tropical, mientras que el nogal es de origen templado, lo que se traduce en una mayor presión hídrica para el área de estudio, debido a que el régimen de precipitaciones de su clima Mediterráneo imperante se torna insuficiente para suplir el rendimiento esperado, en especial bajo las densidades de plantación intrínsecamente altas de cultivos destinados a ser rentables (Arjona, 1991). Por otro lado, si bien el olivo es un frutal autóctono de un clima Mediterráneo, que puede ser cultivado en seco, al aumentar su densidad de plantación con fines de maximizar su rendimiento, su consumo y presión hídrica lógicamente incrementa (ODEPA, 2013).

La perspectiva geográfica establece dónde es más eficiente la producción de ciertos cultivos, orientando su plantación a aquellas zonas que asemejan sus condiciones ambientales originarias, de manera que en climas como el Mediterráneo no sean producidos cultivos tropicales, sino otros que requieran un menor aporte hídrico, como los estudiados por Muñoz et al. (2017): higueras, tunas y granados. No obstante, debido a su baja demanda, esos cultivos no superan las 100 ha dentro del área de estudio (ODEPA, 2020).

La relación entre el aumento de la superficie agrícola y el consumo hídrico fue investigada en el valle del Río Vines, Ecuador, donde el modelo de monocultivos de alta densidad ha generado una considerable presión hídrica en la cuenca (Muñoz et al., 2020). El mismo efecto se generó en las áreas agrícolas asociadas a los ríos Aksi y Tarim, China, donde el aumento de cultivos de regadío y su consiguiente consumo hídrico han sido

persistentes (Feike et al., 2014). En la cuenca del río Segura, España, la transición de olivos de secano con densidades tradicionales, a olivos de riego super intensivos, similares a los del presente estudio, junto con una insuficiente gestión hídrica, generaron una sobreexplotación de acuíferos subterráneos, los cuales han sido utilizados para cubrir déficits de fuentes superficiales de agua, agotando los reservorios de agua en épocas de sequía (Martínez Fernández et al., 2021). En California, EE.UU., que cuenta con una producción agrícola y clima similares a los de Chile central, el aumento reciente de superficie agrícola de riego especialmente frutícola (cítricos, paltos y nogales), ha propiciado una sequía sin precedentes desde 2012, impactando en el corto plazo la seguridad hídrica, debido a la utilización de fuentes subterráneas de agua, que aumentan costes de producción y dejan sin reservas acuíferas al medio ambiente y a la población (Cooley et al., 2015).

Torabi et al. (2020) identificaron tres tipos de sequía: (1) meteorológica; asociada al menor volumen pluviométrico, (2) hidrológica; debida a la disminución de reservas de agua superficiales y subterráneas, y (3); agrícola, donde la agricultura de secano es insostenible y debe transitar al riego, siendo este predominante dentro del área de estudio. Wang et al. (2016), identificaron, además, la sequía socioeconómica, ligada a la fase de insostenibilidad, una falta de una GIRH y de enfoques multiobjetivo en la región, donde la mitigación para sostener usos agrícolas y energéticos perjudica al medio ambiente.

Dentro del área de estudio han existido decretos de escasez hídrica en los últimos años, así como emergencias agrícolas por déficit hídrico aún vigentes (MINAGRI, 2022; DGA, 2023). Además, se han decretado dos zonas de extracción de aguas subterráneas y gran parte del área de estudio se encuentra en áreas de restricción de nuevas extracciones de aguas subterráneas (DGA, 2022). Así, se torna indefectible analizar escenarios de sequía y las consecuentes medidas de mitigación y gestión a implementar, a fin de evitar desabastecimiento o impactos económicos, como los ocurridos en Ciudad del Cabo, Sudáfrica, donde hubo riesgo de abastecimiento urbano en 2018, con restricciones de agua inferiores a lo

establecido por la OMS (Organización Mundial de Salud) de 100 litros por persona (Saravia, 2022). La emergencia se logró subsanar mediante el sacrificio del sector agrícola, que liberó parte de sus reservas, sin embargo, esto conllevó graves consecuencias sociales y económicas (Soler, 2020).

Si bien los avances en tecnologías de riego en el área de estudio han habilitado un uso más eficiente del agua, estos no han logrado disminuir la demanda de agua a nivel de cuenca, evidenciándose un “efecto rebote”, donde el ahorro generado permite que las plantaciones sean más intensivas, es decir, que alberguen más plantas por hectárea y mayor superficie (Pedrozo, 2020). Así, la eficiencia se adjudica sólo en términos productivos; más toneladas de producción por litro de agua (huellas hídricas), ignorando la perspectiva del consumo, tratada en este estudio, enfocada en parte de la demanda, en base a los usos del agua en una determinada cuenca y como satisfacerlos con la menor cantidad de agua posible.

Este estudio reveló que la expansión de cultivos frutales dentro de las tres Comunas de la Provincia estudiada, demandantes de agua durante todo el año y con marcos de plantación intensivos, han significado un aumento importante en la presión hídrica del área de estudio a lo largo de las últimas décadas, pudiendo esto amenazar la seguridad hídrica asociada a la cuenca del río Maipo, sobre todo ante la marcada restricción de las precipitaciones, coincidente con la megasequía que afecta a Chile central. Además, el estudio expuso los niveles de déficit de agua en la cuenca del Río Maipo que han llevado a la extracción de agua subterránea, una medida ya cuestionada en otros países, siendo esto muestra de un problema de sostenibilidad, que puede ser interpretada como una fase de transición hídrica.

Lo anterior, realza la necesidad de mejorar la gestión hídrica tanto de la Provincia abordada, como de la cuenca del Río Maipo en su conjunto, evitando soluciones a corto plazo que pudieran conducir a etapas insostenibles de seguridad hídrica, como las aquí discutidas.

BIBLIOGRAFÍA

Arjona, H. (1991). Producción de frutales tropicales en el Estado de Florida, Estados Unidos de América. *Agronomía Colombiana*, 8(2), 283-285.

Bazán, M. (2022). El avance de la desertificación: las 22 mil hectáreas de bosque nativo que CONAF aprobó talar sin reforestar. [en línea]. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.ciperchile.cl/2020/11/30/el-avance-de-la-desertificacion-las-22-mil-hectareas-de-bosque-nativo-que-conaf-aprobo-talar-sin-reforestar/>

Becerra, A. (2019). A new course: managing drought and downpours in the Santiago Metropolitan Region. New York: Natural Resources Defense Council, 24 p.

Carrere, M. (2020). Chile: la expansión de paltos continúa pese a la sequía. [en línea]. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://es.mongabay.com/2020/01/chile-expansion-de-paltos-sequia/>

CNR (Comisión Nacional de Riego). (2022). Análisis de la oferta hídrica y su impacto en la agricultura zona centro. Resumen ejecutivo. Santiago: CIREN, 349 p.

CR2 (Center for Climate and Resilience Research). (2022). Explorador climático: precipitaciones acumuladas. [en línea]. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://explorador.cr2.cl/>

CONAF (Corporación Nacional Forestal). (2016). Informe actualización catastro Región Metropolitana 2013. Santiago: Sistema de Información Territorial de la Corporación Nacional Forestal, 130 p.

Cooley, H., Donnelly, K., Phurisamban, R. y Subramanian, M. (2015). Impacts of California's ongoing drought: agriculture. Oakland: Pacific Institute, 24 p.

Crocco, J. (2021). Megasequía: Diagnóstico, impactos y propuestas. Santiago: Centro de Estudios Públicos, 24 p.

- DGA (Dirección General de Aguas). (2023). Zonas de prohibición DGA. [en línea]. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/zonadeprohibicion.aspx>
- DGA (Dirección General de Aguas). (2022). Áreas de restricción DGA. [en línea]. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/areasderestriccion.aspx>
- Feike, T., Mamitimín, Y., Lin, L. y Doluschitz, R. (2014). Development of agricultural land and water use and its driving forces along the Aksu and Tarim River, P.R. China. *Environmental Earth Sciences*, 73(2), 517–531.
- Gajardo, R. (1994). Clasificación de la vegetación natural de Chile. Santiago: Editorial Universitaria, 165 p.
- Garreaud, R., Boissier, J. P., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H. H. y Veloso-Águila, D. (2019). The Central Chile MegaDrought (2010-2018): A climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*, 40(1), 421-439.
- GORE (Gobierno Regional) Coquimbo. (2021). Medidas por escasez hídrica y apoyo social destacan en gestión 2020 de la Intendencia de Coquimbo. [en línea]. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.gorecoquimbo.cl/medidas-por-escasez-hidrica-y-apoyo-social-destacan-en-gestion-2020-de-gorecoquimbo/2021-05-29/144302.html>
- IDE (Infraestructura de Datos Espaciales). (2017). Zonas climáticas de Chile según Köppen-Geiger escala 1:1.500.000. [en línea]. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.ide.cl/index.php/clima-y-atmosfera/item/1556-zonas-climaticas-de-chile-segun-koepfen-geiger-escala-1-1-500-000>.
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas). (2017). Resultados Censo 2017. [en línea]. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2024]. Disponible en: <http://resultados.censo2017.cl/>
- INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). (2017). Manual de manejo de huerto de olivo. Santiago: Boletín n° 381, 121 p.
- Mardones, B. (2019). Impactos del cambio climático en la altura de la isoterma 0 °C sobre Chile Central. Santiago: Universidad de Chile, 71 p.
- Martínez Fernández, J., Esteve Selma, M. A. y Zuluaga Guerra, P. A. (2021). Agua y sostenibilidad. Hacia una transición hídrica en el Sureste Ibérico. *Ecosistemas*, 30(3), 2254.
- Mayorga, F. (2021). Las caras de la sequía: el drama de la escasez hídrica en las comunas de Valparaíso. [en línea]. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.latercera.com/la-tercera-sabado/noticia/las-caras-de-la-sequia-el-drama-de-la-escasez-hidrica-en-las-comunas-de-valparaiso/EZRYKRWQI5DYHMPYX3UAMWVFO4/>
- Meza, F. (2017). Estimación de costos asociados a la seguridad hídrica en la agricultura como medida de adaptación al cambio climático en Chile: un estudio en el contexto del Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario. Santiago: CEPAL, 58 p.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura). (2022). Emergencia agrícola por déficit hídrico. [en línea]. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://minagri.gob.cl/emergencia-agricola-por-deficit-hidrico/>
- Municipalidad de Melipilla. (2015). Plan de Desarrollo Comunal 2015-2019. Santiago: Municipalidad de Melipilla, 163 p.
- Municipalidad de Melipilla. (2022). Plan de Desarrollo Comunal 2022-2026. Tomo 1: Caracterización comunal. Santiago: Municipalidad de Melipilla, 25 p.
- Muñoz, V., Franck, N. y Lobos, G. (2017). Frutales de bajo requerimiento hídrico: higuera y tuna. En: Lobos, G., Veas, A., Claudio, B., Muñoz, V., Franck, N. (Eds.). Santiago: INIA, 56 p.

Muñoz Marcillo, J. L., Gentili, J. y Bustos Cara, R. (2020). Uso agrícola del suelo y demanda de agua para riego en la cuenca del Río Vinces (Ecuador) durante el período 1990-2014. *Investigaciones Geográficas*, 59, 91-104.

ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias). (2007). VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal 2007. Santiago: ODEPA, 69 p.

ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias). (2004). Catastro frutícola. Principales resultados: Región Metropolitana 2004. Santiago: ODEPA, 50 p.

ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias). (2014). Catastro frutícola. Principales resultados: Región Metropolitana 2014. Santiago: ODEPA, 48 p.

ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias). (2020). Catastro frutícola. Principales resultados: Región Metropolitana 2020. Santiago: ODEPA, 45 p.

ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias). (2017). Panorama de la agricultura chilena 2017. Santiago: ODEPA, 141 p.

Páñez-Pinto, A., Faúndez, R. y Mansilla, C. (2017). Politización de la crisis hídrica en Chile análisis del conflicto por el agua en la provincia de Petorca. [en línea]. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6278688>

Peña, H. (2016). Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe. Santiago: CEPAL, 56 p.

Rivas, T. y Traub, A. (2013). Expansión urbana y suelo agrícola: Revisión de la situación en la Región Metropolitana. Santiago: ODEPA, 6 p.

Sadoff, C. y Muller, M. (2010). Water Management, Water Security and Climate Change Adaptation: Early Impacts and Essential Responses. Estocolmo: Global Water Partnership Technical Committee, 92 p.

Sanga, R. (2001). Conceptos de riego localizado. En: SOQUIMICH (Ed.). Santiago: SOQUIMICH, 36 p.

Schulz, J., Cayuela, L., Echeverría, C., Salas, J. y Benayas, J. M. R. (2010). Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975–2008). *Applied Geography*, 30(3), 436-447.

SIT (Sistema de Información Territorial) Rural. (2021). Recursos naturales comuna de Melipilla. Santiago: CIREN, 7 p.

Soler, D. (2020). La lección de la ciudad que estuvo a punto de quedarse sin agua. [en línea]. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2024]. Disponible en: https://elpais.com/elpais/2020/02/21/planeta_futuro/1582281474_949277.html

Tesser, C. (2013). El agua y los territorios hídricos en la Región Metropolitana de Santiago de Chile. Casos de estudio: Tiltil, Valle de Mallarauco y San Pedro de Melipilla. *Estudios Geográficos*, 74(274), 255-285.

Torabi Haghghi, A., Abou Zaki, N., Rossi, P. M., Noori, R., Hekmatzadeh, A. A., Saremi, H. y Kløve, B. (2020). Unsustainability syndrome from meteorological to agricultural drought in arid and semi-arid regions. *Water*, 12(3), 838.

Wang, W., Ertsen, M. W., Svoboda, M. D. y Hafeez, M. (2016). Propagation of drought: From meteorological drought to agricultural and hydrological drought. *Advances in Meteorology*, 5 pp