

Maestría en gestión integrada de prevención, medio ambiente y calidad

Trabajo Fin de Maestría

Evaluación costo-beneficio de atomizadores en redes hídricas para mejorar calibre frutícola

AUTOR: Sergio Felipe Berríos Núñez

Santiago, Las Condes, Chile

PROFESOR: Felipe Angeles Puc Hernandez

Septiembre de 2024

Resumen

La escasez hídrica o sequía, fue una situación en la que hubo una insuficiencia de agua para satisfacer las necesidades humanas y ecológicas en una determinada región. Esta problemática se debió a diversos factores, como la falta de precipitación, el agotamiento de fuentes de agua subterránea, la sobreexplotación de los recursos hídricos, el cambio climático y el aumento de la demanda de agua causado por el crecimiento de la población y la agricultura.

En el pasado, la situación de la huella hídrica generó reflexiones sobre el consumo de agua. En nuestro país, este fenómeno afectó directamente a los pequeños productores, quienes, a pesar del déficit hídrico, identificaron oportunidades y mejoras en el uso del agua con fines agrícolas (ODEPA, 2018). De esta manera, se evidenciaron distintos enfoques para abordar la problemática de la escasez y los diversos escenarios en la obtención de nuevos proyectos y reformas agrícolas. A pesar de ello, existen tecnologías de riego que podrían mejorar el uso eficiente del recurso hídrico y elevar la productividad.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el costo-beneficio de una red hídrica mejorada, identificando las variables más importantes para la viabilidad financiera de la organización, los efectos de una adecuada gestión operativa y la implementación de un modelo de sustentabilidad dentro de la empresa. La implementación del sistema optimizó los procesos operativos, generando mayor eficiencia en las labores agrícolas, optimizando el rendimiento de los cultivos y maximizando las variables que más influyeron en la sustentabilidad del modelo productivo.

Palabras clave: escasez hídrica - huella hídrica - sobreexplotación – sustentabilidad.

Abstract

Water scarcity, also known as drought, was a situation in which there was an insufficiency of water to meet human and ecological needs in a given region. This issue was due to various factors, such as a lack of precipitation, the depletion of underground water sources, the overexploitation of water resources, climate change, and the increase in water demand caused by population growth and agriculture.

In the past, the water footprint situation led to reflections on water consumption. In our country, this phenomenon directly affected small producers, who, despite the water deficit, identified opportunities and improvements in the use of water for agricultural purposes (ODEPA, 2018). In this way, different approaches to addressing the scarcity issue and various scenarios for obtaining new projects and agricultural reforms were evidenced.

The research problems arose as a consequence of water scarcity and the overexploitation of underground waters. The objective was to inform the operators about the productive levels at which they should work, identifying the most important variables for the financial viability of the organization, the effects of proper operational management, and the implementation of a sustainability model within the company. This allowed for improving workers' performance in their tasks, optimizing crop yields, and maximizing the variables that most influenced the sustainability of the productive model.

Keywords: overexploitation – sustainability – water footprint - water scarcity.

Dedicatoria

Uno de los pilares fundamentales en nuestras vidas es la familia, ustedes son el motor principal que impulsó nuestros sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a nuestro lado en los días y noches más difíciles durante las extensas horas de estudio. Siempre han sido las/os mejores guías de vida. Hoy cuando concluimos nuestros estudios, les dedicamos a ustedes este logro como una meta más conquistada en esta larga senda del aprendizaje. Estamos orgullosos de tenerlos como familia y que estén a nuestro lado en todos los momentos. Muchas gracias por quienes son y por creer en nosotros.

Agradecimientos

Quiero iniciar agradeciendo al profesor guía Felipe Angeles Puc Hernandez, por su apoyo y dedicación brindados durante todo este proceso, a su vez, por el respeto a nuestras sugerencias e ideas, las que en todo momento fueron guiadas a fin de lograr con éxito este trabajo, basado en su vasta experiencia. Muchas gracias por sus palabras de aliento cuando más las necesitábamos y por estar allí cuando lo necesitamos.

A todos los/as Docentes de la UNIVERSIDAD AMERICANA DE EUROPA, por todos los conocimientos rigurosos y precisos entregados durante el proceso académico, a ustedes les debemos nuestros conocimientos. Donde quiera que desempeñemos los conocimientos aprendidos estarán presentes. Gracias por su paciencia, apoyo, generosidad y principalmente por compartir sus conocimientos de manera profesional e invaluable, por su dedicación y tolerancia para y con nosotros.

A los/as compañeros de viaje, con quienes actualmente culminamos esta maravillosa aventura que iniciamos en tiempos difíciles, los cuales estábamos viviendo como sociedad y humanidad, existiendo mucha incertidumbre de que nos prepararía el futuro, como grupo hoy nos toca cerrar un capítulo maravilloso en la historia de nuestras vidas y no podemos dejar de agradecerles el apoyo entregado durante los momentos difíciles.

Contenido

Resumen ii

Abstract iii

Dedicatoria iv

Agradecimientos v

Contenido vi

Lista de Tablas y Figuras vii

1. Marco introductorio 1

1.1 Problema de investigación 2

1.2 Justificación 2

2. Marco Teórico 4

3. Marco Empírico 8

3.1 Hipótesis 9

3.2 Objetivo General 9

3.3 Objetivos Específicos 9

3.4 Metodología 10

3.5 Resultados y discusión 12

3.5.1 Aspersores de alto flujo 13

3.5.2 Aspersión por Gota 14

3.5.3 Aspersor de impacto 15

3.5.4 Aspersor por Nebulización 15

3.5.5 Aspersores de flujo regulado 17

3.5.6 Discusión 19

4. Conclusiones y recomendaciones 38

5. Referencias 41

Lista de Tablas y Figuras

Tablas

Tabla 1 *Planificación etapa de estudio* 12

Tabla 2 *Cantidad de horas y consumo hídrico 2 periodos* 16

Tabla 3 *Indicadores de consumo Aspersor FC sector Morro 2* 18

Tabla 4 *Resumen de Variables Sistema de Aspersajes* 19

Tabla 5 *Indicadores de Gasto Metodología 1 Sector Morro 2* 20

Tabla 6 *Indicadores de gasto metodología 2 sector Morro 2* 21

Tabla 7 *Calibre y Precio Promedio del Aguacate* 24

Tabla 8 *Indicadores de Proyección Pluviométrica* 27

Tabla 9 *Variables del Modelo de Datos 2019-2020* 31

Figuras

Figura 1 *Imagen satelital de zona de cultivo, Zapallar, Chile* 13

Figura 2 *Chicotes de plansa de 1/2"* 14

Figura 3 *Aspersión por gota* 15

Figura 4 *Riego para árboles con grandes volúmenes de raíz.* 18

Figura 5 *Superficie no sembrada bajo cultivo de riego* 22

Figura 6 *Escorrentía Per Cápita* 23

Figura 7 *Sonda LemSystem* 25

Figura 8 *Resultados del software asociado a sonda LemSystem* 26

Figura 9 *Cuadricula zona de regadío* 29

Figura 10 *Escala de Tipos de Cuaja* 31

Figura 11 *Resultado R-STUDIO del modelo propuesto* 33

Figura 12 *Árbol de Decisión del Modelo* 34

Figura 13 *Atributos de importancia según modelo* 35

Figura 14 *Árbol de Decisión usando como variable la Cuaja* 35

Figura 15 *Atributos de importancia según modelo con variable de decisión Cuaja* 36

1. Marco introductorio

La situación actual de la huella hídrica nos hace reflexionar y tomar conciencia del consumo de agua, en nuestro país esto afecta directamente a los pequeños productores, quienes a través del déficit hídrico han visto oportunidades y mejoras en el uso del agua con fines agrícolas (ODEPA, 2018). De esta forma, se podrá evidenciar los distintos manejos que se han dado a la problemática de escasez y los distintos panoramas que se evidencian en la obtención de nuevos proyectos y reformas agrícolas.

En particular, las plantaciones de paltos consumen flujos de agua importantes. En una hectárea de paltos se necesitan entre 7.000 y 16.000 metros cúbicos de agua por año (Economía Agrícola, 2018). En base al microclima que el cambio climático provoca en la zona situada en la localidad de Zapallar, región de Valparaíso, donde las plantaciones de cítricos y paltos agravan el problema de la escasez de agua, donde pequeños agricultores desconocen una tecnificación de sus sistemas de riegos y su ignorancia ante un cultivo con desarrollo sustentable.

Comprendiendo las consecuencias de la escasez hídrica y la sobreexplotación de aguas subterráneas se necesita la optimización eficiente y eficaz de los consumos del recurso hídrico para la frutícola de estudio, que para consideraciones de este proyecto se guarda confidencialidad (Bellino, 2018).

De esta manera, el objeto de estudio es evaluar, en base al costo beneficio de distintos sistemas de aspersión, para la zona de Zapallar de la Quinta Región de Valparaíso, cuál sistema permite optimizar el calibre frutícola de los paltos. Si bien es cierto que la escasez hídrica no solo ha sido un problema comunal, sino que es un problema que afecta más allá de la provincia de Petorca, esta zona es ampliamente comentada por los medios, tanto en Chile como en las regiones que tienen interés en la producción de fruticultura chilena (Sociedad Geográfica de Lima, 2011). Esto implica identificar los distintos procesos existentes en la

producción agrícola y comparativas con ejecuciones actuales en base a la relevancia hídrica, junto a establecer las principales variables asociadas a viabilidad financiera al efectuar cambios en la producción agrícola, efectuando normas de huella hídrica. Para finalmente definir un modelo de la sustentabilidad de la huella del agua basado en la evaluación de distintos sistemas de aspersajes que permita maximizar las utilidades.

1.1 Problema de investigación

Debido a las consecuencias de la escasez hídrica y la sobreexplotación de aguas subterráneas: ¿Cuál es la relación costo-beneficio de implementar una red hídrica mejorada mediante atomizadores en una plantación frutícola en contexto de escasez hídrica?

1.2 Justificación

La situación actual de la huella hídrica genera una profunda reflexión sobre el consumo responsable de este recurso vital. En nuestro país, esta situación afectó directamente a los pequeños productores, quienes, a pesar del déficit hídrico, identificaron oportunidades para optimizar el uso del agua en fines agrícolas (ODEPA, 2018).

En particular, las plantaciones de paltos demandaron un volumen de agua considerable, entre 7.000 y 16.000 metros cúbicos por hectárea al año (Economía Agrícola, 2018). Este elevado consumo se vio agravado en zonas donde el microclima fue alterado por el cambio climático, como en Zapallar, en la Quinta Región de Valparaíso. Allí, la coexistencia de cultivos de cítricos y paltos intensificó la problemática, evidenciando que muchos pequeños agricultores desconocían o no habían adoptado sistemas de riego tecnificados y prácticas de cultivo sustentable.

Ante estas circunstancias, se hizo necesario optimizar de forma eficiente y eficaz el uso del recurso hídrico en la frutícola que es objeto de estudio, la cual, por motivos de confidencialidad, se mantiene sin revelar. El propósito fue evaluar, mediante un análisis costo-beneficio, los distintos sistemas de aspersión implementados en la zona de Zapallar, con

el fin de determinar cuál permitía optimizar el manejo del agua en el cultivo de paltos, maximizando tanto el rendimiento productivo como la viabilidad financiera (Sociedad Geográfica de Lima, 2011).

Adicionalmente, la relevancia de este estudio se fundamentó en la urgente necesidad de abordar un problema que afecta no solo a nivel local, sino que también repercute en la producción agrícola nacional. La atención mediática sobre la escasez hídrica, especialmente en zonas críticas como la provincia de Petorca, subrayó la importancia de adoptar soluciones innovadoras y sustentables para garantizar la continuidad y el progreso de la actividad agrícola en un contexto de recursos hídricos cada vez más limitados (Economía Agraria, 2018).

2. Marco Teórico

El marco teórico es el conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas. Este método se basa en la formulación de hipótesis que pueden ser confirmadas o descartadas por medio de investigaciones relacionadas con el problema. De tal manera, el marco teórico permite obtener información relevante para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento. Dicho conocimiento se adquiere para relacionarlo con el objeto de estudio ante los problemas planteados (Sampieri, 2014).

Para el presente estudio, el marco se estructura desde un enfoque cualitativo con un tipo de investigación descriptiva y explicativa. Es decir, cualitativa porque esta investigación parte de fundamentos y premisas para comprender la realidad del problema de estudio, en base a investigaciones sobre la escasez hídrica (Sampieri, 2014).

Así, este proyecto de magíster parte desde un tipo de investigación descriptivo y explicativo, es decir, la investigación cuenta con información tangible, rigurosa y fidedigna. Además, la información se obtiene mediante procedimientos sistemáticos y puede ser fácilmente contrastada por otro investigador en base a la bibliografía de consulta. Este tipo de investigación debe ser lo más “objetiva” posible, evitando que afecten las tendencias del investigador u otras personas (Sampieri, 2004). Las características descritas anteriormente hacen que la metodología sea explicativa porque es más conveniente cuando existe un cuerpo teórico previo suficientemente fundamentado capaz de definir los conceptos a analizar de forma concreta (Saunders et al., 2009). Reflejo de ello se puede observar en el presente trabajo de título al identificar y definir los principales antecedentes y contexto histórico vinculados a resolver el problema hídrico, como lo son la carretera hídrica propuesta por la Corporación Reguemos Chile, que tiene como objetivo el traslado del agua desde el sur hacia el norte aprovechando los caudales invernales, o la propuesta por el secretario regional de Obras Públicas y llevada a cabo por la Mesa Hídrica de Petorca, que es dar conducción que

conecte diversos servicios de Agua Potable Rural (ARP) que permita abastecer las plantaciones (Diario Publimetro, 2019). Es por esto que a través de la Dirección de Obras Hidráulicas se ha trabajado para encontrar zonas que ayuden a la aportación de más agua a esta conducción. También, los municipios y la Gobernación han logrado obras de protección para la generación de nuevos pozos (BCN, 2023).

De igual forma, para esta investigación se adoptaron métodos de obtención de datos que incluyeron tanto la revisión documental como el análisis bibliográfico, clasificándose en fuentes primarias y secundarias (Sampieri, 2004). Por fuentes de información primaria entendemos que "contienen información original, que ha sido publicada por primera vez y es producto de una investigación o de una actividad eminentemente creativa" (Universidad de Guadalajara, 2021, párr. 18). Una fuente de información secundaria se entiende que

> contienen información primaria, sintetizada y reorganizada. Están especialmente diseñadas para facilitar y maximizar el acceso a las fuentes primarias o a sus contenidos. Componen la colección de referencia de la biblioteca y facilitan el control y el acceso a las fuentes primarias. (Universidad de Guadalajara, 2021, párr. 21)

Una vez determinado el diseño de investigación adecuado, el siguiente paso consistió en recolectar la información relevante sobre los atributos, conceptos o variables asociados a las unidades de muestreo, análisis o casos (Sampieri, 2014). Así, en esta investigación se obtienen parámetros reales y acordes a las exigencias y problemáticas existentes, lo que permite investigar distintas soluciones al problema de investigación, permitiendo una recolección transparente de datos a la vez realista y práctica. En lugar de basarse únicamente en cifras, los métodos cualitativos permiten indagar en el contexto subyacente de las decisiones, comportamientos y motivaciones, lo que respalda la elección de esta técnica de recolección de información, según Arias y Pedraza (2018), que demuestra "las distintas formas o maneras de obtener la información" (p. 15).

También se realizarán entrevistas de tipo instrumental, utilizando un cuestionario que constará de preguntas cerradas de escala tipo Likert, con la finalidad de dar un carácter descriptivo que complemente de manera adecuada al análisis que se presenta. Para Sampieri (2014), la escala de tipo Likert se fundamenta en una serie de ítems formulados como afirmaciones o juicios, para los cuales se solicita a los participantes expresar su valoración o reacción. A continuación, presentamos los conceptos asociados a esta investigación:

1. Gestión del Agua en la Agricultura y Eficiencia Hídrica

La gestión del recurso hídrico es un desafío crucial para la agricultura contemporánea, especialmente en un contexto de cambio climático y escasez progresiva de agua. En este escenario, se vuelve imprescindible implementar tecnologías que permitan una utilización eficiente del agua. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2023), el desarrollo de prácticas agrícolas adaptativas, como el uso racional del recurso hídrico, es clave para enfrentar los efectos del cambio climático sobre la agricultura. Las tecnologías de riego localizado, como los sistemas de atomización, ofrecen ventajas al disminuir la evaporación y aumentar la eficiencia del riego.

2. Evaluación Económica en Agroindustria: Costo-Beneficio

Una herramienta esencial en la toma de decisiones de inversión en tecnologías agrícolas es el análisis de costo-beneficio. Esta herramienta permite evaluar la viabilidad financiera de una innovación, considerando tanto sus costos de implementación como los beneficios productivos y económicos que genera. La Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA, 2023) señala que las decisiones orientadas a la mitigación del cambio climático también deben considerar su impacto económico y rentabilidad a largo plazo. En este contexto, la adopción de tecnologías como los atomizadores puede no solo reducir el consumo de agua, sino también aumentar la productividad y mejorar la rentabilidad del cultivo.

3. Tecnologías de Riego y Atomización en Fruticultura

Las tecnologías de atomización, como forma de riego localizado, se han aplicado con éxito en la fruticultura para mejorar la distribución del agua y reducir el estrés hídrico en las plantas. De acuerdo con la FAO (2023), estas tecnologías optimizan la eficiencia del uso del agua en los sistemas agroalimentarios y representan una medida efectiva de adaptación climática. El uso de atomizadores no solo permite un control más preciso del riego, sino que puede mejorar directamente parámetros como el calibre del fruto y la homogeneidad de la producción, incrementando así su valor comercial.

4. Adaptación al Cambio Climático y Sustentabilidad Agrícola

El cambio climático ha modificado las condiciones agroclimáticas, lo que exige transformaciones en las prácticas agrícolas. La Fundación para la Innovación Agraria (FIA, 2023) resalta que las estrategias de adaptación deben orientarse hacia sistemas más resilientes y sostenibles, integrando prácticas como el uso eficiente del agua, la diversificación de cultivos y la aplicación de tecnologías de precisión. En el mismo sentido, Nicholls y Altieri (2017) destacan que las estrategias agroecológicas, como el manejo eficiente del recurso hídrico y el rediseño de sistemas agrícolas, son esenciales para enfrentar el cambio climático y reducir la vulnerabilidad de los cultivos. El Plan Sectorial de Adaptación al Cambio Climático (ODEPA, 2023) refuerza esta idea proponiendo líneas de acción que incluyen la investigación e innovación tecnológica como ejes prioritarios.

3. Marco Empírico

Este tema es relevante porque se conecta con el desarrollo profesional de magister en ingeniería industria, el cual permite aplicar conocimientos y desarrollar una labor profesional desde la consultoría y asesoramiento a un proyecto ingenieril creando valor en objetivos estratégicos (Arpaia, 1990).

El proyecto permite el desarrollo comercial de productos que son sustentables con el medio ambiente y buscan una solución a la escasez hídrica, cada producto frutícola, y paltos en este caso, necesitan un sistema de riego diferente, pensando en la producción de los años venideros, la Fundación para la Innovación Agraria, dependiente de la Asociación de Exportadores de Fruta de Chile, comenta, a través de su director de proyectos, que las técnicas de regadío eficaz "pueden economizar hasta un 15% del recurso hídrico" (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2020, párr. 4).

En la actualidad, las empresas de la zona están pasando por una fuerte crisis económica, medioambiental y como gobierno corporativo, entendiendo que el 70% de los recursos hídricos en el mundo se usan para producir alimentos, "de modo que una crisis del agua necesariamente repercutirá en el abastecimiento de alimentos y el precio de estos" (ODEPA, 2018, p. 3).

Comprendiendo las raíces del problema, se busca que la empresa se adapte a las condiciones hídricas actuales mediante la creación de alianzas estratégicas con exportadoras y la optimización de sus sistemas internos para enfrentar la escasez. Además, se pretende implementar una solución sostenible que asegure su continuidad a lo largo del tiempo sin perder la esencia de ser una productora agrícola y frutícola.

Esto permite la reducción de costos y ofrecer productos con variedad de paltas y su derivado, como el aceite de este fruto, con relevancia en calibre y tamaños para su venta al mercado internacional y nacional.

En los mercados dinámicos y emergentes tiene mucha relevancia "los desafíos que nos impone el cambio climático y la vulnerabilidad de nuestros sistemas agrícolas frente a los escenarios de escasez hídrica; por ello, se deben fortalecer los sistemas productivos a través de prácticas sustentables, responsables e innovadoras" (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2020, párr. 6).

El beneficio del proyecto está en mejorar las bajas producciones, pérdida de calibres y negación de mercados que se generan debido a la escasez hídrica. En particular, generar una producción frutícola con uso eficiente del agua, evitando problemas en la calidad de producción y venta en los mercados competitivos a mediano plazo.

3.1 Hipótesis

La implementación de atomizadores en la red hídrica permite una mejora significativa en el calibre del fruto, lo que incrementa el precio de venta y justifica económicamente la inversión realizada.

3.2 Objetivo General

Evaluar el costo-beneficio de una red hídrica mejorada mediante atomizadores en una explotación frutícola, considerando el impacto sobre el calibre del fruto y el uso eficiente del agua.

3.3 Objetivos Específicos

OBJ1) Establecer las principales variables asociadas a viabilidad financiera al efectuar cambios en la producción agrícola considerando normas de huella hídrica.

OBJ2) Definir un modelo de la sustentabilidad de la huella hídrica basado en la evaluación de distintos sistemas de aspersión, estimando costos y beneficio neto de un nuevo sistema de riego.

OBJ3) Evaluar los distintos procesos de producción agrícola de paltas mediante aspersores y comparativas con ejecuciones actuales para identificar mecanismos que mejoren la eficiencia productiva con menor consumo hídrico.

3.4 Metodología

El proyecto se enfoca en los sistemas de aspersión y su evaluación en base a los proveedores que tiene el país y permiten realizar una evaluación costo-beneficio en base a la información de técnicas de expertos agrícolas y de regadío. Se enfoca en el problema puntual que tiene la producción de palta en la zona de Zapallar.

A continuación, describiremos los pasos a seguir dentro de este proyecto de tesis:

1. Análisis exploratorio
    a. Recolección de fuentes de información primaria desde la empresa frutícola en base a estudios realizados por la organización y análisis razonado de su información financiera, incluye documentos e informes financieros tanto históricos como actuales.
    b. Recolección de fuentes de información secundaria en base a estudios con catastro de condiciones hídricas que se presentan en la zona, también se considera estudios como el historial de las condiciones climatológicas que afectan al sector y la empresa.
2. Análisis cuantitativo

Se empleó una metodología cuantitativa de tipo aplicada y diseño no experimental. Se compararon dos sistemas de riego (aspersores tradicionales vs. atomizadores) en una misma unidad productiva agrícola, analizando variables como consumo de agua, calibre del fruto, costos de inversión y retorno económico. La información se recolectó durante dos temporadas consecutivas y se analizó mediante tablas

comparativas y evaluación de indicadores económicos como beneficio neto, relación beneficio/costo e incremento en ingresos.

a. En conjunto con el área de gestión de control y con las fuentes de información primaria, se utiliza los documentos e informes financieros del análisis anterior para proyectar la situación financiera, además junto al área de estudios se proyecta condiciones climatológicas.

3. Generación de hipótesis

a. Al obtener los cambios en la proyección de caudales hídricos para la producción en el predio agrícola y la revisión de recursos financieros, se establecerá hipótesis para desarrollo y evaluación de solución.

4. Desarrollo de solución

a. Se establece un estudio fundamentado en el calibre proyectado, de acuerdo con la solución planteada en la hipótesis, lo que permitió determinar tanto los rendimientos hídricos como la proyección de producción.

b. También se evaluará la opción de convertir parte de la fruta en producción de aceites, haciendo comparativa de los calibres dispuestos hace temporadas pasadas versus la proyección.

c. También se realiza estudio de sequía hídrica, revisando cambios de valores y disposiciones del mercado, de esta se revisa condiciones de consumo del mercado en general.

d. Se establece propuesta de formato y presentación para conseguir certificaciones GlobalGap (Red de Agricultura Sostenible) y el sello RainForest Alliance.

e. Se desarrolla procedimiento para cumplir con estándares de la DGA (Dirección General de Aduanas).

f. Se propone solución técnica de aspersaje, mediante evaporaciones y climatología de la zona.

g. Se realiza propuesta de gobierno corporativo de la empresa y su proyección en el mercado agrícola internacional

5. Evaluación de solución

a. Se desarrolla la evaluación financiera de la solución, proyectando flujos de caja y evaluando el proyecto desarrollado en base a indicadores de evaluación de proyectos.

b. Se evalúan normas y políticas que se implementarán relacionadas a la huella hídrica, las cuales generan cambios en la administración y gestión de la organización.

c. Se evalúa el plan de concientización y socialización en materia de recursos humanos capacitando al personal.

A continuación, se presenta la tabla 1 correspondiente a la planificación de la etapa de estudio y diseño de investigación:

Tabla 1
Planificación etapa de estudio

Etapa	Actividad	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
1	Recolección de fuentes de información primaria y análisis	●													
2	Recolección de fuentes de información secundaria y análisis		●												
3	Proyectar situación financiera			●											
4	Proyectar situación climatológica				●										
5	Hipótesis para desarrollo y evaluación de solución					●									
6	Estudio en base al calibre proyectado para proyección de producción						●	●	●	●					
7	Evaluación de producción de aceites							●	●	●	●				
8	Estudio de sequía hídrica								●	●	●	●			
9	Elaboración de procedimientos de certificaciones									●	●	●	●		
10	Propuesta de política de gobierno corporativo										●	●	●		
11	Desarrollo y evaluación financiera											●	●	●	
12	Evaluación de políticas y cambios en gestión de la administración												●	●	●
13	Evaluación del plan de concientización y socialización													●	●

Nota. Fuente de elaboración propia.

3.5 Resultados y discusión

En este apartado se busca identificar un cambio sistemático de materiales de riego y capacitación frente al consumo del recurso hídrico, debido a que nos encontramos en una sequía en la provincia de Petorca. Para el concepto de sequía se considera la siguiente definición: “anomalía transitoria en la que la disponibilidad de agua se sitúa por debajo de los requerimientos estadísticos de un área geográfica dada. El agua no es suficiente para abastecer las necesidades de las plantas, los animales y los humanos” (Iagua, 2021, párr. 12). Por este motivo, es imperioso tener en cuenta los indicadores que se reflejan en los últimos años respecto al consumo hídrico, dentro de las cuales aparecen la evapotranspiración y temperaturas promedio que afectan a la zona. En la figura 1 se aprecia la geografía y altitud, para el caso de la empresa cuyo sector se denomina Morro 2.

Figura 1

Imagen satelital de zona de cultivo, Zapallar, Chile



Nota. Fuente de elaboración propia adaptado de imagen satelital de comuna de Zapallar.

Existen cinco metodologías que permiten determinar distintos sistemas de riego. Los sistemas de riego instalado y las condiciones de instalación son las siguientes:

3.5.1 Aspersores de alto flujo

Estos sistemas son los más básicos de regadío y se encuentran sobredimensionados para la condición y el formato del uso de suelo (camellon) y su espacio requerido por la planta, su instalación es a través de matricerías subterráneas para la protección del sol, y un formato de implementación de caudales mediante chicotes de plansa de 1/2” que se observan en la figura 2, donde la condición de producción actual está un tanto alejada de las nuevas tecnologías y sistemas de producción agrícolas.

Figura 2
Chicotes de plansa de 1/2"



Nota: Chicotes de plansa de 1/2”. Fuente: González (2024).

3.5.2 Aspersión por Gota

Este método de riego distribuye el agua de manera que cae en forma de lluvia sobre la superficie seleccionada, donde el sistema transporta el agua a través de tuberías a presión, y al pasar por el aspersor, esta se dispersa en múltiples gotas (Icochea, 2020). La principal problemática en este cultivo es que estos aspersores sobredimensionan la cantidad de agua requerida por cada uno de los árboles, y aún más, su ratio de “mojamiento” óptimo es elevado a la condición de cantidades requeridas por el camellón de plantación tal como se observa en la figura 3. En Chile, hace 10 años eran óptimos para la capacidad hídrica del país y de los estudios que se identificaban en el momento.

Figura 3
Aspersión por gota



Nota: Fuente de elaboración propia, imagen referencial de aspersor en pasto y predio.

En la figura 3 se identifica como la gota de aspersión es sobredimensionada, frente a los requerimientos de colonización de la planta, entregando flujos de agua 50L/h.

3.5.3 Aspersor de impacto

En este caso, la formación de gotas proviene de dos fuentes: el chorro de agua a presión y la acción del brazo que interrumpe dicho chorro. Los factores clave que afectan tanto al chorro como al tamaño de las gotas son la presión y el tamaño de la boquilla. A medida que aumenta la presión, las gotas se vuelven más pequeñas, debido al incremento en la velocidad del chorro y su diferencia con la velocidad del aire circundante. Además, cuando la boquilla es más pequeña, las gotas también tienden a ser más pequeñas, ya que el aire llega con mayor rapidez al centro del chorro.

3.5.4 Aspersor por Nebulización

> Es un sistema de riego en el cual se expulsa agua en forma de neblina, a través de emisores colocados en la parte superior de los cultivos, el cual, además de suministrar agua o fertilizante, contribuye a disminuir temperatura y elevar el nivel de humedad relativa en el interior de los invernaderos. (Iagua, 2022, párr. 8)

A continuación, se presenta la tabla 2, que evidencia la cantidad de horas y consumo hídrico en las distintas temporadas de los últimos dos años, estas tienen como variables las condiciones climatológicas y las edades de los cultivos asociados al sector del Morro 2.

Tabla 2

Cantidad de horas y consumo hídrico 2 periodos

Paltos morro2	2019 inv	2019 ver	2020 inv	2020 ver
Cantidad Hectareas	10	10	10	10
aspersor af	5550	5550	5550	5550
e/h	5	12	4	12
aspersión	60	144	48	144
%riego et	Camellón / Planta	Camellón / Planta	Camellón / Planta	Camellón / Planta
Riego ET0	100	120	100	100
recurso utilizado (l)	16.650.000	39.960.000	13.320.000	39.960.000

Nota: Los valores presentados permiten determinar que los recursos hídricos utilizados tienen sobreconsumo en materia de cuidado de huella hídrica, además se deben asociar otras problemáticas como enfermedades fungosas y asfixias relevantes al sobreexceso de riegos en los cultivos presentados. Fuente: Icochea (2020).

Tecnologías avanzadas de “mojamiento”: como la empresa ya tiene un gasto asumido a la instalación de riego, y de cada uno de los componentes que se identifican en la instalación y trabajos asociados al sistema de riego, existen nuevas tecnologías avanzadas de “mojamiento” de ratios, asperjase con dirección manipulable, medidor de cantidad de agua entregada y mejor precio de adquisición.

3.5.5 Aspersores de flujo regulado

Existen aspersores de flujo regulado, especialmente diseñado para producción de carosos y frutales de alto consumo de agua, esto es útil cuando existe “mojamiento” de camellón homogéneo y una amplia y efectiva colonización de las raíces en la planta a regar. Existen dos proveedores que se encuentran en la vanguardia de los sistemas de asperjases, las empresas Netafim y Agricom, dando opciones de ayuda para los casos de mejoramiento de sistemas de mantención y proyectos de mejoramiento hídricos. Como supuesto de este sistema es que las máquinas no fallan y que cumplen con la uniformidad del sistema de asperjase elegido.

Veamos un ejemplo de flujo regulado:

SuperNet™ LR&LRD (Largo)

Adecuado para huertos plantados con grandes volúmenes de raíces y amplio espacio entre árboles. SuperNet ™ LR & LRD crea grandes diámetros húmedos (LR 4.5-8.0m; LRD 1.5-2.0m).

El modelo LR cuenta con un rotor de riego giratorio de largo alcance que suministra agua y fertilizantes cerca de la zona de la raíz, mientras deja tiras secas entre las filas.

SuperNet ™ LRD cuenta con un rotor de dos etapas con un deflector de flujo único que permite ajustar el diámetro húmedo según el crecimiento del árbol. Al principio, el rotor con el deflector concentra la cobertura de agua en el área cercana al árbol joven. A medida que el árbol crece, y la zona de la raíz se hace más grande, se puede romper el rotor con el deflector para permitir un diámetro de riego más amplio. Diseñado para huertos con topografías desafiantes.

Microaspersor de caudal regulado con 10 caudales diferentes: 20, 28, 30, 35, 40, 50, 58, 70, 90, 110 l / h.

Rango de presión: 1.5 a 4.0 bar.

5 tipos de conectores de entrada: autorroscante, ajuste a presión, rosca macho de 3/8 ", rosca macho de 1/2".

2 tipos de cojinetes superiores: Estándar para agua normal y Everspin ™ para agua fuerte, en la figura 4 se ve el aspersor de flujo regulado.

(Netafim, 2021, párr. 4)

Figura 4

Riego para árboles con grandes volúmenes de raíz.



Nota: Fuente imagen de SuperNet™ LR&LRD (Largo) (Fuente: Netafim, s.f.).

En la tabla 3 se presentan los Indicadores de consumo Aspersor FC sector Morro 2, donde se observa el gasto en el sistema de riego antiguo (se incluye mano de obra o jornadas de personal), usando aspersores que tienen como característica la funcionalidad específica para los frutales a producir y la entrega del recurso hídrico que corresponde a la producción de paltos.

Tabla 3

Indicadores de consumo Aspersor FC sector Morro 2

	CANTIDAD	VALOR ($)	1HA	10HA
ASPERSORES	1	1.190	660.450	6.604.500

J/H JORNADAS/PERSONAL	1	25.000	100.000	1.000.000
PLANZA SPAGUETTI	1	12.000	60.000	600.000
OTROS	1	2.500	12.500	125.000
TOTAL			832.950	8.329.500

Nota. Elaboración propia tomando información entregada por empresa de estudio.

3.5.6 Discusión

Así, de estas 5 metodologías, podemos identificar 2 metodologías que aplican a la problemática estudiada y se usan actualmente: Riego por Nebulización y Riego por flujo regulado, donde se puede establecer las principales variables asociadas a viabilidad financiera al efectuar cambios en la producción agrícola, efectuando normas de huella hídrica, en la tabla 4 se presenta el resumen de variables sistema de Aspersajes

Tabla 4

Resumen de Variables Sistema de Aspersajes

RESUMEN TIPO DE ASPERSORES	COSTO	OPTIMIZACIÓN CALIBRE
ASPERSORES DE ALTO FLUJO	ALTO	BAJO
ASPERSIÓN POR GOTA	MEDIO ALTO	MEDIO
ASPERSIÓN DE IMPACTO	MEDIO	MEDIO
ASPERSOR POR NEBULIZACIÓN	BAJO MEDIO	MEDIO ALTO
ASPERSORES DE FLUJO REGULADO	BAJO	ALTO

Nota: Resumen de empresa para los tipos de aspersajes. Fuente: Elaboración propia tomando datos de empresa de estudio.

De las metodologías anteriores, los costos asociados a la instalación del riego son cercanos a los $3M por hectárea de producción de paltos, en esto se contempla cada uno de

los insumos a utilizar para la instalación óptima de esta, sin mencionar los movimientos de suelo, que son anclados a la preparación de tierras, pero que aplican al camellón de igual forma.

En la tabla 5 se presentan los indicadores de gasto metodología 1 sector Morro 2, donde se desprende que los gastos del recurso acuífero al trabajar con aspersores de nebulización entregan un margen de riego no manejable, ni menos aconsejable en los periodos que se presentan con escasez del recurso.

Tabla 5

Indicadores de Gasto Metodología 1 Sector Morro 2

	CANTIDAD	VALOR	1 HA	10 HA
PVC MATRIZ 90¨	1	$29.990	$ 449.850	$ 4.498.500
PVC SUB-MATRIZ 50¨	1	$12.500	$ 375.000	$ 3.750.000
PLANZA ½	1	$80.000	$ 320.000	$ 3.200.000
ASPERSORES AF	1	$ 3.290	$1.825.950	$ 18.259.500
GROMING	1	$ 110	$ 2.200	$ 22.000
PEGAMENTOS	1	$ 1.490	$ 14.900	$ 149.000
VALVULAS	1	$ 8.490	$ 33.960	$ 339.600
OTROS	1	$ 2.000	$ 2.000	$ 20.000
TOTAL			$3.023.860	$ 30.238.600

Nota. Diferencias de 1 ha a 10 ha. Fuente: Elaboración propia tomando datos de empresa de estudio.

Al analizar el gasto para flujos controlados, y siguiendo los mismos márgenes de producción deseados en los cultivos evaluados, una tabla de evapotranspiración constante y similar a lo entregado en los últimos años, podemos identificar los consumos de agua que se presentan a continuación:

La cantidad del recurso utilizado, la cual es necesaria como requerimiento de producción optima del frutal, un “mojamiento” homogéneo en el camellón, e información constante que presenta el aspersor, regulando flujos hídricos y reduciendo de las horas de riego entregadas, son claves para optimización del recurso, existe claramente un cambio sustancial en la materia de consumo hídrico, el cual da una inmejorable situación, haciendo más eficiente el riego y las condiciones que permiten a la planta colonizar y expandirse en el camellón dispuestos. Considerando, de igual manera, que están estos márgenes sacados en similitud a los años anteriores regados. Así, en la Tabla 6 se presentan los indicadores de gasto metodología 2 sector Morro 2 con su evolución en el tiempo.

Tabla 6

Indicadores de gasto metodología 2 sector Morro 2

PALTOS MORRO 2	2019 VER	2021 VER FC	2020 VER	2020 VER FC
CANT. HECTÁREAS	10	10	10	10
ASPERSOR AF	5.550	5.550	5.550	5.550
R/H RIEGOS POR HORA	12	10	12	10
R/H RIEGOS POR TEMPERATURA	144	120	144	110
ASPERSIÓN	CAMELLÓN / PLANTA	CAMELLÓN / PLANTA	CAMELLÓN / PLANTA	CAMELLÓN / PLANTA
% RIEGO ET10	120	120	100	100
RECURSO UTILIZADO	39.960.000	12.320.000	39.960.000	12.210.000

Nota. Diferencias Riego ET10. Fuente: Elaboración propia tomando datos de empresa de estudio.

A continuación, se identifican un conjunto de 8 variables que define la ODEPA como parte de sus procesos de socialización para el cambio climático al 2030, celebrando los 50 años de la reforma agraria, para un modelo que permite determinar la viabilidad financiera y sustentable en la industria agrícola y de regadío y que han estado a cargo de la operación estudiada (ODEPA, 2018).

Superficie sembrada bajo cultivo de riego: no toda la superficie está apta para la plantación del fruto, así debe determinar cuál es la zona apta para cultivo bajo condiciones de temperatura de humidificación. Esta variable muestra que las hectáreas producidas han sido mermadas por la condición climatológica más la escasez del recurso hídrico.

Superficie no sembrada bajo cultivo de riego: las superficies se catalogan en cuarteles identificadas por su alta producción de palta, en el caso de esta plantación, en la zona morro 2 existe un margen de plantación de 6x3 m. lo cual indica una totalidad de plantas presentadas por Ha de 555 unidades, en donde encontramos como planta productora a la variedad Hass en su condición de Clonal y machos polinizantes de variedad Negra de la cruz, un ejemplo de superficie no sembrada es la que aparece en la figura 5.

Figura 5
Superficie no sembrada bajo cultivo de riego



Nota: Fuente de elaboración propia, imagen superficie en cuarteles morros.

Precio del agua: es uno de los costos más relevantes para todo el proyecto, el insumo principal y el costo variable más importante. La escasez de agua y su precio forman parte de su evolución, el cual es clave en la viabilidad financiera. La figura 6 es un cuadro de escorrentía por región que explica el escurrimiento del agua de lluvia por la red de drenaje hasta alcanzar la red fluvial, el cual es clave para los precios.

Figura 6
Escorrentía Per Cápita

MACROZONA	REGIÓN	REGIÓN	M³/S	ESCORRENTÍA PER CÁPITA M³/PERSONA/AÑO
Norte	XV	Arica y Parinacota	5,5	725
	I	Tarapacá	6,4	599
	II	Antofagasta	0,9	47
	III	Atacama	1,9	190
	IV	Coquimbo	22,2	908
Centro	V	Valparaíso	41	703
	RM	Metropolitana	103	444
	VI	O'Higgins	205	7.037
	VII	Maule	767	23.191
Sur	VIII	Biobío	1.638	24.432
	IX	Araucanía	1.041	33.167
	XIV	Los Ríos	1.046	81.563
	X	Los Lagos	4.109	154.058
Austral	XI	Aysén	10.134	2.950.168
	XII	Magallanes	10.124	1.938.956
Total			**29.245**	**5.216.188**

Fuente: adaptado de Atlas del agua (DGA, 2015).

Nota: Escorrentía per cápita para cada región de Chile. Fuente: ODEPA (2018, p. 150).

Precio de los tipos de aspersajes: considera todos los insumos necesarios como parte de la inversión del sistema regadío.

Proyección cantidad producida: corresponde a la meta o presupuesto de producción dada las condiciones geográficas y del recurso hídrico para el proyecto

Calibre del fruto: el calibre es la medición con la cual se ve la calidad del fruto y con la cual en el mercado internacional se pueden eliminar los precios de este, el siguiente es un

cuadro con los matices a los cuales se ha ido definiendo la condición de fruta, teniendo como punto relevante para el ingreso a mejores mercados, tomando el precio referencial por calibre.

En la tabla número 7 se presenta el formato de calibres para paltos en USD, de esta información que se entrega en la tabla, se puede evidenciar un sustancial aumento en los calibres de mayor numeración, que para la nomenclatura de mercado de exportación equivale a fruta de menor tamaño y peso, por ejemplo, el calibre 111 es el de menor precio y calidad, en cambio el 040 como fruta de superior tamaño y peso. Por ende, los precios por los cuales se logra competir en los mercados internacionales están correlacionados a estas condiciones de calidad.

Tabla 7

Calibre y Precio Promedio del Aguacate

FRUTA DE AGUACATE (CALIBRE)	2017	2018	2019	2020	PRECIO PROMEDIO (USD)
0.40	7.76	5.2	3.01	0.19	2.39
0.50	11.35	11.1	5.55	4.76	2.34
0.60	24.89	13.88	15.26	11.97	2.10
0.70	15.99	16.9	19.09	17.79	1.63
0.84	29.3	34.7	33.65	26.66	1.01
111	10.71	18.22	23.24	39.63	0.90

Nota. Fuente de elaboración propia tomando promedios dados por empresa de estudio (2017-2020).

Se espera que las mejoras de calibre en la fruta del aguacate permitan, bajo el nuevo sistema de riego, mejoras en la caudalización de los recursos destinados a la planta, mejora sustancial en la destinación de recursos hídricos, mejora en los calibres y un menor nivel de riegos en los momentos críticos de la producción y crecimiento vegetativo. El calibre que presenta en los últimos 4 años la empresa es un predominante a los calibres más pequeños, los

cuales están fuertemente anclados a la condición de agua integrada al cultivo en los periodos más importantes de su crecimiento vegetativo.

Proyección pluviométrica: la proyección pluviométrica se realiza a través de un sensor con herramientas de climatología, que ayudan a compensar y comprender el funcionamiento del clima en el sector de manera específica. Esta herramienta dispone de sensores de viento, humedad relativa, temperatura, evaporación y radiación.

Esta herramienta permite la proyección en cada temporada de producción de frutales, se sitúa en un sector estratégico para la medición de los márgenes posibles, cuenta con 10 microsondas posicionadas en los cultivos y sectores más relevantes del predio (cuarteles). A continuación, en la figura 7, se presenta esta sonda:

Figura 7
Sonda LemSystem



Nota: Fuente de elaboración propia, imagen Sonda LemSystem Morros 2.

Con los parámetros que se presentan en la sonda de la frutícola es posible optimizar los riegos a justa medida por cultivo, identificar cuando es necesario dar hidratación a la planta específica y controlar las variables como el consumo hídrico en una temporada

completa. A continuación, en la figura 8, se muestra un resultado del programa computacional de la sonda:

Figura 8
Resultados del software asociado a sonda LemSystem



Nota: Fuente de elaboración propia, ejemplo de resultados sonda LemSystem.

Respecto a las variables que muestran la sonda podemos revisar que las temperaturas promedio de cada uno de los años han cambiado conforme a las precipitaciones anuales y, así mismo, al cambio climático de la zona, en donde evidenciamos que las t° mínimas disminuyen y bordean la condición del grado 0, y en verano esta condición es adversa, encontrando elevación en las t°, esto implica pérdida de humedad en la superficie (evapotranspiración), tal como se comentó en la parte anterior.

Las precipitaciones muestran la condición de cambios que se presentan en los últimos años evidenciados, en donde la razón promedio del cambio en su historial es de 450mm anuales, versus el año 2019, considerado el más seco de la historia en Chile, no es ajeno a lo presentado en el predio, en donde su carácter de lluvia solo alcanzó los 44mm. Más baja es la condición de precipitaciones anuales, menor es el cauce que puede llenar los embalses naturales y la recuperación de las napas de aguas subterráneas.

La variable Et0 es la información de mayor relevancia, este es un indicador que promedia la temperatura y las humedades relativas de un sector determinado, entendiéndose que la herramienta identifica los minutos u horas de riego de un cultivo. La regla es que, a

mayor numeración es identificada, mayor es la cantidad del recurso a utilizar por cada uno de los cultivos. A continuación, se refleja en los resultados de estas variables en el último lustro.

En la tabla 8 se presentan los indicadores de proyección pluviométrica 2016-2020, con la información entregada por la sonda dispuesta en el predio, podemos evidenciar los cambios que han ocurrido a lo largo de los últimos años respecto al recurso hídrico.

Tabla 8

Indicadores de Proyección Pluviométrica

PALTOS MORRO 2	2016	2017	2018	2019	2020
CANT HECTÁREAS	12	11	10	10	10
T° BAJAS / INV C°	3	3	2	2	1
T° ALTAS/ VER C°	29	31	33	33	32
PRECIPITACIONES MM	168	146	84	44	252
ETO INV	1.5	1.45	1.6	2.3	2.1
ETO VER	3.1	3.1	3.6	4.2	3.9

Nota: Fuente de elaboración propia tomando información de empresa de estudio.

Cuaja del fruto: la empresa, en los últimos periodos productivos, en el área agrícola y fruticultura ha dado una constante baja en las producciones anuales del cultivo de la fruta de palta o aguacate, si bien es cierto, existen procesos estandarizados como la fertilización, y cuidados culturales, existe una importancia en uno de los periodos fenológicos de la planta, la que se determina como la cuaja de la fruta, el cual es un periodo relativamente corto y que esta afectó a la fecha de mayor alza de temperatura en la zona (verano), existen aumentos constantes de temperatura que se elevan día a día por el periodo completo de la estación, más aun considerando las falencias anuales en las precipitaciones y la baja de humedad relativa en el ambiente. La cuaja es clave en la viabilidad financiera porque permite determinar el punto en el cual se debe desarrollar los procesos de packing para exportación y su futura venta.

Al analizar estas 8 variables, se puede proyectar que la problemática existente por escasez del recurso hídrico en la zona y empresa se hace temporada a temporada más relevante, exigiendo cambios o soluciones mucho más complejas. La empresa busca con este modelo una mejora en las condiciones actuales de sus sistemas de riego, si bien es austero se busca evitar que la fruta sea castigada en los mercados internacionales a donde se destina su venta.

Definir un modelo de la sustentabilidad de la huella del agua basado en la evaluación de distintos sistemas de asperjases.

En este capítulo se realiza el estudio de sequía hídrica, revisando cambios de valores y disposiciones del mercado, de esta se revisa condiciones de consumo del mercado en general en base a modelo propuesto de estudio. Así, se podrá evidenciar los cambios y soluciones propuestas, en las cuales se refleja su condición de mantención del recurso, disminución de este respecto a años anteriores, mantención y producción de fruta en estado óptimo, alcance de mercados propuestos para el fruto a producir y mejoramiento continuo de formas destinadas a la producción y mejoramiento tecnológico.

Si bien el diseño agronómico de los sistemas de riego localizado se basa en la determinación de la forma y la distribución de agua en el volumen de suelo mojado, este paradigma debe cambiar, pensando en las condiciones de clima, suelo y plantas determinadas bajo la escasez hídrica (Vermeiren & Jobling, 1986). Además, conocer esta información no es simple, puesto que el personal de trabajo en el campo es el que realiza, bajo su experiencia de campo, la mayor parte del desarrollo del diseño agronómico (Marino & Tracy, 1988). Con todo, los modelos de riego son empíricos, simplistas y basados en escasos criterios técnicos, donde el resultado implica tener valores totalmente supuestos de variables del riego y del volumen de suelo mojado. Es por lo que el modelo propuesto cambia estas condiciones, ya que el diseño es la principal razón y limitación que tienen en la actualidad los sistemas de

riego localizado para alcanzar una alta eficiencia en el uso del agua (Ramírez, 1994). En cambio, existe poco enfoque en la escasez del recurso y su viabilidad económica.

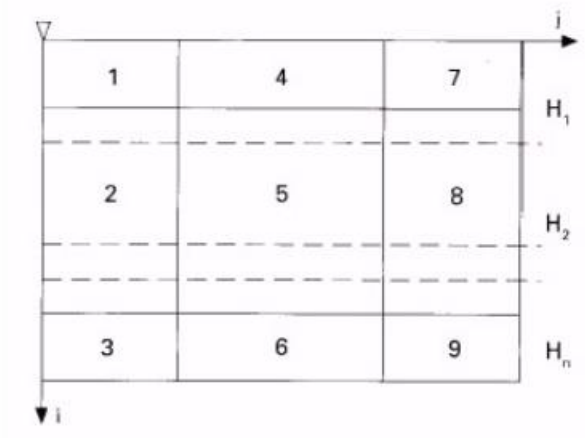
Así, en este trabajo, se propone y desarrolla un modelo que atenúa las variables más técnicas del regadío bajo el supuesto del uso de un método eficiente de regadío, y se enfoca en el diseño de un instrumento que evalúa la viabilidad financiera, revisando el peso específico de cada variable para determinar el resultado del calibre de la fruta y su posterior venta a los distribuidores.

A continuación, se caracterizan las variables asociadas a la viabilidad financiera para efectuar cambios en la producción agrícola, considerando normas de huella hídrica de acuerdo con lo propuesto por ODEPA:

V.1) Superficie sembrada bajo cultivo de riego:

Bajo el sistema electrónico de toma de datos a los aspersores, por un lapso de 4 meses, se efectúa la recolección del agua de cada gotero muestreado, y se hace un barrido en forma de malla para reconocer los promedios obtenidos por cada repetición y tratamiento, donde efectivamente se realiza el "mojamiento" del suelo en base a cuadriculas, tal como lo muestra la figura 9.

Figura 9
Cuadricula zona de regadío



Nota: Fuente de elaboración propia, cuadricula zona de regadío.

El palto, al ser un árbol perenne, consume agua durante todo el año. Bajo clima mediterráneo (de la plantación), el consumo de agua anual del palto adulto regado por microaspersión debe variar entre 7.000 y 16.000 m3/ha/año. Se esperaría que en esta zona los meses de junio, julio y agosto, la demanda hídrica pueda ser absorbida en una parte por las lluvias (Red Agrícola, 2017).

V.2) Superficie No sembrada bajo cultivo de riego: para revisar las zonas no sembradas y no mojadas en el cultivo de riego, se deben evaluar en el terreno por sistema de revisión del regadío el tamaño real de la superficie no sembrada (Walker & Jobling, 2003).

V.3) Precio del agua: desde el punto de vista económico es el aspecto más cuantitativo para para determinar la relación de esta variable con el modelo, ya que se tiene una serie de 2 años para determinar la viabilidad financiera y los cambios de tarifa.

V.4) Precio de los elementos de aspersión: el precio de los tipos de aspersión son parte de la inversión inicial del proyecto y, por ende, parte fundamental para la viabilidad financiera.

V.5) Proyección cantidad producida: dada la situación de la superficie, se considera esta variable dentro del estudio para evaluar su grado de independencia en relación con la producción, considerando las condiciones geográficas y la disponibilidad del recurso hídrico en el proyecto. Sin embargo, al no existir datos históricos, esta variable podría excluirse del modelo.

V.6) Calibre del fruto: variable fundamental que se encuentra relacionada al precio del producto, la correlación es que a mayor calibre mejor el producto y, por ende, mejor precio.

V.7) Proyección pluviométrica: se registra los datos del sensor con indicadores de climatología (viento, humedad relativa, temperatura, evaporación y radiación), que ayudan a compensar y comprender el funcionamiento del clima en el sector de manera específica. La proyección hídrica permite revisar en cuanto aportará al gasto real el consumo del agua. Si

bien es cierto que es clave conocer el contenido del agua inicial en las superficies con riego, esta variable del modelo explica el grado de relación entre las proyecciones futuras.

V.8) Cuaja: el determinar el grado de madurez exacto permitirá asegurar que el periodo de maduramiento genere una sensación de fresco de los productos de cara a distribuidores y clientes final. Existe un escalar definido para el tipo de cuaja en base a un número, esta escala se muestra en la figura 10:

Figura 10

Escala de Tipos de Cuaja



Nota: Fuente de elaboración propia, tipos de cuaja.

Modelo de Datos:

Los datos del modelo en base a las observaciones realizadas en el periodo de 2 cosechas (2019-2020) seguirán las siguientes consideraciones para cada variable, permitiendo obtener datos cuantitativos, los variables tienen asociados la fecha de observación correspondiente a los días que se hizo regadío:

En la Tabla 9 se presenta variables del Modelo de Datos 2019-2020.

Tabla 9

Variables del Modelo de Datos 2019-2020

VARIABLE CUANTITATIBA	UNIDAD DE MEDIDA	DEFINICIÓN
SSBR HA	HECTAREA	ESTIMACIÓN UTILIZANDO CUADRANTES DEL PREDIO

SNSBR HA	HECTAREA	ESTIMACIÓN UTILIZANDO CUADRANTES DEL PREDIO
PRECIO H2O USD	MONEDA DÓLAR	LOS COSTOS SE ACTUALIZAN A DÓLAR PARA ESTIMAR EL MARGEN DE GANANCIA
PRECIO ASPERS UDS	MONEDA DÓLAR	PRECIO CIF, POR EXPORTACIÓN
CANTIDAD TON	TONELADA	PRODUCCIÓN EFECTIVA
CALIBRE MM	MILIMETROS	CALIDAD DE LA PALTA, CORRELACIONADO AL PRECIO DE VENTA
PLUVIOMETRIO ET0	TEMPERATURA	EVOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL
CUAJA	ESCALAR	MADUREZ EN ESCALAR DE 1 A 5

Nota: Fuente de elaboración propia en base a modelo.

Carga de datos en R:

A continuación, realizaremos la descripción y explicación del script utilizado para cargar los datos como un Dataframe de R.

Para esta tesis se ha decidido escoger R debido al manejo adquirido en términos de competencia del proceso formativo de la herramienta y el gran manejo de variables estadísticas que posee. Se realiza el desarrollo a través del software R-Cloud (Nube).

La carga de datos en forma de variables cuantitativas permite usar el uso de paquetes y la librería. La carga se hace en base a archivo CSV tabulado por “;” .

Al construir el data frame se debe ajustar desde la variable cuaja en el modelo de datos, ya que es una variable cualitativa, es por eso que se divide 5 tipos de cuaja en base a la clasificación que le da el observador del predio.

Se usará R, ya que desde una perspectiva docente y estudiantil está diseñado para data science, y en niveles de programación es un software que funciona en la nube o localhost, además los comandos son de fácil aplicación. Como primer paso, realizaremos un Análisis estadístico exploratorio llevado a cabo en R, en la figura 11 se muestra el Resultado R-STUDIO del modelo propuesto.

Figura 11

Resultado R-STUDIO del modelo propuesto

```
      SSBR            SNSBR       Precio_Costo_H20 Precio_Aspers
 Min.   : 8.000   Min.   :0.000   Min.   :1400     Min.   :100.0
 1st Qu.: 8.500   1st Qu.:0.500   1st Qu.:1437     1st Qu.:138.3
 Median : 9.000   Median :1.000   Median :1475     Median :206.1
 Mean   : 8.989   Mean   :1.011   Mean   :1476     Mean   :193.4
 3rd Qu.: 9.500   3rd Qu.:1.500   3rd Qu.:1515     3rd Qu.:245.4
 Max.   :10.000   Max.   :2.000   Max.   :1555     Max.   :258.6
    Cantidad       Calibre       Pluviometrica       Cuaja
 Min.   :5393   Min.   : 11.00   Min.   :6.500   Min.   :0.000
 1st Qu.:5759   1st Qu.: 40.00   1st Qu.:6.800   1st Qu.:1.000
 Median :6149   Median : 40.00   Median :6.800   Median :2.000
 Mean   :6167   Mean   : 54.34   Mean   :6.823   Mean   :1.529
 3rd Qu.:6566   3rd Qu.: 70.00   3rd Qu.:6.800   3rd Qu.:2.000
 Max.   :7011   Max.   :111.00   Max.   :7.344   Max.   :5.000
```

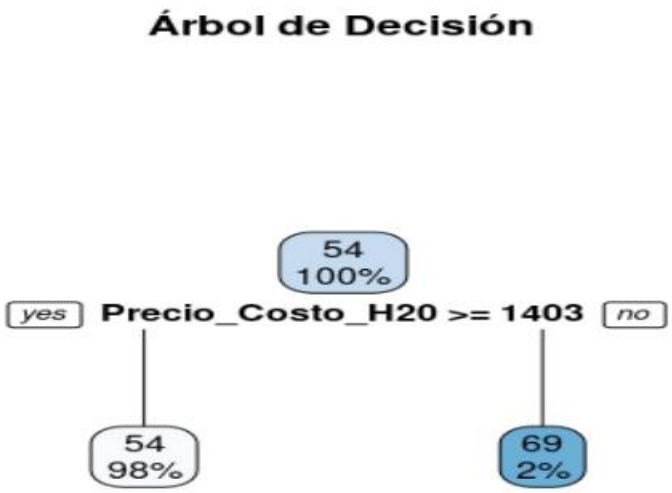
Nota: Fuente de elaboración propia, análisis de variables en R Modelo de Datos 2019-2020.

El algoritmo seleccionado para el modelo es la técnica de árboles de decisión. Este método es ampliamente utilizado en diversas disciplinas como herramienta de predicción (Rdocumentacion, 2021). Su estructura se asemeja a un diagrama de flujo, dado que las decisiones se toman siguiendo un conjunto de reglas predefinidas. En el ámbito del reconocimiento de patrones, los árboles de decisión se aplican en el aprendizaje automático, donde las máquinas aprenden a partir de un modelo predictivo previamente entrenado mediante aprendizaje supervisado.

Construiremos una variable de tipo Resultado (llamaremos R como la variable decision_venta) para construir nuestro árbol de decisión en base a esa variable que debemos trabajar para realizar un modelo certero.

El siguiente es el resultado al aplicar el modelo de árbol de decisión, tal como lo muestra la figura 12:

Figura 12
Árbol de Decisión del Modelo



Nota: Fuente de elaboración propia, Árbol de Decisión del Modelo

El modelo arroja que existe una mejora en el calibre y las relativas acciones están relacionada no solamente a las variables que estructuran y mejoran la condición del fruto, sino las ganancias se encuentran completamente relacionadas al precio del agua.

Veamos la ganancia de información de acuerdo con los algoritmos de árboles de decisión la mayor contribución la ofrecen las siguientes variables de acuerdo al calibre, tal como lo muestra la figura 13:

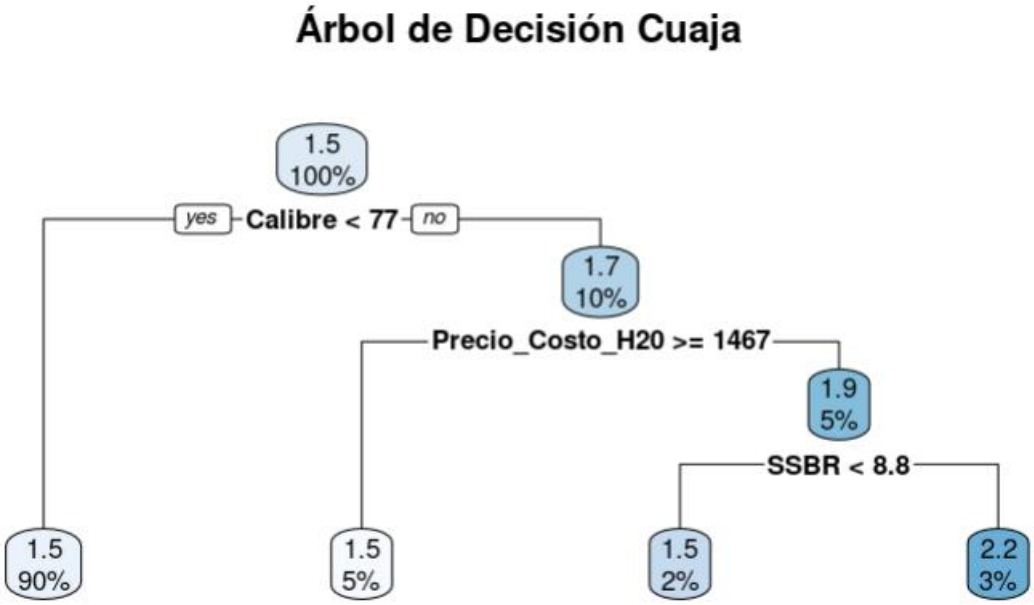
Figura 13
Atributos de importancia según modelo

	attr_importance
SSBR	0.00000000
SNSBR	0.00000000
Precio_Costo_H20	0.52140591
Precio_Aspers	0.52140591
Cantidad	0.52140591
Pluviometrica	0.06246578
Cuaja	0.00000000

Nota: Fuente de elaboración propia, según variable de decisión Calibre

Ahora, si nuestra variable de decisión fuera la cuaja, tendríamos el siguiente modelo más explicativo, tal como lo muestra la figura 14:

Figura 14
Árbol de Decisión usando como variable la Cuaja



Nota: Fuente de elaboración propia, Árbol de Decisión del Modelo Cuaja

Con este nuevo modelo tendremos un mayor nivel de variable explicativa, donde el calibre de la fruta depende tanto del precio del H2O como de la superficie regada, lo cual tiene todo el sentido lógico.

Veamos la ganancia de información con este nuevo modelo. De acuerdo a los algoritmos de árboles de decisión la mayor contribución la ofrecen las siguientes variables de acuerdo a la cuaja, tal como lo muestra la figura 15:

Figura 15

Atributos de importancia según modelo con variable de decisión Cuaja

	attr_importance
SSBR	0.0000000
SNSBR	0.0000000
Precio_Costo_H20	0.8211537
Precio_Aspers	0.8211537
Cantidad	0.8211537
Calibre	0.0000000
Pluviometrica	0.1260604

Nota: Fuente de elaboración propia, Atributos de importancia según este modelo con variable de decisión Cuaja

Los resultados obtenidos evidencian un impacto positivo de la tecnología de atomización en la eficiencia hídrica y en la calidad del fruto, lo cual coincide con estudios realizados por ODEPA (2020) en regiones del sur de Chile. Sin embargo, a diferencia de lo reportado por Pérez et al. (2021), la rentabilidad se alcanzó en un periodo más corto debido a las condiciones climáticas particulares del predio estudiado.

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que la implementación de aspersores de flujo regulado y nebulización ha permitido optimizar el uso del recurso hídrico, incrementando la eficiencia del riego y mejorando el calibre del fruto. Este hallazgo es consistente con estudios realizados por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA, 2023), los cuales evidencian que el riego tecnificado en frutales, particularmente en paltos, puede reducir el consumo de agua entre un 20% y un 30%, manteniendo o incluso mejorando la calidad del producto final.

Asimismo, un estudio del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA, 2020) demostró que la microaspersión y tecnologías adaptadas a la fisiología del palto permiten una mejor absorción radicular, disminuyendo la incidencia de estrés hídrico en los cultivos. Esta

correlación también se manifiesta en el presente estudio, donde la variable de "calibre del fruto" presentó una mejora significativa en relación directa con el control hídrico ofrecido por el sistema de atomización.

Por otra parte, la FAO (2023) ha señalado que el uso eficiente del agua mediante tecnologías adaptativas es una de las estrategias más eficaces para enfrentar los impactos del cambio climático en la agricultura. En línea con ello, los datos recopilados en este estudio evidencian que, además de la rentabilidad económica lograda mediante un menor consumo de agua, se obtuvo un avance en la sustentabilidad operativa del predio agrícola.

A diferencia de lo expuesto por Pérez et al. (2021), quienes plantean que el retorno económico de tecnologías de riego puede demorar entre tres a cinco años, este estudio demuestra que, en zonas con condiciones climáticas específicas como Zapallar, el retorno puede darse en un periodo más breve, debido al impacto inmediato en el calibre y la valorización comercial del fruto.

Finalmente, los resultados validan la hipótesis inicial del estudio y respaldan las recomendaciones de organismos internacionales como la FAO, FIA y ODEPA respecto a la implementación de tecnologías de precisión para mejorar tanto el rendimiento económico como la sostenibilidad del recurso hídrico.

4. Conclusiones y recomendaciones

Si bien existen modelos que consideran los efectos climáticos, fisiológico y económico, este proyecto propone un modelo específico para el cultivo del palto que permite establecer un punto de equilibrio entre los rendimientos económicos y el uso del recurso hídrico (Sandoval, 2008). El modelo implementado considera variables como la cuaja y el calibre, que permiten cumplir con estándares internacionales para alcanzar un mejor precio de venta. El modelo de árbol de decisión se valida mediante un análisis de las ganancias generadas por el calibre, que son explicadas por el precio del costo del H20. Al desarrollar 2 modelos, se observa que en ambos modelos la mayor contribución está asociada a la variable Precio_Costo_H20, donde este es el costo variable del agua que se debe optimizar para obtener mejores calibres y cuajas.

Asimismo, desde el punto de vista de la rentabilidad como indicador de la comprobación del modelo, el costo de los insumos (agua y aspersores) afecta directamente en el uso eficiente del agua. Sin embargo, los operadores no suelen considerar estos elementos y prefieren disminuir el uso de agua en base a su observación y experiencia, de manera intuitiva, sin considerar mecanismos de optimización. Del modelo se concluye que los costos aumentan si se desea reducir la huella hídrica porque hay que aplicar un aumento de gastos en aspersores más eficientes, siendo que calibre y la cuaja se ven altamente correlacionadas al aumento de los precios de los insumos. Finalmente, el objetivo general se alcanza, ya que el modelo permite obtener el punto de equilibrio para reducir la huella hídrica, al mismo tiempo que se mantienen márgenes adecuados de operación en relación con los costos para los siguientes 2 años (mediano plazo debido a los constantes cambios climáticos en el microclima de la zona).

No obstante, se evaluaron los distintos procesos de producción agrícola de paltas mediante aspersores, los que, comparados con ejecuciones actuales, permitieron identificar

mecanismos para mejorar la eficiencia productiva con menor consumo hídrico para 2 tipos de aspersores. La evaluación de los procesos de producción permitió identificar las 8 variables asociadas a la viabilidad financiera al efectuar cambios en la producción agrícola considerando normas de huella hídrica. Entre estas, tal como se ha señalado, las variables de cuaja y calibre son claves como resultantes de la viabilidad financiera y sustentabilidad hídrica.

La implementación del sistema de atomizadores permitió una reducción significativa del consumo de agua en comparación con los sistemas de aspersión tradicionales. Esta eficiencia hídrica resulta fundamental en el contexto de escasez de recursos, especialmente en zonas agrícolas afectadas por sequías prolongadas. Los datos obtenidos muestran que el uso de atomizadores contribuyó a un aumento en el calibre promedio del fruto, lo cual repercutió directamente en una mejora del precio de venta por unidad. Esta relación positiva entre tecnología aplicada y calidad del producto valida la hipótesis planteada en la investigación.

El análisis económico evidenció una relación beneficio/costo favorable en la implementación de atomizadores, con una recuperación de la inversión en el corto plazo. Este resultado confirma que, más allá de su impacto ambiental positivo, la tecnología es también financieramente sostenible. Se constató un aumento en los ingresos totales del predio agrícola debido a la combinación de mayor volumen de exportación y mejor valorización del producto. Esto refleja la efectividad de adoptar tecnologías hídricas innovadoras en la agricultura intensiva. Los resultados sugieren que la estrategia de atomización puede ser replicada en otras explotaciones agrícolas con características similares, adaptándose a las particularidades climáticas y productivas de cada zona. Se recomienda, sin embargo, realizar estudios específicos de factibilidad para cada caso.

Finalmente, distintos sistemas de aspersión eficientes fueron instalados y trabajados en el predio durante el tiempo de análisis. Mediante árboles de decisión se han determinado los valores críticos para cada variable, obteniendo un modelo de gestión de riego que será aplicado a toda la organización.

Respecto a las recomendaciones, en materia de recursos humanos, se propone capacitar al personal para que comprenda y sepa manejar las variables que más afectan al uso del recurso hídrico versus el rendimiento de los frutos (calibre). Para este fin se realizará como trabajo futuro un plan de concientización y socialización explicado brevemente a continuación.

OBJETIVO: de acuerdo a lo planteado, informar a los operarios en qué niveles productivos se debe trabajar, detectando las variables más importantes de la viabilidad financiera de la organización, los efectos que tiene el buen trabajo operativo y gestionar el modelo de sustentabilidad de la empresa en sus trabajadores.

PÚBLICO OBJETIVO: el plan de concientización está dirigido a los operarios y técnicos agrícolas del predio.

PROPUESTA DE VALOR: obtener el mayor porcentaje de ingresos recaudados por medio de la optimización del calibre, y en su efecto directo, sobre la cuaja del producto. Conseguir que en operación se monitoreen constantemente la viabilidad financiera bajo los puntos de quiebre definidos en el modelo.

RESULTADOS ESPERADOS: esto permitirá generar mayor desempeño de los trabajadores en el trabajo operativo, obtener un mejor rendimiento de los cultivos y maximizar las variables que más afectan al modelo de sustentabilidad

5. Referencias

Arias, M. I., & Pedraza, Z. (2018). *De colonialidad de la educación Emergencia/urgencia de una pedagogía decolonial*. Universidad del Magdalena. https://editorial.unimagdalena.edu.co/Content/ArchivosLibros/tempx1x2x3x4x5x6x7x8x9x0/20200328130201-175_preview.pdf

Arpaia, M. (1990). *Estándares para paltas en California*. https://www.avocadosource.com/Journals/CIVDMCHILE_1990/CIVDMCHILE_1990_PG_15.pdf

Bellino, N. O. (2018). *Aguas subterráneas. Conocimiento y explotación*. Instituto de Ingeniería Sanitaria. https://bibliotecadigital.fi.uba.ar/items/show/19657

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2023). *Historia de la Ley 21.597*. BCN. https://www.bcn.cl/historiadelaley/historia-de-la-ley/vista-expandida/8216/

Diario Publimetro. (2019, 11 de junio). Reportaje carretera hídrica en Chile. *Diario Publimetro*. https://www.publimetro.cl/cl/noticias/2019/06/11/carreteras-hidricas-plantas-desalinizadoraslas-propuestas-buscan-superar-la-crisis-hidrica-chile.html

Economía Agraria. (2018). Estrategias para disminuir el consumo de agua en palto. *Portal del Campo*. https://portaldelcampo.cl/Noticias/66509_Estrategias-para-disminuir-el-consumo-de-agua-en-palto.html

FAO. (2023). *Cómo enfrentar el cambio climático desde la agricultura: Prácticas de Adaptación basadas en Ecosistemas (AbE)*. https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1734669/

FAO. (2023). *El último informe del IPCC resalta la urgencia de transformar los sistemas agroalimentarios frente al cambio climático*. https://www.fao.org/newsroom/detail/latest-ipcc-report-highlights-the-critical-need-to-transform-agrifood-systems-as-a-way-to-mitigate-and-adapt-to-climate-change/es

Fundación para la Innovación Agraria (FIA). (2023). *Adaptación al cambio climático: hacia una agricultura sustentable*. https://www.fia.cl/adaptacion-al-cambio-climatico-hacia-una-agricultura-sustentable/

González, C. F. (2024). *Riego presurizado: componentes e instalación*. https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/b6960642-1564-4e96-98d3-5f41769f7a1c/content

Icochea, S. (2020, abril 14). *Sistemas de riego por goteo y por aspersión: ¿cuál es mejor?* IGC. https://igc.com.pe/sistemas-de-riego-por-goteo-y-por-aspersion-cual-es-mejor/

Instituto de Agua de España. (2022). *Conectando a las personas por la causa del agua*. Iagua. https://www.iagua.es/noticias/sequia

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). (2020, 6 de marzo). Proyecto de innovación arroja primer estudio sobre el requerimiento hídrico en paltos. *INIA*. https://web.inia.cl/blog/2020/03/06/proyecto-de-innovacion-arroja-primer-estudio-sobre-el-requerimiento-hidrico-en-paltos/

Marino, M. A., & Tracy, J. C. (1988). Flow of water through root-soil environment. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *114*(4), 588-604. https://ascelibrary.com/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9437%281988%29114%3A4%28588%29

Netafim. (2024). *SuperNet*. Consultado el 2 de marzo de 2025. https://www.netafim.pe/productos-y-soluciones/oferta-de-productos/aspersores/supernet/

Nicholls, C. I., & Altieri, M. A. (2017). *Estrategias agroecológicas para enfrentar el cambio climático*. Leisa, 33(2), 5-9. https://leisa-al.org/web/revista/volumen-33-numero-02/estrategias-agroecologicas-para-enfrentar-el-cambio-climatico/

ODEPA. (2018). *El cambio climático y los recursos hídricos de Chile*. https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/cambioClim12parte.pdf

ODEPA. (2023). *Artículo: Cambio Climático, Mitigación y Agricultura*. Recuperado de https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/articulos/articulo-cambio-climatico-mitigacion-y-agricultura

ODEPA. (2023). *Plan Sectorial de Adaptación al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario*. https://www.odepa.gob.cl/sustentabilidad/cambio-climatico/psacc-sap

Ramírez de Cartagena, F. (1994). *Simulación numérica de la dinámica del agua en el suelo: Aplicación al diseño de sistemas de riego LAF* [Tesis doctoral, Universidad de Lleida]. https://www.cervantesvirtual.com/descargaPdf/simulacion-numerica-de-la-dinamica-del-agua-en-el-suelo-aplicacion-al-diseno-de-sistemas-de-riego-laf--0/

Rdocumentation.org. (2021). *Documentos R Studio Cloud*. https://www.rdocumentation.org/packages/forecast/versions/8.16/topics/accuracy

Red Agrícola. (2017). *Diez años de investigación en manejo del riego en palto*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). https://www.redagricola.com/cl/diez-anos-investigacion-manejo-del-riego-en-palto/

Sampieri, R. (2004). *Metodología de investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.

Sandoval, M. (2008). *Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)*. Universidad de Chile.

Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *Research Methods for Business Students*. Pearson.

Sociedad Geográfica de Lima. (2011). *Aguas subterráneas—Acuíferos (Cartilla Técnica).* Sociedad Geográfica de Lima. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterraneas.pdf

Universidad de Guadalajara. (2021). *Estudio de Normas APA*. http://biblioteca.udgvirtual.udg.mx/portal/citas-y-referencias-estilo-apa

Vermeiren, L., & Jobling, G. A. (1986). *Riego localizado*. FAO. https://www.fao.org/publications.

Walker, L., & Jobling, G. A. (2003). *Simulación, Diseño y evaluación de riego por superficie*. Utah State University.