



Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Medioambiente
Ingeniería Ambiental

**PROPUESTA TÉCNICO-ECONÓMICA DEL USO DE UN HIDRORETENEDOR
ALGAL PARA LA DISMINUCIÓN DEL ESTRÉS HÍDRICO EN PLANTACIONES
AGRÍCOLAS DE LA ESTANCILLA,
COMUNA DE LLAY-LLAY**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA
AMBIENTAL**

**AUTOR: Valeria Macaya Pizarro
PROF. GUÍA: Dr. Hugo Díaz Murillo**

VALPARAÍSO, 2022

RESUMEN

La situación del recurso hídrico en la Cuenca del Aconcagua refleja el escenario actual del agotamiento de las aguas, la escasa gestión, problemas ambientales y los conflictos de uso de este. En la actualidad el caudal del río Aconcagua presenta un déficit cercano al 80%, observando los niveles más bajos a lo largo del año que sus mínimos históricos. Así mismo, dentro de las principales actividades económicas que se desarrollan en la cuenca se encuentra la agricultura, destacándose por aportar una gran cantidad a la oferta hortícola de consumo interno.

El presente proyecto, evalúa mediante un análisis técnico-económico la implementación de un hidrotenedor algal en un predio agrícola para generar una estrategia de manejo hídrico en los suelos cultivables, y de esta forma, mitigar los efectos del déficit hídrico en la agricultura. Para lograr lo anterior, se trabajó con la extrapolación de datos a nivel piloto de un compuesto algal en polvo a base de algas verdes (*Ulva sp*) desarrollado por la Universidad Católica del Norte, proyectando los resultados en base a las hortalizas seleccionadas (tomate y lechuga) ubicadas en la zona de estudio, dentro de la localidad de La Estancilla para finalmente realizar un análisis económico de costo-beneficio.

De acuerdo con los aspectos técnicos de las proyecciones generadas, se estimó una reducción del 33% para el uso consuntivo del agua en plantaciones de tomates y un 20% para el caso de las lechugas. Sin embargo, en los resultados no se ve reflejado una disminución en los costos atribuidos al recurso hídrico, ya que se encuentra sujeto a los derechos de aprovechamiento de agua. En cuanto a la evaluación económica, se evidenció una mayor rentabilidad de costo-beneficio para el caso del cultivo de tomates, con una retribución equivalente ascendente de 1,97 a 2,63 pesos tras una eventual aplicación del hidrotenedor, mientras que el cultivo de lechuga disminuyó su relación costo-beneficio de 1,18 a 1,14 pesos.

Por ende, el uso del hidrotenedor algal en suelos agrícolas conlleva a efectos positivos para el mejoramiento de características físicas del suelo, debido a un incremento en la tasa de asimilación de dióxido de carbono y reducción de la evapotranspiración, generando una mayor eficiencia del uso del agua permitiendo mantener la productividad de las hortalizas aún bajo estrés hídrico severo, lo cual se traduce en un beneficio hídrico para los cultivos pero siempre sujeto a los costos asociados que conlleva el manejo de la hortaliza en que se aplicará.

AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar, al Dr. **Hugo Díaz Murillo**, profesor guía, por su paciencia, rigurosidad, convicción e incondicional apoyo en que lograría finalizar este trabajo con éxito.*

*También agradezco al profesor informante, Dr. **Daniel Undurraga Peralta**, por su constante apoyo y dedicación en la revisión de mi trabajo escrito.*

***A mi matriarcado:** Carmen, mi madre, pilar fundamental a lo largo de todos estos intensos años, por ser quien me contuvo cada vez que sentía que el camino se terminaba o estaba a punto de decaer y por estar presente en cada paso importante de mi vida. A mi hermana Carolina, por motivarme a perseguir mis sueños y ser un alma inspiradora de perseverancia y esfuerzo. A mis sobrinas, Javiera, Fernanda y Gabriela, seres bellos, llenos de energía que hicieron todo este proceso más llevadero con sus risas y locuras.*

*A mis hombres, **Nelson y Tomás**. Por el amor y apoyo entregado, creer en mí y otorgarme mi primer título, el título de madre; que me llena de optimismo para seguir adelante.*

*Finalmente, a todos mis **grandes amigos** que me dejó la Universidad de Valparaíso. Por tantos lindos momentos compartidos, que atesoraré por siempre en mi corazón.*

Índice General

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Estrés hídrico	1
1.1.1	Factores que afectan el estrés hídrico	1
1.1.2	La agricultura, el mayor consumidor de agua	2
1.2	Características de las Hortalizas	4
1.2.1	Importancia del cultivo	5
1.2.2	Déficit hídrico en la producción de horticultura	7
1.2.3	Manejo de los cultivos	8
1.3	Las algas y su uso en la agricultura	11
1.3.1	Tipos de macroalgas	12
1.3.2	Extractos de algas marinas	12
1.3.3	Hidroretenedor	15
1.3.4	Hidroretenedor algal nacional	17
1.4	Área de estudio	21
2	PROBLEMA	22
3	OBJETIVOS	23
3.1	Objetivo General	23
3.2	Objetivos Específicos	23
4	METODOLOGÍA	24
4.1	Caracterización agrometeorológicas de la localidad de La Estancilla	24
4.2	Aspectos técnicos-económicos para la aplicación de un hidroretenedor algal en los cultivos de hortalizas (tomates y lechugas) en la localidad de La Estancilla	25
4.2.1	Aspectos técnicos	25
4.2.2	Cuantificación económica	26

4.3	Metodología para realizar el análisis costos-beneficios	32
4.3.1	Elaboración del flujo de fondos	33
4.3.2	Determinación de los indicadores de decisión.....	34
5	RESULTADOS.....	35
5.1	Características agrometeorológicas de la localidad de La Estancilla.....	35
5.1.1	Características biofísicas del área de estudio.....	35
5.1.2	Situación actual en la Comuna	40
5.1.3	Análisis de Posibles Riesgos Agroclimáticos en los Principales Rubros Agrícolas.....	40
5.2	Aspectos técnico- económicos	43
5.2.1	Descripción técnica.....	43
5.2.2	Cuantificación de los costos y beneficios.....	45
5.3	Análisis costos-beneficios	47
5.3.1	Flujo de fondos	48
5.3.2	Indicadores de decisión.....	49
6	DISCUSIÓN	50
7	CONCLUSIONES	54
8	REFERENCIAS	55

Índice de tablas

Tabla 1.1 Etapa fenológica crítica o sensible al estrés hídrico en cultivos hortícolas.....	7
Tabla 1.2 Rangos de temperatura para cultivo en condiciones mínimas, máximas y óptimas.....	8
Tabla 1.3 Sensibilidad por especies ante fenómeno climático de bajas temperaturas.....	9
Tabla 1.4 Clasificación de suelo por textura y aspectos destacados	10
Tabla 1.5 Requerimiento de profundidad de suelo para diferentes especies hortícolas.	10
Tabla 1.6 Tolerancia relativa de hortalizas a la salinidad del suelo por orden decreciente de tolerancia.....	11
Tabla 1.7 Capacidad de Retención de Agua del suelo con aplicación de hidroretenedor algal PA1 en riego..	18
Tabla 1.8 Capacidad de Retención de Agua del suelo con aplicación de hidroretenedor algal PU1 en riego..	18
Tabla 1.9 Descripción tratamientos de ensayo en lechugas.....	19
Tabla 4.1 Diseño de ficha técnica para la descripción del cultivo de hortalizas.....	25
Tabla 4.2 Diseño de ficha técnica para la descripción técnica de la aplicación del hidroretenedor algal	26
Tabla 4.3 Variables y fórmulas para la cuantificación productiva.....	27
Tabla 4.4 Diseño de ficha para cuantificar los costos del recurso humano para el manejo de las hortalizas sin hidroretenedor algal.....	27
Tabla 4.5 Diseño de ficha técnica para cuantificar los costos por maquinarias en el manejo del cultivo de las hortalizas sin hidroretenedor algal.....	28
Tabla 4.6 Diseño de ficha técnica para cuantificar los costos por insumos para el manejo del cultivo de hortalizas sin hidroretenedor algal.....	28
Tabla 4.7 Diseño de ficha técnica para cuantificar los costos indirectos del manejo de hortalizas sin hidroretenedor algal.....	29
Tabla 4.8 Diseño de ficha técnica para cuantificar la productividad del cultivo de las hortalizas sin hidroretenedor algal.....	29
Tabla 4.9 Diseño de ficha para cuantificar los costos del recurso humano para el manejo de las hortalizas con hidroretenedor algal.....	30
Tabla 4.10 Diseño de ficha técnica para cuantificar los costos por maquinarias en el manejo del cultivo de las hortalizas con hidroretenedor algal	30
Tabla 4.11 Diseño de ficha técnica para cuantificar los costos por insumos para el manejo del cultivo de hortalizas con hidroretenedor algal	31
Tabla 4.12 Diseño de ficha técnica para cuantificar los costos indirectos del manejo de hortalizas con hidroretenedor algal.....	31
Tabla 4.13 Diseño de ficha técnica para cuantificar la productividad del cultivo de las hortalizas con hidroretenedor algal.....	32
Tabla 4.14 Ficha comparativa para evaluar la eficiencia del cultivo con y sin hidroretenedor algal.....	33

Tabla 4.15 Diseño de tabla para la cuantificación de costos de producción de hortalizas con y sin hidroretenedor algal.....	33
Tabla 4.16 Indicadores de decisión para determinar viabilidad del hidroretenedor algal en plantaciones de hortalizas	34
Tabla 5.1 Comparación de explotaciones agropecuarias, uso del suelo, suelos de cultivo a nivel regional, provincial y comunal.....	39
Tabla 5.2 Escala de Índice de Condición de la Vegetación.....	42
Tabla 5.3 Descripción técnica para los cultivos de tomates y lechugas.....	43
Tabla 5.4 Descripción técnica para la aplicación de hidroretenedor algal.....	44
Tabla 5.5 Productividad del cultivo de tomates sin hidroretenedor algal	45
Tabla 5.6 Productividad del cultivo de lechuga sin hidroretenedor algal.....	46
Tabla 5.7 Cuantificación de la productividad del cultivo de tomates con hidroretenedor algal.....	46
Tabla 5.8 Cuantificación de la productividad del cultivo de lechuga con hidroretenedor algal.....	47
Tabla 5.9 Comparación de eficiencia del cultivo de tomates con y sin hidroretenedor algal	47
Tabla 5.10 Comparación de eficiencia del cultivo de lechuga con y sin hidroretenedor algal	48
Tabla 5.11 Cuantificación de costos de producción de tomates, con y sin hidroretenedor algal	48
Tabla 5.12 Cuantificación de costos de producción de lechugas con y sin hidroretenedor algal	49
Tabla 5.13 Indicadores de decisión para determinar viabilidad del hidroretenedor algal en plantaciones de tomates.....	49
Tabla 5.14 Indicadores de decisión para determinar viabilidad del hidroretenedor algal en plantaciones de lechugas.....	49

Índice de figuras

Figura 1.1 Participación de Productores de baja escala por Región.....	3
Figura 1.2 Superficie regada según Sistema de Riego por PIMEX en la región de Valparaíso.....	4
Figura 1.3 Estimación de superficie cultivada de hortalizas a nivel nacional.....	6
Figura 1.4 Estimación de superficie cultivada de hortalizas por región.....	6
Figura 1.5 Esquema general de obtención de extracto de algas verdes.....	14
Figura 1.6 Esquema general de obtención de extracto de algas pardas	15
Figura 1.7 Resultados de porcentaje de CRA comparativos de la aplicación en riego de hidrotenedores PA1 Y PU1	19
Figura 1.8 Uso eficiente del agua (UEA, A/E)	20
Figura 1.9 Número de frutos cuajados en plantas de tomate.....	20
Figura 1.10 Ubicación geográfica del área de estudio	21
Figura 5.1 Subcuencas de la Región de Valparaíso.....	36
Figura 5.2 Seccionamiento de la cuenca del Río Aconcagua y río Putaendo	36
Figura 5.3 Mapa Hidrogeológico de Chile.....	37
Figura 5.4 Mapa Climático de la Región de Valparaíso.....	38
Figura 5.5 Estudio Agrológico de Suelos. Capacidad de Uso Agrícola	39
Figura 5.6 Disponibilidad de agua para el periodo mayo-junio 2022, Región de Valparaíso.....	41
Figura 5.7 Valores promedio de VCI en terrenos de uso agrícola para la Región de Valparaíso.....	42
Figura 5.8 Índice de Condición de la Vegetación (VCI) para la Región de Valparaíso al año 2022.	42

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Estrés hídrico

El estrés hídrico es una respuesta fisiológica de las plantas a la disminución del agua disponible en el ambiente, lo que incide en un desequilibrio entre la transpiración y la absorción de agua (Myers, 1988; Girón *et al.*, 2015). Se origina principalmente por déficit de humedad en la zona de la raíz, cuando el contenido de humedad en el suelo es limitado, las plantas cierran sus estomas para minimizar la pérdida de agua por transpiración, lo que implica una reducción en la tasa de evapotranspiración. Por lo tanto, la relación entre Evapotranspiración y Evaporación de ambiente húmedo sería un buen indicador del déficit de agua si consideramos que la principal causa de estrés en las plantas está dada por la falta de agua en la zona de la raíz (Moran *et al.*, 1994). De esta manera, el índice de estrés de la vegetación se podría escribir como:

$$WSI_{Ew} = 1 - \frac{ET}{E_w}$$

Dónde: Índice de estrés de la vegetación (WSI), Evapotranspiración (ET) y Evaporación de ambiente húmedo (E_w)

De esta forma, se pueden ver afectadas las funciones vitales de la planta y, por lo tanto, en una gran variedad de procesos fisiológicos, como la turgencia celular, reducción de la tasa de expansión celular, disminución de la síntesis de pared celular, reducción de síntesis de proteínas. Cuando el déficit hídrico es muy señalado se produce cavitación de los elementos del xilema, caída de la hoja, acumulación de solutos orgánicos y la marchitez de la planta, entre otros efectos (Moreno, 2009).

1.1.1 Factores que afectan el estrés hídrico

El déficit hídrico se ve afectado por diversos factores, como lo son: poca agua en el ambiente, bajas temperaturas que provocan la caída de hojas y baja producción del cultivo, además de elevadas concentraciones de solutos, que disminuyen el potencial hídrico en la planta. Estas condiciones que

son capaces de inducir una disminución del agua disponible del citoplasma de las células se conocen como estrés osmótico (Levitt, 1980).

De esta forma, la permeabilidad de la raíz se ve severamente afectada por el grado de aireación, y los períodos breves de inundación son capaces de producir que las plantas estén susceptibles a marchitarse por crecer en suelos inundados. Si la deficiencia en la aireación es prolongada, puede ocurrir la muerte total o parcial del sistema radical (Balakhina et al., 2010).

1.1.2 La agricultura, el mayor consumidor de agua

En promedio, en la agricultura se ocupa el 70 % del agua que se extrae en el mundo, y las actividades agrícolas representan una proporción aún mayor del "uso consuntivo del agua" debido a la evapotranspiración de los cultivos. La agricultura de regadío representa el 20 % del total de la superficie cultivada y aporta el 40 % de la producción total de alimentos en todo el mundo. Por lo que, a nivel mundial más de 330 millones de hectáreas cuentan con instalaciones de riego (Banco Mundial, 2021).

En relación con lo anteriormente mencionado, la capacidad de mejorar la gestión del agua en la agricultura se ve limitada por políticas erradas, un desempeño institucional deficiente y restricciones financieras. Las instituciones públicas y privadas más importantes —entre ellas los ministerios de agricultura y agua, las autoridades encargadas de gestionar las cuencas hidrográficas, los administradores de los sistemas de riego, los usuarios de agua y las organizaciones de agricultores— por lo general, no cuentan con entornos y capacidades normativas para realizar sus funciones con eficacia (Banco Mundial, 2021).

En términos de valor de la producción, Chile se ha ubicado entre los principales veinte productores mundiales de frutas y hortalizas, situando a la agricultura chilena entre las más productivas de la región, con éxito reconocido en frutas, vinos, salmones y productos forestales. Es así que, es considerado como uno de los productores agrícolas líderes de Latinoamérica y un importante actor en los mercados agroalimentarios mundiales. Sin embargo, todo esto se ve minimizado por el elevado consumo de agua, el cual equivale al 73% de agua del total nacional, lo que abastece a una superficie regada de 1,1 millones de hectáreas entre las regiones de Coquimbo a Los Lagos (INE, 2009)

1.1.2.1 Tamaño de explotaciones agrícolas

En Chile, los productores asociados a unidades de menor tamaño representan más de un 90% del total de los productores agropecuarios del país. En explotaciones pequeñas participa 74,5% de los productores y en medianas, 18,6%. Ellos cuentan con una superficie que representa menos del 12% del total de la superficie agrícola, con 3,8% y 7,1%, respectivamente. En la Figura 1.1 se representa la participación de productores según la superficie cultivada por región (INE, 2009).

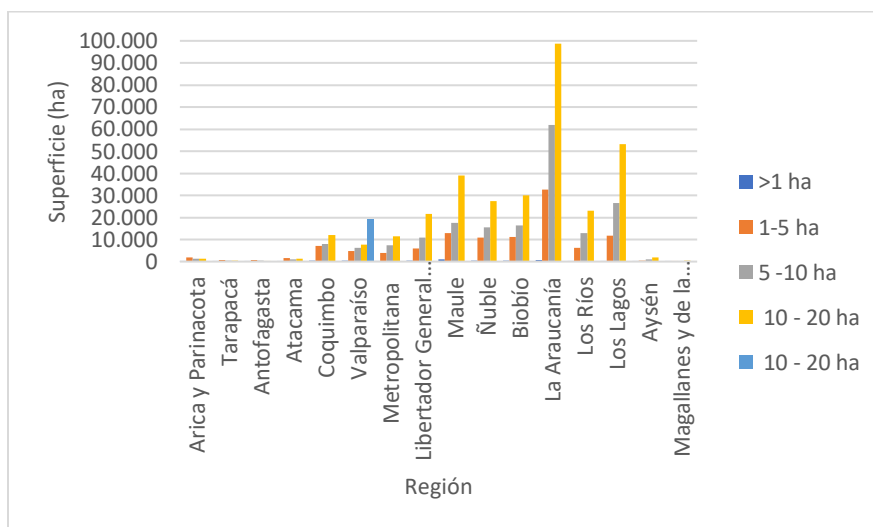


Figura 1.1 Participación de Productores de baja escala por Región (Fuente: VII Censo agropecuario, 2009).

Es así como en la región de Valparaíso se registran 14.578 productores con explotaciones de tamaño pequeño, en una superficie cercana a 4 hectáreas promedio. En explotaciones medianas los productores suman 2.063, con una superficie de 43 hectáreas promedio por explotación. Ambos tipos de explotaciones cubren 145.540 hectáreas de la superficie agropecuaria y forestal de la región (INE, 2009).

1.1.2.2 Superficie por sistema de riego

La superficie regada alcanza 35% del total de la superficie de las PYMEX, en la región de Valparaíso. El sistema gravitacional tradicional cubre 27.879 hectáreas y el microriego, 20.985 hectáreas. En la Figura 1.2 se puede observar como las pequeñas explotaciones utilizan solo en un 10% + de la

superficie total el sistema de riego por goteo, mientras que en explotaciones medianas cubre 20% de la superficie (INE, 2009).

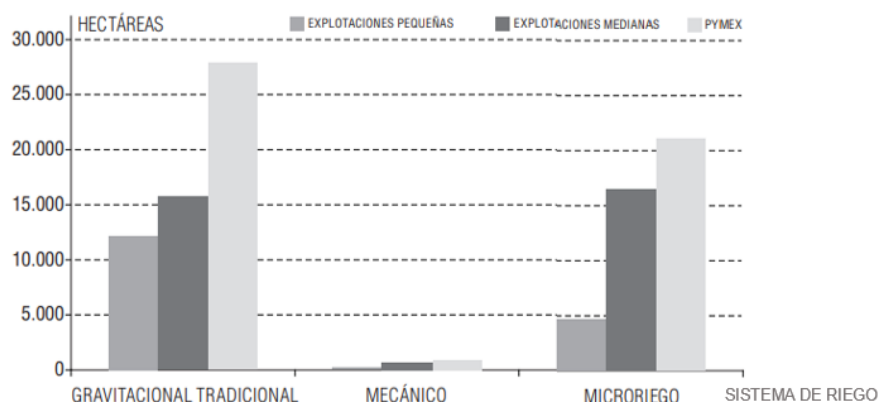


Figura 1.2 Superficie regada según Sistema de Riego por PIMEX en la región de Valparaíso (Fuente: VII Censo Agropecuario, 2009).

1.2 Características de las Hortalizas

Las hortalizas son un conjunto de plantas cultivadas, generalmente, en huerta o regadíos, que se consumen como alimento, ya sea de forma cruda o cocida. El término hortaliza incluye a las verduras y a las legumbres verdes. Las principales hortalizas son: acelga, ajo, alcachofa, apio, berenjena, brócoli, calabacín, calabaza, cebolla, chícharo, col, coliflor, champiñón, espárrago, espinaca, haba, lechuga, nabo, papa, pepino, perejil, pimiento, rábano, tomate y zanahoria. Estos alimentos contienen agua, carbohidratos, proteínas, lípidos, sustancias volátiles que son producidas a partir de ácidos grasos, aminoácidos libres y carotenoides, vitaminas y minerales (Rojas, 1998).

Dentro de la composición general de las hortalizas se encuentra:

- Agua: Contiene una gran cantidad de agua, aproximadamente un 80% de su peso.
- Carbohidratos: Según el tipo de hortaliza la proporción de éstos es variable, siendo en su mayoría de absorción lenta. Según la cantidad de carbohidratos, las hortalizas pertenecen a distintos grupos:

Grupo A: Contienen menos de un 5% de carbohidratos.

Grupo B: Contienen de un 5 a un 10%.

Grupo C: Contienen más del 10%.

- Vitaminas: La A en forma de provitamina, C, E, K y del grupo B (ácido fólico).
- Minerales como: potasio, magnesio, calcio, hierro y sodio.
- Sustancias volátiles: involucran aldehídos, alcoholes, cetonas y ésteres insaturados de cadenas cortas.
- Lípidos y proteínas.

1.2.1 Importancia del cultivo

A nivel mundial, se estima que la horticultura acumula un 98% de los predios y un 53% de las tierras (Graeub et al., 2016). En Chile se concentra principalmente en la zona central del país, entre las regiones III de Atacama y VIII del Biobío, incluida la Región Metropolitana. Dichas zonas representan el 92% de la superficie nacional. Efectivamente, como en otros cultivos intensivos en mano de obra, en la horticultura nacional tiene una participación muy relevante la pequeña agricultura (Berdegú y Rojas, 2014).

Según datos de la Encuesta Hortícola INE 2019 y la encuesta de superficie sembrada de cultivos anuales 2019, la superficie nacional de hortalizas en 2019 se estima en 86.751 hectáreas, 77.243 hectáreas dedicadas principalmente a la producción de hortalizas frescas y 9.508 hectáreas dedicadas a las hortalizas para exclusivo uso industrial.

Debido a que los medianos y pequeños agricultores adaptan sus superficies de siembra año a año, de acuerdo a los precios de la temporada anterior, a una demanda relativa, y a las condiciones que se presenten de clima y suministro de agua de riego es que la especie cuya superficie más creció los últimos 5 años es la cebolla con 1.153 hectáreas en 5 años y con una TCPA 5 de 3,2%, le sigue brócoli y acelga con 782 hectáreas de crecimiento cada una en los últimos 5 años y una TCPA 5 de 18,2% para acelga la más alta de todas las hortalizas y 11,1% para brócoli. Actualmente, la superficie hortícola nacional fue de 79.330,8 hectáreas, un -1.3% menor al año 2020 como se puede observar en la Figura 1.3 (ODEPA, 2020).

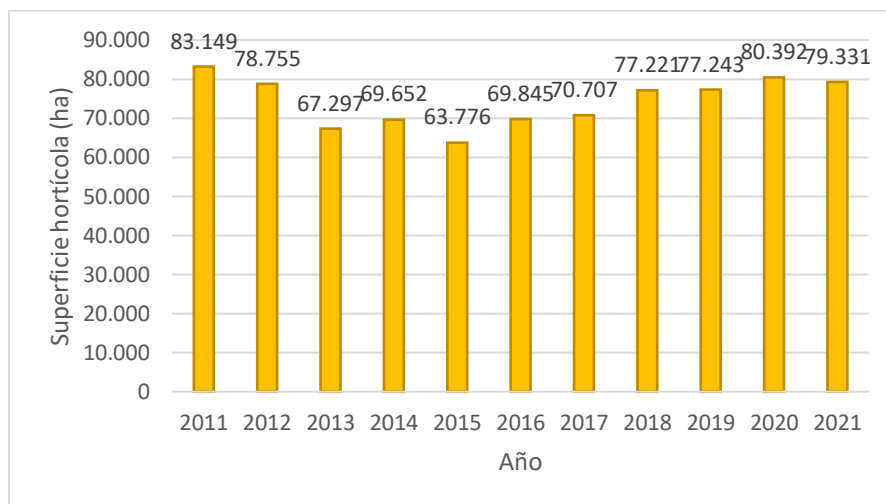


Figura 1.3 Estimación de superficie cultivada de hortalizas a nivel nacional (Boletín Hortalizas ODEPA 2020).

La producción de hortalizas se desarrolla en todo el país, desde Arica hasta Punta Arenas, pero se concentra entre las regiones de O’Higgins y Metropolitana con un 48% (Figura 1.4).

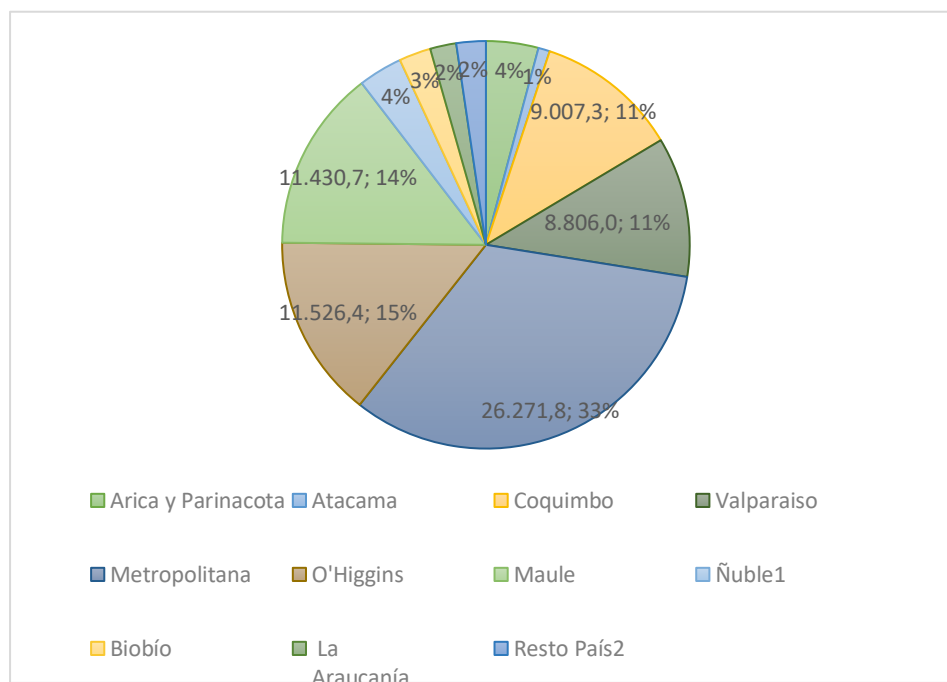


Figura 1.4 Estimación de superficie cultivada de hortalizas por región (Boletín Hortalizas ODEPA 2020).

1.2.2 Déficit hídrico en la producción de horticultura

La respuesta de la planta ante la condición de estrés por la falta de agua es inmediata (Roussos et al., 2010; Varone et al., 2012; Tong et al., 2019). El crecimiento se ve afectado debido a la pérdida de turgencia que incide en la reducción de volumen celular y aumento de solutos que generan daños mecánicos celulares que pueden incidir en la reducción de crecimiento, fenómeno que es explicado por el modelo Lockhar-Passioura:

$$C = m \cdot (\Psi_p \cdot \gamma)$$

Donde:

C es tasa de crecimiento, m es la extensibilidad pared celular, Ψ_p es tensión umbral de la pared celular y γ es el umbral de turgencia.

Todo déficit de agua producirá una disminución en los rendimientos en fase de activo crecimiento o división celular donde, en un breve período de tiempo, ocurren grandes cambios de tamaño en algún componente de producción de la planta (Jara y Valenzuela, 1998).

Tabla 1.1 Etapa fenológica crítica o sensible al estrés hídrico en cultivos hortícolas (Fuente: Millar, 1993; Jara, 1998).

Hortalizas	Etapa sensible
Arveja	Comienzo de floración y durante hinchamiento del capi
Berenjena	Floración y desarrollo del fruto
Brócoli	Desarrollo del pan o pella
Cebolla (bulbos)	Durante la formación del bulbo
Cebolla (semilla)	Floración
Coliflor	Requiere riegos frecuentes desde siembra a cosecha, especialmente durante el desarrollo del pan
Espárrago	Comienzo de emisión del follaje
Lechuga	Requiere riego durante todo su período vegetativo, en especial durante formación de la cabeza
Melón	Floración y desarrollo del fruto
Papas	Desde floración a cosecha, especialmente a inicios de la formación del tubérculo
Pepino	Desde la floración a cosecha
Pimentón y ají	Desde floración a cosecha
Rabanito	Formación y crecimiento de la raíz
Repollo	Requiere riego durante todo su período vegetativo, en especial durante formación de la cabeza
Tomate	Floración a crecimiento rápido de los frutos
Zanahoria	Alargamiento de la raíz
Zapallo	Desarrollo del brote y floración

1.2.3 Manejo de los cultivos

Según el “Manual de Producción de Hortalizas (1998)”, toda planta cultivada bajo condiciones no controladas está en interrelación con un ambiente dado por el suelo, el agua, el clima y otros organismos vivos, que en su conjunto se denomina condiciones agroecológicas. En la medida de que estas condiciones sean más favorables, los cultivos podrán expresar en mayor magnitud el potencial genético que poseen. No obstante, una buena condición agroecológica sólo da una base para lograr alta productividad, ya que para lograr esto último deben optimizarse las técnicas agronómicas, como variedades, sistemas de cultivo, sistemas de riego y controles fitosanitarios, entre otros (Rojas, 1998).

1.2.3.1 Clima

Las hortalizas conforman un grupo de especies absolutamente heterogéneo en cuanto a sus requerimientos de temperatura. De tal forma, hay algunas muy exigentes a altas temperaturas, como el melón; otras de clima fresco, como el haba, y otras que necesitan acumular frío, como el ajo. El régimen térmico para las plantas se caracteriza por las llamadas temperaturas críticas, que se señalan a continuación a través de los requerimientos de un cultivo de verano (tomate) y uno de invierno (espinaca) como se observa en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Rangos de temperatura para distintos tipos de cultivo en condiciones mínimas, máximas y óptimas (Fuente: Rojas, 1998)

Especie	Temperatura umbral	Temperatura máxima	Temperatura óptima
Ajo	-1°C	30°C	18-25°C
Haba	-1°C	28°C	15-20 °C
Tomate	0°C	30°C	21-24 °C
Espinaca	5°C	25°C	15-18°C
Melón	13°C	40°C	28-30°C

En cuanto a heladas, en términos fisiológicos, ésta ocurre cuando se alcanza 0°C en los tejidos vegetales. Sin embargo, bajo el criterio que se usa en las caracterizaciones agroclimáticas, la helada

ocurre cuando se registran temperaturas inferiores a 0°C en el cobertizo meteorológico, lo que, comúnmente, da una medida un poco más alta de la que ocurre a nivel de superficie del suelo. Respecto a la sensibilidad ante este fenómeno climático, las referencias que hay para las diferentes especies se muestran en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3 Sensibilidad por especies ante fenómeno climático de bajas temperaturas (Fuente: Rojas, 1998).

Toleran heladas débiles	Se dañan cerca de la madurez	Toleran heladas	No toleran heladas
Espinaca, repollo, brócoli, repollo de Bruselas, betarraga.	Coliflor, alcachofa, lechuga, arveja, apio, zanahoria, acelga, perejil.	Cebolla, ajo, puerro, espárrago.	Todas las de verano.

1.2.3.2 Suelo

De las características del suelo que pueden influir sobre el cultivo de hortalizas, las principales son textura, profundidad, condiciones químicas y drenaje.

Textura: Edafológicamente La textura del suelo puede clasificarse de fina a gruesa. La textura fina indica una elevada proporción de partículas más finas como el limo y la arcilla. La textura gruesa indica una elevada proporción de arena. Por otro lado, la textura media es aquella que contiene menos de 35 a 40% de arcillas y menos de 50% de arena, tienen porosidad equilibrada que permiten buena aireación y drenaje, suelen denominarse suelos francos (Córdoba et. al, 2013). Para el uso de suelo agrícola, se reconoce como ideal la textura media o franca. Sin embargo, bajo otras texturas, se obtiene buen resultado con el manejo apropiado. Aparte de la preparación del suelo para el cultivo, hay algunos aspectos que se asocian a la textura y que se resumen en la Tabla 1.4:

Tabla 1.4 Clasificación de suelo por textura y aspectos destacados (Fuente: Rojas P., 1998).

TEXTURA	ASPECTOS DESTACADOS
Arenosa	Mayor precocidad, menor rendimiento, problemas de estrés hídrico
Arcillosa	Menor precocidad. Mayor rendimiento. Exceso de humedad
Franca	Situación intermedia en todos los parámetros

Profundidad: Es preferible el empleo de un suelo profundo, especialmente por su mayor retención de humedad. Sin embargo, muchas hortalizas no son muy exigentes en este aspecto y pueden cultivarse en suelos delgados. Una estimación de requerimiento o adaptación para algunas especies se expone en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5 Requerimiento de profundidad de suelo para diferentes especies hortícolas (Fuente: Rojas P., 1998).

PROFUNDO (más de 50 cm)	MEDIO (30-50 cm)	DELGADO (<30 cm)
Alcachofa Espárrago Maíz Tomate Haba	Apio Arveja Crucíferas ¹ Lechuga Cucurbitáceas ² Pimiento Zanahoria Porotos Verdes y Granado	Ajo Cebolla Espinaca

¹ Crucíferas más comunes: repollo, brócoli, coliflor, repollito de Bruselas

² Cucurbitáceas más comunes: melón, sandía, zapallos.

Condiciones químicas: Esto se refiere principalmente al pH, la salinidad y la presencia de iones tóxicos, como boro y cloro. En términos de pH, éste afecta indirectamente a las plantas provocando deficiencias nutricionales o, en caso de pH bajo (suelos ácidos), por solubilización de compuestos como el aluminio, que provocan toxicidad a las plantas. Para el factor químico de la salinidad se describen los rangos de tolerancia por especie en la Tabla 1.6.

Tabla 1.6 Tolerancia relativa de hortalizas a la salinidad del suelo por orden decreciente de tolerancia (Fuente: Giacomi y Escaff, 1993).

Muy tolerantes *CE= 10-12 dS/m	Medianamente tolerantes CE= 4-10 dS/m	Poco tolerantes CE= 2-4 dS/m
Betarraga Espárrago Espinaca	Tomate Ajo Brócoli Repollo de Bruselas Pimiento Coliflor Lechuga Maíz dulce Melón Zanahoria Cebolla Arveja Zapallo Pepino Alcachofa	Rabano Apio Poroto verde Papa Camote Berenjena Repollo

*La unidad de medida de Conductividad Eléctrica (CE) dS/m equivale a milimho

1.3 Las algas y su uso en la agricultura

La situación del recurso hídrico en la Cuenca del Aconcagua refleja el escenario actual del agotamiento de las aguas, la escasa gestión, problemas ambientales y los conflictos de uso. Por lo que, para la agricultura es de particular interés el empleo de nuevos compuestos biotecnológicos como lo son los hidroretenedores, obtenidos de macroalgas marinas, ya que tienen propiedades de absorber agua (Khan et al., 2009). Siendo las macroalgas marinas una fuente de nutrientes poco utilizada en la agricultura, que pueden mejorar la respuesta o incrementar la tolerancia a estrés hídrico, salino y de temperatura, pueden contener nutrientes esenciales como betaínas y citoquininas, así como también tienen la capacidad de incrementar las concentraciones endógenas de citoquininas, antioxidantes y prolina en los individuos tratados (Calvo et. al, 2014).

Las primeras referencias de su uso como enmienda agrícola datan de China en el año 2700 a. c. y ya en Europa, se extiende su uso agrícola desde el siglo XII. Actualmente, estos extractos han ganado aceptación como “bioestimuladores de las plantas”, ya que estos inducen respuestas fisiológicas en las plantas, tales como la promoción del crecimiento vegetal, el mejoramiento de la floración y del rendimiento, la estimulación de la calidad y del contenido nutricional del producto comestible. Además, las aplicaciones de diferentes tipos de extractos han estimulado la tolerancia de las plantas

a un amplio rango de estrés abiótico, caracterizados por ser materiales bioactivos naturales solubles en agua, orgánicos naturales que promueven la germinación de semillas y que incrementa el desarrollo y rendimiento de cultivos (Norrie y Keathey, 2005).

El incremento en los rendimientos y la buena calidad de los frutos como efecto del uso de las algas marinas o sus derivados en la agricultura, se debe a que las algas marinas contienen: todos los macro y microelementos, y todos los elementos traza que ocurren en las plantas, además 27 sustancias naturales reportadas hasta ahora cuyos efectos son similares a los de los reguladores de crecimiento de las plantas, vitaminas, carbohidratos, proteínas, sustancias biocidas que actúan contra algunas plagas y enfermedades, y agentes quelantes como ácidos orgánicos y manitol (Canales, 1999).

1.3.1 Tipos de macroalgas

Las algas marinas taxonómicamente se clasifican en tres grupos basados en su color: Verdes (Chlorophyceae), este grupo contiene clorofila de tipo A y B, y almacenan sustancias de reserva como el almidón. Se las conoce como algas verdes y cuenta con especies tanto unicelulares como pluricelulares. Del mismo modo, comparten hábitats de agua dulce y hábitats marinos, gracias a su buena capacidad de adaptación. Las algas rojas (Rhodophyceae) realizan funciones fotosintéticas y contienen clorofila de tipo A y D, además de otros pigmentos accesorios como las ficobilinas y los carotenoides. En este grupo se encuentran más de 6.000 especies, casi todas de tipo marino y cuya principal característica es que pueden encontrarse a más de 130 metros de profundidad. Las rodófitas se utilizan como alimentos y muchas de sus variedades también se utilizan para fabricar agar: una gelatina natural. Mientras que las algas pardas (Phaeophyceae) son propias de ecosistemas marinos, teniendo como preferencia las costas rocosas. Generalmente se presentan como formas flotantes, totalmente libres. Presentan clorofila de tipo A y C, así como también se caracterizan por contener fucoxantina

1.3.2 Extractos de algas marinas

Los extractos de algas marinas (EAM) han sido producidos comercialmente desde 1980 (Craigie, 2011) y ya representan más del 33% del mercado global de bioestimulantes vegetal (El Boukhari et al., 2020). Poseen amplia aceptación en la agricultura pues son considerados insumos ecológicos,

biodegradables, no tóxicos y seguros para la salud animal y humana. Estos productos naturales son mezclas complejas de compuestos bioactivos tales como reguladores del crecimiento vegetal, polisacáridos, fenoles, aminoácidos, esteroides, betaínas, vitaminas, macro y microminerales. Su aplicación en la producción de diferentes cultivos genera un amplio espectro de respuestas positivas en el sistema planta-suelo (Khan *et al.*, 2009; Calvo *et al.*, 2014).

Los principales polisacáridos en las algas verdes son los ulvanos, en las algas rojas son los agaranos y carragenanos, mientras que las algas pardas poseen alginatos y fucooidanos (Vera *et al.*, 2011; Nabti *et al.*, 2017). Las propiedades quelantes y gelificantes de los polisacáridos obtenidos de las algas los convierten en compuestos muy importantes para la agricultura (Khan *et al.*, 2009; Calvo *et al.*, 2014; Du Jardin, 2015). Pueden afectar directamente procesos fisiológicos de las plantas relacionados con el crecimiento y el desarrollo (Castro *et al.*, 2012; Hernández Herrera *et al.*, 2016; Ertani *et al.*, 2018), la inmunidad frente a organismos patógenos y la tolerancia a una variedad de condiciones de estrés abiótico (Van Oosten *et al.*, 2017; Zou *et al.*, 2019).

Debido a que son productos relativamente nuevos, no existen metodologías fijas para la obtención del producto. Es por esto que en las Figuras 1.5 y 1.6 Chandia (2013) describe el proceso desarrollado para la obtención de los extractos algales propuestos por el informe final de *“Bioteconología algal: desarrollo de un producto a base de desechos algales como una estrategia hídrica para la agricultura sustentable”* aplicable para algas verdes y pardas.

La preparación de la materia prima para ambos casos (limpieza, trituración y deshidratación) se considera con un stock de alga limpia, molida y seca. Mientras que para la obtención de extracto de algas verdes descrita en la Figura 1.5 se inicia con el tratamiento preliminar, en donde las algas son sometidas a extracciones sucesivas en solución acuosa a 90°C con agitación mecánica constante por 5 horas. Posteriormente, la mezcla resultante es centrifugada a 3500 rpm por un periodo de 20 minutos y el sobrenadante de las extracciones se procede a concentrar en un evaporador rotatorio, para luego ser precipitado en etanol, y finalmente el precipitado separarlo mediante filtración. El extracto resultante debe ser secado a 50°C y molido a 1,0 µm utilizando un molino de alto impacto hasta la obtención de un polvo con un rendimiento del formulado de un 15,6 a 17,6%.

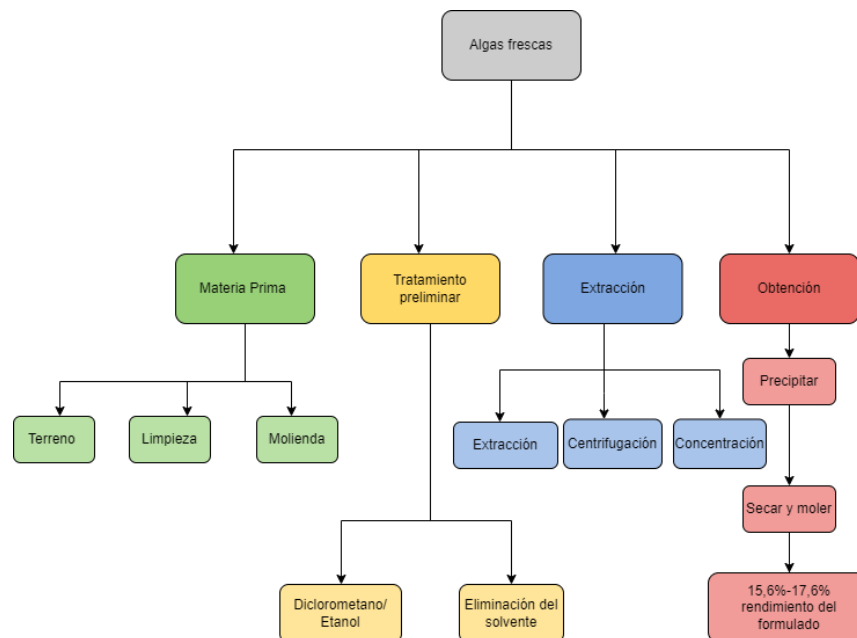


Figura 1.5 Esquema general de obtención de extracto de algas verdes (Fuente: Chandia, 2013).

Por otro lado, la Figura 1.6 correspondiente a la obtención de extracto de algas pardas, considera el uso de algas pardas pretratadas proveniente de una empresa externa como material de descarte en forma de harina, las cuales deben ser sometida a extracción sucesiva con solución acuosa de carbonato de sodio al 3% a 50°C con agitación mecánica constante por 5 horas. Posteriormente, la mezcla resultante debe ser centrifugada a 3500 rpm por 20 minutos y el sobrenadante de la extracción pasa a ser dializado por un periodo de 72 horas contra agua destilada en una membrana y concentrado en un evaporador rotatorio. La solución concentrada se debe precipitar en etanol y separado mediante filtración. Finalmente, el extracto resultante se debe secar a 50°C y 1,0 μm utilizando un molino de alto impacto hasta la obtención de un polvo con un rendimiento del formulado equivalente a un 17,3-20,2%.

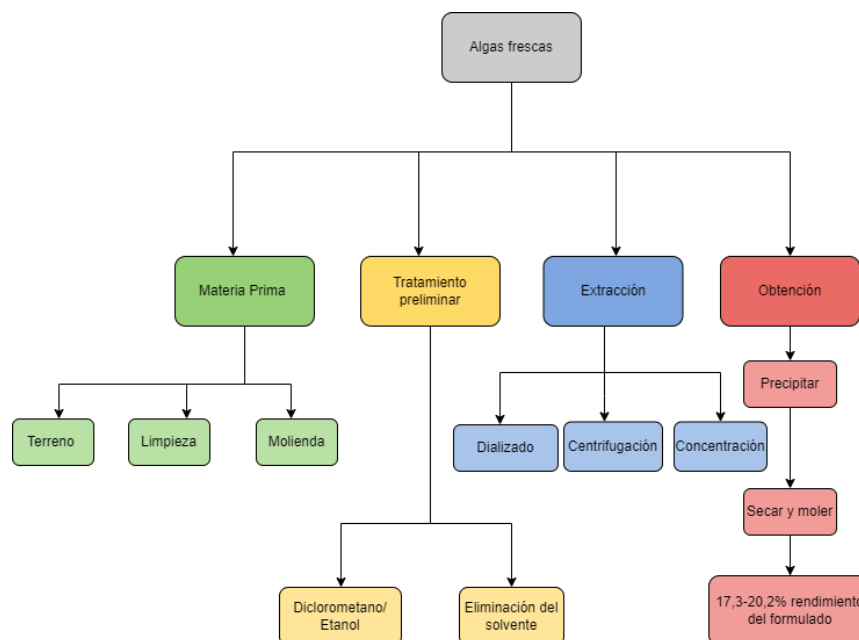


Figura 1.6 Esquema general de obtención de extracto de algas pardas (Fuente: Chandia, 2013).

1.3.3 Hidroretenedor

Hidroretenedor algal: Son considerados como bioestimulantes, los cuales por definición se clasifican en diferentes grupos, ácidos húmicos y fúlvicos, aminoácidos y mezclas de péptidos, extractos de algas y de plantas, quitosanos y otros biopolímeros, compuestos inorgánicos y microorganismos beneficiosos (hongos y/o bacterias) (Calvo et. al, 2014). Su aplicación puede darse vía foliar, en soluciones hidropónicas o en suelo.

En el mercado se encuentran disponibles varios productos comerciales a base de extractos de algas o de subproductos de su metabolismo, siendo el más común el uso de *Ascophyllum nodosum*, un alga marrón (Du Jardin, 2015). Se caracterizan por generar algunos efectos beneficiosos para la planta, como contribuir a la retención de agua y aireación del suelo, fijación e intercambio de cationes y metales y beneficiar a la microflora del suelo, además de que en algunos casos proveen de macro y micronutrientes. Usualmente la composición química de los extractos algales purificados de harina de algas pardas se encuentra constituidos por un 30,2% de azúcares totales y un 98% de ácidos urónicos, mientras que las algas verdes poseen un 43,3% de azúcares totales, 38,8% de ácidos urónicos y un 30,2% de grupos sulfato.

En la actualidad, distintos estudios han evidenciado los beneficios de los compuestos algales anteriormente mencionados, al ser empleados como hidroretenedores en suelos agrícolas, en los siguientes párrafos se presentan algunos ejemplos:

Montesano et al. (2015) en su artículo científico "Biodegradable superabsorbent hidrogel increases water retention properties of growing media and plant growth" verificó la capacidad de retención de agua de los medios de cultivos y estudio los efectos sobre el crecimiento de plantas cultivada en medios modificados con hidrogel. Como metodología para el análisis del suelo arenoso se usó un aparato de placa de Richard donde el hidrogel modifica las propiedades de agua del suelo. Como resultado se obtuvo que la humedad del suelo en la capacidad de campo aumentó con el porcentaje más alto de hidrogel hasta un 400% en comparación con el suelo no modificado. En conclusión, las pruebas demostraron en los ensayos de cultivos de pepino (en el suelo) y albahaca dulce (en condiciones sin suelo) mostraron una mejora general del crecimiento y calidad de la planta cuando se agregó hidrogel a los medios de cultivos. Mientras que Encinas (2015) en su tesis "Síntesis y caracterización de hidrogel superabsorbente de algas kappaphycus-poli (acrílico) para uso agrícola", realizó su estudio con el fin de caracterizar y sintetizar un hidrogel superabsorbente de poli acrílico de algas kappaphycus para uso agrícola, para lo cual, utilizó una radiación gamma de la fuente de cobalto, para sintetizar los polimeros super absorbentes, asimismo estudió el efecto de la dosis absorbida, en la concentración de algas marinas, como también en la del ácido acrílico, midiendo así el grado de hinchamiento. Finalizada la síntesis, mediante la irradiación gamma se obtuvo como resultado que la dosis absorbida de 10 kg mostró el mayor grado de hinchazón, las cuales se encontraron el más adecuado para su aplicación en la agricultura. Por lo tanto, se llegó a la conclusión que un hidrogel hecho a base de algas marinas tiene una gran capacidad de retención de agua. Sin embargo, Vinuesa y León (2017) en su tesis "Evaluación del rendimiento y calidad del alginato de sodio a partir del aprovechamiento de las algas rojas de la familia rhodophytas en las costas de Capaes como un recurso alternativo al alginato comercial existente en el mercado" tuvo como objetivo general determinar el rendimiento y calidad del alginato a partir del alga Rhodophyta - Gracilaria Textorii de la costa de la playa Capaes. Para llevar el estudio, se realizaron dos pruebas de ocho procedimientos, las cuales fueron tratamiento previo, pre-extracción ácida, extracción alcalina, separación alcalina, precipitación, conversión de ácido algínico a alginato de sodio, secado y molienda. Los resultados que se obtuvieron sobre el rendimiento fueron que en la primera prueba el rendimiento en base seca fue de 11.82% y en la segunda prueba el rendimiento fue 5.18%. Por

último, Fijul, et al. (2018) en su trabajo de estudio titulado “Cellulose-based hydrogel materials: chemistry, properties and their prospective applications.”, donde el objetivo de la presente revisión es concentrarse en la investigación actual sobre hidrogeles basados en celulosa de biopolímero, así como analizar el alcance de su amplia gama de aplicaciones en diversos campos. Por lo tanto, esta revisión pretende centrarse en los aspectos prometedores de los hidrogeles a base de celulosa y sus derivados en aplicaciones biomédicas, así como en la agricultura y otros dispositivos industriales con una recopilación meticulosa de la información relevante disponible sobre las propiedades químicas y fisicoquímicas. Todas estas exploraciones indican que los hidrogeles basados en celulosa son una gran promesa para las aplicaciones en áreas multidisciplinarias y puede actuar como un material maravilloso en el campo de la ingeniería biomédica y sectores industriales.

1.3.4 Hidroretenedor algal nacional

En Chile La Universidad Católica del Norte (UCN) mediante el proyecto *“Biotecnología algal: Desarrollo de un producto a base de desechos algales como una estrategia hídrica para la agricultura sostenible en la región de Coquimbo”* formuló dos compuestos a través de algas verdes proveniente de mareas verdes que afectan las principales bahías de la región. Así como también, la utilización de subproductos de la molienda que en su mayor porcentaje son acopiados como desechos (Chandia, 2013). De los cuales se obtuvieron como resultados los porcentajes de Capacidad de Retención de Agua (CRA) en base a las dos macromoléculas obtenidas en el proyecto (PA1 Y PU1), PA1 correspondiente al extracto proveniente de algas pardas, y PU1 al extracto resultante de algas verdes.

El hidroretenedor algal fue preparado en distintas concentraciones, como se muestra descrito en las Tablas 1.7 y 1.8 con forma de aplicación en riego, mediante la preparación de un concentrado de 5 mg/mL de hidroretenedor, a partir de la cual se prepararon por dilución las distintas dosis para cada ensayo. De esta forma, los porcentajes de CRA fueron determinados mediante la filtración de 100 mL de agua destilada filtrada en un periodo de 24 horas aplicada y finalmente cuantificado por el total de agua recuperada.

Tabla 1.7 Capacidad de Retención de Agua del suelo con aplicación de hidrotenedor algal PA1 en riego (Fuente: Chandia, 2013)

Hidrotenedor or PA1 (ug/mL)	Volumen agua aplicada (mL)	Volumen agua filtrada(mL)	Volumen agua retenida (mL)	CRA(%)
0	100	57	43	43
250	100	51	49	49
500	100	49	51	51
1000	100	30	70	70
1500	100	10	90	90
2000	100	0	100	100

Tabla 1.8 Capacidad de Retención de Agua del suelo con aplicación de hidrotenedor algal PU1 en riego (Chandia, 2013).

PU1 (ug/mL)	Volumen agua aplicado (mL)	Volumen agua filtrado (mL)	Volumen agua retenido (mL)	CRA(%)
0	100	56	44	44
250	100	56	44	44
500	100	55	45	45
1000	100	55	45	45
1500	100	54	46	46
2000	100	54	46	46

En la Figura 1.7 se muestra una gráfica comparativa entre los porcentajes de CRA por compuesto, demostrando que el tiempo de filtración para el hidrotenedor PA1 aplicado en diferentes dosis fueron muy distintos al control.

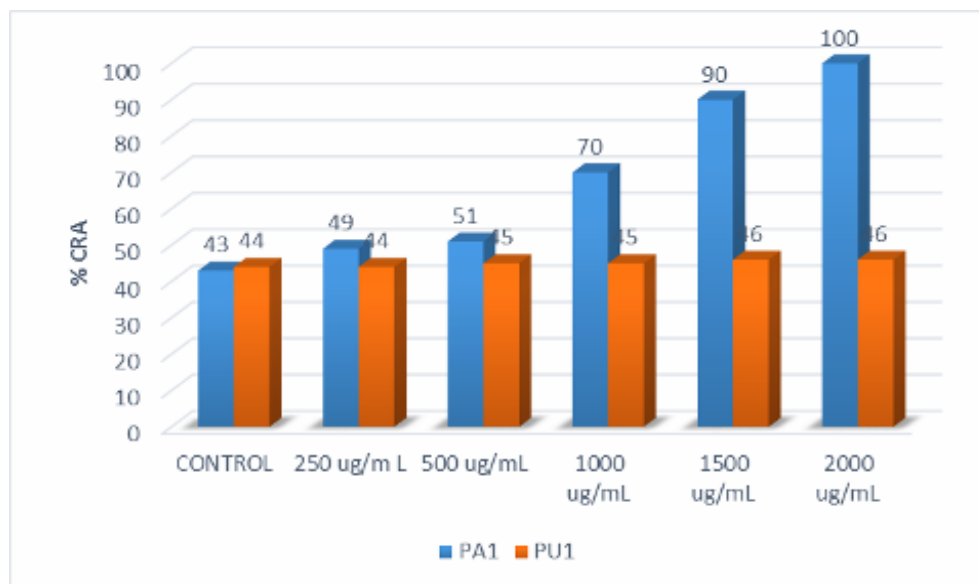


Figura 1.7 Resultados de porcentaje de CRA comparativos de la aplicación en riego de hidroretenedores PA1 Y PU1 (Fuente: Chandia, 2013).

Finalmente, para el caso del presente trabajo de título se consideraron los datos obtenidos por Chandia (2013) en los ensayos con lechuga sometidos a restricción hídrica y uso de hidroretenedor algal a nivel de suelo, definió que se logra producir la misma cantidad de biomasa en un tratamiento que se somete a un 40% menos de agua, con una que se encuentra en riego normal, lo que infiere una disminución de pérdidas en las plántulas. Donde los tratamientos mencionados en la Figura 1.8, se detallan en la Tabla 1.9:

Tabla 1.9 Descripción tratamientos de ensayo en lechugas (Fuente: Chandia, 2013).

Tratamiento	Condición
T1	Control
T2	Reposición 100% lamina Etc + hidroretenedor
T3	Reposición 80% lamina Etc + hidroretenedor
T4	Reposición 60% lamina Etc + hidroretenedor

Se aclara que las condiciones de los tratamientos descritas en la Tabla 1.9, consideran un porcentaje de reposición de la lámina de evapotranspiración (Etc), en donde para evaluar la eficiencia del uso

del agua (UEA), utilizaron un balance entre la materia seca producida y agua transpirada (A/E) donde A: indica la tasa de asimilación neta de CO₂ y E: la transpiración (Figura 1.8)

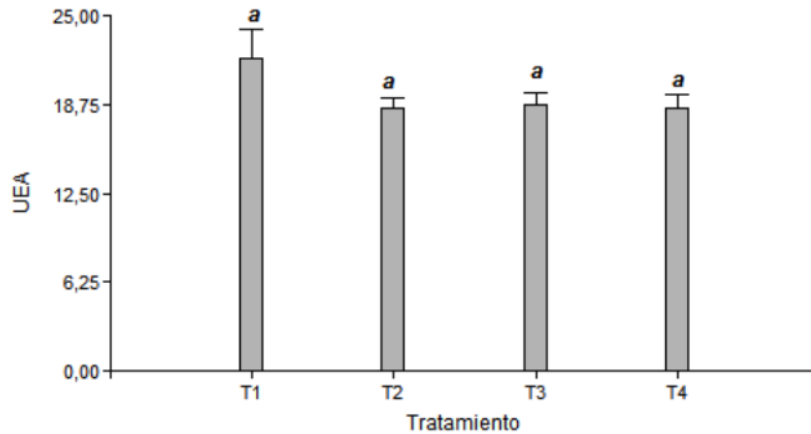


Figura 1.8 Uso eficiente del agua (UEA, A/E) (Fuente: Chandia, 2013).

Mientras que para el caso de ensayos con tomates sometidos a condiciones de restricción hídrica con hidrotenedor algal a nivel suelo, generaron una evaluación de productividad mediante el tamaño de las plantas, porcentaje de flores cuajadas, número de inflorescencias y cantidad de frutos por cada inflorescencia, obteniendo una disminución en el consumo de agua equivalente en un 33%, en donde se vieron resultados significativos entre el tratamiento T4 y T5, ambos sometidos a estrés hídricos, pero para el caso de T5 además se obtuvo el beneficio de un mayor número de frutos, aumentando el nivel de productividad en un 50% (Ver Figura 1.9).

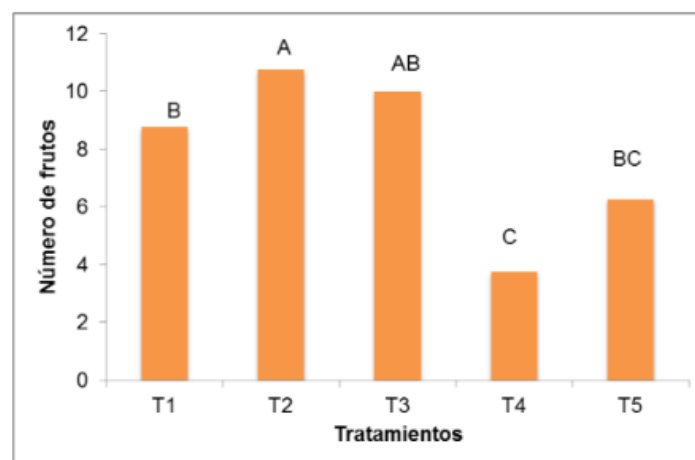


Figura 1.9 Número de frutos cuajados en plantas de tomate (Fuente: Chandia, 2013).

1.4 Área de estudio

La comuna de Llay-Llay al sur poniente de la provincia de San Felipe, Región de Valparaíso con una superficie de 373,3 Km². Se caracteriza por el desarrollo agrícola que ha experimentado la región a lo largo de su historia, en el que se sostiene su economía. Tiene una fuerte relación con Valparaíso, ya que es una de las comunas proveedoras de los insumos básicos de alimentación de esta ciudad. El potencial laboral de la Comuna de Llay-Llay está centralizado fundamentalmente en la agricultura, los que se producen en una superficie de aproximadamente 5.000 hectáreas de riego.

El área de estudio se encuentra emplazada en la localidad de La Estancilla. Sus coordenadas geográficas son 314752.00 E, 6366927.00 S, ubicada en un predio particular destinado al cultivo de hortalizas con una superficie total correspondiente a 7.80 hectáreas (Ver Figura 1.10).



Figura 1.10 Ubicación geográfica del área de estudio (Elaboración propia mediante el software Google Earth).

2 PROBLEMA

Desde el año 2010, Chile ha estado afectado por una aguda y sostenida sequía atribuible al cambio climático antrópico, con escasez hídrica prolongada, la cual contribuyó a aridecer la zona centro y sur del país siendo la agricultura la más afectada.

Por lo tanto, según datos de la Dirección General de Aguas (DGA), el volumen embalsado promedio alcanza un déficit de 34,7% en relación con el valor climático. A la misma fecha el déficit el año pasado era de 24,9% en relación con el promedio. La situación actual del caudal del río Aconcagua, presentó un déficit cercano al 80% para el año 2021. En lo que va del año 2022, se han observado los niveles más bajos a lo largo del año que sus mínimos históricos. Además, se han visto afectadas las napas subterráneas durante los años correspondientes al periodo 2016-2021 disminuyendo los niveles de recarga en la cuenca del río Aconcagua (INIA, 2022). En marzo del 2022 el Ministerio de Obras Públicas en el Decreto N°47 declaró zona de escasez hídrica por un período de seis meses a las provincias de San Felipe, Los Andes y Quillota correspondientes a la región de Valparaíso. Considerando que, se verifica la condición establecida en la Resolución D.G.A N°1674, de 2012, para calificar épocas de extraordinaria sequía.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, las algas marinas y sus extractos constituyen una fuente de nutrientes con abundantes polímeros naturales y propiedades fisicoquímicas específicas que les permitirían actuar como una posible solución biotecnológica al ser aplicados como hidroretenedores. Es por esto, que surge la necesidad de realizar un estudio que busque una forma de implementar una optimización de los recursos hídricos en los suelos cultivables a través de hidroretenedores algales, privilegiando a la agricultura orgánica y otorgando un mayor valor agregado a la productividad de hortalizas. Por lo que el presente trabajo de título busca evaluar la viabilidad del uso del compuesto algal de forma técnico-económica asociada a esta actividad productiva, para un correcto y eficiente uso del recurso hídrico.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

- Evaluar el uso de un hidroretenedor algal para disminuir el consumo del recurso hídrico en plantaciones de hortalizas en la localidad de La Estancilla, en la comuna de Llay-Llay.

3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las características agrometeorológicas de la localidad de La Estancilla, comuna de Llay-Llay.
- Establecer los aspectos técnicos-económicos para la aplicación de un hidroretenedor algal en los cultivos de hortalizas (tomates y lechugas) en la localidad de La Estancilla, comuna de Llay- Llay.
- Evaluar la efectividad de la aplicación del hidroretenedor en los cultivos de hortalizas en la localidad de La Estancilla, comuna de Llay- Llay.

4 METODOLOGÍA

Para Bernal (2006), los principales tipos de investigación son: histórica, documental, descriptiva, correlacional, explicativa o causal, estudio de caso, longitudinales y experimental. Los tipos de investigación que se llevarán a cabo en este proyecto son principalmente documental y descriptiva, ya que se realizó un análisis y recopilación de la información ya existente sobre el uso de hidroretenedores algales y su uso en la agricultura. Descriptiva debido a que se generó un levantamiento de información mediante formularios preestablecidos, con el fin de describir aspectos característicos distintivos del proceso productivo, los cuales permitieron determinar si existe un posible beneficio por el uso del hidroretenedor.

De esta forma, para dar cumplimiento a los objetivos propuestos se dividieron las actividades en tres etapas: la primera de ellas fue la recopilación de información de diferentes fuentes para definir los efectos de la sequía sobre las plantaciones agrícolas; la segunda etapa consistió en la recolección de información relacionada con los aspectos técnicos propios del manejo de los cultivos de la zona de estudio y por último una tercera, para el desarrollo de una evaluación de costos y beneficios tras una eventual aplicación del compuesto algal, los cuales son indicados en detalle en los siguientes apartados.

4.1 Caracterizaciones agrometeorológicas de la localidad de La Estancilla

Mediante la descripción general del área de estudio, se realizó una recopilación de información para posteriormente poder identificar las variables ambientales afectadas por la sequía y a la vez verse mejoradas al aplicar el hidroretenedor algal, de esta forma se consideró la búsqueda de las siguientes características generales y estructurales:

- Descripción del área de estudio
- Características biofísicas del área de estudio
 - o Hidrografía de la localidad: Descripción del comportamiento de los caudales y las variaciones correspondientes al río Aconcagua

- Clima: Se definieron las condiciones meteorológicas medias que caracterizan a la localidad de La Estancilla mediante el análisis de historiales de temperatura y precipitación.
- Uso de suelo y manejo: Se definieron las actividades e intervenciones que se realizan en la actualidad en la zona de estudio para la producción de hortalizas.

Una vez definidos los efectos que influyen de manera negativa en el nivel y calidad de la producción agrícola, se procedió mediante revisión bibliográfica a identificar las variables agronómicas mejorables con el uso del hidroretenedor y de esta forma establecer los posibles beneficios ambientales que el compuesto algal puede generar en los cultivos.

4.2 Aspectos técnicos-económicos para la aplicación de un hidroretenedor algal en los cultivos de hortalizas (tomates y lechugas) en la localidad de La Estancilla

4.2.1 Aspectos técnicos

Para la evaluación de los aspectos técnicos de la aplicación del hidroretenedor algal, se elaboraron fichas que permitieron la descripción técnica del cultivo de hortalizas sin hidroretenedor algal y una ficha técnica para aplicación del hidroretenedor algal con su respectiva descripción del compuesto en base a información del mercado (Ver Tabla 4.1 y Tabla 4.2). Se aclara que para el caso de rendimiento se consideró en términos de producción de hortalizas por hectárea plantada (Kg/ha).

Tabla 4.1 Diseño de ficha técnica para la descripción del cultivo de hortalizas (Elaboración propia)

FICHA TÉCNICA PARA LA DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO DE HORTALIZAS		
Tipo de hortaliza		
Suelos		
Riego		
Período fenológico críticos de riego		
pH		
Profundidad de suelo		
Temperatura		
Humedad relativa		
Requerimiento de fotoperiodo		
Distancia de plantación		
Distancia entre hilera		

Meses de financiamiento		
Fecha de plantación		
Fecha de cosecha		
Requerimiento de fertilización		

Tabla 4.2 Diseño de ficha técnica para la descripción técnica de la aplicación del hidroretenedor algal (Elaboración propia)

FICHA TÉCNICA PARA LA DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA APLICACIÓN DEL HIDRORETENEDOR ALGAL	
Componentes químicos	
- Ácidos urónicos (%)	
- Sulfatos (NaSO ₃ %)	
- Azúcares totales (%)	
- Proteínas (%)	
pH	
Densidad (g/ m³)	
Capacidad de retención de agua (%)	
Identificación de riesgos	
Rendimiento hortalizas (cc/hl)	
Toxicidad	
Modo de empleo	

4.2.2 Cuantificación económica

Finalmente, para evaluar económicamente los costos y beneficios de la aplicación del hidroretenedor algal en los cultivos de hortalizas en la localidad de La Estancilla, se elaboró un modelo de cuantificación de costos de producción en el cultivo de hortalizas, con y sin hidroretenedor bajo las siguientes variables:

- Costos directos:
 - Recurso humano
 - Maquinaria
 - Insumos
- Costos indirectos:

- Costo financiero
 - Costo oportunidad
 - Impuestos y contribuciones
- Cuantificar la productividad:
 Las variables y fórmulas consideradas para el cálculo de cuantificación productivo se describen a continuación en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Variables y fórmulas para la cuantificación productiva (Elaboración propia).

VARIABLE	FÓRMULA
recurso humano	a
maquinarias	b
insumos	c
costos indirectos	d
Ingresos de venta por hectárea	e
Producción	$\left(\frac{\text{hortaliza cosechados}^*}{\text{hectárea plantada(ha)}}\right)$
Costos totales por hectárea	$(a + b + c + d)$
Rentabilidad	$\left(\frac{e - (a + b + c + d)}{(a + b + c + d)}\right) \times 100$

*Considerar: Para el caso de producción se considera el tomate en Kg y la lechuga en unidades

4.2.2.1 Cuantificación de los costos del manejo de hortalizas sin hidrotenedor algal

En las tablas 4.4 a la 4.8 se muestran las fichas elaboradas para cuantificar los costos directos e indirectos del manejo de hortalizas sin hidrotenedor algal en base a las variables mencionadas anteriormente. Se aclara que las siguientes fichas solo son presentadas en el presente apartado para lograr obtener la cuantificación de la productividad sin hidrotenedor algal (Tabla 4.8), sin embargo, no serán consideradas en los resultados del trabajo de título.

Tabla 4.4 Diseño de ficha para cuantificar los costos del recurso humano para el manejo de las hortalizas sin hidrotenedor algal (Elaboración propia).

Recurso humano (a)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Riego					
Trasplante					

Control manual de malezas					
Aplicación de fertilizantes					
Aplicación de agroquímicos					
Cosecha					
Total recurso humano					

Tabla 4.5 Diseño de ficha técnica para cuantificar los costos por maquinarias en el manejo del cultivo de las hortalizas sin hidrotenedor algal (Elaboración propia).

MAQUINARIA (b)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Aradura					
Rastraje					
Melgadura y abonadura					
Acequiadura					
Aplicación de insecticidas					
Cultivación entre hileras y surco					
Total maquinaria					

Tabla 4.6 Diseño de ficha técnica para cuantificar los costos por insumos para el manejo del cultivo de hortalizas sin hidrotenedor algal (Elaboración propia).

INSUMOS (c)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Plántulas					
Agua de riego					
Fertilizantes químicos					
Fungicida					
Insecticidas					
Abono orgánico					
Otros					

Total insumos	
TOTAL COSTOS DIRECTOS (a+b+c)	

Tabla 4.7 Diseño de ficha técnica para cuantificar los costos indirectos del manejo de hortalizas sin hidroretenedor algal (Elaboración propia).

COSTOS INDIRECTOS (d)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Costos financieros (tasa de interés)					
Costo de oportunidad (arriendo)					
Impuestos y contribución					
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					

Tabla 4.8 Diseño de ficha técnica para cuantificar la productividad del cultivo de las hortalizas sin hidroretenedor algal (Elaboración propia).

PRODUCCIÓN OBTENIDA SIN HIDRORETENDOR		
Producción	Kg/Ha	
Costos totales por hectárea	\$/Kg	
Ingresos de venta por hectárea (e)	\$	
Rentabilidad	%	

4.2.2.2 Cuantificación de los costos del manejo de hortalizas con hidroretenedor algal

Para la cuantificación de los costos en el manejo de hortalizas se diseñaron las fichas descritas en las tablas 4.9 a la 4.13 para cuantificar los costos directos e indirectos aplicados para el manejo de hortalizas con hidroretenedor algal. Al igual que el caso anterior, las siguientes fichas solo son

presentadas en el presente apartado para lograr obtener la cuantificación de la productividad con el hidrorretenedor algal (Tabla 4.13), sin embargo, no serán consideradas en los resultados.

Tabla 4.9 Diseño de ficha para cuantificar los costos del recurso humano para el manejo de las hortalizas con hidrorretenedor algal (Elaboración propia).

RECURSO HUMANO (a)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Riego					
Trasplante					
Control manual de malezas					
Aplicación de hidrorretenedor					
Aplicación de fertilizantes					
Aplicación de agroquímicos					
Cosecha					
Total recurso humano					

Tabla 4.10 Diseño de ficha técnica para cuantificar los costos por maquinarias en el manejo del cultivo de las hortalizas con hidrorretenedor algal (Elaboración propia).

MAQUINARIA (b)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Aradura					
Rastraje					
Melgadura y abonadura					
Acequiadura					
Aplicación de insecticidas					
Cultivación entre hileras y surco					
Total maquinaria					

Tabla 4.11 Diseño de ficha técnica para cuantificar los costos por insumos para el manejo del cultivo de hortalizas con hidroretenedor algal (Elaboración propia).

INSUMOS (c)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Plántulas					
Agua de riego					
Hidroretenedor					
Fertilizantes químicos					
Fungicida					
Insecticidas					
Abono orgánico					
Otros					
Total insumos					
TOTAL COSTOS DIRECTOS (a+b+c)					

Tabla 4.12 Diseño de ficha técnica para cuantificar los costos indirectos del manejo de hortalizas con hidroretenedor algal (Elaboración propia).

COSTOS INDIRECTOS (d)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Costos financieros (tasa de interés)					
Costo de oportunidad (arriendo)					
Impuestos y contribución					
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					

Tabla 4.13 Diseño de ficha técnica para cuantificar la productividad del cultivo de las hortalizas con hidroretenedor algal (Elaboración propia).

PRODUCCIÓN OBTENIDA CON HIDRORETENDOR		
Producción	Kg/Ha	
Costos totales por hectárea	\$/Kg	
Ingresos de venta por hectárea (e)	\$	
Rentabilidad	%	

4.3 Metodología para realizar el análisis costos-beneficios

El análisis de costos-beneficios y el de la eficacia en función de los costos son instrumentos para determinar si los costos de una actividad pueden estar o no justificados por los resultados y los efectos, es por esto que se midieron los insumos y resultados en términos monetarios. Para determinar la eficacia en función de los costos se estimaron los insumos en términos monetarios y los resultados en términos cuantitativos no monetarios (Banco Mundial, 2004).

En la Tabla 4.14 se diseñó una ficha para evaluar el porcentaje de variación de manera comparativa entre un manejo de cultivo con hidroretenedor algal y sin éste, en base a la productividad, consumo de agua, ingresos, etc. Se aclara que para los datos de cultivo con hidroretenedor algal se consideró una extrapolación de datos en base a los resultados obtenidos por el proyecto de la Universidad Católica del Norte ya descritos en el apartado 1.3.4 del presente trabajo.

Tabla 4.14 Ficha comparativa para evaluar la eficiencia del cultivo con y sin hidrorretenedor algal (Elaboración propia).

N° DE HORTALIZAS OBTENIDAS				
INFORMACIÓN	UNIDAD	CULTIVO SIN HIDRORETENEDOR ALGAL	CULTIVO CON HIDRORETENEDOR ALGAL	VARIACIÓN (%)
N° plántulas por hectárea	unidad			
Rendimiento del proceso	Kg/ha			
Consumo de agua	L/ha			
Inversión hidrorretenedor	\$			
Rentabilidad	%			
Ingresos por venta	\$			

4.3.1 Elaboración del flujo de fondos

Se utilizaron los datos obtenidos del modelo de cuantificación de costos de producción del cultivo de hortalizas con y sin hidrorretenedor algal en la localidad de La Estancilla, comuna de Llay-Llay. (Ver Tabla 4.15).

Tabla 4.15 Diseño de tabla para la cuantificación de costos de producción de hortalizas con y sin hidrorretenedor algal (Elaboración propia).

FLUJO DE FONDOS COMPARATIVO		
Año 1	Sin hidrorretenedor algal	Con hidrorretenedor algal
Ventas de hortalizas		
Costos H ₂ O		
Costos de producción		
Costos totales		
Flujo neto		

4.3.2 Determinación de los indicadores de decisión

Los indicadores descritos en la Tabla 4.16 se utilizaron para lograr determinar el comportamiento de las entradas y salidas de dinero, y de esta forma definir la viabilidad del proyecto. En base a lo anterior, el análisis de relación costo-beneficio se generó para evidenciar si es rentable invertir en la utilización del hidroretenedor algal como solución biotecnológica a los efectos que causa la sequía en la región de Valparaíso.

Tabla 4.16 Indicadores de decisión para determinar viabilidad del hidroretenedor algal en plantaciones de hortalizas (Elaboración propia)

Indicador	Sin hidroretenedor	Con hidroretenedor
Rentabilidad (%)		
Valor de beneficios (\$)		
Valor de costos (\$)		
Relación costos/beneficios (\$)		

5 RESULTADOS

5.1 Características agrometeorológicas de la localidad de La Estancilla

5.1.1 Características biofísicas del área de estudio

Para ello se realizó una caracterización del área de estudio, basada en las condiciones históricas y como se han visto alteradas en los últimos años por fenómenos climáticos y antrópicos como se muestran en las características biofísicas ya descritas con anterioridad.

Hidrografía de la localidad: La comuna se encuentra inserta en el curso medio del río Aconcagua (ver Figura 5.1), siendo un sector con régimen principalmente mixto, donde sus principales afluentes son el estero Los Loros y estero Las Palmas. El estero Los Loros, es un curso fluvial de origen tectónico, que nace en las serranías cordilleranas y laderas de la cordillera de la Costa, específicamente en el sector de la cuesta Las Chilcas. Su trayectoria promedio es este – oeste y se encuentra intensamente intervenido por las actividades agrícolas que se desarrollan en las terrazas fluviales subactuales. Este curso de agua posee un régimen pluvial con contribución nival en algunos periodos del año, con un caudal ecológico de $0,32 \text{ m}^3/\text{s}$ y un promedio anual de $3,2 \text{ m}^3/\text{s}$, debido a que el estero nace en los cordones montañosos de las estribaciones de la cordillera de Los Andes (alturas que alcanzan los 1600 m.s.n.m.) y cumbres de la cordillera, tal como el destacado cerro El Roble, el cual supera los 2000 m.s.n.m (DGA, 2016).

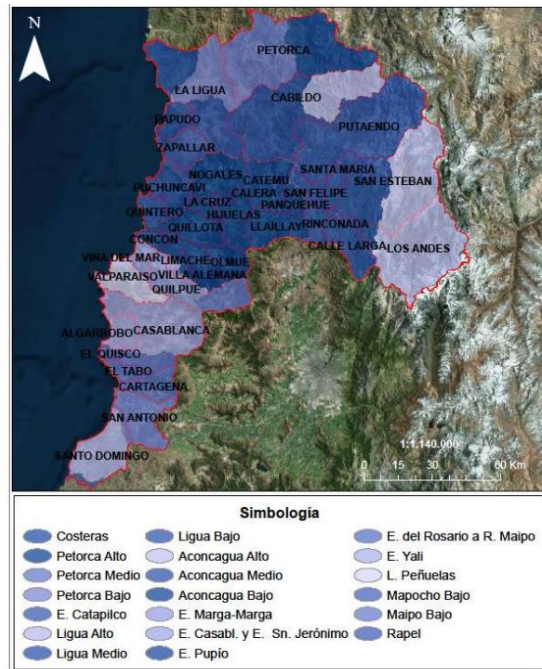


Figura 5.1 Subcuencas de la Región de Valparaíso (Fuente: DGA 2016).

De acuerdo a la clasificación de cuencas hidrográficas de Chile, el territorio está comprendido en la cuenca hidrográfica 054 Río Aconcagua, segmentada en cuatro secciones.

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de la segunda sección del Río Aconcagua (Figura 5.2), comprende las comunas de Panquehue, Llay-Llay y Catemu. Esta sección abarca desde el Puente del Rey hasta la Puntilla de Romeral y sus principales afluentes son los esteros Quilpué o San Francisco, Catemu, Lo Campo y Los Loros o Las Vegas más el río Putaendo (DGA, 1980).



Figura 5.2 Seccionamiento de la cuenca del Río Aconcagua y río Putaendo (Fuente: DGA, 1980).

El valle de Llay-Llay históricamente posee una permeabilidad porosa, con importancia hidrogeológica alta, debida al gran contenido de material sedimentario, con una capacidad productiva para los pozos de 1 a 4 m³/h/m. Estos valores deducen que las condiciones hidrogeológicas presentes en la comuna están dadas por una alta porosidad y condiciones hídricas que permiten la recarga y descarga del acuífero descritas en la Figura 5.3 (Foco Consultores, 2013).



Figura 5.3 Mapa Hidrogeológico de Chile. (Fuente: DGA. 1989).

Clima: La comuna se encuentra inserta en un clima templado mediterráneo cálido (ver Figura 5.4), con lluvias y heladas invernales, con las 4 estaciones del año bien marcadas, con altas temperaturas en verano y bajas en invierno. La precipitación media anual es de 364,5 mm, siendo julio el mes más lluvioso.

La continentalidad de Llay-Llay se verifica al comparar las amplitudes térmicas anuales desde la costa hacia el interior del territorio. En la ciudad de Valparaíso alcanza 5, 6° C, en Quillota 8° C y en Llay-Llay 11° C. Si bien las condiciones pluviométricas no son tan benignas para el desarrollo agropecuario, esta comuna cuenta con una red de canales de riego y la presencia del río Aconcagua, lo cual fortalece el riego mediante los canales y la extracción de aguas subterráneas. La cantidad de días de heladas, en comparación con otras zonas de la cuenca del río Aconcagua, representa una desventaja, sin embargo, esta variable es totalmente manejable mediante tecnología existente (Foco Consultores, 2013).

Los valores climáticos también permiten señalar que esta comuna presenta buenas condiciones para el desarrollo urbano, ya que no posee promedios mínimos inferiores a 0°C ni una fuerte amplitud térmica. La concentración de lluvias en invierno es una condición general de climas

mediterráneos, que generan una mayor probabilidad a los procesos de remociones en masa e inundaciones en invierno, sin embargo, no se puede descartar la posibilidad de que se detonen ambos procesos en otras estaciones, ya que estos riesgos obedecen más a la concentración e intensidad de precipitaciones en torno a las 24 horas más que en promedios mensuales (Foco Consultores, 2013).

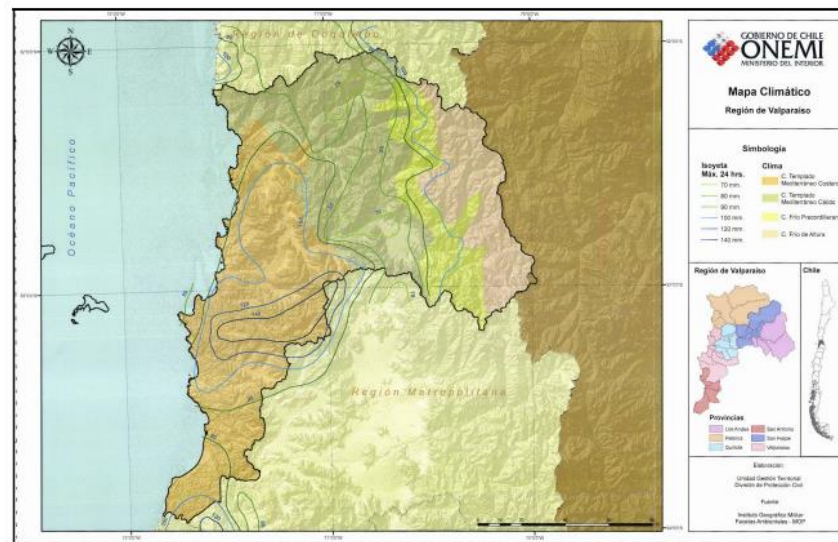


Figura 5.4 Mapa Climático de la Región de Valparaíso (Fuente: ONEMI, 2008).

Uso y manejo del suelo: Los suelos se han formado principalmente en las terrazas más bajas y en la caja de los esteros y quebradas. Se caracterizan por presentar una variada profundidad, fertilidad y limitaciones respecto a su localización en la cuenca (Foco Consultores, 2013). En general los suelos agrícolas (Clase I, II y III), se encuentran distribuidos sobre el valle a ambos costados del estero que surcan. En ellos destacan la buena fertilidad para una variada cantidad de cultivos (frutales, hortalizas y chacras) y sus limitaciones en este sector van de leves a moderadas, las que son mitigadas por la tecnología aplicada para los cultivos más rentables (Foco Consultores, 2013). Los suelos con mayores limitaciones se encuentran localizados en los sectores más altos de la cuenca, dónde se caracterizan por su menor fertilidad. Los usos generalmente corresponden a vida silvestre, pastoreo de ganado y en menor medida al uso forestal (CIREN, 2009). En la Figura 5.5 se muestran las clasificaciones de suelo de la región de Valparaíso.

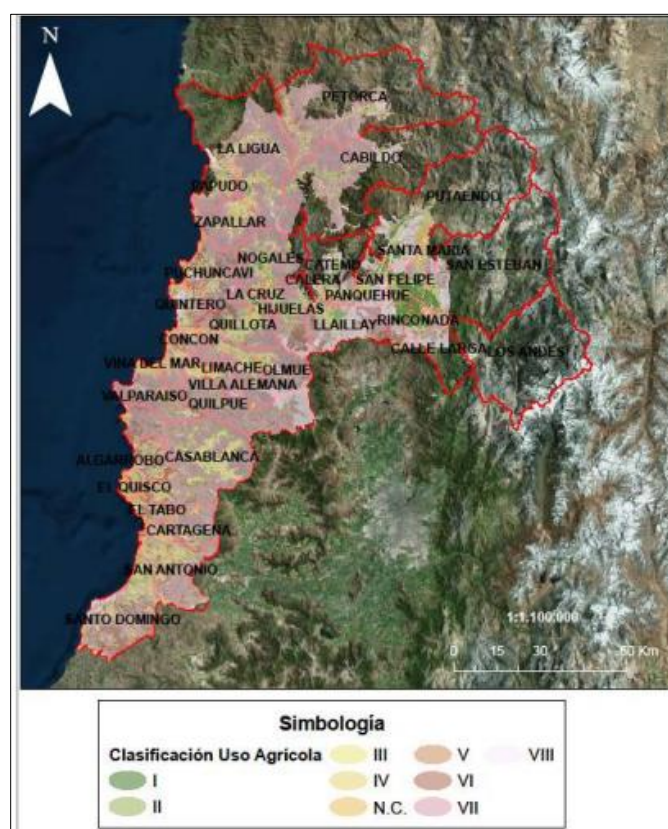


Figura 5.5 Estudio Agrológico de Suelos. Capacidad de Uso Agrícola (Fuente: CIREN).

En la Tabla 5.1, la columna en verde destaca la superficie de las 435 explotaciones agropecuarias con tierra incluidas para la comuna de Llay-Llay en el Censo Agropecuario 2007, alcanza un total de 16.041,7 hectáreas.

Tabla 5.1 Comparación de explotaciones agropecuarias, uso del suelo, suelos de cultivo a nivel regional, provincial y comunal.

	Región de Valparaíso	Provincia de San Felipe	Comuna de Llay-Llay
Número de explotaciones	15.731	3.338	435
Superficie Agropecuaria (ha)	1.116.813,3	185.300,8	16.041,7
Superficie de suelos de cultivo (ha)	119.331,5	28.210,3	4.536,2

Cultivos anuales y permanentes (ha)	81.797,3	21.870,5	3.756,6
Forrajas permanentes y de rotación (ha)	10.612,5	3.271,8	473,8
En barbecho y descanso (ha)	26.921,7	3.068,0	305,8

De la superficie de las explotaciones agropecuarias, son destinadas a cultivos 4.536,2 hectáreas, de las cuales, 3.756,6 corresponden a cultivos anuales y permanentes, equivalente al 86,2% de la superficie; le siguen las forrajas permanentes y de rotación, con un 10,4% de la superficie y por último se encuentran los cultivos en barbecho y descanso con 305,8 hectáreas (INE, 2007).

Ya analizados los registros históricos de las características geofísicas de la localidad, se procede a definir los efectos que influyen de manera negativa en el nivel y calidad de la producción agrícola, obtenidos de revisión bibliográfica.

5.1.2 Situación actual en la Comuna

En base a los datos de la Dirección Meteorológica de Chile en su Boletín Agroclimático de enero 2022 señalan que “El 2021 se inscribe como un año más dentro del extenso período de sequía observada durante más de una década en la zona central del país. Además, destacan los marcados déficits en la zona sur y austral siendo el 2021 el cuarto año más seco de Valparaíso a Curicó después de 1998, 2019 y 1968” (MINAGRI, 2022).

5.1.3 Análisis de Posibles Riesgos Agroclimáticos en los Principales Rubros Agrícolas

Para calcular la humedad superficial disponible en el suelo, EL Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) utiliza el modelo LPRM, generando datos a partir del instrumento de microondas AMSR2 (Advanced Microwave Scanning Radiometer 2) a bordo del satélite Shizuku (GCOM-W1), el cual demostró mejores resultados, mediante un menor sesgo y menor error medio cuadrático en la validación para Sudamérica (Bindlish et al., 2018).

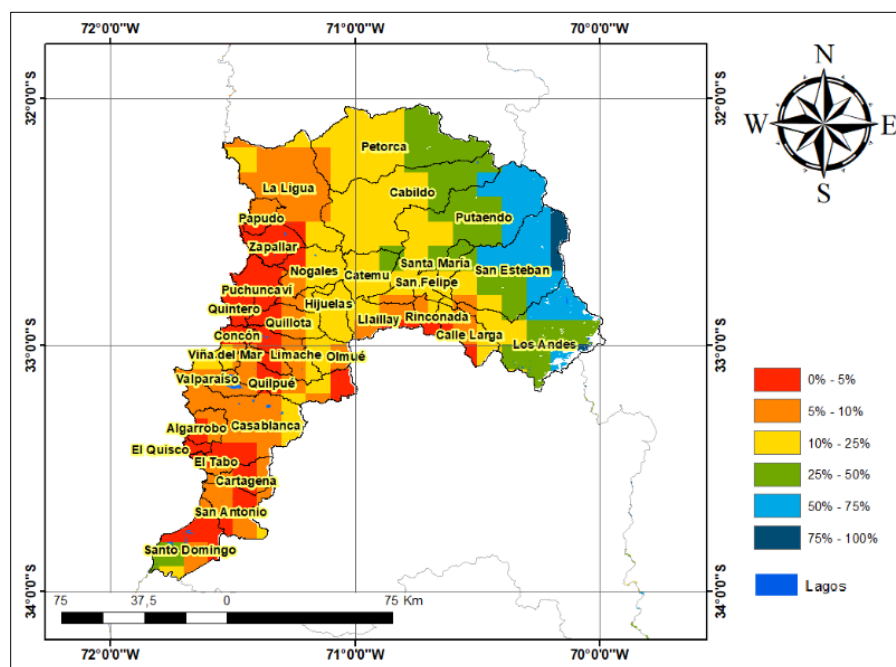


Figura 5.6 Disponibilidad de agua para el periodo mayo-junio 2022, Región de Valparaíso (Fuente: INIA).

En base a la Figura 5.6 por parte de la comuna de Llay-Llay, se puede observar una baja disponibilidad de agua correspondiente a valores ubicados en dos rangos: naranjos (5-10%) y amarillo (10-25%) destacando que durante el periodo de mayo-junio aumento la disponibilidad de agua en comparación a años anteriores.

Respecto de la respuesta fisiológica de las plantas al efecto del clima, las imágenes satelitales reflejan la magnitud del crecimiento o disminución de la cobertura vegetal en esta época del año mediante el índice de vegetación NDVI (Desviación Normalizada del Índice de Vegetación).

Se puede observar un NDVI promedio regional de 0.3 mientras el año pasado había sido de 0.37. El valor promedio histórico para esta región, en este período del año es de 0.37.

El índice de Condición de la Vegetación (VCI) elaborado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias refleja el impacto de la sequía en las plantas. Su escala va de 0 a 100 (Ver Tabla 5.2), en donde una situación desfavorable implica un valor de 40 o menos (colores pardo claro a oscuro en los mapas). En el período del 19 al 31 de diciembre indica sequía agrícola severa a extrema en la zona centro (regiones de Coquimbo, Valparaíso y parte de la RM) como se muestra en la Figura 5.7 evidenciando la disminución de cultivos agrícolas en la región de Valparaíso. Para el año 2022 la

Figura 5.8 demuestra cómo la localidad de estudio se encuentra en una condición desfavorable severa en base al índice de condición de la vegetación reflejando el impacto de la sequía en el sector correspondiente al rango [10-20].

Tabla 5.2 Escala de Índice de Condición de la Vegetación (Elaboración propia a partir de INIA).

Rango	[0-10]	[10-20]	[20-30]	[30-40]	[40-100]
Condición	Desfavorable Extrema	Desfavorable Severa	Desfavorable Moderada	Desfavorable Leve	Favorable

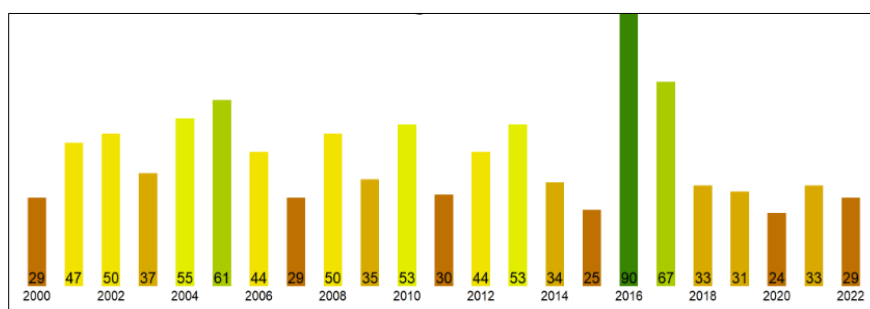


Figura 5.7 Valores promedio de VCI en terrenos de uso agrícola para la Región de Valparaíso.

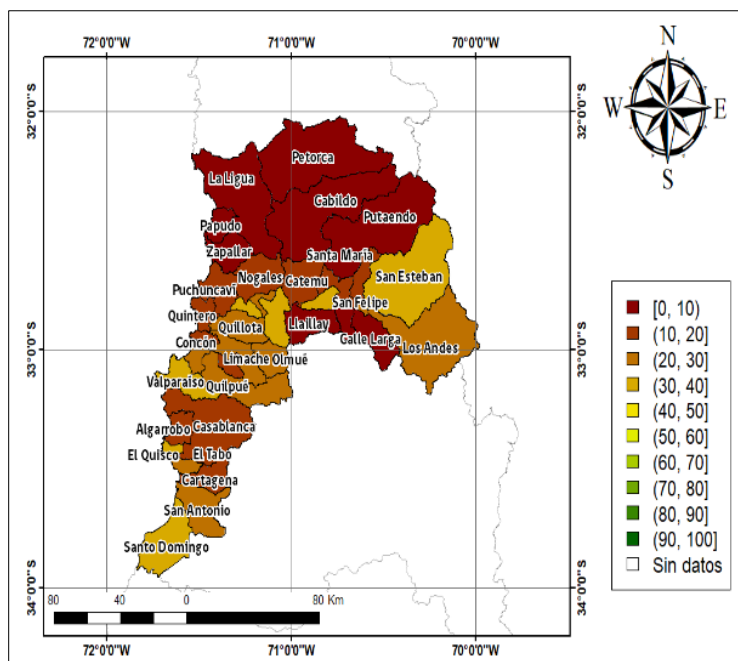


Figura 5.8 Índice de Condición de la Vegetación (VCI) para la Región de Valparaíso al año 2022.

De esta forma los datos retrospectivos disponibles sobre la susceptibilidad a la sequía para la zona de estudio y la sensibilidad que los cultivos de hortalizas presentan, en donde el riego es absolutamente indispensable. A nivel de pequeños productores agrícolas en el sector hortícola, el desarrollo del sector ha sido difícil, perdiendo competitividad frente a mercados cada vez más dinámicos y demandantes. Los principales problemas son:

- Bajos niveles de rendimiento productivo.
- Escasa incorporación de tecnología.
- Alta vulnerabilidad ante problemas climáticos (ej. heladas y escasez hídrica).
- Infraestructura reducida y/o limitada.

Lo cual se confirma ante información estadística, ya que en los últimos diez años la Región de Valparaíso aprecia una disminución del 5% en la superficie hortícola regional.

Donde la disminución de superficie de hortalizas obedece al gran dinamismo que ofrece la producción de hortalizas de acuerdo a factores económicos como los precios de la temporada anterior, a una demanda relativa, y a las condiciones que se presenten de clima y suministro de agua de riego que las actuales condiciones lo convierten en uno de los factores más importantes al momento de la decisión de siembra o plantación.

5.2 Aspectos técnico- económicos

5.2.1 Descripción técnica

El presente capítulo, evaluó los aspectos técnicos correspondientes al hidrotenedor algal y las especies de hortalizas pertinentes al trabajo de título para el correcto manejo de cada uno, los cuales se encuentran descritos a continuación en las Tablas 5.3 y 5.4:

Tabla 5.3 Descripción técnica para los cultivos de tomates y lechugas (Elaboración propia).

FICHA TÉCNICA PARA LA DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO DE HORTALIZAS		
Tipo de hortaliza	Tomate	Lechuga
Suelos	Alto contenido de materia orgánica	Alto contenido de materia orgánica, suelo aireado y suelto
Riego	Cada 7 días	Cada 5 días
Período fenológico críticos de riego	Pre-plantación a pre-floración	Pre-plantación Pre-trasplante

	Floración a cuaja de frutos	Pre-cosecha
pH	6-6,5	6,6-7,3
Profundidad de suelo	50 cm	30-50 cm
Temperatura	18-30°C	18-25°C
Humedad relativa	60-80%	>80%
Requerimiento de fotoperiodo	Más de 6 horas	12 horas
Distancia de plantación	50 cm	30 cm
Distancia entre hilera	120 cm	60 cm
Meses de financiamiento	5 meses	4 meses
Fecha de plantación	Octubre- diciembre	Julio-marzo
Fecha de cosecha	Enero-marzo	Tres meses posteriores a la plantación
Requerimiento de fertilización	Nitrógeno	Nitrógeno
	Fosfato	Fósforo
	Potasio	Potasio
		Zinc

Tabla 5.4 Descripción técnica para la aplicación de hidrotenedor algal (Elaboración propia).

FICHA TÉCNICA PARA LA APLICACIÓN DEL HIDRORETENEDOR ALGAL (<i>Ulva sp</i>)	
Componentes químicos	
- Ácidos urónicos (%)	38,8 ±1,6
- Sulfatos (NaSO ₃ %)	37,3 ±8,5
- Azúcares totales (%)	43,3±0,4
- Proteínas (%)	0,002±0,0006
pH	7
Densidad (g/ m³)	500
Capacidad de retención de agua (%)	13-33
- Tomate	33
- Lechuga	20
Aumento de productividad (%) para tomate	

- condiciones normales	11
Déficit hídrico	50
Disminución perdida (%)	
- Lechugas	14
Identificación de riesgos	No presenta
Rendimiento aplicación hortalizas (kg/ha)	200
Toxicidad	No se considera tóxico
Modo de empleo	Aplicación en seco directo al suelo, mediante surcos

*El hidrorretenedor aun no es comercializado, por ende, hay información confidencial dentro del informe.

*Datos obtenidos a partir de estudios realizados por Chandia (2013)

5.2.2 Cuantificación de los costos y beneficios

5.2.2.1 Productividad de hortalizas sin hidrorretenedor algal

Tomate: La obtención de datos se generó a partir de la producción de una hectárea de terreno plantada con la variedad de tomate colono, destinado a consumo fresco, con sistema de conducción botado, régimen de riego por surco, con fecha de plantación correspondiente a octubre del 2021 y cosechado durante el período de enero y febrero del mismo año. Para ver de forma detallada los costos directos e indirectos del manejo del cultivo de tomates ver Anexo 2.

A continuación, la Tabla 5.5 muestra de forma resumida productividad y costos asociados al cultivo de tomates sin hidrorretenedor algal.

Tabla 5.5 Productividad del cultivo de tomates sin hidrorretenedor algal (Elaboración propia).

PRODUCCIÓN OBTENIDA SIN HIDRORETENDOR		
Producción	Kg/Ha	56.048
Costos totales por hectárea	\$/Kg	4.257.856
Ingresos de venta por hectárea (e)	\$	8.407.200
Rentabilidad	%	97

Lechuga: En el caso de la lechuga, se consideró la producción de una hectárea de terreno plantada con la variedad de lechuga escarola, destinada a consumo fresco, al aire libre, con régimen de riego por surco, plantadas en junio del 2021 y cosechadas durante el período de agosto del mismo año. Para ver de forma detallada los costos directos e indirectos del manejo del cultivo de lechuga ver Anexo 3. Finalmente, la Tabla 5.6 muestra la productividad del cultivo de lechuga sin hidrotenedor algal.

Tabla 5.6 Productividad del cultivo de lechuga sin hidrotenedor algal (Elaboración propia).

PRODUCCIÓN OBTENIDA SIN HIDRORETENDOR		
Producción	unidad/ha	30.000
Costos totales por hectárea	\$	2.543.733
Ingresos de venta por hectárea	\$/Kg	3.000.000
Rentabilidad	%	18

5.2.2.2 Productividad de hortalizas con hidrotenedor algal

Tomate: La obtención de datos dispuestos en el Anexo 4, se generó a partir de la producción de una hectárea de terreno plantada con la variedad de tomate colono, destinado a consumo fresco, con sistema de conducción botado, régimen de riego por surco. Se aclara que para el caso de los datos relacionados con el hidrotenedor algal, como la producción, riego, entre otras, se utilizó la extrapolación de datos con ensayos experimentales mencionados en el apartado 1.3.4 del presente trabajo de título. A continuación, en la Tabla 5.7 se muestra la cuantificación proyectada del cultivo de tomates con la aplicación del compuesto algal.

Tabla 5.7 Cuantificación de la productividad del cultivo de tomates con hidrotenedor algal (Elaboración propia).

PRODUCCIÓN OBTENIDA CON HIDRORETENDOR		
Producción	Kg/Ha	72.862
Costos totales por hectárea	\$	4.740.656
Ingresos de venta por hectárea	\$/Kg	10.929.300
Rentabilidad	%	130

Lechuga: La obtención de datos dispuestos en el Anexo 5, se consideró la producción de una hectárea de terreno plantada con la variedad de lechuga escarola, destinada a consumo fresco, al aire libre, con régimen de riego por surco. Al igual que el caso anterior, se obtuvieron los datos correspondientes al manejo del hidrotenedor algal a partir de la extrapolación de datos. Finalmente, en la Tabla 5.8 se muestra la cuantificación proyectada del cultivo de lechuga con la aplicación del compuesto algal.

Tabla 5.8 Cuantificación de la productividad del cultivo de lechuga con hidrotenedor algal (Elaboración propia).

PRODUCCIÓN OBTENIDA CON HIDRORETENEDOR		
Producción	Unidad/ha	34.400
Costos totales por hectárea	\$	3.026.533
Ingresos de venta por hectárea	\$/Kg	3.440.000
Rentabilidad	%	14

5.3 Análisis costos-beneficios

A continuación, en las Tablas 5.9 y 5.10 se muestran las evaluaciones porcentuales, de manera comparativa para las variaciones generadas entre un manejo de cultivo con hidrotenedor algal y sin éste, en base a la productividad, consumo de agua e ingresos para los cultivos de tomate y lechuga.

Tabla 5.9 Comparación de eficiencia del cultivo de tomates con y sin hidrotenedor algal (Elaboración propia).

N° DE TOMATES OBTENIDOS				
INFORMACIÓN	UNIDAD	CULTIVO SIN HIDRORETENEDOR ALGAL	CULTIVO CON HIDRORETENEDOR ALGAL	VARIACIÓN (%)
N° plántula por hectárea	unidad	12.000	12.000	0
Rendimiento del proceso	Kg/ha	56.048	72.862	30
Consumo de agua	L/ha	1.293	723,6	-44
Inversión hidrotenedor	\$	0	452.800	100
Rentabilidad	%	97	130	33
Ingresos por venta	\$	8.407.200	10.929.300	30

Tabla 5.10 Comparación de eficiencia del cultivo de lechuga con y sin hidrorretenedor algal (Elaboración propia).

N° DE LECHUGAS OBTENIDAS				
INFORMACIÓN	UNIDAD	CULTIVO SIN HIDRORETENEDOR ALGAL	CULTIVO CON HIDRORETENEDOR ALGAL	VARIACIÓN (%)
N° plántula por hectárea	unidad	40.000	40.000	0
Rendimiento del proceso	unidad/ha	30.000	34.400	13
Consumo de agua	m ³ /ha	1.296	1.034	-20
Inversión hidrorretenedor	\$	0	452.800	100
Rentabilidad	%	18	14	-28
Ingresos por venta	\$	3.000.000	3.440.000	15

5.3.1 Flujo de fondos

En las Tablas 5.11 y 5.12, se muestran los datos obtenidos del modelo de cuantificación de costos de producción del cultivo de hortalizas con y sin hidrorretenedor algal.

Tabla 5.11 Cuantificación de costos de producción de tomates, con y sin hidrorretenedor algal (Elaboración propia).

FLUJO DE FONDOS COMPARATIVO		
Año 1	Sin hidrorretenedor algal	Con hidrorretenedor algal
Ventas de hortalizas (\$)	8.407.200	10.929.300
Costos H ₂ O (\$)	25.000	25.000
Costos de producción (\$)	3.841.190	4.323.990
Costos totales (\$)	4.257.856	4.740.656
Flujo neto (\$)	4.149.344	6.188.644

Tabla 5.12 Cuantificación de costos de producción de lechugas con y sin hidrorretenedor algal (Elaboración propia).

FLUJO DE FONDOS COMPARATIVO		
Año 1	Sin hidrorretenedor algal	Con hidrorretenedor algal
Ventas de hortalizas	3.000.000	3.440.000
Costos H ₂ O	25.000	25.000
Costos de producción	2.210.400	2.693.200
Costos totales	2.543.733	3.026.533
Flujo neto	456.267	413.467

5.3.2 Indicadores de decisión

A través de los indicadores descritos en las Tablas 5.13 y 5.14, se logró determinar el comportamiento de las entradas y salidas de dinero definiendo la viabilidad del proyecto. Y de esta forma, evidenciar la rentabilidad de invertir en la utilización del hidrorretenedor algal para cada caso de cultivos de hortalizas estudiados.

Tabla 5.13 Indicadores de decisión para determinar viabilidad del hidrorretenedor algal en plantaciones de tomates (Elaboración propia).

Indicador	Sin hidrorretenedor	Con hidrorretenedor
Rentabilidad (%)	97	130
Valor de beneficios (\$)	8.407.200	10.929.300
Valor de costos (\$)	4.257.856	4.149.344
Relación costos/beneficios (\$)	1,97	2,63

Tabla 5.14 Indicadores de decisión para determinar viabilidad del hidrorretenedor algal en plantaciones de lechugas (Elaboración propia).

Indicador	Sin hidrorretenedor	Con hidrorretenedor
Rentabilidad (%)	18	14
Valor de beneficios (\$)	3.000.000	3.440.000
Valor de costos (\$)	2.543.733	3.026.533
Relación costos/beneficios (\$)	1,18	1,14

6 DISCUSIÓN

En base a las características que permitieron determinar las variables ambientales limitantes, para el desarrollo de las plantaciones de hortalizas, se puede mencionar que:

Los datos retrospectivos demostraron la susceptibilidad a la sequía que posee la zona de estudio, en donde según datos de la Dirección General de Aguas (DGA), el volumen embalsado promedio alcanza un déficit de 34,7% en relación con el valor climático. A la misma fecha el déficit el año pasado era de 24,9%, influyendo en la Desviación Normalizada del Índice de Vegetación (NDVI) donde el promedio regional del presente año corresponde a 0,3 NDVI, mientras que para el periodo del año 2021 había sido de 0,37, en conjunto a la alta sensibilidad que los cultivos poseen ante el estrés hídrico, evidenciando bajos niveles de rendimiento productivo y una escasa incorporación de tecnologías en el manejo de estos mismos.

Acorde a los resultados obtenidos de acuerdo al consumo de agua necesaria para el riego de los cultivos, se comprobó de forma teórica que el hidroretenedor contribuye al manejo sustentable del recurso hídrico, ya que las plantas de tomates sujetas a investigación mediante la proyección de una eventual aplicación de hidroretenedor disminuyeron la cantidad del uso consuntivo del agua de 1.293 m³/ha a 723,6 m³/ha siendo capaces de desarrollarse de forma normal y generando más frutos, disminuyendo en un 33% el consumo de agua y aumentar su productividad en un 30 %. Mientras que las plantas de lechuga con hidroretenedor optimizarían sus riegos de 1.293 a 1.034 m³/ha, reduciendo en un 20% el consumo de agua. Estrada (2011), elaboró un hidrogel realizado con grenetina y poli (ácido acrílico), el cual obtuvo una mejor absorción de agua, con un porcentaje equivalente al 100% en comparación a otros hidrogeles a base de alginato, los cuales se encuentran entre un 97,6% y 20% según los extractos algales utilizados. (Estrada et al., 2011). En esa medida, la aplicación de estos oligómeros sobre los cultivos reduce el efecto del estrés e incrementan el crecimiento de las plantas (Hien et al., 2000).

Por otro lado, Aguilera (2011) demostró mediante ensayos, que para el riego deficitario de las vides (ETc 67%) disminuyó el contenido volumétrico de agua (CVA) del suelo en un 55,7%, en promedio. Comparado con el tratamiento ETc 67% más la adición de hidroretenedor algal a los suelos disminuyó el CVA en la estrata superficial en un 42,7%, lo que significó que estos suelos retuvieran

un 13% más del CVA en comparación a los suelos con riego deficitario y sin adición de hidroretenedor. Este 13% de diferencia se traduce en que los suelos con déficit hídrico más hidroretenedor, retuvieron 32,63 L de agua más por metro cúbico que los suelos con riego deficitario sin adición del compuesto algal. (Aguilera et al., 2011). Por lo tanto, se puede inferir que el uso de hidroretenedor algal es una buena alternativa para implementar en los campos agrícolas como solución biotecnológica, ya que como se pudo comparar en los resultados obtenidos, que el agricultor lograría ahorrar un alto porcentaje del agua que utiliza normalmente para el riego.

Todo lo anterior, debido a que el compuesto afecta significativamente la densidad aparente (Dd) en suelos francos y arenosos, disminuyendo la Db como consecuencia de un aumento de la macroporosidad, donde aumentan los poros de agua utilizable (PAU), disminuyen los poros de drenaje lento (PRD) y los poros de drenaje rápido (PDR). Por lo tanto, al saber que la textura del suelo y el sistema poroso se relacionan directamente. Las distribuciones de las partículas forman una secuencia geométrica y entre las partículas se dan origen a una distribución secuencial de poros en el suelo que dependen de la textura. En donde Moree, en su artículo "*Uso de abono de algas para cultivar plantas*" describió que el alginato (un componente del hidroretenedor), interactúa con iones metálicos en el suelo y forman complejos de alto peso molecular que absorben humedad, se hinchan y retienen agua, lo cual mejora la estructura del suelo. Esto resulta en una mejor aireación y capilaridad de los poros del suelo, que a su vez estimula el crecimiento del sistema radicular de las plantas y aumenta la actividad microbiana del suelo. Por esto, el uso del hidroretenedor algal en los suelos conlleva a efectos positivos para el desarrollo de PAU, lo cual se traduce en un beneficio hídrico para los cultivos. (Moore, 2004).

Sin embargo, es importante destacar que, si bien en los resultados no se ve reflejado una disminución en los costos atribuidos al uso consuntivo del agua, sí está sujeto al derecho de aprovechamiento de esta. Por lo que los usuarios deben pagar de forma anual en base a las hectáreas totales que posean. A esto se suman los problemas de regulación y fiscalización, ya que para el caso de la segunda sección del río Aconcagua no existe mayor regulación respecto del correcto uso de los derechos por parte de los regantes, desencadenando una disminución en el interés para mejorar los sistemas de distribución y ordenamiento en el acceso al agua para el riego. Pero si se considera un escenario, en donde a futuro se deba comprar el recurso hídrico de manera

externa a los derechos de aprovechamiento de agua, existen estudios realizados por la Universidad Católica de Chile, los cuales generan una valorización del recurso hídrico por sección del río Aconcagua en base a cada actividad económica, definiendo un valor estimado para la agricultura de la segunda sección igual a 6 UF/Ls. Por lo tanto, bajo el escenario mencionado anteriormente, si se aplica el hidrotenedor algal como solución biotecnológica a la sequía prolongada, se verían reflejados los beneficios monetarios que el compuesto otorga, además de los beneficios sociales que conllevaría a la población local de La Estancilla, en donde el uso del hidrotenedor algal, sumado a la aplicación de riego tecnificado y capacitaciones de buenas prácticas, ayudarían a los productores iniciar en la correcta gestión de sus procesos económicos, con miras de un mejoramiento continuo y una actitud de respeto al medio ambiente, su comunidad y generaciones futuras.

Finalmente, las características financieras que permitieron determinar la viabilidad en la aplicación del hidrotenedor algal fueron:

El análisis de flujo de fondos mostró que los bajos ingresos de las ventas de cultivo de lechugas sin hidrotenedor algal son causados principalmente por la alta pérdida de plántulas y los altos costos de producción para una hectárea de dicha hortaliza, lo que causa que no sea viable la aplicación del hidrotenedor algal para dicho cultivo porque no se ven reflejados los beneficios debido a las causas ya mencionadas. Para el caso del cultivo de tomates, la aplicación del compuesto algal se hace viable por los altos ingresos generados por el aumento de la producción de frutos, superando sus costos generando una ganancia total de \$6.188.644 por hectárea.

La relación costo- beneficio para el cultivo de tomates sin hidrotenedor es de 1,97 y con la aplicación del hidrotenedor 2,63, lo que refleja que los beneficios son mayores a los costos en ambos casos, ya que la relación costo beneficio es superior a 1. Sin embargo, bajo los lineamientos de sequía establecidos con la aplicación del hidrotenedor en el cultivo, el proyecto de inversión generaría ganancias casi al doble por hectárea de lo que genera el cultivo sin el compuesto algal, por esta razón el proyecto se vuelve viable, ya que por cada peso invertido el proyecto retribuye 2,63 pesos. Para el caso del cultivo de lechuga, la relación costo- beneficio sin hidrotenedor es de 1,18 y con la aplicación del hidrotenedor 1,14, lo que refleja que los beneficios son débilmente mayores a los costos en ambos casos, ya que la relación costo beneficio es cercana pero superior a

1. Sin embargo, bajo los lineamientos de sequía establecidos con la aplicación del hidrotenedor en el cultivo, el proyecto de inversión no generaría tantas ganancias como lo genera el cultivo sin el compuesto algal, ya que el manejo de estas hortalizas está sujeto a un alto porcentaje de pérdida de plántulas y bajo valor comercial. Por esta razón el proyecto se vuelve poco viable, ya que por cada peso invertido el proyecto retribuye solamente 1,14 pesos.

7 CONCLUSIONES

La propuesta técnico-económica para la aplicación del hidroretenedor algal en suelos agrícolas para el cultivo de hortalizas se gestionó mediante la información de un predio agrícola en la localidad de La Estancilla de la región de Valparaíso, en la cual se llevó a cabo un levantamiento de información. De esta manera se pudo reconocer distintas características de la zona de estudio mediante fichas técnicas como lo fue el manejo y producción de hortalizas.

Las características biofísicas del área de estudio, demostraron que para la zona predominó el riego por surcos con una superficie correspondiente a 27.879 hectáreas y una baja disponibilidad del recurso hídrico alcanzando un déficit cercano al 80% para el año 2021. Frente al consumo de agua, se midió el flujo de un caudal equivalente a 4 L/s correspondiente al canal de regadío del predio, el cual permitió determinar el volumen total del recurso hídrico consumido por los cultivos de hortalizas con un valor igual a 1.293 m³/ha para el manejo técnico del tomate y 1.296 m³/ha para el caso de la lechuga y así lograr evidenciar los posibles beneficios en la aplicación de un hidroretenedor algal de manera teórica.

De acuerdo con los aspectos técnicos, la aplicación del hidroretenedor algal demostró que se logra reducir el consumo de agua en las plantas entre un 13-33% debido a un incremento en la tasa de asimilación de dióxido de carbono y reducción de la evapotranspiración, resultando en una mayor eficiencia del uso del agua permitiendo mantener la productividad de las hortalizas aún bajo estrés hídrico severo. En cuanto a la evaluación económica realizada, se evidenció mayor rentabilidad solo para el caso de algunos vegetales como es el cultivo de tomates. Sin embargo, los beneficios otorgados por la aplicación en el cultivo de lechuga no son convenientes, debido a la disminución en el porcentaje de la rentabilidad para el manejo de la hortaliza. Lo que implicaría hacer más estudios al respecto para favorecer su desarrollo, disminuir las pérdidas y mejorar las condiciones de cultivo, mediante la implementación de sistemas de producción controlados (invernaderos), diseñar sistemas de riego y drenaje.

8 REFERENCIAS

- Aguilera, L. Chandía, N. Needham, P & Alvarez, C. (2021). *Efecto de polímeros algales sobre la productividad de uva de mesa bajo condiciones de riego deficitario*. Recuperado en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000500029>
- Balakhnina, P. Bennicelli, Z. Stepniewska, W. Stepniewski & I.R. Fomina (2010). *Oxidative damage and antioxidant defense system in leaves of Vicia faba major L. cv. Bartom during soil flooding and subsequent drainage*. Plant Soil 327, pp 293-301.
- Banco Mundial. (2021). *El Agua en la Agricultura*. Recuperado de: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>
- Berdegué, J., & F. Rojas (2014). *La agricultura familiar en Chile. Grupo de Trabajo Desarrollo con Cohesión Territorial*, núm.152. Pp 42. Santiago, Chile.
- Bernal, C. (2012) Metodología de la investigación. Tercera edición. PEARSON EDUCACIÓN, Colombia. Pp 56-66. Recuperado en: <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and soil*, Vol 383, pp 3-41.
- Canales, B. (1999). *Enzimas-algas: Posibilidades de su uso para estimular la producción agrícola y mejorar los suelos*. Terra Latinoamericana. Pp 271-276. Recuperado en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57317312>
- Castro, J., Vera, J., González, A. & Moenne, A. (2012) Oligo-carrageenans stimulate growth by enhancing photosynthesis, basal metabolism, and cell cycle in tobacco plants (var. Burley). *Journal of Plant Growth Regulation*. pp 173- 185.
- Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). 2009. *Determinación de Erosión Actual y Fragilidad de Suelos en la V Región Utilizando Datos Espaciales y SIG. Informe Final. 156 Pp.*
- Chandía, N. Needham, P. Aguilera, L. Zuñiga, M. Godoy, K. Pacheco, S. Alvarez, C & Seguel, O. (2013) *Aplicación de hidrogeles de origen algal en suelos cultivables para la optimización del recurso hídrico en la región de Coquimbo*. Universidad Católica del Norte, Chile.
- CIREN (1994). *Estudio de Suelos de Secano V Región*, efectuado a escala 1:100.000. Recuperado en: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/24688>
- Correa, H., Marur, C., Bessalho, J., Kobayashi, A., Pileggi, M., Pereira, R., Protasio, L. & Gonzaga, L. (2004). *Osmotic adjustment in transgenic citrus rootstock Carrizo citrange (Citrus sinensis Osb. x Poncirus trifoliata L. Raf.)*. pp 1375-1381.

- Craige, J (2011). *Seaweed extract stimuli in plant science and agricultura*. Journal of Applied Phycology Vol 23 pp 371-393.
- *Dirección General de Aguas (DGA), 1989. Mapa Hidrogeológico de Chile. 8 Pp.*
- *Dirección General de Aguas (DGA), CADE-IDEPE Consultores en Ingeniería. (2004). Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según objetivos de calidad. Cuenca Río Aconcagua, Pp 160.*
- Du Jardin, P. (2015). *Plant Biostimulants: Definition, Concept, Main Categories and Regulation*. Rev. Scientia Horticulturae. Vol 196, pp 3-14
- Elisseeff, J. (2008) *Hydrogels: structure starts to gel*. Nature Matererials Vol 7.4, pp 271-273.
- Encinas, A. (2015) *Synthesis and characterization of kappaphycus seaweed-poly (acrylic) acid superabsorbent hydrogel for agricultural use*. Filipinas Pamantasan de Lungsod de Maynila. Vol. 47, 11
- Ertani, A., Francioso, O., Tinti, A., Schiavon, M., Pizzeghello, D. & Nardi, S. (2018) *Evaluation of Seaweed Extracts From Laminaria and Ascophyllum nodosum spp. as Biostimulants in Zea mays L. using a Combination of Chemical, Biochemical and Morphological Approaches*. Frontiers in Plant Science. Vol 9, pp 1-13
- Estrada R, Lemus D, Mendoza D, Rodríguez V (2011) *Hidrogeles biopoliméricos potencialmente aplicables en agricultura*. México. Recuperado en: <https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/07/2011-estrada.pdf>
- Estres Hídrico. (2016). *Efectos del estrés por déficit hídrico en plantas*. Recuperado en https://rodas5.us.es/file/4949d71b4d3d9e69000a1b76edf86560/1/texto_estres_hidrico_SCORMzip/pagina_04.htm
- Ferreyra, R. Sellés, G. Ruiz, R. Sellés, I. (2003) *Effect of Water Stress Applied at Different Development Periods of Grapevines cv. Chardonnay on Production and Wine Quality*. Agricultura Técnica.Vol 63(3) pp 277-286
- Fijul, K., S.M. (2018) *Cellulose-based hydrogel materials: chemistry, properties and their prospective applications*. Progress in Biomaterials. vol. 7, no. 3, pp 153-174.
- *FOCO CONSULTORES. Actualización Plan Regulador Comunal de Llay Llay. Memoria Explicativa. 44 Pp.*
- Girón, I. F., Corell, M., Galindo, A., Torrecillas, E., Mo-rales, D., Dell'Amico, J., Torrecillas, A., Moreno, F. y Moriana, A. (2015). *Changes in the physiological response between leaves and fruits during a mod-erate water stress in table olive trees*. Agricultural Water Management, vol. 148 pp 280-286.

- González K. (2019). *Chile se seca: reportes del MOP dan cuenta del real déficit de agua*. La Tercera. Recuperado de <https://www.latercera.com/nacional/noticia/chile-se-seca-reportes-del-mop-dan-cuenta-del-real-deficit-agua/614719/>
- Graeub, B., Chapell, M.J., Wittman, H., Ledermann, S., Bezner, R. & Gemmill, B. (2016) *The state of family farms in the world*. World Development
- Hernández, R., Santacruz, F., Zanudo, J & Hernández, G. (2016) *Activity of seaweed extracts and polysaccharide-enriched extracts from Ulva lactuca and Padina gymnospora as growth promoters of tomato and mung bean plants*. Journal of Applied Phycology
- Hien, Nguyen & Nagasawa, Naotsugu & Tham, Le & Yoshii, Fumio & Dang, Vo & Mitomo, Hiroshi & Makuuchi, Keizo & Kume, Tamikazu. (2000). *Growth-promotion of plants with depolymerized alginates by irradiation*. Radiation Physics and Chemistry. 59. 97-101. 10.1016/S0969-806X(99)00522-8.
- INE (2009) *Las pequeñas y medianas explotaciones, VII Censo agropecuario y forestal*. Recuperado en https://www.ine.cl/docs/default-source/censo-agropecuario/publicaciones-yanuarios/2007/las-pequenas-y-medianas-explotaciones---vii-censo-agropecuario-yforestal2007.pdf?sfvrsn=132948d0_7
- INIA (2022) *Boletín Nacional de Análisis de Riesgos Agroclimáticos para las Principales Especies Frutales y Cultivos y la Ganadería JUNIO 2022. Región Valparaíso, recuperado en :* <http://riesgoclimatico.inia.cl/public/boletines/eyJpdil6ImZOTkpCTW5MQUxtZmJcl3BzMUx2aHJBPT0iLCJ2YWx1ZSI6ImZjRnZOS0tpa3ZPYnJQSDZyY21Zc3c9PSlsm1hYyI6IjRjMGJhYmJkMGZiNzdiMGJlZGFjRmMmlxMWRhMDQzNzQ3NmEwM2QyYTdmYzgwZjk4YzY2YWUwNjlxYTgxZDYifQ==>
- Instituto de investigaciones agrarias “Informe agrometeorológico nacional para el Ministerio de agricultura y de Análisis de posibles riesgos agroclimáticos en Las principales especies frutales y cultivos” Febrero 2012. Recuperado en: <http://bcn.cl/5jcc>
- Jara, J., y A. Valenzuela (1998). *Necesidades de agua de los cultivos*. CNR. Recuperado en: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/17523>
- Khan, W., Rayirath, UP., Subramanian, S., Jithesh, MN., Rayorath, P., Hodges, DM., Critchley, AT., Craigie, JS., Norrie, J. & Prithiviraj B (2009) *Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development*. Journal of Plant Growth Regulation Vol 28.
- Kinney, A., Scranton, A. (1994). *Superabsorbent Polymers in ACS Symposium series*, Vol. 573, pp 2-26 American Chemical Society, Washington DC.
- Levitt, J. (1980). *Responses of plants to environmental stresses, Volume 1: Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses*. Academic Press.

- Maatallah, M., Ghanem, M. E., Albouchi, A., Bizid, E. y Lutts, S. (2010). *A greenhouse investigation of re-sponses to different water stress regimes of Laurus nobilis trees from two climatic regions*. Journal of Arid Environments, 74. pp 327-337.
- Montesano, A., Parente, P., Santamaria, A., Annino. & Serio, F. (2015). *Water retention, Superabsorbent polymer & Plant growth*. Agriculture and Agricultural Science Procedia 4. pp 451 – 458
- Moran, S., Clarke, T., Inoue, Y. & Vidal, A. (1994). *Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index*, Remote Sensing of Environment, Vol 49. pp 246-263
- Moreno, F. (2009) *Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico*. Recuperado en: <http://www.scielo.org.co/pdf/aqc/v27n2/v27n2a06.pdf>
- Myers, B. (1988). *Water stress integral a link between short term stress and long term growth*. Tree Physi-ology, 4, pp 315-323.
- Nabti, E., Jha, B. & Hartmann, A. (2017) *Impact of seaweeds on agricultural crop production as biofertilizer*. International Journal of Environmental Science and Technology. pp 1119-1134
- Norrie, J. & J., P., Keathley, (2005). *Benefits of Ascophyllum nodosum marine-plant extract applications to 'Thompson seedless' grape production*. Acta Hortic. 727(1):243-248.
- ODEPA. (2020). *Boletín de hortalizas*. Recuperado en <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletines/boletin-de-hortalizas-diciembre-2020>
- Orzolek, M.D. (1993). *Use of hydrophylic polymers in horticulture*. HortTechnology. HortTechnology, pp 41-44.
- Pérez, J.G., Romero, P., Navarro J.M. & Botía, P. (2008a). *Response of sweet orange cv 'Lane late' to deficit irrigation in two rootstocks. I: water relations, leaf gas exchange and vegetative growth*. Irrigation Science. 26, pp 415-425.
- Pérez, J.G., Romero, P., Navarro, J.M. & Botia P. (2008b). *Response of sweet orange cv 'Lane late' to deficit-irrigation strategy in two rootstocks. II: Flowering, fruit growth, yield and fruit quality*. Irrigation Science 26, 519p.
- Plan de Desarrollo Comunal de Llay-Llay (2014-2018). Recuperado en: https://www.municipalidadllayllay.cl/media/PLAN-DE-DESARROLLO-LLAYLAY-Final_593eb8325ea3f.pdf
- Portal de Cambio Climático (2022). Recuperado de <http://www.cambioclimaticochile.cl/14-comunas-devalparaiso-son-declaradas-como-zona-de-catastrofe-porsequia/>

- Rojas, P. & Leonardo (1998) *Manual de producción de hortalizas*. La Serena, Chile. Recuperado en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/35944>
- Roussos, P., Denaxa, N., Damvakaris, T., Stournaras, V. & Argyrokastritis, I. (2010). *Effect of alleviating products with different mode of action on physiology and yield of olive under drought*. *Scientia Horticulturae*. pp 700-711. Recuperado en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.06.003>
- Tong, X., Mu, Y., Zhang, J., Meng, P. & Li, J. (2019). *Water stress controls on carbon flux and water use efficiency in a warm-temperate mixed plantation*. *Journal of Hydrology*, pp 669-678.
- Valero, C., Shukla, K., Corral, B., Salazar, E., Flores, J. & Osuna, P. (2013) *Textura del suelo y tipo de agua de riego en la disponibilidad de fósforo de estiércol bovino*. *Terra Latinoamericana*. pp 211-220. Recuperado en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57328903005>
- Van Oosten MJ, Pepe O, De Pascale S, Silletti S & Maggio A (2017) *The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants*. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 4. pp 1-12
- Varone, L., Ribas-Carbo, M., Cardona, C., Gallé, A., Medrano, H., Gratani, J. & Flexas, J. (2012). *Stomatal and non-stomatal limitations to photosynthesis in seedlings and saplings of Mediterranean species pre-conditioned and aged in nurseries: Different response to water stress*. *Environmental and Experimental Botany*. pp 235-247. Recuperado en: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.07.007>
- Vera J, Castro J, Gonzalez A, Moenne A (2011) *Seaweed Polysaccharides and Derived Oligosaccharides Stimulate Defense Responses and Protection Against Pathogens in Plants*. *Marine Drugs*. pp 2514-2525
- Vinueza F, León J. (2017) *Evaluación del rendimiento y calidad del alginato de sodio a partir del aprovechamiento de las algas rojas de la familia rhodophytas en las costas de capaes como un recurso alternativo al alginato comercial existente en el mercado*. Universidad de Guayaquil. Quito. Recuperado en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/22441>
- Zou P, Lu X, Zhao H, Yuan Y, Meng L, Zhang C, Li Y (2019) *Polysaccharides Derived From the Brown Algae *Lessonia nigrescens* Enhance Salt Stress Tolerance to Wheat Seedlings by Enhancing the Antioxidant System and Modulating Intracellular Ion Concentration*. *Frontiers in Plant Science*. pp 1-15

9 ANEXOS

Anexo 1: Decreto N°47: Declaración de zonas de escasez



REF.: DECLARA ZONA DE ESCASEZ A LAS PROVINCIAS DE SAN FELIPE DE ACONCAGUA, LOS ANDES Y QUILLOTA, REGIÓN DE VALPARAÍSO.

SANTIAGO, 10 MAR 2022
 DECRETO M.O.P. N° 47

VISTOS:

1. El oficio Ord. N° 528, de 7 de marzo de 2022, del Delegado Presidencial Regional de Valparaíso;
2. El Informe Técnico denominado "Informe Condiciones Hidrometeorológicas, Provincias de San Felipe, Los Andes y Quillota, Informe N° 15", de 4 de marzo de 2022, de la División de Hidrología de la Dirección General de Aguas;
3. El oficio Ord. D.G.A. N° 105, de 9 de marzo de 2022, del Director General de Aguas (S);
4. El Decreto Supremo N° 19, de 2001, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia que faculta a los Ministros de Estado para firmar "Por orden del Presidente de la República";
5. La Resolución D.G.A. N° 1674, de 12 de junio de 2012, que deja sin efecto la Resolución D.G.A. N° 39, de 1984 y establece los criterios para calificar épocas de extraordinaria sequía;
6. Las facultades que me concede el artículo 314 inciso 1° del Código de Aguas; y

CONSIDERANDO:

1. **QUE**, por medio del oficio Ord. N° 528, de 7 de marzo de 2022, el Delegado Presidencial Regional de Valparaíso solicitó decretar escasez hídrica a las provincias de San Felipe de Aconcagua, Los Andes y Quillota, Región de Valparaíso, en atención al grave déficit hídrico que afecta a dichos territorios.
2. **QUE**, el Informe Técnico denominado "Informe Condiciones Hidrometeorológicas, Provincias de San Felipe, Los Andes y Quillota, Informe N° 15", de 4 de marzo de 2022, de la División de Hidrología de la Dirección General de Aguas, indica que en las provincias de San Felipe, Los Andes y Quillota se verifica la condición de sequía establecida para las precipitaciones en el numeral 6.a) de la Resolución D.G.A. N° 1674, de 2012, ya que el IPE calculado es menor al índice límite definido en las estaciones analizadas.
3. **QUE**, además, en el mismo informe se señala que también se verifica la condición de sequía establecida para los caudales en el numeral 6.b) de la citada resolución, ya que el ICE calculado es menor al índice límite definido en las estaciones analizadas en los territorios señalados.

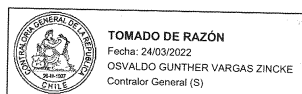
MINISTERIO DE HACIENDA OFICINA DE PARTES	
RECIBIDO	
CONTRALORIA GENERAL TOMA DE RAZON	
RECEPCION	
DEPART. JURIDICO	
DEP. T.R. Y REGISTRO	
DEPART. CONTABIL.	
SUB. DEP. C. CENTRAL	
SUB. DEP. E. CUENTAS	
SUB. DEP. C.P. Y BIENES NAC.	
DEPART. AUDITORIA	
DEPART. V.O.P.-U.Y.T.	
SUB DEP. MUNICIPI.	
REFRENDACION	
REF. POR \$	
IMPUTAC.	
ANOT. POR \$	
IMPUTAC.	
DEDUC. DTO.	
PROCESO N° 15770674	



SUBSECRETARIA OO. PP.
OFICINA DE PARTES

24 MAR 2022

TRAMITADO

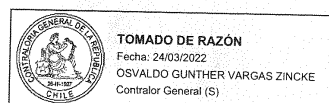


TOMADO DE RAZÓN
 Fecha: 24/03/2022
 OSVALDO GUNTHER VARGAS ZINCKE
 Contralor General (S)

4. **QUE**, debido a las razones señaladas, y con el objeto de implementar medidas extraordinarias, que contribuyan a superar la escasez del recurso hídrico, se requiere la dictación de un decreto de escasez en las provincias de San Felipe de Aconcagua, Los Andes y Quillota, Región de Valparaíso.
5. **QUE**, el Director General de Aguas (S) mediante el oficio Ord. D.G.A. N° 105, de 9 de marzo de 2022, solicitó se declare zona de escasez a las provincias de San Felipe de Aconcagua, Los Andes y Quillota, Región de Valparaíso.
6. **QUE**, el artículo 314 inciso 1° del Código de Aguas, dispone que el Presidente de la República, a petición o con informe de la Dirección General de Aguas, podrá, en épocas de extraordinaria sequía, declarar zonas de escasez por períodos máximos de seis meses, no prorrogables.
7. **QUE**, teniendo presente los antecedentes previamente indicados, procede declarar zona de escasez a las provincias de San Felipe de Aconcagua, Los Andes y Quillota, Región de Valparaíso.

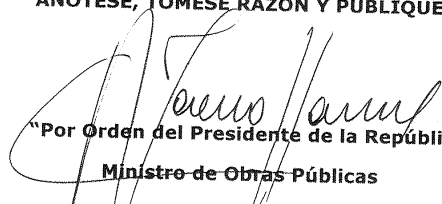
DECRETO:

1. **DECLÁRASE ZONA DE ESCASEZ** por un período de seis meses, no prorrogables, a contar del 10 de marzo de 2022, a las provincias de San Felipe de Aconcagua, Los Andes y Quillota, Región de Valparaíso.
2. En virtud de esta declaración, y no habiendo acuerdo entre los usuarios para redistribuir las aguas, la Dirección General de Aguas podrá hacerlo respecto de las aguas disponibles en las fuentes naturales, con el objeto de reducir al mínimo los daños generales derivados de la sequía. Igualmente, podrá suspender las atribuciones de las juntas de vigilancia, como también los seccionamientos de las corrientes naturales que estén comprendidas dentro de la zona de escasez.
3. La Dirección General de Aguas podrá autorizar extracciones de aguas superficiales o subterráneas desde cualquier punto, por el mismo período señalado en el numeral primero de este decreto, sin necesidad de constituir derechos de aprovechamiento de aguas y sin la limitación del caudal ecológico mínimo establecido en el artículo 129 bis 1 del Código de Aguas. También podrá otorgar cualquiera de las autorizaciones señaladas en el Título I del Libro Segundo de la mencionada codificación.
4. Asimismo, en las corrientes naturales o en los cauces artificiales en que aún no se hayan constituido organizaciones de usuarios, la Dirección General de Aguas podrá a petición de parte, hacerse cargo de la distribución en las zonas declaradas de escasez.
5. Para los efectos señalados en los numerales anteriores, la Dirección General de Aguas adoptará las medidas necesarias sin sujeción a las normas establecidas en el Título I del Libro Segundo del Código de Aguas.
6. Esta declaración de zona de escasez no será aplicable a las aguas acumuladas en embalses particulares.
7. El presente decreto, así como las resoluciones que se dicten por la Dirección General de Aguas en virtud de las facultades conferidas por el artículo 314 del Código de Aguas, se cumplirán de inmediato, sin perjuicio de la posterior toma de razón por la Contraloría General de la República.

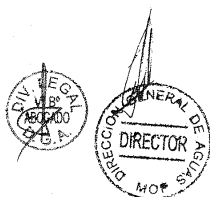


8. **DÉJASE** constancia que el mapa de la zona de escasez, el Informe Técnico denominado "Informe Condiciones Hidrometeorológicas, Provincia de San Felipe, Los Andes y Quillota, Informe N° 15", de 4 de marzo de 2022, de la División de Hidrología de la Dirección General de Aguas y los demás antecedentes pertinentes, se encontrarán a disposición del público, una vez que dicho decreto sea tomado razón por la Contraloría General de la República, en la página web del Servicio, en el siguiente link:
<http://www.dga.cl/administracionrecursoshidricos/decretosZonasEscasez/Paginas/default.aspx>

ANÓTESE, TÓMESE RAZÓN Y PUBLÍQUESE.


"Por Orden del Presidente de la República"
Ministro de Obras Públicas

ALFREDO MORENO CHARME
Ministro de Obras Públicas



Anexo 2: Cuantificación de los costos para el manejo de tomate sin hidrotenedor algal

A continuación, en las Tablas 9.1 a la 9.4 se detallan los costos directos e indirectos generados durante el manejo y cosecha del cultivo.

Tabla 9.1 Costos asociados al recurso humano para el manejo de tomates sin hidrotenedor algal (Elaboración propia).

RECURSO HUMANO (a)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Riego	Octubre-febrero	4	días	25.000	100.000
Trasplante	Octubre	2	días	25.000	50.000
Control manual de malezas	Noviembre-diciembre	2	días	25.000	50.000
Aplicación de fertilizantes	Octubre-enero	2	días	25.000	50.000
Aplicación de agroquímicos	Octubre-diciembre-febrero	6	días	25.000	150.000
Cosecha	Enero-febrero	16	personas	25.000	400.000
Total recurso humano					800.000

Tabla 9.2 Costos por maquinarias asociados al manejo del cultivo de tomates sin hidrotenedor algal (Elaboración propia).

MAQUINARIA (b)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Aradura	Septiembre-octubre	1	ha	120.000	120.000
Rastraje	Septiembre-octubre	3	ha	70.000	210.000
Melgadura	Octubre	1	ha	50.000	50.000
Acequiadura	Octubre-noviembre	2	ha	20.000	40.000
Aplicación de insecticidas	Octubre-febrero	6	ha	25.000	150.000
Cultivación entre hileras y surco	Noviembre-diciembre	2	ha	25.000	50.000
Total maquinaria					620.000

Tabla 9.3 Costos asociados a insumos para el manejo del cultivo de tomates sin hidroretenedor algal (Elaboración propia).

INSUMOS (c)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Plántulas	Agosto-septiembre	12.000	unidades	130	1.560.000
Agua de riego ¹	Octubre-febrero	1.080	m ³ /ha	25.000	25.000
Fertilizantes químicos					
- Mezcla NPK	Octubre	225	Kg	1.600	360.000
- Nitrato de potasio	Noviembre-enero	100	Kg	2.000	200.000
Fungicida					
- Manzate	Octubre-noviembre	2	Kg	4.100	8.200
- Ridomil Gold	Noviembre	2	Kg	30.000	60.000
Insecticidas					
- Zero 5 EC	Noviembre-enero	1	L	37.220	37.220
- Karate Zeon	Noviembre-febrero	1	L	51.630	51.630
Acaricidas					
- Vertimec	Noviembre-enero	2	L	27.070	54.140
Otros					
- Terrasorb foliar	Octubre-febrero	5	L	13.000	65.000
Total insumos					2.421.190
TOTAL COSTOS DIRECTOS (a+b+c)					3.841.190

Tabla 9.4 Costos indirectos asociados del manejo de tomates sin hidrotenedor algal (Elaboración propia).

COSTOS INDIRECTOS (d)				
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Costo de oportunidad (arriendo)	Octubre-febrero	5	83.333	416.666
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				416.666

Anexo 3: Cuantificación de los costos para el manejo de lechuga sin hidrotenedor algal

A continuación, en las Tablas 9.5 a la 9.8 se detallan los costos directos e indirectos generados durante el manejo y cosecha del cultivo.

Tabla 9.5 Costos asociados al recurso humano para el manejo de lechuga sin hidrotenedor algal (Elaboración propia).

RECURSO HUMANO (a)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Riego y fertilización	Junio-agosto	6	días	25.000	150.000
Trasplante	Junio	8	días	25.000	200.000
Cuidado de plántulas	Junio	2	días	25.000	50.000
Control manual de malezas	Junio- julio	2	días	25.000	50.000
Aplicación de pesticidas	Junio-julio	4	días	25.000	100.000
Cosecha	Agosto	8	personas	25.000	200.000
Total recurso humano					750.000

Tabla 9.6 Costos por maquinarias asociados al manejo del cultivo de lechuga sin hidrotenedor algal (Elaboración propia).

MAQUINARIA (b)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Aradura	Mayo	1	ha	120.000	120.000
Rastraje	Mayo- junio	2	ha	70.000	140.000
Melgadura	Junio	1	ha	50.000	50.000
Acequiadura	Junio- julio	2	ha	20.000	40.000
Aplicación de pesticidas	Mayo- junio	2	ha	25.000	50.000
Total maquinaria					400.000

Tabla 9.7 Costos asociados a insumos para el manejo del cultivo de lechuga sin hidroretenedor algal (Elaboración propia).

INSUMOS (c)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Plántulas	Mayo-junio	40.000	unidades	20	800.000
Agua de riego	Junio-agosto	1.296	m ³ /ha	25.000	25.000
Fertilizantes químicos					
- Mezcla hortícola incorporada	Mayo-junio	350	Kg	380	133.000
Fungicida					
- Bravo 720 (clorotalonil 720 g/L)	Junio- julio	4	Kg	16.500	66.000
Insecticidas					
- Balazo (metomilo 90% g/kg)	Junio	4	unidad	2.600	10.400
Otros					
- Break thru	Junio- Julio	1	L	26.000	26.000
Total insumos					1.060.400
TOTAL COSTOS DIRECTOS (a+b+c)					2.210.400

Tabla 9.8 Costos indirectos asociados del manejo de lechuga sin hidroretenedor algal (Elaboración propia).

COSTOS INDIRECTOS (d)				
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Costo de oportunidad (arriendo)	Junio-agosto	4	83.333	333.333
Total costos indirectos				333.333

Anexo 4: Cuantificación de los costos para el manejo de tomate con hidrotenedor algal**Tabla 9.9** Costos asociados a recurso humano para el manejo de tomates con hidrotenedor algal (Elaboración propia).

RECURSO HUMANO (a)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Riego	Octubre-febrero	4	días	25.000	100.000
Trasplante	Octubre	2	días	25.000	50.000
Control manual de malezas	Noviembre-diciembre	2	días	25.000	50.000
Aplicación de hidrotenedor	Octubre	1	día	30.000	30.000
Aplicación de fertilizantes	Octubre-enero	2	días	25.000	50.000
Aplicación de agroquímicos	Octubre-diciembre-febrero	6	días	25.000	150.000
Cosecha	Enero-febrero	16	personas	25.000	400.000
Total recurso humano					830.000

Tabla 9.10 Costos asociados a maquinarias para el manejo de cultivo de tomates con hidrotenedor algal (Elaboración propia).

MAQUINARIA (b)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Aradura	Septiembre-octubre	1	ha	120.000	120.000
Rastraje	Septiembre-octubre	3	ha	70.000	210.000
Melgadura	Octubre	1	ha	50.000	50.000
Acequiadura	Octubre-noviembre	2	ha	20.000	40.000
Aplicación de insecticidas	Octubre-febrero	6	ha	25.000	150.000
Cultivación entre hileras y surco	Noviembre-diciembre	2	ha	25.000	50.000
Total maquinaria					620.000

Tabla 9.11 Costos asociados a insumos para el manejo de cultivo de tomates con hidrotenedor algal (Elaboración propia).

INSUMOS (c)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Plántulas	Agosto-septiembre	12.000	unidades	130	1.560.000
Agua de riego	Octubre-febrero	723,6	m ³ /ha	25.000	25.000
Hidrotenedor	Octubre	200	Kg/ha	56.600	452.800
Fertilizantes químicos					
- Mezcla NPK	Octubre	225	Kg	1.600	360.000
- Nitrato de potasio	Noviembre-enero	100	Kg	2.000	200.000
Fungicida					
- Manzate	Octubre-noviembre	2	Kg	4.100	8.200
- Ridomil Gold	Noviembre	2	Kg	30.000	60.000
Insecticidas					
- Zero 5 EC	Noviembre-enero	1	L	37.220	37.220
- Karate Zeon	Noviembre-febrero	1	L	51.630	51.630
Acaricidas					
- Vertimec	Noviembre-enero	2	L	27.070	54.140
Otros					
- Terrasorb foliar	Octubre-febrero	5	L	13.000	65.000
Total insumos					2.873.990
TOTAL COSTOS DIRECTOS (a+b+c)					4.323.990

Tabla 9.12 Costos indirectos asociados al manejo de tomates con hidrotenedor algal (Elaboración propia).

COSTOS INDIRECTOS (d)				
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Costo de oportunidad (arriendo)	Octubre-febrero	5	83.333	416.666
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				416.666

Anexo 5: Cuantificación de los costos para el manejo de lechuga con hidroretenedor algal**Tabla 9.13** Costo de recurso humano asociado al cultivo de lechuga con hidroretenedor algal (Elaboración propia).

RECURSO HUMANO (a)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Riego y fertilización	Junio-agosto	6	días	25.000	150.000
Trasplante	Junio	8	días	25.000	200.000
Cuidado de plántulas	Junio	2	días	25.000	50.000
Control manual de malezas	Junio- julio	2	días	25.000	50.000
Aplicación de hidroretenedor	Junio	1	día	30.000	30.000
Aplicación de pesticidas	Junio-julio	4	días	25.000	100.000
Cosecha	Agosto	8	personas	25.000	200.000
Total recurso humano					780.000

Tabla 9.14 Costos por maquinarias asociados al manejo del cultivo de lechuga con hidroretenedor algal (Elaboración propia).

MAQUINARIA (b)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Aradura	Mayo	1	ha	120.000	120.000
Rastraje	Mayo- junio	2	ha	70.000	140.000
Melgadura	Junio	1	ha	50.000	50.000
Acequiadura	Junio- julio	2	ha	20.000	40.000
Aplicación de pesticidas	Mayo- junio	2	ha	25.000	50.000
Total maquinaria					400.000

Tabla 9.15 Costos de insumos asociados al manejo de cultivo de lechuga con hidroretenedor algal (Elaboración propia).

INSUMOS (c)					
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Plántulas	Mayo-junio	40.000	unidades	20	800.000
Agua de riego	Junio-agosto	1.034	m ³ /ha	25.000	25.000
Hidroretenedor	Junio	200	Kg/ha	56.600	452.800
Fertilizantes químicos					
- Mezcla hortícola incorporada	Mayo-junio	350	Kg	380	133.000
Fungicida					
- Bravo 720 (clorotalonil 720 g/L)	Junio- julio	4	Kg	16.500	66.000
Insecticidas					
- Balazo (metomilo 90% g/kg)	Junio	4	unidad	2.600	10.400
Otros					
- Break thru	Junio- Julio	1	L	26.000	26.000
Total insumos					1.513.200
TOTAL COSTOS DIRECTOS (a+b+c)					2.693.200

Tabla 9.16 Costos indirectos asociados al manejo de lechuga con hidroretenedor algal (Elaboración propia).

COSTOS INDIRECTOS (d)				
DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$/unidad)	VALOR TOTAL (\$)
Costo de oportunidad (arriendo)	Junio-agosto	4	83.333	333.333
Total costos indirectos				333.333

Anexo 6 Estimación del valor comercial para el hidrotenedor algal

Mercado objetivo: Dirigidos a los pequeños agricultores de la localidad de Llay-Llay. Para la cuantificación del mercado potencial a nivel regional, fue necesario contar con información que permitiera conocer la superficie utilizada por la actividad agropecuaria.

Tabla 9.17 Superficies de cultivos y forrajes para la región de Valparaíso

	Región de Valparaíso	Provincia de San Felipe	Comuna de Llay-Llay
Número de explotaciones	15.731	3.338	435
Superficie Agropecuaria (ha)	1.116.813,3	185.300,8	16.041,7
Superficie de suelos de cultivo (ha)	119.331,5	28.210,3	4.536,2
Cultivos anuales y permanentes (ha)	81.797,3	21.870,5	3.756,6
Forrajes permanentes y de rotación (ha)	10.612,5	3.271,8	473,8
En barbecho y descanso (ha)	26.921,7	3.068,0	305,8

Proyección del mercado

Para el caso de la proyección de mercado, se consideró un 20% de la superficie correspondiente a la superficie de suelos de cultivo descrita en la Tabla 9.1 para la comuna de Llay-Llay y fue complementada incluyendo la tasa de crecimiento de la oferta hortícola equivalente a un 0,3%, según los datos otorgados por el INE para el periodo 2020-2021 (Tabla 9.2).

Las ventas físicas se estimaron usando una tasa de penetración de mercado que crece desde un 15% hasta un 30% durante un periodo de 10 años.

Tabla 9.18 Superficie sembrada o plantada de hortalizas en la región de Valparaíso año 2007 y 2010 a 2021a.

Especie						Variación
	2017	2018	2019	2020	2021	2021/2020 (%)
TOTAL	7.668,2	8.653,7	8.673,9	8.779,0	8.806,0	0,3
Acelga ¹	83,5	116,3	112,6	134,3	97,5	-27,4
Ají	25,1	50,0	78,5	73,5	111,4	51,6
Ajo	323,0	241,6	288,6	302,7	316,5	4,6
Alcachofa	228,8	305,0	211,4	207,2	212,3	2,5
Apio	230,7	209,9	256,5	228,0	256,3	12,4
Arveja verde	40,4	51,6	68,0	31,3	40,5	29,4
Betarraga	171,0	170,4	169,6	149,0	191,8	28,8
Brócoli ¹	176,0	185,0	139,5	146,2	161,1	10,2
Cebolla de guarda	237,5	282,8	291,1	263,9	260,4	-1,3
Cebolla temprana	249,0	249,1	258,7	238,8	315,5	32,1
Choclo	883,7	911,0	980,8	786,2	865,0	10,0
Coliflor	147,1	184,3	161,1	164,7	184,3	11,9
Espárrago	9,2	4,8	6,0	5,7	6,0	4,5
Espinaca ¹	65,4	76,1	67,0	73,8	70,3	-4,8
Haba	99,5	134,5	103,5	145,2	185,7	27,9
Lechuga	1.327,4	1.358,3	1.309,3	1.652,5	1.514,1	-8,4
Melón	35,6	45,8	42,5	50,3	49,9	-0,8
Orégano	9,4	-	-	-	0,0	-
Pepino de ensalada ¹	69,4	51,7	52,7	72,7	69,1	-5,0
Pimiento	152,1	163,9	142,6	148,7	172,3	15,8
Poroto granado	758,3	728,2	805,8	820,2	711,8	-13,2
Poroto verde	140,4	185,5	145,8	144,6	169,7	17,4
Repollo	509,3	539,7	562,6	537,4	588,8	9,6
Sandía	28,2	58,8	36,4	41,9	64,1	52,9
Tomate consumo fresco	901,0	1.003,2	1.020,3	1.044,5	977,3	-6,4
Zanahoria	568,4	747,1	801,9	708,8	620,1	-12,5
Zapallo italiano	148,8	169,9	140,8	135,1	162,3	20,2
Zapallo temprano y de guarda	3,5	17,5	32,1	29,8	18,6	-37,5
Otras hortalizas	46,5	411,6	388,3	442,2	413,4	-6,5

Formación de precio: Se estimó un valor de \$56.600 por saco de hidroretenodor algal, en formato de 25 Kg.

Estimación de producción

	Período				
	2022	2023	2024	2025	2026
Hectáreas estimadas	907	934	962	991	1.021
Total kilogramos	181.448	186.891	192.498	198.273	204.221
Tasa de penetración	15	18	22	26	30
Kilogramos captados	27.217	33.640	42.350	51.551	61.266
Total de sacos estimados (25 kg)	1.089	1.346	1.694	2.062	2.451

Tabla 9.19 Flujo de caja con proyección de 10 años

	año 0	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
Ventas físicas (sacos)	1089	1346	1694	2062	2451	2840
Ingreso por venta	\$ 61.637.400	\$ 76.183.600	\$ 95.880.400	\$ 116.709.200	\$ 138.726.600	\$ 160.744.000
Comisión por ventas (5%)	\$ 3.081.870	\$ 3.809.180	\$ 4.794.020	\$ 5.835.460	\$ 6.936.330	\$ 8.037.200
Costo transporte	\$ 544.500	\$ 673.000	\$ 847.000	\$ 1.031.000	\$ 1.225.500	\$ 1.420.000
Ingresos netos	\$ 58.011.030	\$ 71.701.420	\$ 90.239.380	\$ 109.842.740	\$ 130.564.770	\$ 151.286.800
Costo de fabricación						
Materia prima (\$2500 x saco)	\$ 1.089.000	\$ 1.346.000	\$ 1.694.000	\$ 2.062.000	\$ 2.451.000	\$ 2.840.000
Insumos (\$200 x saco)	\$ 217.800	\$ 269.200	\$ 338.800	\$ 412.400	\$ 490.200	\$ 568.000
Proceso	\$ 19.600.000	\$ 19.600.000	\$ 19.600.000	\$ 19.600.000	\$ 19.600.000	\$ 19.600.000
Margen operacional	\$ 37.104.230	\$ 50.486.220	\$ 68.606.580	\$ 87.768.340	\$ 108.023.570	\$ 128.278.800
Gastos de administración y venta						
Gerencia	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000
Administración ventas	\$ 7.500.000	\$ 7.500.000	\$ 7.500.000	\$ 7.500.000	\$ 7.500.000	\$ 7.500.000
Secretaría	\$ 4.200.000	\$ 4.200.000	\$ 4.200.000	\$ 4.200.000	\$ 4.200.000	\$ 4.200.000
Servicios computacionales	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000
Publicidad y marketing	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000
Seguros	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000
Total gastos de adm y ventas	\$ 33.200.000	\$ 33.200.000	\$ 33.200.000	\$ 33.200.000	\$ 33.200.000	\$ 33.200.000
Resultados del período	\$ 3.904.230	\$ 17.286.220	\$ 35.406.580	\$ 54.568.340	\$ 74.823.570	\$ 95.078.800
Impuestos 1° categoría (19%)	\$ 741.804	\$ 3.284.382	\$ 6.727.250	\$ 10.367.985	\$ 14.216.478	\$ 18.064.972
Flujo de caja	\$ 3.162.426	\$ 14.001.838	\$ 28.679.330	\$ 44.200.355	\$ 60.607.092	\$ 77.013.828

Tabla 9.20 Continuación flujo de caja con proyección de 10 años

	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
Ventas físicas (sacos)	3229	3618	4007	4396	4785
Ingreso por venta	\$ 182.761.400	\$ 204.778.800	\$ 226.796.200	\$ 248.813.600	\$ 270.831.000
Comisión por ventas (5%)	\$ 9.138.070	\$ 10.238.940	\$ 11.339.810	\$ 12.440.680	\$ 13.541.550
Costo transporte (\$500x saco)	\$ 1.614.500	\$ 1.809.000	\$ 2.003.500	\$ 2.198.000	\$ 2.392.500
Ingresos netos	\$ 172.008.830	\$ 192.730.860	\$ 213.452.890	\$ 234.174.920	\$ 254.896.950
Costo de fabricación					
Materia prima (\$2500 x saco)	\$ 3.229.000	\$ 3.618.000	\$ 4.007.000	\$ 4.396.000	\$ 4.785.000
Insumos (\$200 x saco)	\$ 645.800	\$ 723.600	\$ 801.400	\$ 879.200	\$ 957.000
Proceso	\$ 19.600.000	\$ 19.600.000	\$ 19.600.000	\$ 19.600.000	\$ 19.600.000
Margen operacional	\$ 148.534.030	\$ 168.789.260	\$ 189.044.490	\$ 209.299.720	\$ 229.554.950
Gastos de administración y venta					
Gerencia	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000
Administración ventas	\$ 7.500.000	\$ 7.500.000	\$ 7.500.000	\$ 7.500.000	\$ 7.500.000
Secretaría	\$ 4.200.000	\$ 4.200.000	\$ 4.200.000	\$ 4.200.000	\$ 4.200.000
Servicios computacionales	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000
Publicidad y marketing	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000
Seguros	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000
Total gastos de adm y ventas	\$ 33.200.000	\$ 33.200.000	\$ 33.200.000	\$ 33.200.000	\$ 33.200.000
Resultados del período	\$ 115.334.030	\$ 135.589.260	\$ 155.844.490	\$ 176.099.720	\$ 196.354.950
Impuestos 1° categoría (19%)	\$ 21.913.466	\$ 25.761.959	\$ 29.610.453	\$ 33.458.947	\$ 37.307.441
Flujo de caja	\$ 93.420.564	\$ 109.827.301	\$ 126.234.037	\$ 142.640.773	\$ 159.047.510