

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
VALPARAÍSO – CHILE



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

**ANÁLISIS INCREMENTAL PARA CAMBIO DE TECNOLOGÍA DE CULTIVOS DE
LECHUGAS**

SERGIO ALEJANDRO ACUÑA VALDIVIA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA

RODOLFO SALAZAR A.

AGOSTO 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: ANÁLISIS INCREMENTAL PARA CAMBIO DE TECNOLOGÍA DE CULTIVOS DE LECHUGAS

Nombre del candidato(a): Sergio Alejandro Acuña Valdivia

Carrera / Grado: Ingeniería Civil Industrial / Ingeniero Civil Industrial

Campus: Casa Central Valparaíso ; **Departamento:** Departamento de Industrias

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Rodolfo Salazar Alborno, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 11/08/2025

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 11/08/2025

; Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.



*A mis padres, familia y amigos,
quienes me acompañaron y apoyaron
durante este extenso proceso, y a quienes
partieron antes de verme concluir esta
importante etapa de mi vida...*





RESUMEN EJECUTIVO

La presente memoria analiza la viabilidad técnica, económica y financiera de reemplazar el cultivo tradicional de lechugas por un sistema no tradicional, como alternativa sostenible ante la crisis hídrica, la pérdida de suelos agrícolas y los impactos negativos de la agricultura convencional.

El objetivo principal fue determinar si es posible producir la misma cantidad de lechugas cultivadas en una hectárea a través del sistema de cultivo tradicional, mediante un sistema de cultivo sustentable, en este caso aeropónico, evaluando si este resulta igual o más rentable que el método tradicional. Para ello, se desarrolló un análisis comparativo entre ambos sistemas, considerando inversión inicial, costos operativos, productividad, uso de recursos y sostenibilidad.

El estudio incluyó herramientas como análisis PESTA, DAFO y las cinco fuerzas de Porter, junto con una revisión técnica de sistemas de cultivo sin suelo, seleccionando la aeroponía por su eficiencia hídrica, menor uso de insumos y alto rendimiento. Se identificaron los recursos necesarios para ambos modelos productivos y se elaboró un estudio financiero con indicadores como VAN, TIR y payback, complementado por un análisis de sensibilidad.

Los resultados muestran que, aunque la aeroponía requiere una mayor inversión inicial, ofrece mayor producción, una rentabilidad superior a largo plazo, con menores costos operativos, mejor control ambiental y respuesta positiva frente al cambio climático y las nuevas tendencias alimentarias.

Se concluye que el cultivo aeropónico es una alternativa viable y sostenible, capaz de sustituir al sistema tradicional en condiciones comerciales, aportando eficiencia, sustentabilidad y respuesta a los desafíos actuales del sector agrícola.

Palabras Clave: Aeroponía, Sostenibilidad, Rentabilidad, Tecnología Agrícola.



Índice de Contenidos

1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. OBJETIVOS.....	10
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
3. PROBLEMÁTICA.....	11
4. ALCANCE DEL ANÁLISIS.....	13
5. MARCO TEÓRICO.....	14
5.1. AGRICULTURA CONVENCIONAL (O TRADICIONAL)	14
5.2. CULTIVOS VERTICALES.....	15
5.3. ¿QUÉ SON LOS CULTIVOS VERTICALES?.....	15
5.4. ¿CÓMO FUNCIONAN LOS CULTIVOS VERTICALES?	16
5.5. VENTAJAS DE LA AGRICULTURA VERTICAL	17
5.5.1. Optimización del espacio.....	17
5.5.2. Ahorro de recursos	18
5.5.3. Incentiva el autoconsumo	18
5.5.4. Conservación medioambiental.....	19
5.6. DESVENTAJAS DE LOS CULTIVOS VERTICALES.....	19
5.6.1. Costes energéticos	19
5.6.2. Dependencia tecnológica.....	20
5.7. HIDROPONÍA.....	20
5.8. ANTECEDENTES DE LA AGRICULTURA HIDROPÓNICA	21
5.9. CARACTERÍSTICAS DE LOS CULTIVOS HIDROPÓNICOS	21
5.10. ACUAPONÍA.....	22
5.11. AEROPONÍA	24
5.12. NUTRIENTES.....	25
5.13. ¿QUÉ ES UN FERTILIZANTE?	26
5.14. ¿QUÉ ES UN PESTICIDA?.....	26
5.15. EFECTOS DE LOS PESTICIDAS SOBRE LAS PERSONAS	27
5.16. OTROS FACTORES LIMITATIVOS DE LOS RENDIMIENTOS DE LOS CULTIVOS TRADICIONALES	28
5.17. EFECTOS DEL CALENTAMIENTO GLOBAL Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA	29
5.18. EFECTO INVERNADERO.....	29
5.19. CALENTAMIENTO GLOBAL	30
5.20. CAMBIO CLIMÁTICO.....	30



5.21.	IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA.....	31
5.22.	IMPACTO A NIVEL NACIONAL.....	34
5.23.	PROYECCIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS EFECTOS A NIVEL NACIONAL	34
5.24.	EFECTOS EN CHILE	35
5.25.	GASES DE EFECTO INVERNADERO.....	38
5.26.	METAS Y DESAFÍOS EN CHILE AL 2050 DEL SECTOR SILVOAGROPECUARIO.....	38
5.27.	OBJETIVOS DE LA ESTRATEGIA CLIMÁTICA DE LARGO PLAZO PARA CHILE	41
5.28.	OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)	42
6.	METODOLOGÍA Y DESARROLLO	44
6.1.	DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	44
7.	IDENTIFICACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	45
7.1.	ANÁLISIS PESTA	45
7.2.	ANÁLISIS DE LAS 5 FUERZAS DE PORTER.....	48
7.3.	SITUACIÓN ACTUAL EN CHILE	51
7.4.	ANÁLISIS DAFO.....	52
7.5.	LECHUGA A PRODUCIR - LACTUCA SATIVA L.....	53
7.6.	SISTEMAS DE CULTIVOS.....	57
7.7.	MOTIVOS DE DECISIÓN Y VENTAJAS	63
7.8.	DESVENTAJAS AEROPONÍA.....	64
7.9.	SISTEMAS DE AEROPONÍA EN CHILE Y EL MUNDO.....	64
7.10.	SISTEMA AEROPÓNICO A IMPORTAR	67
7.11.	IMPLEMENTACIÓN DE IoT	71
8.	DETALLE ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO	74
8.1.	SUPUESTOS	74
8.2.	INDICADORES ECONÓMICOS Y OTROS VALORES UTILIZADOS.....	75
8.3.	CIFRAS CULTIVO TRADICIONAL A SUPLIR CON AEROPÓNICO	76
9.	ANÁLISIS CULTIVO TRADICIONAL	77
9.1.	INGRESOS	77
9.2.	INVERSIÓN EN MAQUINARIA	77
9.3.	OBRAS	78
9.4.	DETALLE USO DE TRACTOR	78
9.5.	DETALLE DE INSUMOS DE CULTIVO	79
9.6.	DETALLE DE MANO DE OBRA NECESARIA	80
9.7.	COSTOS EXTRA Y CÁLCULOS CONSUMOS ENERGÉTICOS	81



10. ANÁLISIS CULTIVO AEROPÓNICO	82
10.1. INGRESOS	82
10.2. PRODUCCIÓN A SUPLIR	82
10.3. DATOS TÉCNICOS TORRE AEROPÓNICA	83
10.4. COSTOS PREVIOS A IMPORTACIÓN TORRE AEROPÓNICA Y SENSORES IoT	84
10.5. DATOS IMPORTACIÓN (WS CARGO)	84
10.6. COSTO TOTAL SISTEMA CON TODOS LOS GASTOS DE IMPORTACIÓN E IMPUESTOS	85
10.7. COSTO OBRAS Y APLICACIÓN MÓVIL	86
10.8. ARRIENDO TERRENO, SERVICIOS BÁSICOS Y SOPORTE APLICACIÓN IoT	87
10.9. INSUMOS, OTROS Y MANO DE OBRA	88
11. ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO	89
11.1. TASA DE DESCUENTO.....	89
11.2. VALOR ACTUAL NETO (VAN)	89
11.3. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	90
11.4. PERIODO DE RECUPERACIÓN (PAYBACK).....	90
11.5. ESCUDO FISCAL.....	90
11.6. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	91
11.7. OBSERVACIÓN IMPORTANTE.....	91
11.8. FLUJO DE CAJA SISTEMA TRADICIONAL	92
11.9. FLUJO DE CAJA SISTEMA AEROPÓNICO.....	93
11.10. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SISTEMA TRADICIONAL	94
11.10.1. Sensibilización VAN=0 UF.....	94
11.10.2. Sensibilización VAN=2.000 UF.....	95
11.10.3. Sensibilización VAN=4.000 UF.....	96
11.11. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SISTEMA AEROPÓNICO.....	97
11.11.1. Sensibilización VAN=0 UF.....	98
11.11.2. Sensibilización VAN=2.000 UF.....	99
11.11.3. Sensibilización VAN=4.000 UF.....	100
11.12. ANÁLISIS FLUJOS DE CAJA Y SENSIBILIDAD	100
11.13. ANÁLISIS DE DEMANDA Y PRECIO DE LECHUGAS	101
12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
13. BIBLIOGRAFÍA.....	109
14. ANEXOS	113
14.1.1. Tablas depreciación cultivo tradicional.	113
14.1.2. Tabla IVA cultivo tradicional.....	115



14.1.3.	<i>Tablas depreciación cultivo aeropónico</i>	115
14.1.4.	<i>Tabla IVA cultivo aeropónico</i>	116
14.1.5.	<i>Gráfico bomba sumergible Pedrollo 4SR8/13</i>	116
14.1.6.	<i>Precio observado lechuga en mercado mayorista:</i>	117
14.1.7.	<i>Costos funcionamiento tractor:</i>	118
14.1.8.	<i>Potencia del tractor:</i>	119
14.1.9.	<i>Tabla maquinarias cultivo tradicional, con precio y enlace de compra</i>	120
14.2.	ÍNDICE DE FIGURAS.....	121
14.3.	ÍNDICE DE TABLAS.....	123



1. INTRODUCCIÓN

La agricultura surge hace más de 12.000 años, lo que motivó a que el ser humano pasara de tener un estilo de vida nómada a uno sedentario. Desde ese momento, es que surgió la necesidad de generar tecnologías que permitieran producir sus propios alimentos, y ser capaces de sobrevivir sin tener que salir en la búsqueda de alimentos.

Durante los últimos siglos la agricultura ha experimentado transformadores cambios a una velocidad jamás antes vista, lo que ha generado un gran impacto en la producción de alimentos. Junto con la revolución industrial, se crearon una serie de máquinas que ayudaron a poder cultivar y cosechar de una manera rápida. La creación y uso de pesticidas, fertilizantes y herbicidas impulsaron que se creara la gran industria agrícola. Sin embargo, el ser humano concentró sus principales esfuerzos en mejorar la producción aplicando nuevas tecnologías para producir la mayor cantidad en el menor tiempo posible, perdiendo de vista los efectos que esto traería al medioambiente, a las personas y animales.

Actualmente las acciones del pasado están generando sus consecuencias y urge empezar a producir de una manera sostenible, eficiente, con bajo consumo de agua, sin químicos nocivos para la salud y que de verdad nutran.

Dicho esto, en la presente memoria, se buscará un método de cultivo sostenible y se comparará en términos de productividad, eficiencia y costos con el método de cultivo tradicional, buscando responder a la interrogante de si producir de manera sostenible es igual o más rentable que el método tradicional. Se utilizará la lechuga milanesa para poder realizar el análisis de tiempos y niveles de producción. Para poder llegar a esta respuesta, se realizarán una serie de actividades que tendrán como objetivo, realizar un estudio técnico, económico y financiero, para poder concluir objetivamente respecto a esta interrogante.



2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Analizar si es posible producir la misma cantidad de lechugas cultivadas en una hectárea a través del sistema de cultivo tradicional, mediante un sistema de cultivo sustentable y determinar si es igual o más rentable que hacerlo a través del sistema tradicional.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio general de los nuevos sistemas de cultivos, analizando sus características, ventajas y desventajas, teniendo como objetivo encontrar los que produzcan de manera más sostenible, en términos de uso de agua y uso de agentes contaminantes.
- Escoger un sistema de cultivo que posea un buen rendimiento, eficiencia y sea sostenible, con el fin de hacer un uso responsable de los recursos.
- Realizar una búsqueda tanto a nivel nacional como internacional aquellas empresas que estén utilizando dicho sistema de cultivo y evaluar las características de sus sistemas, las tecnologías que implementaron y los costos asociados a cada sistema.
- Determinar todas las maquinarias, insumos y recursos que se necesiten para producir lechugas tanto a través del método de cultivo tradicional como del método de cultivo sostenible escogido.
- Realizar un análisis de micro y macroentorno, a través de los análisis PESTAL, DAFO y las 5 fuerzas de Porter. Estos permitirán brindar los antecedentes necesarios para discriminar entre las opciones, prototipos y/o sistemas.
- Realizar el estudio técnico, económico y financiero de la aplicación del modelo de cultivo escogido, evaluando sus respectivas matrices de costos, sus flujos de caja y realizando la sensibilización de los factores que mayor impacto tengan en los costos, a través del método de Montecarlo.
- Realizar el análisis de resultados obtenidos, concluyendo si es o no igual o más rentable producir una hectárea de lechuga a través del método de cultivo sostenible.



3. PROBLEMÁTICA

En base al Sexto Reporte del Estado del Medio Ambiente, se ha podido observar que “la creciente población y la demanda de suelo para la localización de proyectos habitacionales, actividades comerciales y servicios, ha llevado la expansión urbana hacia zonas de carácter agrícola. Esta presión en el cambio de uso del suelo resulta en una disminución de áreas cultivables” (Ministerio del Medio Ambiente, 2021b).

Es necesario mencionar además que, desde el punto de vista de uso de suelos para la agricultura, a lo largo de los últimos años, como se menciona previamente, la cantidad de terrenos disponibles para uso agrícola se ha visto disminuido con el crecimiento de las ciudades. Todo esto ha generado un aumento en los “valores de campos para agricultura que han crecido hasta 150% en siete años: demanda se reactivó tras la pandemia” (Toledo, 2021).

Desde el punto de vista hídrico, dentro del Sexto Reporte del Estado del Medio Ambiente, se menciona que “los cambios en los patrones de precipitación, la menor acumulación de nieve y las altas temperaturas son factores que han incrementado la sequía que Chile vive desde hace más de una década, ocasionando que cada vez haya menos agua disponible a lo largo del territorio nacional, especialmente en las zonas norte y centro del país. Asimismo, factores antrópicos sobre los acuíferos, el uso intensivo de agua y su contaminación, han potenciado la escasez del recurso, ubicando a Chile dentro de los 30 estados del mundo con mayor estrés hídrico (WRI, 2015)”.

Además, según lo expuesto por Pedro Toledo, subdirector del Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM), “a diferencia de lo que ocurre con la minería, el sector agrícola consume el 72% del agua y además es ineficiente. Por ello, plantea, desde una perspectiva de escasez hídrica, el primer cambio que debe promoverse es lograr que la agricultura gestione mejor el agua” (Toledo, 2021).

Respecto a la contaminación emitida en Chile por la industria agrícola, es posible observar que “la categoría suelos agrícolas es la segunda categoría emisora de GEI del sector Agricultura, representando el 39,8 % de las emisiones de GEI del sector. En 2020, sus emisiones de GEI contabilizaron 4.475,2 kt CO₂^{eq}” (Martínez Caro et al., 2023). Por otra parte, este sector suele tener prácticas altamente contaminantes, esto debido a que suelen quemar los rastrojos que quedan después de la cosecha. Es más, “estudios en la Región de O’Higgins han demostrado



que las quemas agrícolas aportan el 29% del total del material particulado 10 (MP10) y el 46,5% del MP2,5 presentes en el aire (Alvarado, 2018).

Desde otra arista, tenemos también que “el uso eficiente de los fertilizantes nitrogenados, y en general de los insumos agrícolas, debe ser mejorado para lograr eficiencia productiva, disminuir las emisiones al medio ambiente y cumplir con objetivos de los compromisos sobre políticas ambientales que están siendo firmados o ratificados en los acuerdos internacionales suscritos por Chile (Espinoza, 2012).

Dicho todo lo anterior, es que nace la necesidad de innovar en nuevos tipos de cultivos, que sean de carácter sustentable. Buscando con esto reducir el consumo de agua, la contaminación por uso de fertilizantes y el uso de tierras, lo que ayudará a reducir la emisión de gases de efecto invernadero.

Por otro lado, la ONU en su afán de mejorar la alimentación de las personas, declaró el 2021 como el “Año Internacional de las Frutas y Verduras”. A pesar de esto, estudios han concluido que el 70,1% de los encuestados estaban “satisfechos” con el nivel actual de frutas y verduras en su alimentación diaria. Sin embargo, solo el 43,3% alcanzaba la recomendación mínima de cinco raciones diarias, lo que supone una percepción nutricional errónea de parte de estas personas. (Olave, 2023).

En cuanto a las nuevas tendencias alimentarias que se han ido instaurando tanto en Chile como en otras partes del mundo que van en busca de aumentar el consumo de frutas y verduras con fines tanto éticos como de una vida saludable. Según la encuesta Ipsos, “un 36% de los chilenos está buscando disminuir el consumo de productos de origen animal, un porcentaje no menor comparado con años anteriores, lo que ha obligado a diversos canales de distribución a modificar su oferta. Uno de ellos es el HORECA, que representa a hoteles, restaurantes y cafeterías, que durante el 2022 aumentó su demanda de esta categoría en un 41%” (Hardessen, 2023).

En base a todo lo expuesto anteriormente existe la necesidad de mejorar la agricultura tradicional desde el punto de vista de contaminación, así como de su eficiencia, lo cual se presenta como una gran oportunidad de desarrollar nuevas tecnologías y nuevos negocios. Además, la sociedad ha adquirido nuevas tendencias alimentarias, las cuales buscan aumentar el consumo de frutas y verduras, lo cual ha significado un aumento en la demanda de dichos productos durante los últimos años.



4. ALCANCE DEL ANÁLISIS

El desarrollo de la presente memoria está enfocado en realizar un análisis para estudiar y demostrar que producir vegetales, en este caso, lechugas de manera sostenible, no necesariamente es más caro y que incluso puede ser hasta más rentable que el sistema de cultivo tradicional.

Este análisis va enfocado directamente en la inversión, costos, gastos e insumos que se requieren para la puesta en marcha un sistema de cultivo sustentable y compararlo con el sistema de cultivo tradicional.

El análisis se basa en determinar si es o no más rentable producir la misma cantidad de lechugas que se obtienen a través del sistema de cultivo tradicional con un sistema de cultivo sostenible.

Es necesario mencionar que, dado que es un análisis para sólo una hectárea, se debe de igual forma incurrir en una serie de compra de maquinaria para poder producir como normalmente se haría. Pero no hay que caer en la idea de que la inversión se debe multiplicar necesariamente al, por ejemplo, producir dos hectáreas de lechuga, más en concreto, que al producir dos hectáreas no significa que en el caso del sistema de cultivo tradicional se necesiten ahora dos tractores.

Es importante mencionar, algunas consideraciones del presente estudio: quedan fuera del análisis costos ligados a conformación de la empresa, pagos tributarios, marketing, transporte de insumos, instalaciones de descanso o de higiene para los trabajadores, y en sí todos aquellos gastos que no impacten de manera directa a la producción de las lechugas.



5. MARCO TEÓRICO

La agricultura se lleva ejecutando hace miles de años, pasando por múltiples transformaciones que han ayudado a la humanidad en su progreso, siendo fundamental en el crecimiento de las grandes urbes.

A partir del s. XVIII el foco de innovación recayó sobre Inglaterra, debido al estallido de la revolución industrial. El progreso fue mayormente relativo a los métodos de labranza, como los arados de hierro o las máquinas sembradoras. Fue en el s. XIX cuando apareció el invernadero en los Países Bajos. Se observó cómo se aceleró el crecimiento de las uvas cultivadas en este ambiente. El desarrollo del invernadero fue el último gran hito agrícola hasta el s. XX, que es cuando surge el cultivo hidropónico, así como las modificaciones genéticas. Durante los últimos años es necesario mencionar el ingreso progresivo de la agricultura de precisión en la cual se utiliza de manera intensiva las diversas tecnologías con el fin de poder controlar en tiempo real infinidad de mediciones que se hacen segundo a segundo.

Todos estos inventos y mejoras fueron aprovechados por las compañías comerciales, para aumentar la producción y mejorar las ventas. Este fenómeno se ha trasladado a la actualidad, pues para que una empresa emergente tenga éxito debe de marcar una diferencia (Cánovas, 2019).

5.1. Agricultura Convencional (o Tradicional)

La agricultura implica la gestión de recursos naturales, la energía disponible y la información en un entorno específico para cultivar y mantener plantas que satisfagan las necesidades humanas. El término "convencional" se refiere a sistemas de uso de la tierra desarrollados a lo largo de años de experiencia empírica y experimentación campesina. Sin embargo, con el tiempo, este enfoque agrícola ha evolucionado, priorizando el alto consumo de insumos externos, como energía fósil, fertilizantes químicos y pesticidas, en detrimento del cuidado del medio ambiente, sus ciclos naturales y el uso responsable y sostenible de los recursos naturales (Xolocotzi, 2008).



5.2. Cultivos verticales

La siguiente información ha sido extraída íntegramente de un estudio de Pymes y Negocios elaborado en 2023 por el Banco Santander llamado “**Cultivos verticales, ventajas y desventajas**”.

La innovación y los últimos avances tecnológicos tienen en la agricultura uno de sus grandes campos de investigación, sobre todo a la hora de hacer frente a la alimentación de una población que ya ha superado los 8.000 millones de personas y que se espera que siga en aumento. Por eso, el futuro de la agricultura pasa por la sostenibilidad y, dentro de ella, los cultivos verticales se perfilan como una de las grandes opciones.

Su reducido espacio, la optimización de los recursos o la conservación medioambiental son algunos de los aspectos que han convertido a la agricultura vertical en una tendencia muy popular.

5.3. ¿Qué son los cultivos verticales?

Los cultivos verticales son una forma de agricultura que se realiza en espacios verticales, a diferencia de la agricultura tradicional, que se realiza en el suelo. En este caso, las plantas se cultivan de forma apilada permitiendo un uso más eficiente del espacio y la luz.

Este tipo de cultivos son más populares en entornos urbanos, donde es más difícil conseguir un terreno en el que poder desarrollar actividades agrícolas. Debido a la infraestructura que se emplea para estos cultivos, suelen utilizarse para vegetales de menor tamaño y de rápido crecimiento, como fresas, tomates Cherry o hierbas aromáticas.

En la actualidad, existen edificios enteros dedicados a los cultivos verticales que funcionan como grandes invernaderos. Su invención se le atribuye al biólogo norteamericano Dickson Despommier, de la Universidad de Columbia (Nueva York), que acuñó el término “granja vertical” en 1999.



5.4. ¿Cómo funcionan los cultivos verticales?

La gran diferencia entre los cultivos verticales y la agricultura tradicional es que los primeros se realizan de forma apilada y se valen del uso de tecnologías avanzadas para conseguir el crecimiento óptimo de las plantas y vegetales.

Para ello, se necesita una estructura vertical en forma de torres o estanterías en las que se cultivarán las plantas. La instalación puede ser interior o exterior, dependiendo de las condiciones y necesidades específicas de cada cultivo.

Otra de las grandes diferencias con la agricultura tradicional es que los cultivos verticales no utilizan la tierra como sustrato, es decir, se basan en sistemas de cultivo sin suelo. Los más habituales son:

- **Hidroponía:** las plantas se sumergen o se rocían con una solución nutritiva que contiene todos los ingredientes necesarios para su crecimiento, minimizando de esta forma el gasto de agua. Con el objetivo de no hacer un gasto de luz artificial excesivo, las plantas suelen disponerse en dispositivos rotatorios.
- **Aeroponía:** en este caso, las raíces de las plantas quedan suspendidas en el aire y se les aplica una pulverización de nutrientes de forma regular. De este modo, los vegetales reciben el oxígeno que necesitan para crecer de forma eficiente.
- **Agua de mar:** las granjas conocidas como seawater vertical farms son el tipo de cultivo vertical más innovador. En este caso, en vez de agua potable, se utiliza agua de mar para impulsar el crecimiento de las plantas. Aunque se está probando en diferentes lugares, todavía no está muy extendido debido al alto gasto energético que necesita.

Separar los vegetales del suelo, que es su hábitat natural, supone un desafío técnico que se solventa de diferentes maneras. En general, cualquiera que sea la tipología de la granja vertical, en todas ellas se dan una serie de factores comunes para su funcionamiento:

- **Iluminación:** lo más común es que los cultivos verticales se ubiquen en zonas interiores que no reciben la luz natural necesaria para que crezcan las plantas y vegetales. Por eso, este tipo de cultivos necesitan sistemas de iluminación artificial que favorezcan el ciclo de vida de las plantas.



- **Nutrición:** los nutrientes se suministran directamente en las raíces de las plantas a través de soluciones pulverizadas y acuosas. De este modo, los cultivos verticales permiten un control muy preciso sobre la nutrición de cada planta.
- **Riego:** uno de los grandes objetivos de los cultivos verticales es optimizar los recursos y el agua es uno de los más preciados. Por eso, el riego de este tipo de granjas está muy controlado ofreciendo a las plantas la cantidad de agua adecuada, pero sin desperdiciarla a través de sistemas automatizados e innovadores.
- **Control ambiental:** sensores y sistemas de control para monitorizar factores como la temperatura, el oxígeno o la humedad son imprescindibles en este tipo de cultivos para favorecer el crecimiento de las plantas de forma correcta y eficiente.

5.5. Ventajas de la agricultura vertical

Son muchas las ventajas que presenta la agricultura vertical y que la están convirtiendo en una tendencia en auge en entornos urbanos y zonas con limitaciones de espacio. El ahorro de recursos, la reducción de pesticidas, el control ambiental, la producción local y, sobre todo, su sostenibilidad son algunos de los factores que convierten los cultivos verticales en una agricultura tan popular.

5.5.1. Optimización del espacio

La clave de los cultivos verticales es que se realizan de forma apilada, en vez de ocupar una extensión horizontal en el suelo. Por eso, una de sus principales ventajas es la optimización del espacio.

Al utilizar estanterías, torres o edificios, los cultivos verticales se elevan y eso permite aprovechar el espacio disponible al máximo, un factor decisivo para la popularidad de estos cultivos en zonas urbanas con alta densidad de población o en aquellas donde el coste del suelo alcanza valores muy elevados.

Además, los cultivos verticales permiten aprovechar zonas infrautilizadas como pueden ser edificios abandonados o naves industriales en desuso. La ubicación de este tipo de agricultura es mucho más flexible que el método tradicional y eso facilita la instalación de centros de producción vegetal en lugares que hasta ahora no eran aptos.



Otro de los rasgos positivos a la hora de optimizar el espacio es que se puede conseguir una mayor densidad de cultivo, esto es, producir más plantas en lugares más pequeños.

5.5.2. Ahorro de recursos

Otra de las grandes ventajas que presentan los cultivos verticales es el ahorro de recursos, especialmente energéticos, lo que deriva en una mayor sostenibilidad y respeto con el medio ambiente.

Esto es especialmente relevante en el caso del agua, uno de los recursos más preciados del ser humano y cuya falta afecta drásticamente a la vida en el planeta. Sistemas de riego como la hidroponía o la aeroponía emplean un riego muy preciso y eficiente que aporta la cantidad exacta que necesita cada planta, contribuyendo, de este modo, a minimizar el desperdicio de agua.

Lo mismo ocurre con el uso de pesticidas y fertilizantes. Los cultivos verticales se consideran agricultura de precisión, lo que significa que se aporta a las plantas la luz, el agua y los nutrientes necesarios para su correcto crecimiento, por lo que están muy controlados en todo momento. Esto reduce también la necesidad de utilizar medidas contra las plagas, como herbicidas.

Con la agricultura vertical se permite el cultivo en zonas urbanas, una producción más próxima al consumidor que contribuye también a rebajar la huella de carbono al reducir la cadena de suministro.

5.5.3. Incentiva el autoconsumo

La optimización del espacio o el ahorro de los recursos son dos factores que contribuyen de manera positiva a fomentar el autoconsumo. Si bien es necesario tener conocimientos técnicos para desarrollar cultivos verticales, la sostenibilidad que ofrecen puede animar la instalación de este tipo de agricultura por parte de aquellas personas con conciencia medioambiental.

Los costes de producción no son excesivamente elevados y, en cualquier caso, suponen un ahorro a largo plazo en la compra de alimentos frescos. Esto, sumado a un creciente estilo de vida saludable, hace que muchas personas apuesten por cultivar sus propios vegetales, teniendo así el control sobre la calidad de los alimentos y su trazabilidad.



Del mismo modo, en los lugares donde ya se han instalado los cultivos verticales, es habitual que estén impulsados por comunidades, que comparten los gastos y la producción.

5.5.4. Conservación medioambiental

Con todas estas ventajas, los cultivos verticales tienen un papel decisivo en el futuro de la agricultura. En un planeta superpoblado en el que empiezan a escasear los recursos y la amenaza del cambio climático es constante, este tipo de cultivos juegan un rol fundamental en la conservación medioambiental.

Al no necesitar un terreno propiamente dicho, la agricultura vertical no contribuye a la deforestación ni a la destrucción de ecosistemas naturales. Al mismo tiempo, el ahorro de recursos que favorecen estos cultivos de precisión ayuda a reducir la contaminación del agua y el suelo y a eliminar los agentes químicos que tradicionalmente se han venido utilizando en la agricultura.

La reducción de la huella de carbono o el mínimo consumo de agua son factores decisivos en la conservación ambiental y son también dos de los aspectos que más han aportado a la popularidad de los cultivos verticales.

5.6. Desventajas de los cultivos verticales

Aunque son muchas las ventajas que han convertido los cultivos verticales en una tendencia en auge, especialmente en zonas urbanas, también existen algunas desventajas que es necesario considerar, la mayoría derivadas de sus costes energéticos, de instalación y mantenimiento, conocimientos técnicos y dependencia tecnológica.

5.6.1. Costes energéticos

Los cultivos verticales se desarrollan, en gran medida, en espacios interiores y esto supone una serie de costes energéticos que hay que contemplar:

- Iluminación artificial.
- Climatización.
- Sistemas de riego.
- Sistemas de control.



- Sistemas de mantenimiento de condiciones ambientales.

Es importante tener en cuenta que el uso de energías es fundamental para este tipo de cultivos, si bien la investigación avanza para tratar de reducirlo y que los recursos sean ambientalmente sostenibles y procedentes de energías renovables.

5.6.2. Dependencia tecnológica

Los cultivos verticales son una de las grandes innovaciones de la agricultura de los últimos años, lo que hace que presenten una dependencia tecnológica elevada. A diferencia de la agricultura tradicional, basada en el ciclo natural de la tierra y el calendario, la agricultura vertical depende de fuentes de alimentación artificiales que compensen su ubicación interior y su disposición en sistemas apilados.

Por eso, hay que tener en cuenta que estos cultivos se basan en un buen suministro eléctrico, un adecuado mecanismo de riego y sistemas de climatización y mantenimiento ambiental. Todas ellas son máquinas susceptibles de fallos que pueden estropear las cosechas. Por otra parte, la tecnología avanza a un ritmo muy rápido que puede hacer que las inversiones en maquinarias queden obsoletas en un periodo de tiempo relativamente corto.

Con todo, los cultivos verticales suponen una forma innovadora y sostenible de producir alimentos que se extiende con paso decidido (Banco Santander, 2023).

5.7. Hidroponía

El término "hidroponía" se refiere a una rama de la botánica que se basa principalmente en el uso del agua como medio de cultivo para el crecimiento de las plantas. Las palabras provienen del griego, donde "hidro" significa agua y "ponos" significa trabajo, por lo que se traduce como "trabajo en agua". El objetivo de la hidroponía es proporcionar un ambiente óptimo para el desarrollo y floración de cualquier tipo de planta (Beltrano & Gimenez, 2015).

La hidroponía es una técnica de cultivo que permite el crecimiento de plantas sin utilizar suelo. Esta modalidad se centra principalmente en el cultivo de plantas de tipo herbáceo (Beltrano & Gimenez, 2015) y se adapta perfectamente a espacios reducidos o no convencionales, sin descuidar las necesidades esenciales de las plantas, como la luz, la temperatura, el agua y los nutrientes. En la hidroponía, los elementos esenciales para el



crecimiento de las plantas son suministrados a través de una solución nutritiva. Esta solución fomenta un rápido y vigoroso desarrollo de las plantas, lo que lleva a que los cultivos hidropónicos puedan alcanzar rendimientos duplicados o incluso superiores en comparación con los cultivos en suelo (Beltrano & Gimenez, 2015).

5.8. Antecedentes de la agricultura hidropónica

La historia de la hidroponía se remonta a 382 a.C., cuando comenzaron los primeros estudios en esta área. Sin embargo, la información más temprana que se tiene data del año 1600, cuando Jan van Helmont observó que las plantas obtenían nutrientes del agua. En 1699, el inglés John Woodward cultivó plantas en agua con varios sustratos y descubrió que el crecimiento de las plantas estaba relacionado con sustancias en el agua que provenían del suelo. En 1804, se llegó a la conclusión de que las plantas estaban compuestas por elementos químicos obtenidos del agua, el suelo y el aire (Asociación Mexicana de Hidroponia, 2016).

En la década de 1930, W. F. Gericke, profesor en la Universidad de California, acuñó el término "hidroponía" a partir de las palabras griegas "hidro" (agua) y "ponos" (trabajo). Definió la hidroponía como la ciencia del crecimiento de las plantas sin utilizar suelo, permitiendo el uso de medios inertes como grava, arena, vermiculita, piedra pómez, entre otros sustratos. Gericke cultivó vegetales en sistemas hidropónicos, demostrando su utilidad al proporcionar alimentos para las tropas estadounidenses en islas inadecuadas para la agricultura en el Pacífico a principios de la década de 1940. Después de la Segunda Guerra Mundial, los militares continuaron utilizando la técnica y establecieron un proyecto de 22 hectáreas en la isla de Chofu, Japón. Con el tiempo, la hidroponía se expandió comercialmente, y en la década de 1950, países como Italia, Francia, España, Alemania, Israel, Australia y Holanda adoptaron esta técnica (Asociación Mexicana de Hidroponia, 2016).

5.9. Características de los cultivos hidropónicos

La hidroponía es una técnica que se utiliza en función de necesidades específicas de producción, como la ausencia de suelo o la escasa fertilidad del mismo. En este método, el agua se emplea como el único medio de cultivo, eliminando la necesidad de utilizar tierra. Puede llevarse a cabo al aire libre o en entornos controlados y depende de la disponibilidad de luz



solar, que varía según el tipo de cultivo y debe adaptarse a las condiciones ambientales. En este tipo de cultivo, las plantas se alimentan a través de una solución nutritiva que combina micro y macro nutrientes, ajustándose a la variedad y necesidades específicas de cada planta. La principal característica es que no se utiliza suelo para el cultivo (Universidad Nacional de Colombia, 2016).

Una de las ventajas clave de la hidroponía es la facilidad para controlar plagas y enfermedades, ya que, al ser un sistema hidropónico, no es necesario aplicar tratamientos especiales; es rápido, sencillo y efectivo, ya que solo se requiere agua. Sin embargo, es esencial tener un compromiso con el cuidado de las plantas, ya que no pueden descuidarse y deben recibir la solución de nutrientes de manera adecuada. Además, la hidroponía es altamente eficiente en términos de espacio y es una práctica versátil, ya que se puede realizar en techos, ventanas y jardines donde haya acceso a la luz solar (Universidad Nacional de Colombia, 2016).

La hidroponía ofrece numerosas ventajas tanto técnicas como económicas en comparación con otros sistemas de cultivo en suelo. Algunas de las ventajas más destacadas incluyen un equilibrio ideal entre aire, agua y nutrientes, ahorro de agua y humedad uniforme. Permite una mayor densidad de población de plantas y la capacidad de corregir de manera rápida y sencilla deficiencias o excesos de nutrientes. También permite un control preciso del pH (nivel de acidez o alcalinidad) y no está tan sujeta a las condiciones meteorológicas. Además, proporciona una mayor calidad y uniformidad en los productos cultivados (Universidad Nacional de Colombia, 2016).

Las ventajas de la hidroponía se traducen en un alto rendimiento y desarrollo de las plantas, la reducción de los costos de producción, una mayor higiene en la producción y un eficaz control de plagas y enfermedades. Además, este método permite cierta flexibilidad en cuanto a las estaciones del año, ya que se puede implementar en invernaderos, y requiere menos espacio para la producción en comparación con los cultivos tradicionales en suelo. Además, el retorno de la inversión es rápido debido al rápido crecimiento de las plantas (Campos, 2012).

5.10. Acuaponía

La acuaponía es la integración de la recirculación de la acuicultura y la hidroponía en un sistema de producción. En una unidad de acuaponía, el agua del tanque de peces circula a través de filtros, camas de crecimiento y regresa a los peces. En los filtros, los desechos de los peces



son removidos del agua, primero usando un filtro mecánico que remueve los residuos sólidos y después a través de un biofiltro que procesa los desechos disueltos. El biofiltro provee un lugar dónde las bacterias convierten amoníaco, que es tóxico para los peces, en nitratos, un nutriente más accesible para las plantas. Este proceso se conoce como nitrificación. A medida que el agua (que contiene nitratos y otros nutrientes) viaja a través de las camas de crecimiento, las plantas asimilan estos nutrientes y finalmente el agua regresa al tanque de peces purificada. Este proceso permite que los peces, plantas y bacterias vivan simbióticamente y trabajen juntos creando un ambiente de crecimiento saludable para todos, siempre y cuando el sistema esté balanceado adecuadamente.

En la acuaponía, los efluentes de la acuicultura son desviados a las camas de cultivos de plantas sin ser liberados al ambiente, los cuales aportan nutrientes para las plantas provenientes de fuentes sostenibles, de bajo costo y libres de químicos. Esta integración elimina algunos de los factores no sostenibles de mantener sistemas de acuicultura e hidroponía independientemente. Más allá de los beneficios derivados de esta integración, la acuaponía ha demostrado que su producción de plantas y peces es comparable con la hidroponía y los sistemas de recirculación de acuicultura. La acuaponía puede ser más productiva y económicamente posible en ciertas situaciones, especialmente dónde la tierra y el agua son limitados. Sin embargo, la acuaponía es complicada y sus costos iniciales son altos. La alta inversión queda compensada con el incremento en la producción con la integración de los dos sistemas. Antes de comprometerse a un sistema más grande y caro, se debe hacer un plan de negocios completo que considere los aspectos económicos, ambientales, sociales y logísticos.

Si bien la producción de peces y vegetales es el producto más visible de las unidades de acuaponía, es esencial entender que la acuaponía es el manejo de un ecosistema completo que incluye tres grupos de organismos: peces, plantas y bacterias (Somerville, Cohen, Pantanella, Stankus, & Lovatelli, 2022).



5.11. Aeroponía

La definición de aeroponía que se presenta a continuación viene de la publicación “Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers” (Ritter et al., 2001).

El cultivo aeropónico es un dispositivo opcional de los métodos de cultivo sin suelo en entornos de crecimiento controlado, como el invernadero. Este método consiste en encerrar el sistema radicular en una cámara oscura y suministrar una solución de agua y nutrientes minerales con un dispositivo de niebla. Esta técnica se ha aplicado con éxito para la producción de diferentes especies hortícolas, incluida la lechuga (Cho et al., 1996; Gysi y von Allmen, 1997; He y Lee, 1998).

A diferencia de la hidroponía, la aeroponía no usaba agua como medio de cultivo. En la hidroponía, las raíces de las plantas se sumergen en el agua para obtener agua y nutrientes que apoyen su vida. Pero para la aeroponía, el nutriente se suministra a través del aerosol de niebla mediante salpicaduras o boquillas a las raíces de la planta. Un sistema de granja aeropónica se puede configurar con algunos componentes principales, como una bomba, boquillas y una cámara de cultivo. Actualmente existen algunos tipos de aeropónicos, como el tipo de baja presión, el tipo de alta presión y el sistema comercial. El diferente tipo de aeropónico requería un diferente tipo de componente para configurarse, pero el concepto de trabajo es aproximadamente el mismo (QI, 2012).

El beneficio del sistema aeropónico es el de un fácil control de los nutrientes y el pH. El sistema aeropónico proporciona requisitos precisos de nutrientes de las plantas para el cultivo, reduciendo así la necesidad de fertilizantes y minimizando el riesgo de residuos excesivos de fertilizantes que se mueven hacia el nivel freático subterráneo (Nichols, 2005). El sistema aeropónico también permite medir la absorción de nutrientes a lo largo del tiempo en condiciones variables. La lechuga es uno de los mejores cultivos para sistemas sin suelo porque se puede producir en un corto período de tiempo y, como consecuencia, la presión de las plagas es relativamente baja. A diferencia del tomate y el pepino, una alta proporción de la biomasa cosechada es comestible. Con la lechuga, los ingresos por unidad de área por unidad de tiempo son muy altos (Ritter et al., 2001).



5.12. Nutrientes

Como se señaló previamente al describir las características de los cultivos hidropónicos, los nutrientes desempeñan un papel crucial en este tipo de cultivo. Estos nutrientes, cuando se mezclan con el agua, forman lo que se conoce como "solución nutritiva". Esta solución contiene una abundancia de macro y micro nutrientes, así como minerales que son fundamentales para promover el crecimiento vigoroso y rápido de las plantas (Alvarado , D., Chavez, F., & Wilhelmina, 2001).

Rangos comunes de nutrientes en la solución nutritiva.

NUTRIENTES	RANGO (ppm = mg/L)
NITRÓGENO (N)	100-250
FÓSFORO (P)	30-50
POTASIO (K)	100-300
CALCIO (Ca)	80-140
MAGNESIO (Mg)	30-70
AZUFRE (S)	50-120
HIERRO (Fe)	1.0-3.0
COBRE	0.08-0.2
MANGANESO	0.5-1.0
ZINC (Zn)	0.3-0.6
MOLIBDENO	0.04-0.08
BORO (Bo)	0.2-0.5
CLORURO (Cl)	<75
SODIO (Na)	<50

Tabla 1 - Nutrientes necesarios para un vegetal

Una pequeña cantidad de nutrientes puede ser suficiente para varios días, dependiendo de la proporción utilizada. Por ejemplo, 1 kilogramo de nutriente mezclado con agua puede generar más de 100 litros de solución nutritiva. Una vez obtenida esta solución nutritiva, se utiliza para el riego de las plantas, aunque en cantidades muy reducidas que varían según el tipo de planta. Para la lechuga, por ejemplo, es suficiente humedecer ligeramente sus raíces, y esto se realiza de 2 a 3 veces al día (Alvarado , D., Chavez, F., & Wilhelmina, 2001).



5.13. ¿Qué es un fertilizante?

Cualquier material natural o industrializado, que contenga al menos cinco por ciento de uno o más de los tres nutrientes primarios (N, P_2O_5 , K_2O), puede ser llamado fertilizante. Los fertilizantes fabricados industrialmente son llamados fertilizantes minerales.

La presentación de los fertilizantes minerales es muy variada. Dependiendo del proceso de fabricación, las partículas de los fertilizantes minerales pueden ser de muy diferentes tamaños y formas: gránulos, píldoras, «perlados», cristales, polvo de grano grueso/compactado o fino. La mayoría de los fertilizantes es provista en forma sólida. Los fertilizantes líquidos y de suspensión son importantes principalmente en América del Norte (Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes, 2002).

5.14. ¿Qué es un pesticida?

Un pesticida es cualquier sustancia o mezcla de sustancias cuyo objetivo es:

- Prevenir, destruir, repeler o controlar una plaga.
- Utilizarlo como regulador de crecimiento de plantas, defoliante o desecante.
- Utilizarlo como estabilizador de nitrógeno.

Los pesticidas se utilizan para controlar diversas plagas y transmisores de enfermedades, como mosquitos, garrapatas, ratas y ratones. Los pesticidas se utilizan en la agricultura para controlar las malezas, la infestación de insectos y las enfermedades (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2023).

Existen muchos tipos diferentes de pesticidas y cada uno sirve para combatir plagas específicas, estos son algunos ejemplos:

- Alguicidas para matar las algas y/o desacelerar su proliferación.
- Antimicrobianos para controlar los gérmenes y los microbios como bacterias y virus.
- Desinfectantes para controlar los gérmenes y los microbios como bacterias y virus.
- Fungicidas para controlar problemas de hongos como el moho, el mildiu y el óxido.
- Herbicidas para matar o inhibir el crecimiento de plantas no deseadas, también conocidas como malezas.



- Insecticidas para controlar los insectos.
- Reguladores de crecimiento de los insectos para interrumpir el crecimiento y la reproducción de insectos.
- Rodenticidas para matar roedores como ratones, ratas y taltuzas.
- Preservantes para madera para que la madera se haga resistente a insectos, hongos y otras plagas.

Todo lo anterior fue obtenido de la “Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos”.

5.15. Efectos de los pesticidas sobre las personas

La mayoría de los pesticidas son diseñados para eliminar plagas -sean estas de origen animal o vegetal o a los vectores (transportadores) de éstas. Debido a que algunas plagas tienen algunos componentes de sus vías metabólicas similares a los de los seres humanos, algunos pesticidas también pueden dañar o matar personas. Para éstas, la mejor manera de minimizar los riesgos es reducir al mínimo la exposición crónica a plaguicidas y hacer un esfuerzo deliberado para evitar las exposiciones agudas (Muñoz, 2014).

Los seres humanos pueden sufrir daño derivado de la exposición a pesticidas de dos maneras: por intoxicación o por heridas. La intoxicación es provocada por pesticidas que afectan órganos internos o interfieren con algún sistema interno. Las heridas relacionadas con la exposición a pesticidas son usualmente provocadas por pesticidas que son irritantes externos. Los pesticidas químicamente relacionados causan el mismo tipo de efectos a los humanos. Los efectos pueden ser leves o severos dependiendo del pesticida involucrado y del grado de exposición, pero cada grupo químico causa un patrón de daño que es usualmente el mismo.

Cuando un pesticida contacta una superficie u organismo, se habla de “una exposición a pesticida”. Para las personas, una exposición a pesticida significa que ha recibido pesticida sobre o en el interior de su cuerpo. El efecto tóxico de dicha exposición dependerá de cuánto pesticida está involucrado y cuánto tiempo permanece allí. La exposición a un pesticida dado se puede realizar vía: (a) Oral (cuando se ingiere un pesticida); Inhalación (cuando se respira un pesticida); Ocular (a través de los ojos); Dérmica (a través de la piel).



Considerando los factores de riesgo de exposición a pesticidas que se presentan en distintas actividades humanas, se puede inferir que, por una parte, los más expuestos a exposiciones agudas de alta intensidad, son los trabajadores agrícolas, los trabajadores de industrias químicas que producen pesticidas, los que trabajan en las líneas de envasado, y aquellos encargados del transporte y la distribución. Según una publicación del año 2006 “Todos los trabajadores que manipulan pesticidas o se desempeñan en áreas cercanas a donde se aplican pesticidas, están en riesgo de exposición y de contraer enfermedades”. Estos trabajadores corren riesgo de exposición a una batería de pesticidas cuyos daños al organismo han sido claramente identificados (Muñoz, 2014).

5.16. Otros factores limitativos de los rendimientos de los cultivos tradicionales

El uso de fertilizantes es uno de los factores más importantes, que contribuye a aumentar la productividad y la agricultura sostenible. Pero no resolverá todos los problemas de la producción de los cultivos (Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes, 2002).

En los capítulos anteriores de esta guía algunos otros factores o prácticas han sido ya mencionados que pueden limitar y afectar los rendimientos de los cultivos y reducir el uso eficiente de los fertilizantes (Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes, 2002).

Aplicando buenas prácticas agrícolas, el agricultor dará atención particular a:

- Preparación apropiada y oportuna de la cama de siembra.
- Variedades de cultivos (preferiblemente seleccionando variedades de altos rendimientos).
- Densidad de siembra correcta.
- Plantas por hectárea espacio entre plantas o filas.
- Momento de siembra óptimo.
- Humedad suficiente (uso de riego donde sea disponible, un campo no plantado debería ser cubierto con residuos vegetales para evitar la erosión y conservar la humedad del suelo).



- Drenaje adecuado (eliminar el exceso de agua a través de drenaje de superficie o subterráneo).
- Control de malas hierbas (escardar, cultivar o usar tratamientos químicos).
- Control de enfermedades de los cultivos (usar cultivos resistentes o tratamientos químicos aprobados).
- Control de plagas (usar medidas de control aprobadas y recomendadas).
- Usar rotaciones de cultivos que reducen las enfermedades de los cultivos, malas hierbas y plagas.
- Mejorar la estructura del suelo (a través de la rotación de cultivos, pastoreo temporáneo o estiércol / abono verde).
- Mantener la materia orgánica del suelo (a través de rotación de cultivo, estiércol voluminoso o suministro de materia orgánica).

5.17. Efectos del calentamiento global y cambio climático en la agricultura

Toda la información contenida respecto al calentamiento global y el cambio climático en la agricultura, proviene de un estudio de 2013 llamado "Cambio Climático Impacto en la Agricultura Heladas y Sequías", escrito por Andrés Bascopé J., para la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) del Ministerio de Agricultura.

5.18. Efecto Invernadero

El Efecto Invernadero es un fenómeno natural en el que la radiación de calor de la superficie de un planeta, en este caso la Tierra, es absorbida por los gases de la atmósfera y es reemitida en todas direcciones, lo que resulta en un aumento de la temperatura superficial (Bascopé, 2013).

Los gases más eficientes en absorber el calor se llaman gases de efecto invernadero o gases invernadero, entre los cuales destacan los siguientes:

- El Vapor de Agua, el más abundante y funciona como un gas que actúa en retroalimentación con el clima, a mayor temperatura de la atmósfera, más vapor, más nubes y más precipitaciones.



- Dióxido de carbono (CO_2), un componente menor, pero muy importante de la atmósfera. Se libera en procesos naturales como la respiración y en erupciones volcánicas y a través de actividades humanas como la deforestación, cambio en el uso de suelos y la quema de combustibles fósiles. Desde el inicio de la Revolución Industrial (aproximadamente 1760) la concentración de CO_2 ha aumentado en un 43% (para el 2013).
- Metano, es un gas hidrocarburo que tiene origen natural y resultado de actividades humanas, que incluyen la descomposición de rellenos sanitarios, la agricultura (en especial el cultivo de arroz), la digestión de rumiantes y el manejo de desechos de ganado y animales de producción. Es un gas más activo que el dióxido de carbono, aunque menos abundante.
- Óxido Nitroso, es gas invernadero muy poderoso que se produce principalmente a través del uso de fertilizantes comerciales y orgánicos, la quema de combustibles fósiles, la producción de ácido nítrico y la quema de biomasa.
- Clorofluorocarbonos (CFCs), son compuestos sintéticos de origen industrial que fueron utilizados en varias aplicaciones, ahora ampliamente regulados en su producción y liberación a la atmósfera para evitar la destrucción de la capa de ozono.

5.19. Calentamiento Global

Es un fenómeno de aumento de la temperatura de la atmósfera terrestre que se ha estado observando desde finales del siglo XIX. Este aumento ha sido de aproximadamente 0.8°C desde que se realizan mediciones confiables, donde 2/3 de este aumento se produce desde 1980 en adelante. Hay una certeza del 90% de que la causa del calentamiento es el aumento de gases de efecto invernadero que resultan de las actividades humanas como la quema de combustibles fósiles (carbón, gasolina, gas natural y petróleo) y la deforestación (Bascopé, 2013).

5.20. Cambio Climático

Se llama cambio climático a la modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional. Tales cambios se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros meteorológicos: temperatura, presión atmosférica, precipitaciones,



nubosidad, etc. En teoría, son debidos tanto a causas naturales como antropogénicas (derivadas de la acción del hombre).

El término suele usarse de manera poco apropiada, para hacer referencia tan solo a los cambios climáticos que suceden en el presente, utilizándolo como sinónimo de calentamiento global. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático usa el término «cambio climático» sólo para referirse al cambio por causas humanas:

Por "cambio climático" se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables (Bascopé, 2013).

Además del calentamiento global, el cambio climático implica cambios en otras variables como las lluvias y sus patrones, la cobertura de nubes y todos los demás elementos del sistema atmosférico. La complejidad del problema y sus múltiples interacciones hacen que la única manera de evaluar estos cambios sea mediante el uso de modelos computacionales que simulan la física de la atmósfera y de los océanos. La naturaleza caótica de estos modelos hace que en sí tengan una alta proporción de incertidumbre, aunque eso no es óbice para que sean capaces de prever cambios significativos futuros (Bascopé, 2013).

5.21. Impacto del cambio climático en la agricultura

El efecto del cambio climático en la agricultura está relacionado con variaciones en los climas locales más que en patrones mundiales. El aumento en la temperatura promedio de la superficie de la tierra ha traído como consecuencia que las distintas zonas geográficas se vean afectadas de manera diferente (Bascopé, 2013).

Por otro lado, la economía agrícola ha crecido en estos últimos años y ahora provee cantidades significativas de alimento a nivel mundial en los mayores países importadores, así como grandes ingresos para los exportadores. El aspecto internacional del comercio y la seguridad en términos de los alimentos implican la necesidad de considerar los efectos del cambio climático a una escala mundial.

Un estudio publicado en la revista Science sugiere que, debido al cambio climático, Sudáfrica podría perder para el año 2030 más del 30% de su cosecha principal, el maíz. En el sur de Asia, las pérdidas de alimentos básicos regionales como el arroz y el maíz podrían alcanzar un 10%.



Por otra parte, el tercer estudio de informes del IPCC, realizado en el año 2001, concluye que los países más pobres serían los más afectados con reducciones en la producción agrícola en regiones tropicales y subtropicales, debido a una menor disponibilidad de agua y nuevas incidencias de plagas de insectos. En África y Latinoamérica muchos cultivos se hallan cerca de su tolerancia máxima de temperatura, por lo que probablemente el rendimiento se reduzca con pequeños cambios en el clima (Bascopé, 2013).

Se prevé que en el siglo XXI, la productividad agrícola caerá hasta un 30%. La vida marina y la industria pesquera se verán también gravemente afectados en algunas zonas.

Probablemente, el cambio climático provocado por el incremento de los gases de efecto invernadero afectará de diferente forma a cada región. Por ejemplo, según el Servicio Meteorológico del Reino Unido, se espera que las áreas de cultivo se reduzcan en un 50% en Pakistán, mientras que la producción de maíz en Europa aumentaría a 25% con óptimas condiciones hidrológicas (Bascopé, 2013).

Los efectos más favorables para los cultivos dependen en gran parte del dióxido de carbono en el crecimiento de los cultivos y del aumento en la eficiencia en el uso del agua. La disminución de cultivos potenciales probablemente se produzca por la reducción del período de crecimiento, la escasez del agua y la vernalización deficiente (Bascopé, 2013).

En el largo plazo, el cambio climático podría afectar a la agricultura de varias maneras:

- Productividad, en términos de cantidad y calidad de los cultivos.
- Prácticas agrícolas, a través de los cambios del uso del agua (riego) y aportes agrícolas como herbicidas, insecticidas y fertilizantes.
- Efectos en el medio ambiente, particularmente la relación de la frecuencia y sistema de drenaje de suelos, erosión, reducción de la diversidad de cultivos.
- Espacio rural, por medio de la pérdida y ganancia de terrenos cultivados, la especulación de tierras y los servicios hidráulicos.
- Adaptación, los organismos podrían pasar a ser más o menos competitivos, así como también los humanos podrían tener la necesidad de desarrollar más organismos competitivos, como variedades de arroz resistentes a la sal o a las inundaciones.

Gran parte de las proyecciones son inciertas, en especial por la falta de información en varias regiones locales específicas, además de la incertidumbre que existe sobre la magnitud del cambio climático, los efectos de cambios tecnológicos en la productividad, la demanda mundial de comida y las numerosas posibilidades de adaptación.

En general, se cree que la producción agrícola será afectada principalmente por la gravedad y el ritmo del cambio climático y no por tendencias graduales del clima. Ya que, si el cambio es gradual, la biota tendría tiempo suficiente para adaptarse. Sin embargo, si el cambio climático es grave, podría amenazar la agricultura en muchos países, especialmente la de aquellos que ya han sufrido de cambios en las condiciones climáticas, puesto que tienen menos tiempo para una óptima selección natural y adaptación (Bascopé, 2013).

Las proyecciones generales de distintos estudios e investigaciones concluyen que si hubiera un incremento de 1 a 3°C, habría una disminución en la producción de algunos cereales en latitudes bajas del planeta y un aumento de la producción zonas ubicadas en latitudes altas. Uno de los estudio (Schneider et al. 2007) predijo que la producción mundial de cereales se incrementaría en el caso de una subida de 3 °C aproximadamente, y probablemente disminuiría si sobrepasa el nivel de los 3 y 4 °C. En general, los estudios hechos para la agricultura mundial no han incluido factores críticos como los cambios extremos o la propagación de pestes y enfermedades como resultado de eventuales cambios.

Por otra parte, un informe de cambio climático y su impacto en la agricultura elaborado por el International Food Policy and Research Institute (IFPRI) concluye que en los países en vías de desarrollo se producirá una disminución en los rendimientos de los cultivos bajo riego más importantes, siendo Asia meridional la zona más afectada. A su vez, los costos de producción de cultivos como el arroz, maíz, trigo y soja aumentarán lo que trae consigo en aumento en los costos de alimentación animal y por ende en la producción de carne, lo que afectaría el consumo de este producto. Finalmente, el informe señala que es necesaria una agresiva inversión (USD 7.1-7.3 billones) en la mejora de la productividad agrícola de manera de poder compensar los impactos negativos del cambio climático (Bascopé, 2013).

5.22. Impacto a Nivel Nacional

Un ejemplo a nivel nacional del impacto del cambio climático es el desplazamiento en las zonas de producción del vino. Sectores como en Valdivia podrían convertirse en productores de vinos hacia 2050. Un estudio dado a conocer a fines de Marzo de este año por la Universidad Austral y el Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB) explica que se perderá gran parte de la actual zona apta para viñas, pero que se abrirán nuevas áreas en lugares hasta ahora inusuales, como Talca y Valdivia.

En Chile, el área de producción de vino actualmente se extiende entre la IV Región y el Biobío, pero el aumento de temperatura y la menor disponibilidad de agua ya empiezan a notarse: el 95% de las viñas tiene problemas de suministro de agua, según el estudio. De hecho, se estima que en las actuales regiones de clima mediterráneo, como Maipo, Cachapoal y Colchagua, donde se cultivan variedades premium, la zona apta para vinicultura disminuirá en 25%.

Claro que no todo está perdido para la zona central. Una de las conclusiones del estudio es que se podrá recurrir a nuevas cepas que ofrezcan sabores similares, pero que se adapten mejor al nuevo clima. Y, según los autores del estudio del Ministerio del Medio Ambiente, la zona podría renovar su agricultura, optando por cultivos tropicales (cereales, cítricos, paltas y chirimoyas) beneficiados con la disminución de heladas y el aumento de temperatura (Bascopé, 2013).

Según el jefe de la División de Recursos Naturales del Ministerio del Medio Ambiente, Leonel Sierralta, los límites agrícolas en el Chile más cálido se modificarán, de manera que habrá cultivos de la zona central que sólo se podrán desarrollar más al sur, cambios que ya se están apreciando. Un ejemplo de esto es lo que sucede con frutales como el kiwi y que complica los procesos de exportación ya que están madurando antes de llegar a los países de destino. “Es muy probable que todo lo que se produce hoy hasta Talca llegue a tener mejores condiciones para ser cultivado en regiones como el Biobío y la Araucanía”, explica Sierralta.

5.23. Proyecciones del cambio climático y sus efectos a nivel nacional

De acuerdo con el doctor Fernando Santibáñez, académico de la Universidad de Chile, responsable de varios estudios científicos y uno de los principales referentes nacionales en



materia de cambio climático, los alcances del aumento de la temperatura serán significativos, afectando las precipitaciones, la nubosidad y, en especial, al paisaje. No sólo tendremos que acostumbrarnos a más días nublados debido al contraste con el océano: el clima cálido aumenta la diferencia de temperatura entre el mar y la tierra firme, contraste que moviliza más aire desde la costa hacia el continente. También habrá que sumar que, mientras disminuyen las lluvias, aumentarán eventos extremos, como tormentas eléctricas y granizadas, algo similar a lo que ocurre en el trópico, pero con episodios súbitos que podrían desencadenarse en verano o invierno (Bascopé, 2013).

En Chile, el océano Pacífico tiene un efecto moderador del impacto que a nivel global causa el alza de temperatura, pero nuevos estudios revelan que aun así el país registrará cambios significativos en el clima.

5.24. Efectos en Chile

1. **Cambios en la temperatura:** El aumento de temperatura afectará a todo el territorio. Esto sería un indicador que los fenómenos de heladas no estarían relacionados con el cambio climático, es más, su recurrencia debiera disminuir dadas las condiciones generales de aumentos en las temperaturas.

En el caso de las ciudades del interior, la percepción del cambio será mucho mayor. La cercanía del océano mitiga el impacto, porque la nubosidad y brisa marina que ingresan al continente mantienen los niveles de humedad, a lo que se suma el efecto de fenómenos como La Niña, que enfrían la superficie del mar disminuyendo las temperaturas. Por eso se estima un aumento promedio de 1,5 grados para la costa, cifra que irá creciendo a medida que se avanza hacia el interior: sobre los dos mil metros de altura, el alza podría llegar a superar los tres grados centígrados.

En el caso de la Región Metropolitana, se proyecta para los meses de verano, un alza de 1,6 grados en la máxima promedio, pasando de 30,5° de ahora a 32,1° durante el mes de Enero de los próximos 17 años. Y para el caso de los meses de invierno, las proyecciones para el mes de Julio es que la temperatura mínima promedio se elevará 2,1 grados (de los 4,2 grados actuales a 6,3 grados).

Hacia mediados de siglo, una de las ciudades más cálidas del país será Los Andes, con máximas promedio en verano de 33,3 grados, es decir, 2,4 grados más que ahora.

Más al sur, experimentarán el mismo fenómeno. Concepción, por ejemplo. Si la temperatura mínima en pleno invierno alcanza un promedio de 3,5 grados, hacia 2030 llegará a 4,4 grados, prácticamente un grado más en tan sólo 17 años. Para 2050, las temperaturas mínimas serán todavía más elevadas, llegando a los 4,9 grados en esa ciudad. Igual situación para el norte. Calama, enclavada en pleno desierto, con temperaturas máximas que subirán 1,9 grados en el verano respecto de las actuales. Sin embargo, habrá otro cambio aún más notorio en esta zona: las temperaturas mínimas extremas que suelen caracterizar el clima del desierto también aumentarán. Para mediados de siglo, el alza será de 2,5 grados, pasando de 1,3 grados a 3,8 grados la mínima promedio en invierno.

2. Efectos en las precipitaciones: En este contexto de aumento de las temperaturas, uno de los principales desafíos será enfrentar las consecuencias de la disminución de precipitaciones. Datos de la Dirección Meteorológica de Chile señalan que, en promedio, actualmente se registran 10 días menos de lluvia que hace 100 años. Y esta tendencia se acentuará. Dentro de 17 años, la capital registrará 46 mm menos de agua caída y para 2050 serán 64 mm menos. Más al norte, el escenario es peor: en Ovalle, por ejemplo, la disminución de las precipitaciones significará casi 20 mm menos de agua caída en 2030 y casi 30 mm menos en 2050. Otra zona igualmente agrícola es la de Curicó. Y ahí el tema es más marcado. En 2030 se registrarán 131 mm menos de lluvia y a mediados de siglo, la baja será de casi 180 mm.

3. Desertificación: En este nuevo escenario climático los bordes del desierto se extenderán un promedio de 50 kilómetros, lo que prácticamente “empujará” hacia el sur climas que hoy son propios de la zona central. “Estos cambios se manifestarán principalmente hasta el sur de la Araucanía”, explica el Doctor Santibáñez.

La IV Región, por ejemplo, con su clima árido, de vegetación arbustiva, pero de excelencia para cultivos como las viñas, comenzará a mostrar un paisaje cada vez más parecido al desierto, donde será imposible sostener la agricultura tradicional. Santiago, en tanto, transitará de un clima semiárido a uno árido, exhibiendo un paisaje mucho más

cercano al que conocemos hoy en la IV Región. En la precordillera se verán menos bosques y más matorral de tipo espinoso, como el que se aprecia hoy en el Norte Chico. A nivel global el proceso de desertificación sigue avanzando. Hay zonas geográficas del planeta donde la situación es crítica y su habitabilidad es imposible y a la vez el avance del desierto es constante. La figura 6 muestra las distintas zonas geográficas del planeta donde la desertificación está presente en sus distintos grados de magnitud.

- 4. Desplazamiento de los bosques:** Especies como el quillay, el boldo y el litre, el peumo y el maitén, que para todos son familiares en la zona central, podrían prácticamente desaparecer de los ecosistemas. Una posibilidad es que persistan sólo en áreas mucho más reducidas, como aquellas que mantendrán humedad en quebradas y en zonas costeras. Estos árboles forman parte del llamado bosque esclerófilo, que regula las cuencas de los ríos, absorbe agua alimentando napas subterráneas, evita riesgos naturales como deslizamientos de tierras y alberga una biodiversidad que incluye mamíferos como el zorro, el puma, así como numerosas especies de aves. Pero lo más común en la zona central de mediados de siglo será el matorral espinoso, un paisaje más seco, árido, parecido al que presenta actualmente la IV Región.

Más hacia el sur también habrá cambios en los bosques. A mediados de la década pasada, un estudio realizado sobre la base de los anillos de crecimiento de árboles por científicos del Núcleo Científico Milenio Forecos, de la Universidad Austral, había ya sugerido que la distribución de la vegetación austral estaba sufriendo transformaciones importantes. Ahora, Patricio Plischoff, académico del Departamento de Geografía de la Universidad de Chile y que participó en un estudio que encargó el Ministerio del Medio Ambiente, explica que según el nuevo análisis, especies nativas como el Alerce, la Araucaria y el Ciprés de las Guaitecas (especies de coníferas que conforman el llamado bosque resinoso característico del sur de Chile) tendrán más dificultades para adaptarse al nuevo clima debido a sus largos períodos de vida.

- 5. Retroceso de Glaciares:** Según los expertos, el calentamiento global puede provocar una subida del nivel del mar de entre 26 y 82 centímetros en 2100, un aumento mayor al

apuntado en 2007, cuando se hablaba de entre 18 y 59 centímetros. Pero de lo que sí hay certeza casi absoluta es de que el nivel del mar aumentó 0,19 metros entre 1901 y 2010. Los expertos señalan como "muy probable" que la capa de hielo del Océano Ártico siga reduciéndose, al igual que la capa de nieve en primavera en el hemisferio norte y el volumen de los glaciares, así como el aumento de las olas de calor. El cambio climático afectará también los procesos del ciclo del carbono, impulsando el aumento de CO₂ en la atmósfera y a su vez la acidificación de los océanos.

Estos 5 efectos vienen del estudio "Cambio Climático Impacto en la Agricultura Heladas y Sequías" (Bascopé, 2013).

5.25. Gases de efecto invernadero

La huella de carbono considera las emisiones de los seis Gases de Efecto Invernadero (GEI) reconocidos en el marco del Protocolo de Kioto, a saber:

- Dióxido de carbono (CO₂)
- Metano (CH₄)
- Óxido nitroso (N₂O)
- Gases refrigerantes hidrofluorocarbonos (HFCs)
- Perfluorocarbonos (PFCs)
- Hexafluoruro de azufre (SF₆)

Estos GEI se expresan finalmente en la unidad común “kilogramos de CO₂ equivalente” (kg CO₂^{eq}), de acuerdo con el potencial de calentamiento global de cada gas (ODEPA, 2018).

5.26. Metas y desafíos en Chile al 2050 del sector silvoagropecuario

La información que se encontrará en este y los siguientes tópicos ligados a metas y desafíos, proviene de la **“Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile, camino a la Carbono Neutralidad y Resiliencia a más tardar al 2050”**, elaborado en 2021 por el Ministerio del Medio Ambiente.



El sector silvoagropecuario tiene como visión al 2050, contribuir al desarrollo sustentable de las actuales y futuras generaciones, promoviendo un modelo agroalimentario resiliente a los efectos del cambio climático y bajo en emisiones de GEI haciendo un uso eficiente y sustentable de los recursos naturales que asegure la producción de alimentos, contribuya a la seguridad alimentaria en sus 5 pilares y que incorpore una visión conjunta de la adaptación y mitigación en el territorio y de los sistemas productivos. El sector deberá ser capaz de adaptarse a las condiciones climáticas futuras, tales como la sequía y los eventos extremos, y en particular aumentar la capacidad de adaptación de las y los agricultores más vulnerables. En el ámbito forestal, se mantendrá y aumentará el rol capturador neto de GEI del sector, así como sus funciones adaptativas y resilientes, promoviendo políticas y acciones integrales que contribuyan tanto a la mitigación como a la adaptación, considerando las diferentes características del territorio, la flora y la fauna, las comunidades y grupos vulnerables. Es importante y necesario avanzar en instrumentos financieros que permitan avanzar en los desafíos agropecuarios, incentivar la forestación, restauración y manejo sustentable de bosques, de manera generar las condiciones para alcanzar los compromisos adquiridos (Ministerio del Medio Ambiente, 2021a).

Las emisiones de GEI para la agricultura corresponden en su mayoría (55%) a la fermentación entérica y a la gestión de estiércol, y en un 40% a los suelos agrícolas. Por su parte, los ecosistemas boscosos tienen la capacidad de capturar y secuestrar grandes cantidades de CO₂ a través de la acumulación de biomasa aérea y subterránea, y el depósito de materia orgánica acumulada en el suelo. En este sentido, el uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS) es el único sector del Inventario Nacional de GEI que se mantiene como sumidero neto para la serie 1990-2018. En este último año alcanza las -63.992 kt CO₂^{eq}, principalmente debido al incremento de la biomasa en renovales de bosque nativo y en plantaciones forestales. Esta capacidad del sector UTCUTS, donde el sector forestal representa más de un 80% en términos absolutos, es fundamental para alcanzar la carbono-neutralidad del país al 2050.

Una de las principales amenazas climáticas que afecta al sector es la disminución de la precipitación y el aumento de las temperaturas medias, lo que hace al sector altamente vulnerable al cambio climático. Esto, junto a eventos extremos más intensos y frecuentes, se han experimentado en las zonas centro y norte del país desde el año 2007, provocando severos



impactos, tales como el aumento de la degradación de suelos, el estrés del ganado, aparición de nuevas plagas y enfermedades, y el aumento del riesgo de incendios forestales. En este contexto, el sector juega un rol clave en la mitigación y adaptación al cambio climático, y en la gestión sostenible del suelo agrícola y forestal para la regulación de caudales y la seguridad hídrica (Ministerio del Medio Ambiente, 2021a).

El principal responsable en materia silvoagropecuaria es el Ministerio de Agricultura (MINAGRI), que cuenta con diversos instrumentos y políticas relevantes para los objetivos de esta estrategia. Entre estos se destaca la Política Nacional de Desarrollo Rural desde el 5 de mayo del 2020, cuyo objetivo es mejorar la calidad de vida y aumentar las oportunidades de la población que habita en territorios rurales, generando las condiciones adecuadas para su desarrollo integral, a través de la adopción gradual, planificada y sostenida de un paradigma que concibe un accionar público con enfoque territorial e integrado en distintos niveles, y que propicia sinergias entre iniciativas públicas, privadas y de la sociedad civil. De esta forma, se espera contribuir a lograr un mayor equilibrio territorial en el país, potenciando particularmente el desarrollo sostenible de sus asentamientos poblados de menor tamaño. Adicionalmente, MINAGRI cuenta con una Estrategia de Sustentabilidad Agroalimentaria, que considera un ámbito de Cambio Climático, y se encuentra actualizando el Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector Silvoagropecuario, que se finalizará en el año 2022.

Por su parte, la Corporación Nacional Forestal (CONAF), dependiente de MINAGRI, administra la política forestal de Chile. CONAF ha trabajado desde 2013 en la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV), que busca mediante una adecuada gestión de los recursos vegetacionales, evitar o disminuir las tasas históricas de deforestación, de vegetación y degradación de bosques nativos, formaciones xerofíticas y otros recursos vegetacionales; así como también fomentar la recuperación, forestación, revegetación y manejo sustentable de estos recursos nativos de Chile (Ministerio del Medio Ambiente, 2021a).

Se contribuirá al cumplimiento de los compromisos de mitigación forestales de la NDC (Contribución Determinadas a Nivel Nacional), específicamente sus metas de reducción de emisiones y de aumento de absorciones de GEI al año 2030. En su componente de Adaptación, la NDC establece que se actualizará el plan de adaptación al cambio climático para el sector silvoagropecuario. Este plan establecerá las acciones que el sector deberá cumplir, en



concordancia con los objetivos de largo plazo establecidos en la ECLP (Estrategia Climática de Largo Plazo para Chile).

5.27. Objetivos de la Estrategia Climática de Largo Plazo para Chile

Objetivos provienen de la “Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile, camino a la Carbono Neutralidad y Resiliencia a más tardar al 2050” elaborada por el Ministerio del Medio Ambiente en 2021.

- Objetivo 1: Crear y fortalecer las capacidades institucionales y en los territorios en el sector silvoagropecuario, en particular a productores y productoras más vulnerables, para enfrentar los desafíos del cambio climático.
- Objetivo 2: Fomentar I+D+i y extensión rural que aporten a la acción climática para desarrollar un sector silvoagropecuario resiliente y bajo en emisiones
- Objetivo 3: Fomentar sistemas agroalimentarios bajos en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que a través del uso eficiente y sustentable de los recursos naturales asegure la producción de alimentos de origen agropecuario.
- Objetivo 4: Disminuir la vulnerabilidad y generar resiliencia en el sector silvoagropecuario, potenciando la implementación de medidas de adaptación al cambio climático, para contribuir a la seguridad alimentaria.
- Objetivo 5: Fortalecer la institucionalidad en cambio climático del Ministerio de agricultura.
- Objetivo 6: Fomentar iniciativas enfocadas a evitar y/o disminuir la deforestación y la degradación de los recursos vegetacionales , aportando en la mitigación y adaptación al cambio climático, reduciendo la ocurrencia y riesgo de incendios forestales para alcanzar un armónico crecimiento económico, social y ambiental.
- Objetivo 7: Fomentar el manejo y conservación de los recursos vegetacionales nativos (bosques y formaciones xerofíticas) y humedales, orientándolo hacia la producción de bienes y servicios ecosistémicos, conservación de la naturaleza y las necesidades de las comunidades locales.



- Objetivo 8: Potenciar iniciativas que aumenten la creación de bosques y la cobertura permanente de recursos vegetacionales en zonas prioritarias de restauración a escala de paisajes, aumentando la resiliencia y disminuyendo la vulnerabilidad de comunidades y territorios.
- Objetivo 9: Promover la participación en el diseño de las acciones y políticas con enfoque de género y con énfasis en las comunidades locales y pueblos originarios, considerando el respeto por los derechos de las personas y su acervo cultural.

5.28. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible son el plan maestro para conseguir un futuro sostenible para todos. Se interrelacionan entre sí e incorporan los desafíos globales a los que nos enfrentamos día a día, como la pobreza, la desigualdad, el clima, la degradación ambiental, la prosperidad, la paz y la justicia. Para no dejar a nadie atrás, es importante que logremos cumplir con cada uno de estos objetivos para 2030 (Organización de Naciones Unidas (ONU), 2015).

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. En 2015, todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas aprobaron 17 Objetivos como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la cual se establece un plan para alcanzar los Objetivos en 15 años.

Actualmente, se está progresando en muchos lugares, pero, en general, las medidas encaminadas a lograr los Objetivos todavía no avanzan a la velocidad ni en la escala necesarias. El año 2020 debe marcar el inicio de una década de acción ambiciosa a fin de alcanzar los Objetivos para 2030 (Organización de Naciones Unidas (ONU), 2015).

A continuación se muestra una imagen con los 17 objetivos sostenibles:



Figura 1 - Fuente: Naciones Unidas

6. METODOLOGÍA Y DESARROLLO

6.1. Descripción de la metodología

Para el desarrollo del siguiente estudio, se recopiló información de diferentes fuentes, tanto de entidades privadas como gubernamentales, así como también nacional e internacional.

Dicha información ha sido obtenida de publicaciones científicas, estudios gubernamentales, información de competidores e información de páginas de compra a nivel mayorista y/o industrial.

El estudio se desarrolló en las siguientes etapas:

- Etapa 1: Estudio de los nuevos sistemas de cultivos, sus características y ventajas respecto al cultivo tradicional.
- Etapa 2: Escoger el sistema de cultivo en base a las mejores características de rendimiento.
- Etapa 3: Realizar un análisis de competidores a nivel nacional e internacional.
- Etapa 4: Determinar los productos e insumos necesarios para el funcionamiento del sistema escogido.
- Etapa 6: Realizar un análisis de micro y macroentorno a través de los análisis PESTAL, DAFO y las 5 fuerzas de Porter.
- Etapa 7: Estudio técnico económico de la aplicación del sistema de cultivo escogido y realizar la sensibilización a través de la simulación de Montecarlo.
- Etapa 8: Análisis de resultados y desarrollo de conclusiones.

7. Identificación de la situación actual

El análisis de la industria a la que pertenece el sistema propuesto será estudiado mediante el análisis PESTA, 5 fuerzas de Porter y el análisis DAFO.

7.1. Análisis PESTA

El análisis PESTA será utilizado como herramienta de análisis del entorno dentro del cual está realizado este estudio. Este análisis se centra en las variables exógenas (no controlables) del macroentorno, pudiendo con esto identificar la situación actual e identificar la oportunidades y amenazas.

- **Políticas gubernamentales y legales**

En cuanto a la política, la aplicación de este nuevo sistema de cultivo no representa ninguna amenaza ni se ve amenazado por cambios en la política. Al ser la comida algo necesario para el ser humano, esto será algo que siempre será requerido para la vida en el planeta y por tanto es una prioridad tener acceso a ella. Es más, durante los últimos años se han ido generando una serie de políticas que van en favor de aumentar la inversión en investigación y desarrollo de nuevos sistemas de cultivo y mejoras en la agricultura. Dentro del foco de estas políticas se encuentra el utilizar mejor los recursos y hacer un uso más eficiente especialmente del agua. Desde hace una serie de años se ha ido destinando una gran cantidad de recursos para proyectos de investigación con fines de mejorar la sostenibilidad de la producción de alimentos.

Respecto a los términos legales, la producción de alimentos está sujeta a una serie de leyes, normativas y reglamentos, los cuales deben ser cumplidos en su totalidad para con esto poder asegurar la producción tanto segura para el medio ambiente como para el ser humano, y con esto poder tener inocuidad en las frutas y vegetales producidos.

- **Económicas**

Desde el comienzo de la presente década, tanto a nivel nacional como internacional se han generado una serie de cambios que han tenido como origen causas de tipo social como de salud pública. En Chile es necesario destacar el estallido social producido en



octubre de 2019 y a nivel internacional la pandemia de COVID-19 que afectó profundamente al planeta entre 2000 y 2021.

Esta serie de cambios ha afectado profundamente a la economía tanto nacional como internacional. La actividad económica durante los años de la pandemia se redujo enormemente lo cual afectó directamente al Producto Interno Bruto (PIB) y la inflación se vio aumentada durante los últimos tres años. Es necesario mencionar que estos cambios han afectado directamente al precio de las frutas y vegetales, por tanto, se ha hecho imperativo poder producir estos productos de una manera más eficiente logrando un menor costo.

- **Sociales, culturales y demográficas**

En términos sociales durante las últimas décadas se han producido cambios profundos en la sociedad. Estos cambios abarcan múltiples ámbitos, los cuales van, por ejemplo, de exigir una equidad salarial entre hombres y mujeres, la inserción de mujeres en industrias que antiguamente eran sólo para hombres, la aceptación y generación de leyes para las personas con una distinta identidad de género. La composición familiar se ha visto modificada haciendo que cada grupo familiar sea más pequeño.

En cuanto a la cultura, se ha ido modificando desde la ciudad al campo, esto debido a que los cambios en las grandes urbes progresivamente llegan a sector rurales y además impactan en la producción de la agroindustria. Por su parte el impacto del internet y las redes sociales ha hecho que las tendencias generadas en diversos lugares del mundo se esparzan rápidamente por el planeta. Estas tendencias impactado en el tipo de música que se escucha, en la forma de vestir, en la forma de pensar y también en la forma de comer. Durante la última década se masificado progresivamente los nuevos estilos de dieta como lo son el vegetarianismo, el veganismo, entre otras. Además, se ha identificado que algunos componentes de los alimentos afectan a la salud de algunas personas, como lo es el gluten ir a lactosa. Con esto tanto restaurantes, supermercados y productores han tenido que incorporar nuevos productos o modificar la producción de estos para poder cumplir con la cantidad de demanda.

Para finalizar en temas demográficos, la migración en constante aumento de personas de países del norte de Sudamérica ha hecho que en muchas ciudades existan zonas pobladas



altamente por extranjeros. En algunas comunas del gran Santiago se han creado verdaderos guetos verticales lo que provoca una alta densidad poblacional en algunas pocas manzanas. Además, ha llevado a que, por ejemplo, el gran Santiago supere los 6 millones de habitantes.

- **Tecnológicas**

El impacto que han tenido los cambios tecnológicos en la sociedad ha sido muy profundo. Con el aumento de la velocidad de la conexión Internet, la implementación de la Red 5G y el aumento de los dispositivos que se conectan a Internet se ha llegado muy cercano a tener casas inteligentes. Existen una serie de dispositivos que permiten ser controlados a través del smartphone, como lo son luces inteligentes, sistemas de audio inteligentes, entre muchos otros dispositivos. El llamado Internet de las cosas ha impactado la sociedad haciéndola dependiente de estos dispositivos y además se han vuelto muy necesarios en el día a día sobre todo en las ciudades. Respecto a la agricultura la inserción de nuevas tecnologías ha ayudado a mejorar la eficiencia de los cultivos. Con la creación de nuevo sistema de cultivo como lo son los sistemas hidropónicos, se ha aumentado la producción de vegetales con un menor consumo de agua y energía. Además, todos estos cultivos tienen la posibilidad de que se implementen múltiples sensores que sean capaces de informar en tiempo real el estado de las plantaciones. Incluso se ha implementado el uso de Drones en la agricultura tanto para el monitoreo de los cultivos como también para la aplicación de pesticidas y fertilizantes. Sin duda los cambios tecnológicos aplicados a la agricultura son actualmente una gran esperanza de poder disminuir la gran contaminación que actualmente produce la agricultura tradicional.

- **Ambientales**

Por su parte los factores ambientales han tomado importante relevancia tanto en la sociedad, la política, el mercado y la industria. En estos momentos el planeta se encuentra amenazado por la gran cantidad de contaminación que se emite diariamente tanto por el consumo como por la fabricación de bienes y servicios. La agricultura forma parte de la contaminación que ha afectado en el planeta durante los últimos años. Esto

debido a la gran cantidad de consumo de agua y su uso ineficiente, la utilización de fertilizantes y pesticidas, los cuales dañan tanto al medio ambiente como a las personas. El calentamiento global y cambio climático se han ido haciendo presentes cada vez más, evidenciando sus cambios en veranos más calurosos, inviernos más fríos, sequías y desastres naturales.

Se ha levantado a nivel mundial una alerta y un llamado tanto la industria como las personas a modificar sus prácticas para reducir la contaminación. La agroindustria ha sido una de las industrias que han estado en el ojo del huracán especialmente la producción de proteína animal debido a su alto consumo de agua y contaminantes. En los últimos años se ha puesto como desafío a la agricultura ser más eficiente en el uso del agua y energía. A nivel mundial se han desarrollado una serie de tecnologías para lograr esto e inclusive la NASA ha llevado a cabo una serie de proyectos para poder aumentar la producción por metro cuadrado y reducir en la mayor cantidad el consumo de agua, energía e insumos.

7.2. Análisis de las 5 fuerzas de Porter

Se utilizará el modelo de "Las 5 Fuerzas de Porter" para evaluar la participación del proyecto en el mercado. Esta herramienta analiza el nivel de competencia en la industria donde se llevará a cabo el proyecto. El modelo se fundamenta en el análisis de cinco fuerzas competitivas, facilitando así el desarrollo de la estrategia empresarial al identificar fortalezas y debilidades en el proceso de segmentación de mercado.

Con el objetivo de lograr un análisis más preciso, al concluir el estudio de cada fuerza, se incluirá una tabla con aspectos relevantes a considerar. Esta tabla facilitará un análisis estratégico, ofreciendo una visión clara de la estructura de la industria, la intensidad de la competencia y, en última instancia, las reglas del juego competitivo.

- **Poder del cliente:** En la realización de este análisis, el cliente es aquel que compra en el campo los productos para luego llevarlos a los centros en que se tranzan a nivel mayorista, como lo es por ejemplo, la Vega Central o Lo Valledor en la Región Metropolitana. El poder que tiene el cliente sobre este negocio es alto, pues en términos

generales buscan una calidad adecuada de las lechugas, pero tienen mayormente el precio en el que logran comprarle al proveedor. Por tanto, si encuentra un mejor precio, con una calidad similar, sin duda se cambiará. Además, tiene una fuerte oportunidad de negociar para obtener mejores precios. Los productos al ser perecibles, no pueden esperar a que llegue otro comprador, pues eventualmente, ya no serán aptos para el consumo humano.

- **Poder del proveedor:** Respecto al proveedor, posee una gran fuerza pues los sistemas aeropónicos son importados desde China, y al tener un costo medianamente elevado, el cambio del precio o de alguna de las características del producto, afecta directamente al negocio. Además, es necesario tener en cuenta el proveedor encargado de realizar todos los trámites de importación, hasta tener el producto en el lugar de producción, esto debido a que todos los costos asociados a la importación, representan un porcentaje no menor del costo total del sistema aeropónico.
- **Nuevos competidos entrantes:** La agricultura hace al menos una década, se encuentra en el ojo del huracán, pues ha sido fuertemente criticada por su alto nivel de contaminación que produce, tanto al medio ambiente, a las personas y animales. Es por ello que se ha inyectado una gran cantidad de dinero en investigación y desarrollo, con el fin de encontrar soluciones a estos problemas, específicamente en disminuir y usar de manera más eficiente el agua. Dicho esto, a nivel mundial se está constantemente generando nuevas tecnologías que buscan ser mejor que la anterior, no es por nada que la NASA sea una de las entidades que más invierte en encontrar nuevas y mejores formas de cultivar. Por tanto, es necesario estar en un constante proceso de actualización respecto a las nuevas tecnologías, caso contrario, la probabilidad de que llegue un nuevo competidor y quite gran parte de la demanda es de un riesgo mediano a alto. Queda en términos generales como resguardo que se requiere un alto nivel de inversión para entrar en la industria agrícola.

- **Amenaza de sustitutivos:** La amenaza de bienes sustitutivos posee una mediana a baja fuerza, esto debido a que en términos generales la lechuga, es escogida por gustos personales de cada cliente final. Pues actualmente en el mercado es posible encontrar al menos 5 variedades de lechuga en los supermercados y en general la gente compra la que más le gusta. Dicho esto, la aparición de productos sustitutos, a pesar de ser existente, es muy poco probable que afecte al negocio, en especial porque las nuevas tendencias van en dirección a comer más frutas y verduras. Por tanto se espera un crecimiento progresivo en la demanda de, en este caso, lechugas. Hay otras partes del negocio asociado a la lechuga, que sí pueden tener una amenaza mayor, como lo es el canal de venta a través del cual el cliente final compra el producto.
- **Rivalidad entre competidores:** Respecto a este factor, sí es un tema a considerar puesto que en un comienzo, el cultivador tradicional posee toda la capacidad industrial para poder producir masivamente. Sin embargo, luego de realizar la inversión para implementar los sistemas aeropónicos, es cosa de tiempo para que se logren producir lechugas de buena calidad, con un bajo tiempo de producción y además a un menor costo. Dicho esto eventualmente se podría transformar en un juego de ajedrez, en el cual es muy probable de que hayan jugadas bastante arriesgadas por parte del productor tradicional. Sin duda el producir más, en menos espacio y con menos gastos de insumos, representa una gran amenaza para el productor ya existente. Inclusive, es muy probable que por parte de los productores que usan hidroponía surjan acciones para tratar de evitar el crecimiento de la aeroponía, o caso contrario, decidan invertir en sistemas aeropónicos, para no perder su cuota de mercado.



Figura 2 - Fuente: Michael E. Porter, Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors (Estrategia competitiva: Técnicas para analizar industrias y competidores)

7.3. Situación actual en Chile

Chile, actualmente atraviesa por una crisis hídrica y climática que ha afectado de gran manera a la industria agrícola. Los constantes cambios en el comportamiento del clima han hecho que gran parte de los productos de exportación se vean afectados y no puedan ser enviados fuera del país debido a las altas exigencias de los compradores. Como ejemplo está la cereza, que en caso de que llueva durante el periodo en que el fruto está en crecimiento, genera marcas superficiales en el fruto, lo que hace que no sea exportable.

Desde otra arista, existen importantes esfuerzos tanto de entidades gubernamentales y privadas por poder ejecutar cambios en los procesos agrícolas para poder tener una mayor eficiencia. Como se menciona en el planteamiento del problema “el sector agrícola consume el 72% del agua y además es ineficiente. Por ello, plantea, desde una perspectiva de escasez hídrica, el primer cambio que debe promoverse es lograr que la agricultura gestione mejor el agua (Toledo, 2021). Por tanto, actualmente el país se encuentra en una situación de riesgo, en el cual urge tomar medidas que logren generar nuevas tecnologías para poder asegurar el consumo de estos productos a la población.



7.4. Análisis DAFO

Este análisis sirve para determinar la situación actual de la empresa, con el fin de ayudar a definir las estrategias que se deben incorporar para prosperar en el negocio.

Se enfoca tanto en el lado interno a través de las fortalezas y debilidades, así como también, en el lado externo mediante el estudio de las oportunidades y amenazas.

- **Debilidades**

- Alto nivel de inversión inicial
- Posibilidad de realizar un mal uso de los sistemas y eventualmente dañar uno o más sistemas
- Por inexperiencia en el uso de los sistemas, se pueden perder cosechas enteras
- Si no se tiene un sistema eléctrico de respaldo, todo el cultivo corre peligro en caso de un corte generalizado del suministro eléctrico

- **Amenazas**

- Fuerte competencia por parte de productores con sistemas de cultivo tradicional e hidropónicos
- Un intensivo control por parte de las autoridades pertinentes, como lo es el Servicio Agrícola Ganadero (SAG), Servicio de Impuestos Internos (SII), Seremi de Salud, Dirección del Trabajo, entre otros.
- Implementación de nuevos sistemas más eficientes en el corto o mediano plazo, así como también que muchos otros competidores quieran producir con el mismo sistema.

- **Fortalezas**

- Es un proyecto que tiene múltiples ventajas tanto para los propios dueños, así como también para el medioambiente y para reducir el costo de los productos, lo que beneficiaría a la gente bajando el precio de la lechuga.
- El sistema aeropónico puede ser usado para producir una amplia variedad de vegetales, así como también frutas de bajo peso, como lo son las frutillas. Por tanto, en caso de que por algún factor externo disminuya la demanda de lechuga, existe la posibilidad de cultivar otros productos.



- Es un sistema que ya ha sido testeado en Chile y ha logrado tener éxito, y a nivel mundial también ha logrado el éxito, a pesar de que la inversión inicial es elevada.
- Está demostrado tanto por la NASA, como por empresas a nivel mundial que el este sistema logra producir 3 veces más rápido y consumir hasta un 95% menos de agua.
- El sistema luego de ser importado, se le aplica una serie de sensores para poder visualizar los indicadores más importantes en el crecimiento de los vegetales, por tanto esto es un valor agregado que se le da al producto, permitiendo tener una importante ventaja versus los otros posibles competidores.

- **Oportunidades**

- Existe un alto nivel de inversión y postulación a fondos que van destinados a la investigación y desarrollo de nuevas y/o mejores tecnologías para cultivar, por tanto logrando obtener dichos fondos se permite seguir mejorando el sistema.
- Las nuevas tendencias alimenticias han ido aumentando progresivamente el consumo de vegetales, esto tanto por aquellos que han optado por una alimentación vegetariana o vegana, así como también por aquellos que han decidido comer de una manera más sana.
- Existe la posibilidad de entrar a competir en la producción de otros productos agrícolas, dada la versatilidad del sistema.
- Los consumidores tanto a nivel mayorista como minorista están poco a poco optando por productos de carácter más orgánicos, con menos o nada de productos químicos como lo son los pesticidas, fertilizantes y herbicidas.

7.5. Lechuga a producir - Lactuca Sativa L.

A continuación, se muestra la descripción que tiene la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA):

“La lechuga (*Lactuca sativa* L.) pertenece a la familia Asteraceae y es probablemente originaria de Asia Menor. Su uso se remonta, por lo menos, a 500 años A.C., e incluso se han encontrado indicios de su uso en antiguos escritos de la cultura egipcia que datan del 4.500 A.C.

Es la planta más importante entre las hortalizas de hojas que se consumen crudas. Desde el punto de vista alimenticio, posee un escaso valor nutritivo, con un alto porcentaje de agua; solamente presenta un aporte de fibra y de vitamina E en la dieta humana. Además de su utilización como alimento, es posible reconocer en ella otras propiedades, como por ejemplo antitusígeno, tranquilizante y somnífero, todas asociadas a los principios activos presentes, lactucina y lactupicrina.

Esta especie prefiere para su desarrollo climas frescos y húmedos. En general es resistente a bajas temperaturas en sus primeras etapas de desarrollo, aunque cercano a la época de cosecha este factor puede producir daños que reducen la calidad del producto. Las altas temperaturas producen emisiones prematuras del tallo floral, quemaduras en las hojas y mermas en la calidad y presentación del producto final.

Las variedades se agrupan en tres grupos: de hoja o de amarra (variedad crispera); repolladas o de cabeza (variedad capitata) y romanas o costinas (variedad longifolia)” (Cruz, 2002).



Figura 3 - Lechuga Milanesa. Fuente: ODEPA

En términos generales, a pesar de ser una sola especie, existe una gran variedad de tipos de lechuga. En este análisis se analizará la variedad botánica *Lactuca sativa L. var. capitata (L.) Janchen*. Esta variedad es comúnmente conocida en nuestro país como Milanesa, Francesa, Reina Mayo y Española. Respecto a esta variedad, el “Manual de producción de Lechuga” elaborado por INIA en 2017 dice lo siguiente respecto a las características principales de esta variedad:



“Variedades que forman un cogollo apretado, la forma de sus hojas suele ser ancha y corresponden a las lechugas conocidas como de amarra, mantecosas o españolas. Presentan hojas lisas, relativamente delgadas, orbiculares, anchas, sinuosas y de textura suave o mantecosa; las hojas más internas forman un cogollo amarillento al envolver las más nuevas. En general, se distinguen dos subtipos: las de verano, para cultivo al aire libre, llegan bien a la madurez y son más grandes; y las de invierno, que pueden ser cultivadas al aire libre o en invernadero, más pequeñas de tamaño y con menos llenado. Estas variedades tienen menor tamaño y son más precoces, con ciclos de entre 60 a 70 días, por lo que son los más usados para la producción en invernadero”(Gabriel Saavedra et al., 2017).

Datos de carácter productivo y de costos generalizados fueron obtenidos de las “Fichas técnicas para la Agricultura Familiar Campesina, temporada 2023-2024” elaboradas por el Instituto de Desarrollo Agropecuario, INDAP.

Esta ficha está realizada en marzo de 2023, evaluando la lechuga Milanese en el sector norte de la Región Metropolitana, en las comunas de Lampa y Colina.

Respecto a sus características de cultivo tradicional podemos mencionar lo siguiente:

- Tiempo de cultivo método tradicional: 3 meses por cosecha, 4 cosechas al año (INDAP, 2024).
- Peso: en promedio 500 gramos (G. Saavedra, 2017)
- Consumo de agua: 13 litros por lechuga (Aqua Fundación, 2019)
- Plantas por hectárea: 45.000 (INDAP, 2024).

Es necesario comentar además que según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la huella hídrica de la comida se lleva el 70% del agua que se gasta a nivel mundial. A continuación, se muestra una infografía respecto a algunos de los principales alimentos.

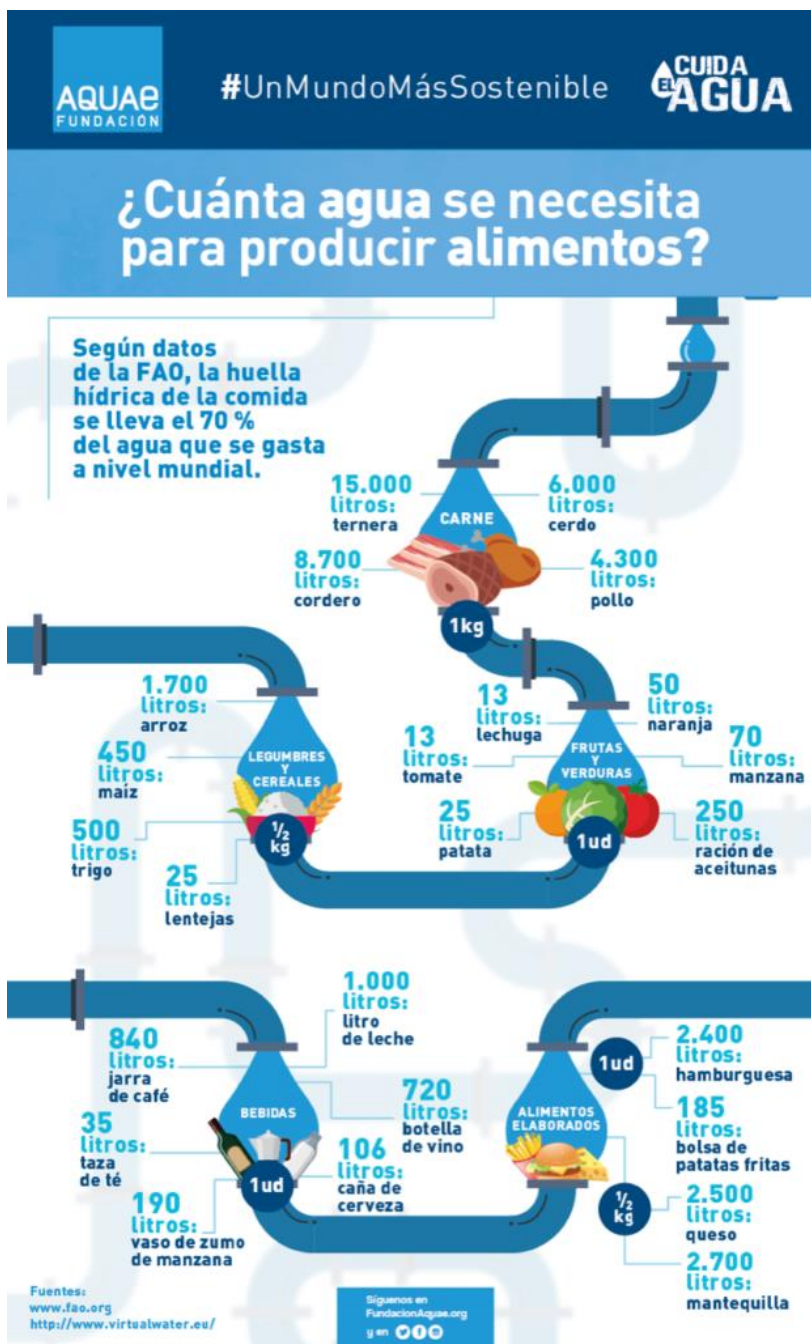


Figura 4 - Fuente: Aquae Fundación

Como es posible ver en la infografía los productos de la agroindustria, en el especial los productos cárnicos llegan a consumir una gran cantidad de agua por kilo. Es por esto que es necesario innovar en múltiples factores. En este caso, se busca revisar los sistemas de cultivo más recientes y que posean los mejores rendimientos y los más bajos consumos, en especial de agua.

7.6. Sistemas de cultivos

La agricultura a lo largo de sus miles de años ha tenido múltiples cambios que han ido enfocados en producir más y mejor. La tecnología ha sido un factor muy importante en estos cambios, permitiendo cultivar en lugares que con la agricultura tradicional no sería posible. Además, con los cambios genéticos realizados, se ha logrado poder crear cultivos con mayor resistencia al clima, obtener productos de mayor tamaño y permitir sembrar en meses en que sin estos cambios, no se producirían los cultivos.

Existen muchas formas de categorizar los diferentes tipos de cultivos que hay hoy en día. A continuación, se muestra una clasificación de los “6 sistemas de riego más eficaces para obtener cultivos de calidad” (Canamerica, 2023), en el cual además se agrega el sistema de riego por nebulización de alta presión.

1. **Sistema de riego por goteo:** Es perfecto para iniciarse en el cultivo bajo invernadero y le permite una aplicación óptima tanto de agua, como de abonos. Es un método de irrigación presurizado y localizado que le ofrece la posibilidad de automatización total o parcial del equipo. El agua se distribuye por conductos cerrados y se infiltra al pie de la planta humedeciendo la zona de influencia radicular.



Figura 5 - Fuente: Canamerica

2. **Sistema de riego por micro aspersores:** Está indicado para cultivo en invernadero de plantas, tanto de interior, como de exterior, hortalizas de baja altura y flores de pequeño

tamaño. Es una variante del riego por aspersión, con gotas más diminutas y alcance más limitado. Como máximo puede llegar a 2 metros de distancia, aunque también dependerá del tipo de boquilla que seleccione.



Figura 6 - Fuente: Canamerica

3. **Sistema de riego con difusores:** Tiene un deflector fijo y un diámetro de cobertura muy reducido, aunque en el mercado puede encontrar diferentes tipos de ángulos de salida de agua para adaptarlo a las necesidades de su proyecto agrícola. Se suele emplear para aumentar la humedad relativa en las zonas más estrechas del invernadero, es decir, en los pasillos. La presión del agua se adapta al espacio y el difusor se puede regular de manera manual para determinar el ángulo de riego, la altura del cultivo, la distancia y cualquier obstáculo que pueda afectar a la difusión del agua como, por ejemplo, su alcance.
4. **Riego subterráneo:** Este tipo de sistema está formado por tuberías que llevan pequeñas perforaciones y que se entierran a una determinada profundidad, entre 10 cm y 50 cm, en función del cultivo que tenga y el tipo de suelo. Se utiliza a menudo en los invernaderos porque actúa de forma directa sobre las raíces de las plantas.
5. **Riego hidropónico:** Es un sistema de regadío que permite cultivar sin tierra. Las raíces reciben una solución nutritiva disuelta en agua, donde los componentes se seleccionan

para adaptarlos a las necesidades de la planta y conseguir el mejor rendimiento. Hay dos tipos de riego en los cultivos hidropónicos: los que usan un medio líquido y los que utilizan sustrato:



Figura 7 - Fuente: Canamerica

- a) **Sistemas hidropónicos en medio líquido:** En este caso, los nutrientes se disuelven en el agua y puede encontrar de tres tipos de sistemas diferentes:
- i) **Hidroponía de flujo profundo o NGS.** Es una técnica de riego recirculante que se emplea a menudo para cultivo de fresas y hortalizas.
 - ii) **Sistema NFT.** Se realiza sobre canaletas de plástico por donde circula una lámina de agua que lleva disueltos los nutrientes. Este sistema mejora las labores de plantación y recolección, y optimiza la superficie de producción.
 - iii) **Bandejas flotantes.** Se utilizan láminas de poliespán para anclar las plantas, y bajo ellas hay agua en circulación. Su uso es habitual en el cultivo de lechugas hidropónicas.



Figura 8 - Fuente: Canamerica

- b) Sistemas hidropónicos con sustrato:** El cultivo se apoya en base de sustrato que puede ser de perlita, lana de roca, fibra de coco y turba. El agua se recibe mediante riego por goteo, subirrigación o exudación. Hay varias formas de presentar el sustrato, y pueden ser en saco, canaletas o macetas. Uno de los inconvenientes de este sistema es que hay que controlar que la solución no se acumule en la parte inferior del sustrato para evitar que se produzcan problemas de encharcamiento.



Figura 9 - Fuente: Canamerica

- 6. Sistemas aeropónicos:** Hay publicaciones donde se considera a la aeroponía como parte de la hidroponía, y la verdad es que, aunque en los dos modelos las plantas reciben sus nutrientes a través de una solución acuosa que va directa a la raíz, existen diferencias entre ambos. En el sistema aeropónico las raíces están suspendidas en el aire, en un

entorno protegido, y las plantas reciben el agua y los nutrientes en forma de nebulización. La raíz, al no estar en contacto constante con el agua, se oxigena mejor y tiene menos posibilidades de sufrir el ataque de agentes patógenos. En el caso de la hidroponía, la raíz está en continuo contacto con el agua y los nutrientes, y por eso es necesario tener un mayor control de la canal para que se mantenga limpia y a la temperatura ideal para conseguir un buen crecimiento de la planta. El cultivo en aeroponía se coloca en estructuras que pueden ser verticales, horizontales o inclinadas, donde la parte aérea está visible y es la que recibe la luz, y las raíces quedan en un ambiente cerrado.



Figura 10 - Fuente: Canamerica



Figura 11 - Fuente: Canamerica

7. **Sistema de riego por nebulización de alta presión:** Este es el sistema que más se utiliza en semilleros, cámaras de germinación, viveros e invernaderos para incrementar la humedad relativa del aire y disminuir la temperatura interior. El agua sale a presión pulverizada a través de los nebulizadores y forma una pequeña neblina que se mantiene en la superficie durante unos segundos. La ventaja de este tipo de sistema de riego es que el agua no tiene contacto directo con la planta, los cultivos no se deterioran y esto mejora el rendimiento de la producción. El sistema de nebulización puede automatizarse e instalarse a diferentes alturas dependiendo de las necesidades de humedad que tenga la planta.



Figura 12 - Fuente: Canamerica

El control de clima y el sistema de riego de un invernadero son dos elementos fundamentales que requieren de una inversión inicial importante, pero son necesarios si lo que busca es conseguir que sus plantas se desarrollen más rápido, su producción aumente y los productos que obtenga sean de calidad superior para poder tener más oportunidades de venta (Canamerica, 2023).

Tras la revisión de los métodos de cultivos expuestos anteriormente, la “**Aeroponía**” es la escogida para analizar su implementación a nivel industrial en Chile. Esta decisión viene dada por las impresionantes cifras de consumo de agua y rendimiento.

Como se hablaba en 2018 “Originalmente, este sistema fue desarrollado por la NASA con el objetivo de **poder cultivar en el espacio**, para que en futuras colonias espaciales las personas tengan la posibilidad de desarrollar agricultura de manera innovadora y eficiente. En 2015, la tripulación de la Estación Espacial Internacional (EEI) pudo degustar la primera lechuga sembrada de manera aeropónica y cultivada en la órbita terrestre.



Como el sistema fue exitoso más allá de las fronteras de nuestro planeta, los científicos decidieron “bajarlo” a la Tierra y comenzar a implementarlo en algunos centros de desarrollo de cultivos.

Una de las granjas aeropónicas más conocidas está en Chicago, la granja Green Sense. Manejar este sistema les ha permitido **reutilizar la mayor parte de su agua y es diez veces más eficiente que una granja tradicional**, ya que rinde 26 cosechas de lechuga, en lugar de las dos o tres de los cultivos normales” (Díaz, 2018).

Analizado lo anterior, el sistema es creado por la NASA en 2015 y llega a Chile en 2018 para testarlo en la producción de papas. Desde 2015 a 2023, ha habido una constante investigación y creación de tecnologías o mejoras a este sistema.

En Chile empresas han logrado comprobar las bondades de este sistema de cultivo. Cristián Sjögren, cofundador de “AgroUrbana”, ha expuesto que han logrado utilizar un 95% menos de agua y que en 300 metros cuadrados han logrado producir lo que se cosecha en 3 hectáreas de agricultura tradicional (Sjögren, 2021).

Por otro lado, este sistema es de tipo cerrado, vale decir que las raíces de las plantas están aisladas del exterior. Esto tiene como consecuencia **“cultivar plantas sin suelo, utilizando únicamente agua y nutrientes”** y “no requiere el uso de pesticidas ni herbicidas, que reduce significativamente el impacto ambiental del cultivo (CultiveLocal, 2021).

7.7. Motivos de decisión y ventajas

El decidir realizar el análisis incremental para cambios de tecnología de cultivos de lechugas a través de un sistema aeropónico se justifica en base a las siguientes características:

- Menor consumo de agua, llegando inclusive a reducir dicho consumo en un 95%.
- Menor uso de superficie que la agricultura tradicional y, la no utilización de pesticidas y herbicidas.
- Mayor producción por metro cuadrado y mayor cantidad de ciclos por producción.
- Actual escasez hídrica y la reducción de terrenos destinados a producción agrícola.
- La cosecha de las plantas casi no genera riesgos para esta, pues sólo se levanta el canastillo contenedor y se quita la planta.



7.8. Desventajas Aeroponía

- Al tener un sistema de agricultura tradicional en funcionamiento, realizar la migración a este sistema, requiere de un alto nivel de inversión, según la cantidad que se quiera producir.
- A pesar de sólo utilizar agua y nutrientes, este sistema usa micro aspersores encargados de irrigar las raíces y según la calidad del agua y la disolución de los nutrientes en ella, eventualmente pueden llevar a que se obstruyan dichos aspersores.
- Es un sistema que básicamente utiliza electricidad, agua y nutrientes, sin embargo, en caso de un corte del suministro eléctrico, se puede llegar a perder toda la cosecha, pues las plantas requieren de un riego en intervalos, pero durante todo el día.

Observación: Existe una serie de artículos que mencionan que la aeroponía es un tipo de cultivo hidropónico y otros que proponen que son sistemas de cultivos distintos. En el desarrollo del presente análisis, tomaremos la aeroponía como un sistema independiente.

7.9. Sistemas de aeroponía en Chile y el mundo

Tras realizar un recorrido por la web, se pudo observar la presencia de diversos sistemas aeropónicos, los cuales varían tanto en precio, tecnología como la cantidad de plantas que pueden ser producidas por torre. Existen sistemas en Chile y en el resto del mundo, siendo en general los países del primer mundo quienes han puesto el mayor esfuerzo en ir creando y mejorando sistemas.

A continuación, se muestran imágenes con sus respectivos precios de los sistemas encontrados en Chile como en el extranjero:

- AquaPlants, Chile. Precio de torre con mayor capacidad de plantas \$215.000 (\$172.000 en oferta) Link: <https://aquaplants.cl/web/>

Disponible en diferentes formatos Extensibles



Formato	Capacidad	Descripción	Precio Original	Precio Oferta
Pro	32 Almacigos	Con 32 plantines, es la mejor opción para tener el máximo beneficio en espacios reducidos.	\$215,000	\$172,000
Estándar	24 Almacigos	Una capacidad de 24 almacigos a elección, te brinda un equilibrio adecuado con mayor autonomía.	\$180,000	\$144,000
Mini	12 Almacigos	Te permite cultivar has 12 plantas. Ideal para espacios reducidos.	\$140,000	\$112,000

Figura 13 - Fuente: AquaPlants

- 8' ZipGrow Tower (50 pack), Canada. Precio por torre USD\$4200,00 – USD\$4250,00 Link: <https://zipgrow.com/product/8-zipgrow-tower-50-pack/>



Home / Shop / DIY / 8' ZipGrow™ Tower (50 Pack)

8' ZipGrow™ Tower (50 Pack)
Manufactured by ZipGrow

USD 4,200.00 – USD 4,250.00 (USD)

ZipGrow™ Towers are built to last! We back our tower housings with a **20-Year Warranty**. This tower is hung on a removable hanger and features the patented ZipGrow™ housing design and removable, reusable ZipGrow™ Matrix Media.

[GET A QUOTE](#)

Figura 14 - Fuente: ZipGrow

- GroHo Garden, Portugal. Precio de torre 120 plantas €1.299. Link: <https://grohogarden.com>

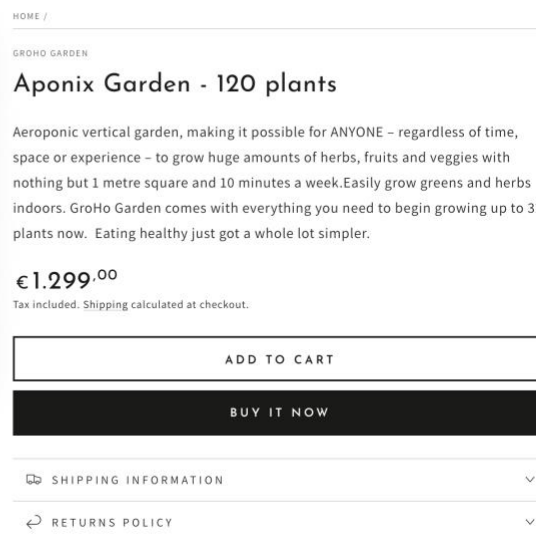


Figura 15 - Fuente: GroHo Garden

Como es posible observar, existen sistemas que son una opción para poder implementar en Chile. Respecto al sistema elaborado en el país, se descarta pues no posee un rendimiento de carácter industrial, sino más bien de uso doméstico. Respecto a los sistemas de Canadá y Portugal, se puede ver que tienen un potencial para aplicarlo a un nivel industrial, sin embargo, el precio de cada torre es muy elevado como para importarlos.

Los datos que se muestran a continuación, es lo que se propone en general tanto en los estudiado por la NASA, así como también los datos que entregan las empresas como los son ZipGrow (Canadá) y GroHo Garden (Portugal).

95% less water.
3X more per m².

Figura 16 - Fuente: GroHo Garden

Es necesario agregar además que GroHo Garden inició sus actividades en 2021 y ZipGrow en 2016 (Linkedin). Por tanto, se puede asumir que son empresas que poseen años realizando la comercialización de estos productos (e innovando en estos), lo que indica que es un mercado que posee una demanda suficiente como para mantener en pie estas empresas.



Tras evidenciar que los sistemas aeropónicos se están utilizando en el mundo, y que existen cada vez más empresas que buscan comercializar este tipo de sistemas, es que se realiza una búsqueda en las páginas de venta por mayor o industrial de China, en este caso la plataforma Alibaba (<https://www.alibaba.com>).

En esta búsqueda fue posible encontrar una serie de tipos de sistemas de cultivos, como los 6 antes mencionados. Al realizar la búsqueda de sistemas aeropónicos, se pudo encontrar una no menor cantidad de sistemas y con capacidad tanto para uso doméstico como a nivel industrial.

7.10. Sistema aeropónico a importar

Tras terminar la búsqueda y, en base al precio y sus características, es que se escoge el sistema **“Pineapple Growing Tower – Aeroponic Growing System”**, elaborado por la empresa Zhongshan Jiadi Technology Co., Ltd.

El principal motivo para escoger este sistema versus el chileno, canadiense y portugués es que posee un menor costo, la posibilidad de cultivar hasta 80 plantas por sistema y además trae consigo un sistema de riego inteligente, lo cual lo hace más viable que los otros sistemas visualizados.

- Enlace empresa: <https://zsjjiang.en.alibaba.com/minisiteentrance.html?spm=a2700.details.0.0.7a827868qyD4m3&from=detail&productId=1600303756288>
- Link producto: https://www.alibaba.com/product-detail/Greenhouse-Pineapple-tower-irrigation-automated-vertical_1600303756288.html

Es necesario mencionar que se elige la torre de 10 pisos (USD\$200), con una capacidad para 80 plantas y a cuyo valor se le agregan USD\$20 para que posea el sistema aeropónico (la torre puede funcionar tanto con hidroponía como aerponía). Dicho lo anterior, es que se llega al precio de USD\$220 por cada torre.

A continuación, se muestra una tabla con datos técnicos del sistema de torre elegido:

Precio USD	220
Pisos (8 plantas por piso)	10
Plantas por sistema	80
Consumo eléctrico (W)	24
Flujo bomba	4L/min

Tabla 2 - Datos sistema aeropónico. Fuente: (Zhongshan Jiadi Technology Co., 2023).

A continuación, se muestra una serie de imágenes correspondientes a la torre escogida:



Figura 17 - Sistema aeropónico armado, diagrama de funcionamiento del sistema y elementos clave para el funcionamiento. Fuente: (Zhongshan Jiadi Technology Co., 2023)



By setting the switch/stop time of the device, conduct humidity spraying regularly to cultivate crops grow in a reasonable environment

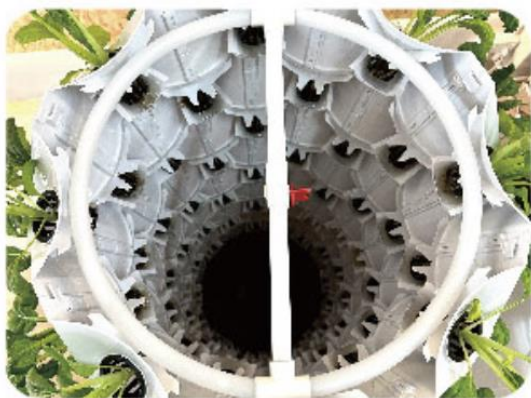


INTELLIGENT AEROPONIC PUMP

PRODUCT SPECIFICATION

Power	24W
Max. Pressure	0.58 Mpa
Rate of Flow	4L / min
Electric Current	3-4A
Voltage	12V DC

Figura 18 - Mando de control bomba inteligente y bomba inteligente. Fuente: (Zhongshan Jiadi Technology Co., 2023)



The continuously circulating water can evenly allocate to each planting cup



Flowing water makes plant roots grow healthier

Figura 19 - Vista superior del sistema y canastillo con una planta en pleno desarrollo. Fuente: (Zhongshan Jiadi Technology Co., 2023)

INSTALLATION STEPS

The installation and operation are simple, follow the instructions or the video to install it step by step

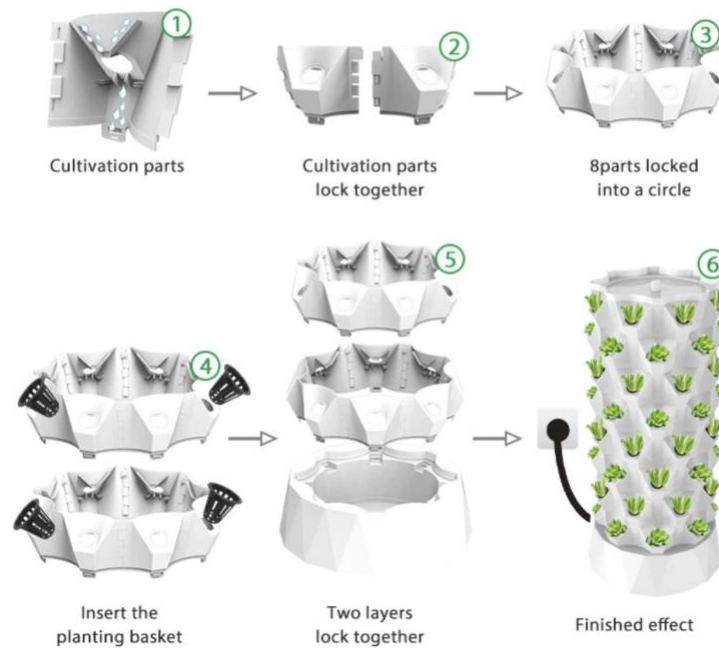


Figura 20 - Paso a paso del armado del producto. Fuente: (Zhongshan Jiadi Technology Co., 2023)



Figura 21 - Imagen de cómo se envía el sistema desarmado. Fuente: (Zhongshan Jiadi Technology Co., 2023)



7.11. Implementación de IoT

El sistema aeropónico es capaz de funcionar de manera autónoma 24/7, sin embargo, se agregará tecnología en el marco del Internet de las Cosas (IoT), con el fin de poder monitorear en tiempo real a través de una aplicación para smartphones los diversos factores de importancia para el correcto funcionamiento tanto del sistema, como del crecimiento de los cultivos.

El Internet de las Cosas (IoT), o Internet of Things en inglés, representa una innovadora red de dispositivos interconectados que se comunican entre ellos y con la nube a través de protocolos de comunicación, especialmente Internet. Este paradigma tecnológico elimina la necesidad de interacciones directas entre humanos, o entre humanos y computadoras, brindando un entorno donde los dispositivos pueden colaborar de manera autónoma para recopilar, procesar y compartir información relevante (Gillis, 2023).

Los dispositivos IoT están equipados con sensores especializados diseñados para medir una amplia gama de aspectos de la realidad, como peso, humedad, temperatura y salinidad, entre otros. Al establecer una red de comunicación eficiente con estos sensores, se habilita un monitoreo continuo de variables críticas en diversas operaciones. Esta capacidad no solo optimiza los procesos existentes, sino que también permite la toma de decisiones más informada y rápida por parte de responsables humanos o algoritmos automatizados.

La principal fortaleza del IoT radica en su capacidad para operar a nivel global, permitiendo el monitoreo remoto de señales desde cualquier rincón del planeta con acceso a Internet. Sin embargo, esta misma característica plantea una posible vulnerabilidad, ya que la falta de conectividad a Internet podría resultar en deficiencias operativas y una dependencia crítica en el sistema. A fin de superar esta desventaja, se están explorando otros protocolos de comunicación, aunque su aplicación suele restringirse a ámbitos locales, requiriendo la proximidad física a los dispositivos para acceder y visualizar la información.

Una vez que se ha establecido una red de dispositivos IoT, es posible integrar la entrega de información con su persistencia en bases de datos. Esto posibilita la realización de análisis sobre los resultados de la operación una vez concluida. Además, se pueden implementar alarmas automatizadas de funcionamiento y, de manera aún más avanzada, automatizar la operación mediante actuadores y algoritmos inteligentes. Estos últimos utilizan datos en tiempo real junto con el histórico para tomar decisiones predefinidas o aprendidas, contribuyendo significativamente a la mejora de la eficiencia y la capacidad de respuesta del sistema.



La ventaja clave de establecer una red de dispositivos IoT, complementada con la automatización de la operación mediante los datos previamente recopilados, radica en la capacidad de llevar a cabo una revisión continua del sistema las 24 horas del día, sin requerir intervención humana, excepto en situaciones que generen alarmas. Al aplicar este enfoque a la producción de frutas y verduras, donde el crecimiento de las plantas se desarrolla de manera continua a lo largo de su ciclo de vida, una red integrada de sensores y actuadores permite mantener las condiciones ambientales y operativas lo más cercanas posible a los niveles óptimos necesarios para una cosecha exitosa. Este sistema automatizado garantiza un monitoreo constante y la capacidad de ajustar las variables pertinentes de manera eficiente, maximizando así el rendimiento y la calidad del cultivo.

Para el sistema de torre aeropónica propuesto, se plantea el uso de los siguientes equipos electrónicos:

- **Medidor de temperatura y humedad ambiental.**
- **Medidor de PH, salinidad y temperatura** para el agua del reservorio.
- **Medidor ultrasónico** (sensor de proximidad) para medir nivel de agua en el reservorio.
- **Arduino Mega**, como microprocesador principal para los sensores del reservorio.
- **Módulo Bluetooth** para recibir y transformar la información LoRA en mensaje de Internet.

Dependiendo del sensor, este enviará su información directamente mediante internet o utilizará LoRA, un protocolo de envío de datos que requiere un Gateway para transmitir los datos a Internet. Independiente del método de transmisión, los datos llegarán a un broker MQTT, un sistema de publicación/suscripción que permitirá a los diferentes interesados de los datos poder leerlos (algoritmos, bases de datos, sistemas de alarmas).

Los datos guardados en base de datos serán presentados posteriormente en una aplicación o página web, para permitir a los usuarios ser conscientes del estado en tiempo real de las plantas.

A continuación, se muestran imágenes de los sensores necesarios para aplicar el IoT al sistema aeropónico:

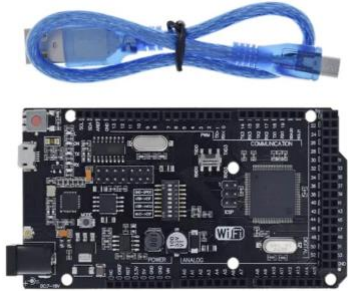
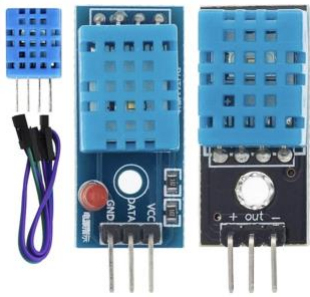
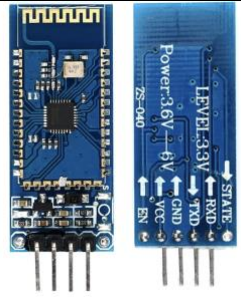
Nombre sensor	Imagen sensor	Nombre sensor	Imagen sensor
Arduino Mega		Medidor de PH	
Sensor humedad y temperatura		Sensor de proximidad	
Módulo Bluetooth		Sensor Salinidad	

Figura 22 - Sensores IoT. Fuente: (Elaboración propia)

8. Detalle Análisis Técnico Económico

A continuación, se muestra una serie de supuestos y cifras que son consideradas al realizar los análisis de los sistemas de cultivo.

8.1. Supuestos

El análisis que se presenta a continuación está enfocado en analizar el núcleo de lo necesario para que se pueda producir lechugas tanto por el método de cultivo tradicional, como por el sistema aeropónico. Esto quiere decir, que muchos costos, que a pesar de que afectan, no forman parte de núcleo del negocio. Por tanto, costos ligados a la formación de la sociedad, obtención de permisos, marketing, instalaciones para los trabajadores, transporte de insumos, entre otros costos que no influyen directamente en el proceso de cultivo y cosecha no son evaluados.

Se busca analizar si a un empresario que quiere entrar a la industria agrícola a producir lechugas a nivel industrial, le conviene realizar la inversión desde cero en un sistema de cultivo tradicional o en un sistema de cultivo aeropónico.

Para ello, se realizará el análisis de toda la inversión necesaria que se requiere para poder producir lechugas, tanto para el caso de cultivo tradicional como aeropónico.

El punto de comparación será el siguiente:

“Cuánto y en qué debo invertir para suplir la producción que genera una hectárea de cultivo tradicional, a través de sistemas de cultivo aeropónico”

Se tendrá en consideración los siguientes supuestos:

- Se cultivará Lechuga Milanese en la región metropolitana de Santiago, en el sector norte, comunas de Lampa y Colina. Este sector actualmente es usado para cultivo de lechuga. Y además se encuentra cerca de las zonas de mayor consumo (Gran Santiago).
- El terreno en que se cultivará será arrendado.
- En el caso de los sistemas aeropónicos, se utilizará el mismo terreno, pero arrendando sólo los metros cuadrados necesarios. Se construirá un radier y se comprará un invernadero para proteger tanto el cultivo como las máquinas de las inclemencias del tiempo.



- Las lechugas a través del sistema tradicional se regarán cada 5-6 días (Japon Quintero, 1977).
- Para el cultivo tradicional, el agua se obtendrá a través de un pozo con 60 metros de profundidad (Sondagua Ingenieros Civiles, 2021). Estos metros fueron estimados en base a la cantidad de agua que se requerirá y en base a la profundidad en que se encuentra agua en las napas subterráneas en Santiago.
- La bomba de agua a utilizar fue obtenida a través del análisis de los tipos de bomba existentes y luego a través del análisis de sus curvas de rendimiento. Se escoge una bomba sumergible, pues es el tipo más apto para pozos profundos (Pedrollo S.p.A, 2012).
- El agua que se utilizará en el sistema aeropónico será agua potable con el fin de tener un agua con un menor nivel de dureza que la que se obtiene desde el agua proveniente de napas subterráneas
- En el caso de la importación del sistema de cultivo aeropónico desde China, tanto el envío y todos los trámites relacionados estarán a cargo de la empresa WS Cargo (<https://wscargo.cl/>).
- Se analizará el Flujo de caja puro en ambos tipos de cultivo.

8.2. Indicadores económicos y otros valores utilizados

- **Dólar:** \$910,28 observado el 31/10/2023 (SII)
- **UF:** \$36.388,07 observada al 31/10/2023 (SII)
- **Diesel:** \$874,86 observado al 26/10/2023 (ENAP)
- **Cargo fijo electricidad:** \$800
- **Costo kWh industrial:** \$110
- **Cargo fijo agua:** \$1.300
- **Costo m³ agua:** \$1.187
- **Precio promedio mensual de octubre para lechuga \$/unidad (con IVA):** \$580

Fuente:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoibWZlMjZkdGtMDdmMS00NTNhLTk1OD>



[AtY2I2ZTFhNWUwMTMyIiwidCI6IjMzYjdmNzA3LTZlNmYtNDJkMi04ZDZmLTk4YmZmOWZiNWZhMCIslmMiOjR9](https://www.indap.gob.cl/sites/default/files/2023-06/lechuga-milanesa2023.xlsx)

8.3. Cifras cultivo tradicional a suplir con aeropónico

Estas cifras fueron obtenidas de las Fichas Técnicas del Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP). Ficha de Lechuga milanesa producida en región metropolitana de Santiago.

Fuente: <https://www.indap.gob.cl/sites/default/files/2023-06/lechuga-milanesa2023.xlsx>

- Rendimiento (unidades/hectárea): 45.000
- Tiempo de cada ciclo productivo de lechuga: 90 días
- Ciclos por año: 4
- Consumo de agua por lechuga: 13 litros

A continuación, se muestran los costos y cálculos asociados a la parte técnica de ambos análisis. Los valores con fondo negro y letras blancas son los valores en UF que pasan a los flujos de caja.



9. Análisis Cultivo Tradicional

9.1. Ingresos

Los datos de la siguiente tabla provienen de una Ficha Productiva para la AFC, elaborada por INDAP, esto en base a la producción de lechuga milanesa en Lampa-Colina en marzo de 2023.

Ingresos	
Valor unitario	\$580
Lechugas producidas	45000
Total en pesos	\$ 26.100.000
Total en UF	717,27

Tabla 3 - Ingresos obtenidos por la venta de lechugas milanesas

9.2. Inversión en maquinaria

La inversión en maquinaria está enfocada en iniciar un sistema de cultivo tradicional **desde cero**, sin embargo, estas máquinas son suficientes para poder cultivar una mayor cantidad de hectáreas.

Maquinaria a comprar	CLP con IVA
Tractor 95HP	\$ 49.861.000
Aradura	\$ 7.690.000
Rastraje	\$ 10.330.950
Aplicación Fertilizante	\$ 2.543.800
Sembradora	\$ 5.134.635
Cosechadora	\$ 3.600.000
Melgadura	\$ 1.080.000
Carro coloso tractor	\$ 2.990.000
Bomba Pedrollo 4SR8M-13 2,2kW 3HP	\$ 1.161.135
Manga riego	\$ 120.000
Acequiadora	\$ 119.000
Total maquinaria	\$ 84.630.520
Total en UF	2325,78

Tabla 4 - Listado de maquinarias necesarias para iniciar un sistema de cultivo tradicional

9.3. Obras

Las obras mencionadas a continuación, son las básicas para poder operar un sistema de cultivo tradicional. Estas obras son para poder obtener agua para cultivar.

Obras a realizar	CLP con IVA	UF
Instalación eléctrica	\$ 1.400.000	38,47
Instalación agua	\$ 1.000.000	27,48
Construcción pozo 60 metros, 5 pulgadas (150 mil x metro)	\$ 9.000.000	247,33
Instalación bomba	\$ 1.500.000	41,22
Total obras	\$ 12.900.000	354,51

Tabla 5 - Obras necesarias para poner en marcha el sistema de cultivo tradicional

9.4. Detalle uso de tractor

Uso tractor	
Días de uso tractor	30
Hora uso tractor total	58
Consumibles por hora	\$ 133
Mantenición y reparación por hora	\$ 6.233
Petróleo	0,16 L*HP*h
HP Tractor	95
Combustible x hora	\$ 13.298
% Mantenición y reparación por hora del valor de compra	0,0125%
Costo mantenición y reparación por hora	\$ 6.233
Minutos por hectárea de uso tractor	116 minutos
Hora por día por hectárea de uso tractor	1,93
Total Consumibles tractor	\$ 7.729
Total Mantenición y reparación	\$ 361.492
Total combustible	\$ 771.277
Costo total uso tractor por ciclo	\$ 1.140.497
Costo total uso tractor por ciclo UF	31,34

Tabla 6 - Datos relacionados al uso, mantención y reparación del tractor. Fuente: INIA.

Consumibles tractor \$/hora	
Aceite motor	55
Aceite caja y diferencial	39
Grasa	7,75
Filtro aceite	6
Filtro combustible	17,5
Filtro hidráulico	8
Total consumibles \$/hora	\$ 133

Tabla 7 - Consumibles tractor en pesos por hora. Fuente: INIA.

9.5. Detalle de insumos de cultivo

Insumos cultivo	CLP con IVA	UF
PLANTINES	\$ 1.540.000	43,29
Fertilizante		
Urea	\$ 237.600	6,68
Fosfato monoamónico	\$ 133.700	3,76
Nitrato de Calcio	\$ 71.100	2,00
Nitrato de potasio	\$ 297.000	8,35
Fungicida		
Bellis	\$ 295.064	8,29
Insecticida		
Gladiador	\$ 38.896	1,09
Pirimor	\$ 198.858	5,59
Vertimec	\$ 44.562	1,25
Total insumos agrícolas	\$ 2.856.780	80,30

Tabla 8 - Insumos cultivo tradicional. Fuente: Fichas Productivas para la AFC – INDAP

9.6. Detalle de mano de obra necesaria

Mano de Obra	CLP	UF
Tractorista Licencia D 3 meses	\$ 1.800.000	49,47
Paleo acequia	\$ 30.000	0,84
Riego pre-trasplante/siembra	\$ 60.000	1,69
Trasplante/siembra	\$ 510.000	14,34
Riegos (4)	\$ 90.000	2,53
Aplicación fertilizante	\$ 30.000	0,84
Limpia manual	\$ 510.000	14,34
Aplicación pesticidas	\$ 30.000	0,84
Riegos (4)	\$ 120.000	3,37
Aplicación pesticidas (2)	\$ 90.000	2,53
Riegos (3)	\$ 120.000	3,37
Corta embalaje y carga	\$ 1.920.000	53,97
Técnico agrícola 3 meses	\$ 2.700.000	74,20
Total mano de obra	\$ 8.010.000	222,33

Tabla 9 - Costos asociados a mano de obra cultivo tradicional. Fuente: Fichas Productivas para la AFC – INDAP

9.7. Costos extra y cálculos consumos energéticos

Varios	
Frecuencia riego (días)	5-6
Cantidad de riegos por ciclo	15
Cantidad de agua (litros)	585000
Litros por riego	39000
Litros por hora	14625
Bomba L/min	91,4
Tiempo bomba x riego (min)	160
Horas riego (horas/riego)	2,67
Consumo W	2200
Consumo kWh x riego	5,87
Total consumo kWh	88
Metros necesarios arriendo 1Há	10000
Precio x m ² arrendado	\$ 167
Caja platanera 20 lechugas x caja	\$ 900.000
Costo electricidad por ciclo	\$ 12.880
Costo arriendo 1Há	\$ 1.666.667
Total caja platanera UF	24,73
Costo arriendo 1Há UF	45,80
Costo electricidad UF	0,35

Tabla 10 - Costos extra y cálculos consumos energéticos. Fuente: Elaboración propia



10. Análisis Cultivo Aeropónico

10.1. Ingresos

Es necesario mencionar que los ingresos son equivalentes a los del cultivo tradicional, pues se mantiene el valor unitario de venta por lechuga.

Ingresos	
Valor unitario	\$ 580
Lechugas producidas	45000
Total en pesos	\$ 26.100.000
Total en UF	717,27

Tabla 11 - Ingresos obtenidos por la venta de lechugas milanesas. Fuente: Fichas productivas para la AFC – INDAP

10.2. Producción a suplir

Para suplir la cantidad de lechugas (45.000) producidas por el sistema de cultivo tradicional, se requiere un total de 188 torres.

Información producción a suplir	
Producción por Ha tradicional	45000
Producción por torre al mes	80
Cosechas por torre x ciclo tradicional	3
Cantidad de torres necesarias	188
Agua x lechuga tradicional (L)	13
Agua x lechuga aeroponía (L)	0,8
Periodo producción tradicional	Trimestre
Días producción aeropónica (30 por cosecha)	90
Se reparte la producción en 3 cosechas mensuales	3
Días producción tradicional	90
Ciclos	4

Tabla 12 - Información sobre la producción a suplir a través de sistema de cultivo aeropónico. Fuente: Elaboración Propia

10.3. Datos técnicos torre aeropónica

La torre aeropónica corresponde a Pineapple Growing Tower – Aeroponic growing system, elaborada en China por Zhongshan Jiadi Technology Co.

Datos técnicos torre aeropónica	
Peso Kg	17,5
Dimensiones caja envío	
Ancho cm	0,68
Longitud cm	0,68
Alto cm	0,43
Volumen caja m ³	0,199
Base caja m ²	0,4624
Diámetro producto armado cm	67
Altura cm	170
Medidas	
m ³ totales a importar	37,4
m ² usado x máquina instalada	0,7
m ² totales para suplir producción	131,6
Consumo energético torre	
Bomba L/min	4
Consumo W (bomba + IoT)	28
Consumo kWh x día	0,336

Tabla 13 - Datos técnicos torre aeropónica. Fuente: (Zhongshan Jiadi Technology Co., 2023)

10.4. Costos previos a importación torre aeropónica y sensores IoT

En la siguiente tabla, se muestra el valor en pesos chilenos del costo en China tanto de la torre como los sensores para la implementación del IoT.

Datos Torre Aeroponía + IoT	Precio CLP	Precio unitario UF
Torre acuapónica 10 pisos (80 plantas) USD\$220	\$ 200.262	5,50
Arduino mega	\$ 18.600	0,51
Sensor humedad y temperatura	\$ 1.764	0,05
Módulo BT	\$ 1.764	0,05
Medidor PH	\$ 12.720	0,35
Sensor de proximidad	\$ 1.764	0,05
Sensor de salinidad	\$ 3.600	0,10

Tabla 14 - Costos de torre y sensores IoT antes de importar. Fuente: Elaboración Propia

10.5. Datos importación (WS Cargo)

La importación será realizada por WS Cargo, empresa dedicada a la importación de productos y que se encarga de todos los trámites asociados a esto.

Datos importación	
Costos importación (x m³)	155
Container m³	60
Cantidad de container	0,62

Tabla 15 - Costos WS Cargo asociados. Fuente: Elaboración propia



En China

- ✓ Recepción de carga en puertos de China
- ✓ Confirmación de recepción de carga en China
- ✓ Almacenaje en bodega en China
- ✓ Consolidación de contenedor junto a otras cargas
- ✓ Agente de aduanas
- ✓ Documentación de aduanas
- ✓ Gastos de aduana
- ✓ Certificado de origen para hacer valer el TCL en Chile (sólo para el servicio por M3 y costo de productos superior a \$1.000 USD total)
- ✓ Transporte marítimo con naviera
- ✓ Seguro de carga de USD 1.000 por M3



En Chile

- ✓ Agencia de Aduanas
- ✓ Documentación de aduana
- ✓ Trámite de pago de IVA importación
- ✓ Gastos de aduana
- ✓ Gastos portuarios
- ✓ Gastos por eventual aforo físico
- ✓ Desconsolidación
- ✓ Almacenaje en Chile
- ✓ Transporte a bodega en Santiago
- ✓ Transporte gratis dentro de la provincia de Santiago
- ✓ Atención personalizada de un ejecutivo
- ✓ Seguro de carga de USD 1.000 por M3

Figura 23 - Listado de costos y trámites realizados por WS Cargo. Fuente: www.wscargo.cl/tarifas/

10.6. Costo total sistema con todos los gastos de importación e impuestos

Costos sistema importado		
Costo torres	\$ 45.209.037	1242,4
Costo total flete + otros	\$ 5.274.130	144,9
Ad valorem 6%	\$ 3.028.990	83,2
IVA 19%	\$ 10.167.310	279,4
Total sistema importado	\$ 63.679.467	1750,0
Valor unitario torre	\$ 338.721	9,3

Tabla 16 - Costos totales del sistema con todos los impuestos. Fuente: Elaboración propia

10.7. Costo obras y aplicación móvil

Obras y aplicación	
Radier costo 240 m ²	\$ 5.300.000
Radier costo m ²	\$ 22.083
Costo radier	\$ 2.906.167
Invernadero costo 100 m ²	\$ 1.350.000
Invernadero costo m ²	\$ 13.500
Costo invernadero	\$ 1.776.600
Instalación eléctrica	\$ 1.400.000
Instalación agua potable	\$ 1.000.000
Desarrollo de aplicación	\$ 1.000.000
Costo radier UF	79,86
Costo invernadero UF	48,82
Instalación eléctrica UF	38,47
Instalación agua potable UF	27,48
Desarrollo de aplicación UF	27,48

Tabla 17 - Costos de obras necesarias para poner en funcionamiento el sistema aeropónico. Fuente:
Elaboración propia

10.8. Arriendo terreno, servicios básicos y soporte aplicación IoT

La cantidad de metros necesarios para poder instalar las torres 188 torres es 131,6 metros cuadrados. Esto debido a que cada torre instalada y para que funcione correctamente, utiliza un total de 0,7 metros cuadrados.

Arriendo	
Precio x m ² arrendado	\$ 167
Costo total arriendo	\$ 65.800
Costo total arriendo UF	1,81

Servicios básicos y soporte aplicación	
Agua m ³	36
Electricidad kWh	\$ 5.685
Costo agua total trimestre	\$ 46.632
Costo electricidad trimestre	\$ 627.763
Soporte aplicación por ciclo	\$ 1.500.000
Costo agua total trimestre UF	1,28
Costo electricidad trimestre UF	17,25
Soporte aplicación por ciclo UF	41,22

Tabla 18 - Costos de arriendo terreno, servicios básicos y soporte aplicación IoT. Fuente: Elaboración propia

10.9. Insumos, otros y mano de obra

Insumos y otros	
Sponge cubes 100 holes (porta semillas)	1513
Sponge cubes c/u	15,13
Sponge cubes total 45.000 unidades	\$ 680.850
Semillas (25.000 x ítem)	\$ 193.500
Porcentaje de semillas que no germinan	4%
Total semillas necesarias (45.875)	\$ 362.813
Nutrientes total (rinde 5.000 litros c/u)	\$ 205.200
Caja platanera 20 lechugas x caja	900000
Costo mantenimiento mensual máquinas	112800
Sponge cubes total 45.000 unidades UF	18,71
Total semillas necesarias (45.875) UF	9,53
Nutrientes total (rinde 5.000 litros c/u) UF	5,64
Caja platanera 20 lechugas x caja	24,73
Costo mantenimiento mensual máquinas	3,10

Tabla 19 - Insumos y otros costos asociados al sistema de cultivo aeropónico. Fuente: Elaboración propia

Mano de obra	
Técnico agrícola x producción	\$ 2.700.000
Cosechador x producción	\$ 1.500.000
Técnico agrícola x producción UF	74,20
Cosechador x producción UF	41,22

Tabla 20 - Costos de mano de obra sistema aeropónico. Fuente: Elaboración propia

Es necesario mencionar que gracias a que la aeroponía tiene la capacidad de consumir hasta un 95% menos de agua y producir 3 veces más rápido que la agricultura tradicional es que sólo se necesitan 188 torres. Si no tuviera estas características, vale decir que tuviera el mismo tiempo de producción que el sistema tradicional, se necesitaría un total de 563 torres, lo cual pasaría de requerir un total de 1.972 UF a 5.720 UF.

Dichos estos números, al invertir 5.720 UF, equivaldría a un 213% de la inversión del cultivo tradicional (2.680 UF).



11. Estudio económico y financiero

El estudio Económico y Financiero corresponde a la última etapa del análisis de viabilidad, el objetivo de esta etapa es ordenar y sistematizar la información de carácter financiero que proporcionaron las etapas anteriores, de modo de evaluar los antecedentes para determinar la rentabilidad del negocio.

Para evaluar la rentabilidad del proyecto, se realizará un análisis de los indicadores VAN, TIR y Payback bajo un horizonte de tiempo de 5 años.

Finalmente, se realizará un análisis de sensibilización a través del método de simulación de Montecarlo, utilizando el complemento de Microsoft Excel, Oracle Crystal Ball para con esto por analizar qué tan sensible es el negocio en base a las variables simuladas.

11.1. Tasa de descuento.

Denota la mínima rentabilidad del proyecto exigida por el inversionista. Actualiza los flujos de dinero durante el horizonte del proyecto, es igual a la tasa de retorno que el inversor obtendría en un proyecto de riesgos e inversiones similares.

11.2. Valor Actual Neto (VAN)

Esto actualiza a tiempo presente todos los flujos de un proyecto. Es uno de los indicadores económicos más utilizados. Para decidir se analiza el valor, en el cual si el $VAN > 0$, se recomienda realizar el proyecto, mientras que si se tiene un $VAN < 0$, no es recomendable la ejecución del proyecto.

La fórmula que permite calcular su valor es la siguiente:

$$VAN = \sum_{j=0}^n \frac{FN_j}{(1+i)^j}$$



En donde:

- FN_j : Flujo neto en el periodo j
- i : Tasa de interés efectiva en el periodo
- n : Número de periodos.

11.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Determina el rendimiento del proyecto, el valor obtenido del indicador TIR se debe contrastar con la tasa de descuento, en donde, si la TIR es mayor que la tasa de descuento, indica que el rendimiento de proyecto es favorable, atractivo y rentable en el mediano y corto plazo, por lo tanto, se recomienda la realización de este, mientras que si el valor TIR obtenido es menor que la tasa de descuento, se recomienda no ejecutarlo, pues el rendimiento del proyecto estará bajo el límite que lo vuelve rentable.

11.4. Periodo de Recuperación (PAYBACK)

Determina el tiempo que tarda obtener el retorno de una inversión. Si el valor del Payback obtenido es mayor a la cantidad de años establecidos en el horizonte de evaluación, esto indica que el proyecto no generará los ingresos suficientes para retornar la inversión, es decir, no es una alternativa rentable de realizar, mientras que, si el Payback es menor al horizonte de evaluación, esto indicará que el proyecto retornará la inversión antes de que finalice el periodo de ejecución del proyecto, lo cual será un importante indicador para decidir si invertir o no en el proyecto.

11.5. Escudo Fiscal

Se compone de aquellos gastos que permiten disminuir los impuestos a pagar por la empresa producto de que el proyecto al no tener financiamiento de terceros no cuenta con el escudo fiscal entregado por los intereses. Los escudos fiscales que afectarán el desarrollo del proyecto son los siguientes:

- **Depreciación:** Representa la pérdida de valor de un activo con el paso del tiempo. Existen dos métodos de depreciación; lineal en donde el activo se depreciará la misma proporción en cada uno de los años de su vida útil, y acelerada, en donde se reduce a un tercio los años de vida útil de los activos.
- **Pérdidas del periodo anterior:** Es cuando en el periodo anterior se obtuvieron pérdidas financieras, estas se arrastran hacia el periodo siguiente, obteniendo de esta forma una reducción en la base imponible.

11.6. Análisis de Sensibilidad

Permite determinar cuál es la variación del valor del proyecto ante una variación de alguna de sus variables claves, manteniendo el valor de las demás constantes, suponiendo independencia entre las variables críticas del proyecto. Realizar un análisis de sensibilidad permitirá facilitar la toma de decisiones. Los parámetros estudiados, serán seleccionados según su importancia y aporte en términos de costos, para saber qué tan sensibles son para modificar el resultado del proyecto.

11.7. Observación importante

- La tasa de descuento del 11% fue obtenida de una noticia del Diario Financiero DF, del día 17-10-2022, en la cual se expone que la tasa de descuento para proyectos agrícolas va entre un 9% y 11% (Troncoso, 2022).
- Las cifras serán evaluadas en UF.



11.8. Flujo de caja sistema tradicional

Ingreso Tradicional 1 Ha (UF)	717
Ciclos al año	4
Valor UF 31/10	\$ 36.388

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos Operacionales		2.869	2.869	2.869	2.869	2.869
Costo Operacional MO		889	889	889	889	889
Costo Operacional MA		127	127	127	127	127
Costo Operacional Insumos		420	420	420	420	420
Utilidad Operacional		1.433	1.433	1.433	1.433	1.433
Gastos Arriendo Terreno		183	183	183	183	183
Otros Gastos - depreciación		-291	-291	-291	-290	-290
Pérdidas Ejercicio Anterior						
Utilidad Antes Impuestos		1.325	1.325	1.325	1.326	1.326
Impuesto	0	358	358	358	358	358
Utilidad Después Imp.	0	967	967	967	968	968
Pérdida Ejercicio Anterior			0	0	0	0
Depreciación		291	291	291	290	290
Recuperación del IVA		428	0	0	0	0
Inversión Activos Depreciables	-2.680					
Inversión Capital Trabajo						
Recuperación Capital de Trabajo						
Valor de Desecho						
Imprevistos						
Flujo Caja	-2.680	1.686	1.258	1.258	1.258	1.258
Financiamiento CP						
Financiamiento LP						
Flujo Caja Acumulado	-2.680	-994	264	1.523	2.781	4.039

Tasa descuento	11,00%
-----------------------	---------------

Valor Presente Total	2.356
TIR TOTAL	44,37%
Payback	4

Payback		
AÑO	Flujo de Caja	Saldo
0	-2.680	-2.680
1	-994	-3.674
2	264	-3.410
3	1.523	-1.887
4	2.781	894
5	4.039	4.933



11.9. Flujo de caja sistema aeropónico

Ingreso Tradicional 1 Ha (UF)	717
Ciclos al año	4
Valor UF 31/10	\$ 36.388

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos Operacionales		2.869	2.869	2.869	2.869	2.869
Costo Operacional MO		462	462	462	462	462
Costo Operacional MA		251	251	251	251	251
Costo Operacional Insumos		234	234	234	234	234
Utilidad Operacional		1.922	1.922	1.922	1.922	1.922
Gastos Arriendo Terreno		7	7	7	7	7
Otros Gastos - depreciación		-612	-612	-612	-13	-13
Pérdidas Ejercicio Anterior						
Utilidad Antes Impuestos		1.317	1.317	1.317	1.916	1.916
Impuesto	0	355	355	355	517	517
Utilidad Después Imp.	0	961	961	961	1.399	1.399
Pérdida Ejercicio Anterior			0	0	0	0
Depreciación		612	612	612	13	13
Recuperación del IVA		315	0	0	0	0
Inversión Activos Depreciables	-1.972					
Inversión Capital Trabajo						
Recuperación Capital de Trabajo						
Valor de Desecho						
Imprevistos						
Flujo Caja	-1.972	1.888	1.573	1.573	1.411	1.411
Financiamiento CP						
Financiamiento LP						
Flujo Caja Acumulado	-1.972	-84	1.489	3.063	4.474	5.885

Tasa descuento	11,00%
-----------------------	---------------

Valor Presente Total	3.923
TIR TOTAL	82,03%
Payback	3

Payback		
AÑO	Flujo de Caja	Saldo
0	-1.972	-1.972
1	-84	-2.056
2	1.489	-567
3	3.063	2.496
4	4.474	6.970
5	5.885	12.855

11.10. Análisis de sensibilidad sistema tradicional

El análisis de sensibilidad del sistema tradicional se llevó a cabo a través del método de sensibilización de Montecarlo. Se hicieron suposiciones de 8 variables y 1 previsión (VAN). Se realizaron un total de 10.000 pruebas.

Las variables evaluadas fueron:

Suposiciones	Distribución	Valor mínimo	Valor máximo
Tasa de descuento	Triangular	7%	15%
Dólar	Triangular	\$800	\$1.000
Litros de agua por lechuga (tradicional)	Triangular	10	16
Precio promedio por lechuga (Desv. Est. \$100)	Normal	480	680
Días de producción tradicional por ciclo	Triangular	80	100
Cantidad de lechugas producidas por hectárea tradicional	Triangular	40.000	50.000
Diesel	Triangular	\$750	\$1.000
UF	Triangular	\$33.000	\$40.000

Tabla 21 - Variables sensibilizadas método de sensibilización de Montecarlo para cultivo tradicional.

11.10.1. Sensibilización VAN=0 UF

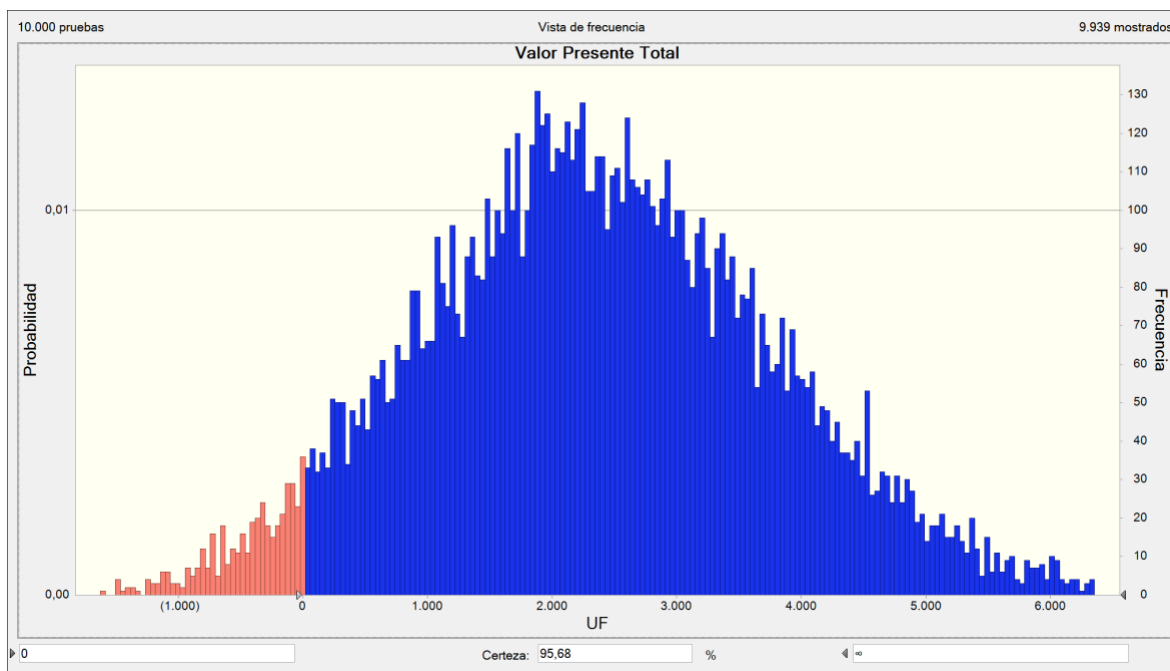


Figura 24 - Gráfico sensibilización VAN=0 UF – Cultivo tradicional. Fuente: Elaboración propia

Del gráfico derivado de la simulación, es posible observar que con un 95,68% de certeza el VAN será mayor a 0. Por tanto, es posible aseverar que el proyecto tiene una alta probabilidad de éxito y por tanto se recomienda ejecutarlo.

11.10.2. Sensibilización VAN=2.000 UF

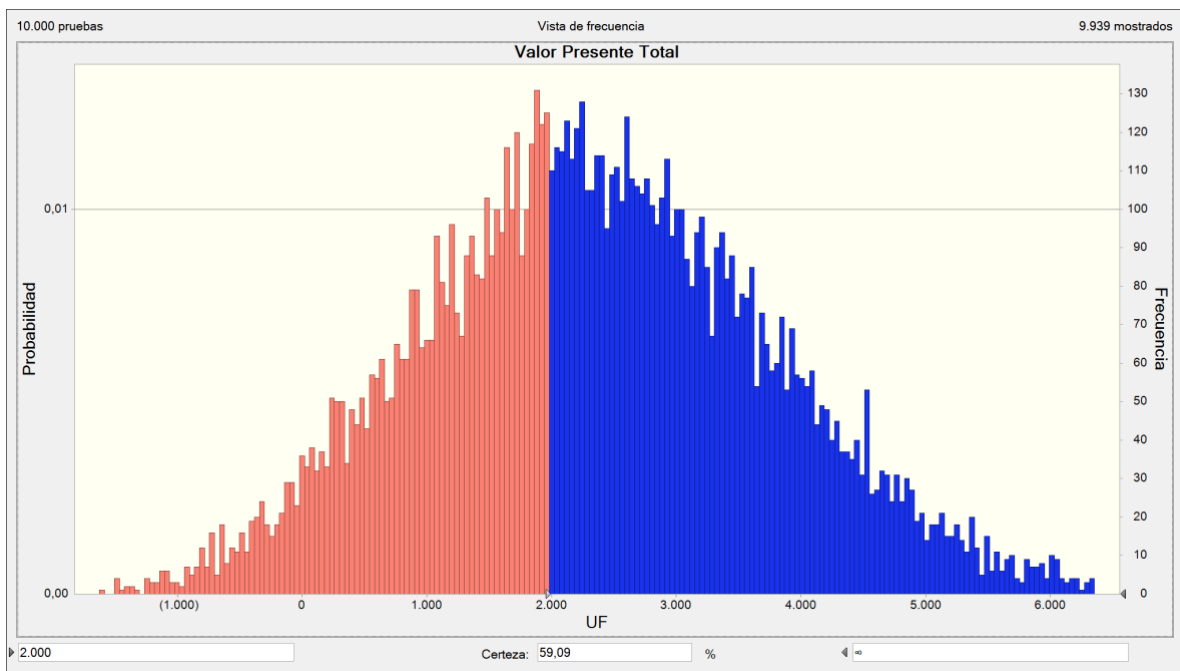


Figura 25 - Gráfico sensibilización VAN=2.000 UF – Cultivo tradicional. Fuente: Elaboración propia

De este gráfico es posible observar que al exigirle un VAN de 2.000 UF, el porcentaje de certeza ya se acerca al 50%, por tanto es necesario evaluar otros indicadores o realizar cambios en la estructura de costos.

11.10.3. Sensibilización VAN=4.000 UF

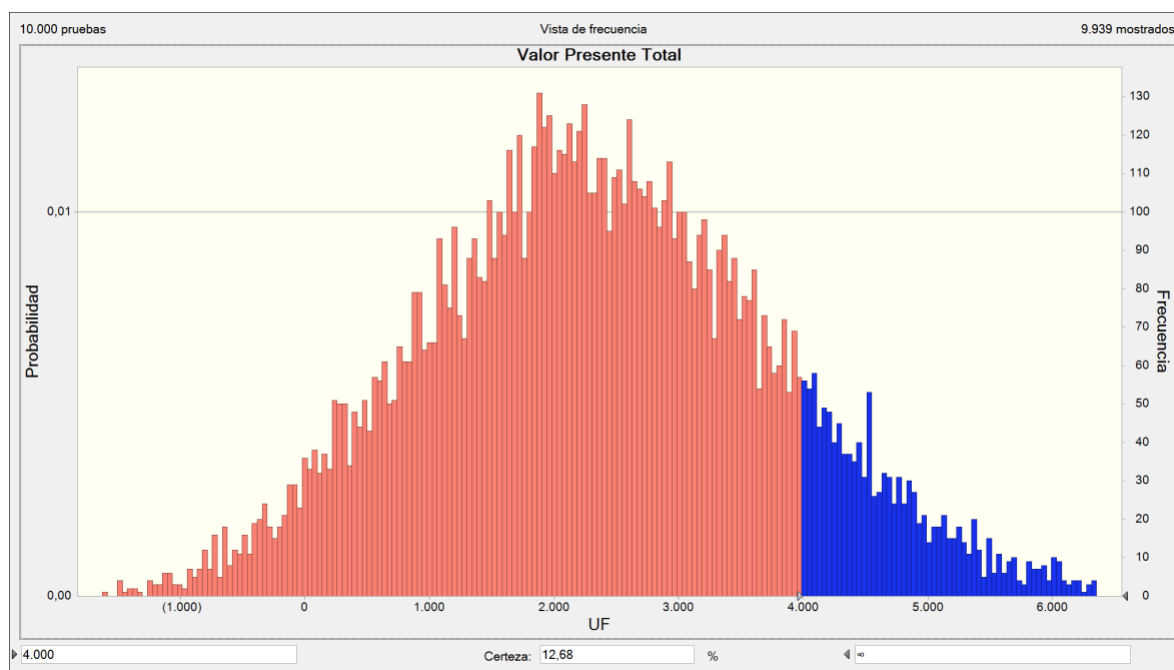


Figura 26 - Gráfico sensibilización VAN=4.000 UF – Cultivo tradicional. Fuente: Elaboración propia

En este gráfico ya es posible observar que al exigirle un VAN de 4.000UF, el porcentaje de certeza baja abruptamente a un 12,68%, por tanto es motivo suficiente como para decidir no ejecutar el proyecto si ese es el valor actual neto que se busca obtener.

11.11. Análisis de sensibilidad sistema aeropónico

El análisis de sensibilidad del sistema tradicional se llevó a cabo a través del método de sensibilización de Montecarlo. Se hicieron suposiciones de 12 variables y 1 previsión (VAN). Cada análisis de sensibilidad se ejecutó realizando un total de 10.000 pruebas.

Las variables evaluadas fueron:

Suposición	Distribución	Valor mínimo	Valor máximo
Tasa de descuento	Triangular	7%	15%
Dólar	Triangular	\$800	\$1.000
Consumo eléctrico (W)	Triangular	15	50
Litros de agua por lechuga (aeroponía)	Triangular	0,6	1,2
Precio promedio por lechuga (Desv. Est. \$100)	Normal	\$480	\$680
Costo mantenimiento (1 al mes x máquina)	Triangular	\$150	\$250
Precio kWh	Triangular	\$100	\$130
Cantidad de lechugas producidas por hectárea tradicional	Triangular	40.000	50.000
Días de producción tradicional por ciclo	Triangular	80	100
Costo metro cúbico WS Cargo	Triangular	USD\$ 125	USD\$ 175
UF	Triangular	\$33.000	\$40.000
Precio torre aeropónica	Triangular	USD\$ 200	USD\$ 250

Tabla 22 - Variables sensibilizadas método de sensibilización de Montecarlo para cultivo aeropónico.

11.11.1. Sensibilización VAN=0 UF

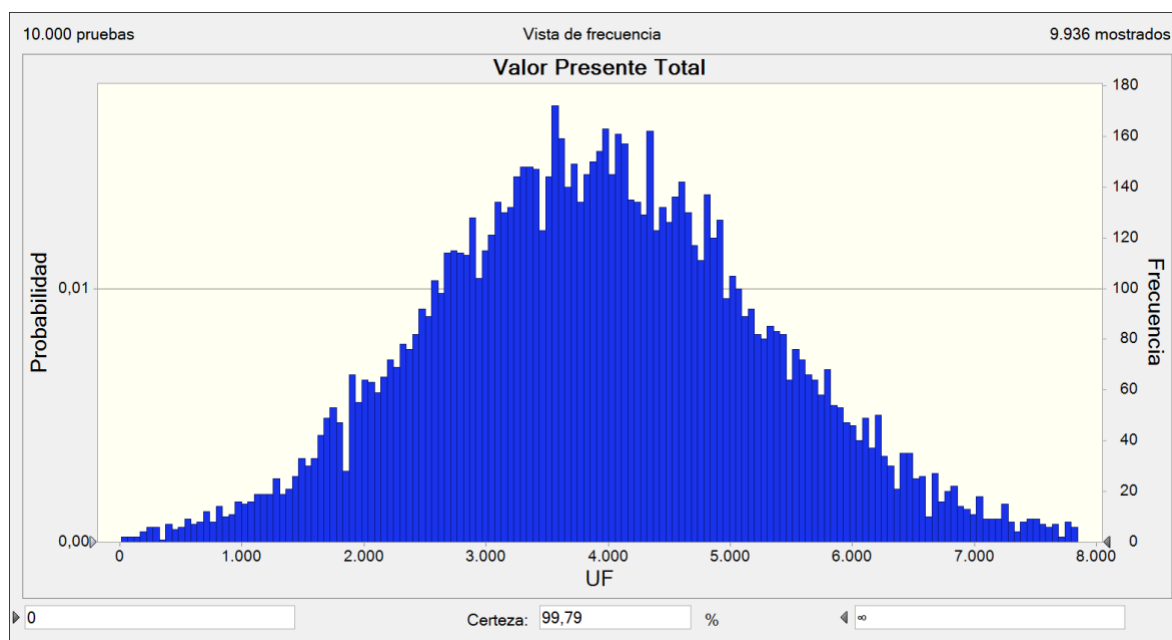


Figura 27 - Gráfico sensibilización VAN=0 UF – Cultivo aerónico. Fuente: Elaboración propia

Del gráfico derivado de la simulación, es posible observar que con un 99,79% de certeza el VAN será mayor a 0. Por tanto, es posible aseverar que el proyecto tiene una muy alta probabilidad de éxito y por tanto se recomienda ejecutarlo.

11.11.2. Sensibilización VAN=2.000 UF

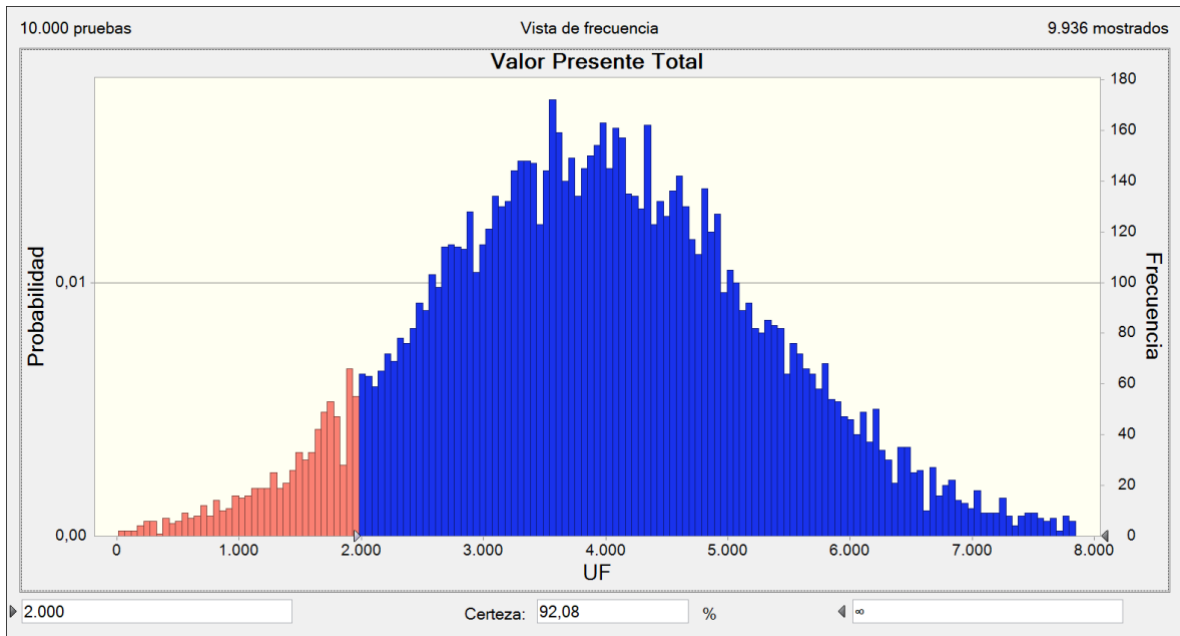


Figura 28 - Gráfico sensibilización VAN=2.000 UF – Cultivo aerónico. Fuente: Elaboración propia

De este gráfico es posible observar que al exigirle un VAN de 2.000 UF, el porcentaje de certeza sigue siendo alto con un 92,08% de certeza por tanto se recomienda ejecutar el proyecto dada su alta probabilidad de éxito.

11.11.3. Sensibilización VAN=4.000 UF

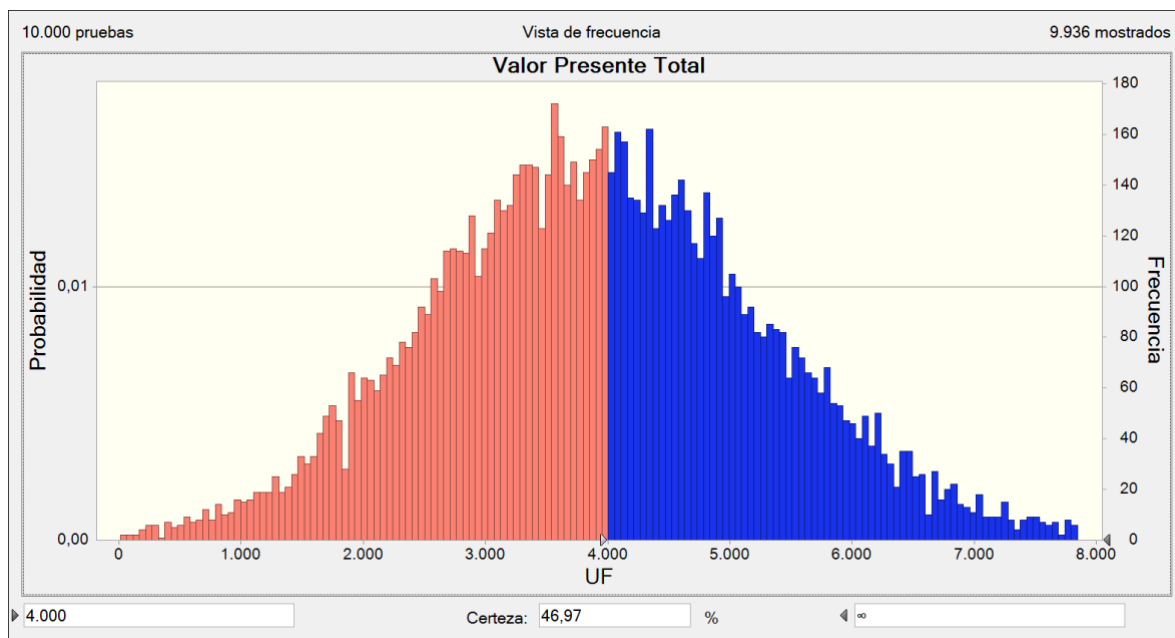


Figura 29 - Gráfico sensibilización VAN=4.000 UF – Cultivo aerónico. Fuente: Elaboración propia

En este gráfico ya es posible observar que al exigirle un VAN de 4.000UF, el porcentaje de certeza baja a 46,97% por tanto se recomienda revisar otros indicadores o realizar cambios en la estructura de costos del proyecto.

11.12. Análisis flujos de caja y sensibilidad

Tras realizar los flujos de caja puro para ambos tipos de sistemas de cultivos, es posible observar, que:

- Ambos poseen indicadores que permiten la realización del proyecto, con una alta posibilidad de éxito. Es posible observar también que en el caso del sistema aerónico, posee mejor indicadores, especialmente en el valor actual neto (VAN).
- Respecto a la tasa interna de retorno, es posible verificar que en ambos casos, la tasa TIR es mayor a la tasa de descuento, lo que nos indica que el rendimiento del proyecto es favorable, atractivo y rentable en el mediano y corto plazo.
- Respecto al Payback, en ambos casos se logra recuperar la inversión antes de que se termine el periodo de evaluación del proyecto. Sin embargo, en el caso del sistema

aeropónico se logra recuperar la inversión un año antes que en el caso del sistema tradicional, con 3 y 4 años respectivamente.

- Analizando la sensibilidad, en ambos casos, se analizan las variables más críticas que posee cada caso. Es necesario mencionar, que en el caso del sistema aeropónico se hacen más suposiciones que en el tradicional, pues está expuesto a una mayor cantidad de variables exógenas debido a que son productos importados y por tanto una de las variables, como el dólar, juega un papel fundamental.
- En ambos casos el porcentaje de certeza es alto cuando se exige un $VAN=0$, sin embargo al aumentar la exigencia a un $VAN=2.000$ UF, el porcentaje de certeza en el sistema tradicional cae abruptamente a un 59,09%, mientras que el sistema aeropónico mantiene un porcentaje de certeza muy alto con un 92,08%. En el caso en que se exige un $VAN=4.000$ UF, se observa que el porcentaje de certeza del sistema tradicional cae hasta un 12,68%, mientras que el sistema aeropónico está en un 46,97% de certeza.
- Evaluando tanto los flujos de caja como los análisis de sensibilidad, es posible apreciar que ambos proyectos son recomendables ejecutarlos, sin embargo, el sistema aeropónico presenta una mayor fortaleza ante los cambios de las variables más críticas de su matriz financiera. Además, es posible exigirle un mayor valor actual neto (VAN), manteniendo de igual forma un elevado porcentaje de certeza, por tanto resulta ser una mejor opción y se puede obtener mejores resultados de la inversión versus el sistema tradicional.

11.13. Análisis de demanda y precio de lechugas

A continuación, se presentan los datos obtenidos de la Encuesta de Superficie Sembrada de Hortalizas del año 2022 (INE, 2022), base de datos obtenida del Instituto Nacional de Estadísticas. Dicha base de datos viene separada por región y por superficie cultivada al aire libre y en invernadero. Luego de escalar los datos en base a la cantidad de lechugas por hectárea (en este caso se usaron 43.000, dato obtenido de ODEPA) y de la cantidad de lechugas por metro cuadrado en hidroponía, lo cual asciende a 11 lechugas por metro cuadrado.



Se menciona esto, pues la superficie producida al aire libre presenta la información en hectáreas y la hidroponía en metros cuadrados. Los datos vienen organizados en trimestres, por tanto es posible visualizar la producción tanto por región como por trimestre a la misma vez.

A continuación, se muestran las tablas con la cantidad total de lechugas producidas en base a los datos de esta encuesta.

La siguiente tabla representa al total de lechugas producidas en 2022 en base a la encuesta realizada por el INE a los productores. De dicha tabla se obtiene la cifra de 184.721.628 lechugas producidas en el año en evaluación. De esta tabla es posible realizar una gran variedad de cálculos para poder determinar en qué regiones se podría lograr suplir una cuota de la producción de lechugas con sistemas aeropónicos, así como también en qué trimestre sería recomendable comenzar a producir. Sin embargo, este estudio no forma parte del presente análisis desarrollado en esta memoria.

Región	Enero a marzo	Abril a junio	Julio a septiembre	Octubre a diciembre
03	206.306	206.852	207.604	206.099
04	32.184.914	32.538.374	25.878.964	24.855.951
05	5.344.505	4.533.405	5.334.280	5.275.800
06	315.885	544.815	437.335	180.085
07	2.880.384	1.911.152	1.907.382	2.100.958
08	901.743	676.340	1.186.823	748.761
09	377.048	135.692	1.586.169	1.030.718
13	4.784.980	9.335.320	8.228.120	6.857.133
15	185.860	129.000	162.210	117.175
16	280.673	75.859	324.664	546.291
Total general	47.462.298	50.086.808	45.253.551	41.918.971

Tabla 23 - Unidades de lechuga milanese plantada. Fuente: Encuesta realizada por el INE a los productores 2022

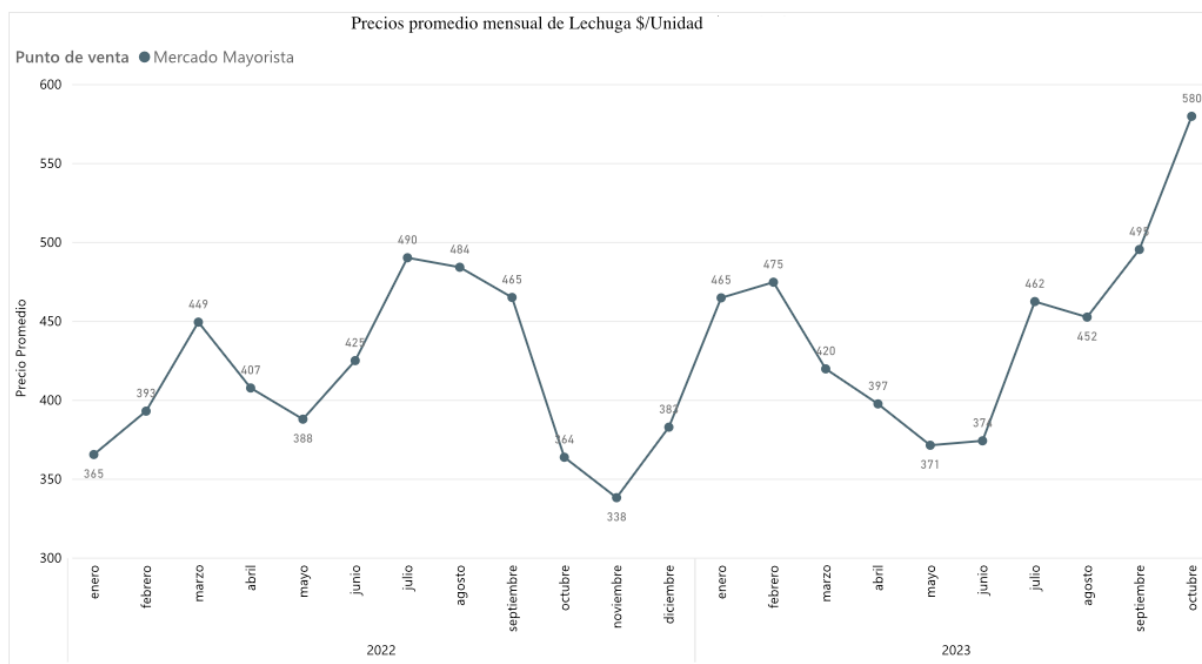


Figura 30 - Gráfico de precios lechuga en mercado mayorista de enero 2022 a octubre 2023. Fuente: ODEPA

En este gráfico se muestran los precios mensuales de la lechuga vendida en mercado mayorista entre enero 2022 y octubre 2023, evidenciando una gran variabilidad en los precios.

Por otra parte, se muestra a continuación una tabla con los “Volúmenes de hortalizas o frutas arribados en mercados mayoristas del país (informe por producto)” obtenido de <https://aplicativos.odepa.gob.cl/noticias-mercado/volumen-producto> en la cual se muestra la cantidad en miles de lechugas arribadas por año, desde enero de 2011 a diciembre de 2022.

Productos	Lechuga - miles de unidades	Porcentaje de variación versus año anterior
2011	54.601,407	—
2012	50.983,174	-7%
2013	49.299,568	-3%
2014	52.419,330	6%
2015	59.634,020	14%
2016	59.073,066	-1%
2017	53.805,907	-9%
2018	65.519,704	22%
2019	65.251,599	0%
2020	76.515,429	17%
2021	80.444,570	5%
2022	75.279,627	-6%

Tabla 24 - Miles de unidades de lechuga arribadas a mercados mayoristas por año. Fuente: ODEPA

De la tabla anterior, al obtener el promedio de la de variación entre cada año, se obtiene un porcentaje promedio del periodo evaluado de un 3,422%. Por tanto, a pesar de la variabilidad que ha existido en los últimos 11 años, se puede visualizar que el consumo de la lechuga en Chile ha ido en crecimiento.



12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una de las interrogantes que se querían analizar y comprobar a través de la presente memoria, era que producir vegetales, en este caso lechugas, de manera sostenible no necesariamente sea más caro y que inclusive fuera igual o más rentable que utilizando métodos tradicionales. Tras realizar los análisis tanto técnicos, económicos, financieros y de sensibilidad, se evidencia que se obtiene un mejor resultado usando el sistema de cultivo sustentable aeroponía.

Sus capacidades se sobreponen ante su nivel de inversión, logrando así poder producir mucho más, en menor tiempo y con hasta un 95% menos de consumo de agua versus los métodos de cultivo tradicionales con uso de suelo.

No hay que dejar de todas formas de mencionar que ambos sistemas tienen sus ventajas y desventajas. Por su parte, el sistema de cultivo tradicional, tiene la posibilidad de producir más barato, pero con un bajo nivel de eficiencia en el uso de recursos y además al usar una gran cantidad de químicos afecta tanto a la tierra, al agua, a las personas y animales. En cuanto al sistema de cultivo aeropónico sus características de rendimiento sin duda lo hacen un método muy atractivo, sin embargo a pesar de que posee sólo el uso de agua y nutrientes, no está exento de problemas. Es un sistema 100% dependiente de la electricidad y en caso de alguna falla en el sistema tanto en la propia empresa como a nivel masivo, es necesario tener un sistema eléctrico de respaldo, pues en un corto tiempo todo el cultivo se puede perder. Respecto al mantenimiento, no es necesario tener una gran capacitación para poder llevar a cabo dicha acción, pues lo más importante es evitar que los pulverizadores de agua se tapen.

Sin embargo, tras los análisis, claramente la respuesta es que conviene más producir a través de un sistema de cultivo aeropónico dada sus características, la rentabilidad generada por sobre la inversión y la posibilidad de cultivar una gran cantidad de otros productos en el mismo sistema.

Desde otro punto de vista, es necesario mencionar que a pesar de la gran cantidad de concursos y programas para apoyar el I+D en la industria agrícola, esto no significa que se pueda convertir fácilmente en un productor agrícola, debido a que esta industria posee importantes barreras de entrada, como lo es el alto nivel de inversión inicial, la gran cantidad de productores existentes y su competitividad. De ninguna manera les gustaría que llegara una nueva empresa



que básicamente produjera una gran cantidad de vegetales de manera rápida y en poco espacio, pues pone directamente en riesgo sus proyecciones de ganancias. Existen otras barreras de entrada, que no fueron analizadas en la presente memoria, pero que es necesario mencionarlas, como lo son todas las normativas que exige el Servicio Agrícola Ganadero (SAG), la Seremi de Salud y el Ministerio de Agricultura. Existen permisos que son necesarios tener y que en muchos casos no son fáciles de obtener, además se debe ser capaz de asegurar la inocuidad de los productos.

Salir del negocio, tampoco es algo fácil, también hay barreras de salida que dificultan esta acción. Al tener un nivel de inversión inicial bastante alto, es altamente probable que se deban surja la necesidad de asociarse con una o más personas. Así como también tener que solicitar algún préstamo bancario para poder dar inicio a emprendimiento. Por tanto se compromete hartos y en diversos ámbitos, lo que dificulta salir fácilmente, pues vender la parte de la sociedad puede ser una tarea para nada fácil y eventualmente tener que liquidar los sistemas aeropónicos, puede significar una gran pérdida de dinero.

Lo interesante de implementar este sistema, es que existen muchas formas de mejorarlo, como lo es lo propuesto en esta memoria, ligado al internet de las cosas (IoT), lo que ayuda a minimizar riesgos, disminuir la mano de obra necesaria y tener éxito en el cultivo de las lechugas u otro vegetal. Es necesario eso sí, estar muy atento a las nuevas tecnologías que se vayan creando con el fin de poder evitar caer en la obsolescencia y que ingresen nuevos competidores al mercado que obliguen a generar una retirada.

Ahora, desde otra arista, la implementación de estas nuevas tecnologías ayudan a disminuir la contaminación entregada al medioambiente, ayudan a hacer un uso más eficiente de los recursos hídricos, tema muy importante actualmente en nuestro país, impulsan a ser un país más sostenible. Es necesario mencionar de todas formas, que este sistema tiene como uno de sus principales consumos el gasto de energía eléctrica y en un análisis de la huella de carbono, a pesar de ser muy sostenible, la conformación de la matriz energética del país afecta directamente a las emisiones indirectas, lo que se conoce como las emisiones de Alcance 2.

Para finalizar, este tipo de tecnologías aportan directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), creados en 2015 por la Organización de Naciones Unidas (ONU), en conjunto con líderes mundiales (Organización de Naciones Unidas (ONU), 2015). A continuación se



presentan los tipos de ODS a los cuales aporta la aeroponía y a qué metas específicas contribuyen.

- ODS 2 – Hambre Cero
 - Meta 2.3: Para 2030, duplicar la productividad agrícola y los ingresos de los productores de alimentos en pequeña escala, en particular las mujeres, los pueblos indígenas, los agricultores familiares, los pastores y los pescadores, entre otras cosas mediante un acceso seguro y equitativo a las tierras, a otros recursos de producción e insumos, conocimientos, servicios financieros, mercados y oportunidades para la generación de valor añadido y empleos no agrícolas.
 - Meta 2.4: Para 2030, asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad del suelo y la tierra.
- ODS 6 – Agua limpia y saneamiento
 - Meta 6.4: De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.
- ODS 11 – Ciudades y comunidades sostenibles
 - Meta 11.b: De aquí a 2020, aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de



Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles.

- ODS 12 – Producción y consumo responsable
 - Meta 12.2: De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.
 - Meta 12.a: Ayudar a los países en desarrollo a fortalecer su capacidad científica y tecnológica para avanzar hacia modalidades de consumo y producción más sostenibles.

La creación y/o implementación de nuevas tecnologías que ayuden a tener un consumo más sostenible y responsable, sin duda deben ser una prioridad actualmente, pues el impacto que tienen en múltiples áreas genera cambios positivos para todos. Se recomienda buscar emprender en este tipo de proyectos, postular a la mayor cantidad de concursos que abren tanto entes gubernamentales como privados para apoyar estas iniciativas. Es necesario de todos modos, realizar el correcto análisis técnico, económico, financiero, estudio de mercado, generar un plan de marketing, así como también cumplir con todas las normativas vigentes. Son sin duda las claves que, sumadas a la constancia llevarán a buen puerto este tipo de innovaciones.



13. Bibliografía

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2023). Información básica sobre pesticidas. *EPA en español*. Recuperado de <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-pesticidas>
- Alvarado , D., Chavez, F., & Wilhelmina, K. (2001). *Seminario de Agro Negocios “Lechugas Hidropónicas”*.
- Alvarado, R. (2018). Quemadas agrícolas: una de las causantes de la contaminación en la RM. *Facultad de Ciencias Agronómicas Universidad de Chile*. Recuperado de <https://agronomia.uchile.cl/noticias/145706/quemas-agricolas-una-de-las-causantes-de-la-contaminacion-en-la-rm>
- Aquae Fundación. (2019). ¿Cuánta agua se necesita para producir alimentos? Recuperado de <https://www.fundacionaquae.org/cuanta-agua-se-necesita-para-producir-alimentos/>
- Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. (2002). *Los fertilizantes y su uso*. Recuperado de <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>
- Asociación Mexicana de Hidroponia. (2016). *Que es la hidroponia*. Recuperado de <http://hidroponia.org.mx/>
- Banco Santander. (2023). *Cultivos verticales, ventajas y desventajas*. Recuperado de <https://www.bancosantander.es/blog/pymes-negocios/cultivos-verticales-ventajas-desventajas>
- Bascope, A. (2013). *Estudio: “Cambio Climático Impacto en la Agricultura Heladas y Sequías”*. Recuperado de <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2013/12/cambioClimatico2013.pdf>
- Beltrano & Gimenez. (2015). *Cultivo en Hidroponía*. Buenos Aires, Argentina: Libros de Cátedra.: Universidad de la Plata.
- Campos, J. A. (2012). *6° Curso de hidroponía para principiantes. Hidroponía y Acuarística del Caribe*.
- Canamerica. (2023). Los 6 sistemas de riego más eficaces para obtener cultivos de calidad . Recuperado de <https://canamerica.cl/los-6-sistemas-de-riego-mas-eficaces-para-obtener-cultivos-de-calidad/>
- Cánovas, J. (2019). *Estudio comparativo de un monocultivo de invernadero tradicional e*



hidropónico de pimientos.

- Cruz, B. T. (2002). *Descripción del mercado de las lechugas - Mercado interno*. Recuperado de <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/articulos/descripcion-del-mercado-de-las-lechugas-2002>
- CultiveLocal. (2021). *¿Qué es la Aeroponía?* Recuperado de <https://www.cultivelocal.com/es/que-es-la-aeroponia/>
- Díaz, R. (2018). *¡Papas voladoras! El nuevo sistema de cultivo de la NASA que ya llegó a Chile*. Recuperado de <https://eldefinido.cl/actualidad/pais/10243/Papas-voladoras-El-nuevo-sistema-de-cultivo-de-la-NASA-que-ya-llego-a-Chile/>
- Espinoza, J. (2012). La urea y su comercialización en Chile. *Informativos ODEPA*, (56 2), 1–11. Recuperado de <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2012/07/urea.pdf>
- Gillis, A. (2023). Internet of things (IoT). Recuperado de <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT>
- Hardessen, M. (2023). Ventas de productos plant based creció un 41% en restaurantes, cafeterías y hoteles. *El Mostrador*. Recuperado de <https://www.elmostrador.cl/revista-jengibre/2023/01/03/ventas-de-productos-plant-based-crecio-un-41-en-restaurantes-cafeterias-y-hoteles/>
- INDAP. (2024). Fichas Técnicas - INDAP. Recuperado de <https://www.indap.gob.cl/sites/default/files/2023-06/lechuga-milanesa2023.xlsx>
- INE. (2022). Encuesta de superficie de hortalizas. Recuperado de <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/hortalizas>
- Japón Quintero, J. (1977). La Lechuga. *Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura*, (10), 21. Recuperado de https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1977_10.pdf
- Martínez Caro, R., AUTORES Editores Richard Martínez, L. DE, Basoa Capítulo, K., Martínez Capítulo, R., Martínez Kevin Basoa Capítulo, R., Cáceres Rubén Guzmán Capítulo, S., ... Trujillo Macarena Moncada, G. (2023). Equipo técnico del sistema nacional de inventarios de gases de efecto invernadero de Chile. *Ministerio del Medio Ambiente*. Recuperado de https://snichile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2023/04/2022_IIN_CL.pdf
- Ministerio del Medio Ambiente. (2021a). *Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile Camino a la Carbono Neutralidad y Resiliencia a más tardar Al 2050*. Recuperado de



- <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/11/ECLP-LIVIANO.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2021b). Sexto Reporte del Estado del Medioambiente 2021. *Ministerio del Medio Ambiente*, 1–325. Recuperado de <https://sinia.mma.gob.cl/estado-del-medio-ambiente/reporte-del-estado-del-medio-ambiente-2021/>
- Muñoz, R. T. (2014). *Efectos de los pesticidas sobre las personas*. Recuperado de [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/20188/5/Efectos de los pesticidas sobre las personas_v5.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/20188/5/Efectos%20de%20los%20pesticidas%20sobre%20las%20personas_v5.pdf)
- ODEPA. (2018). *Informe final Estudio de diseño y medición de huella de carbono en quinoa granadas tunas*. 1–251.
- Olave, R. (2023). Estudio USS alerta sobre consumo insuficiente de frutas y verduras. *La Tercera*. Recuperado de <https://www.latercera.com/laboratoriodecontenidos/formando-para-crear/estudio-uss-alerta-sobre-consumo-insuficiente-de-frutas-y-verduras/>
- Organización de Naciones Unidas (ONU). (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS). Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Pedrollo S.p.A. (2012). *Electrobombas sumergidas de 4"*. 230–244.
- Ritter, E., Angulo, B., Riga, P., Herrán, C., Relloso, J., & San Jose, M. (2001). Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. *Potato Research*, 44(2), 127–135. <https://doi.org/10.1007/BF02410099>
- Saavedra, G. (2017). *Lechuga - INDAP: Pauta de Chequeo N°9*. Recuperado de [http://www.inia.cl/wp-content/uploads/PautasdeChequeo/09. Pauta de chequeo Lechuga.pdf](http://www.inia.cl/wp-content/uploads/PautasdeChequeo/09_Pauta_de_chequeo_Lechuga.pdf)
- Saavedra, Gabriel, Corradini, F., Antúnez, A., Felmer, S., Estay, P., & Sepúlveda, P. (2017). Manual de producción de Lechuga. En *Manual de producción de Lechuga Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias Boletín*.
- Sjögren, C. (2021). “Ofrecemos una agricultura que permite hacer frente a los desafíos del cambio climático, la escasez hídrica y la fragilidad de los sistemas productivos”. Recuperado de <https://escenarioshidricos.cl/noticia/ofrecemos-una-agricultura-que-permite-hacer-frente-a-los-desafios-del-cambio-climatico-la-escasez-hidrica-y-la-fragilidad-de-los-sistemas-productivos/>
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2022). Producción de



- alimentos en acuaponía a pequeña escala – Cultivo integral de peces y plantas. En *Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala – Cultivo integral de peces y plantas*. <https://doi.org/10.4060/i4021es>
- Sondagua Ingenieros Civiles. (2021). *Construir un pozo: Cuántos metros debe tener*. Recuperado de <https://www.sondagua.cl/blog/construir-un-pozo-cuantos-metros-debe-tener/>
- Toledo, P. (2021). “En Chile, la agricultura tendría que funcionar con la mitad del agua que usa actualmente”. *CIPER Académico*. Recuperado de <https://www.ciperchile.cl/2021/05/01/en-chile-la-agricultura-tendria-que-funcionar-con-la-mitad-del-agua-que-usa-actualmente/>
- Troncoso, J. (2022). Valores de campos para agricultura crecen hasta 150 % en siete años : demanda se reactivó tras la pandemia. *Diario Financiero*. Recuperado de <https://www.df.cl/empresas/construccion/valores-de-campos-para-agricultura-crecen-hasta-150-en-siete-anos>
- Universidad Nacional de Colombia. (2016). *Cultivos hidropónicos, la nueva tendencia de deco-agro*. Recuperado de <http://www.vanguardia.com/vida-y-estilo/ola-verde/250419-cultivos-hidroponicos-la-%0Anueva-tendencia-de-deco-agro>
- Xolocotzi, E. H. (2008). *La agricultura tradicional*. México.
- Zhongshan Jiadi Technology Co., L. (2023). *Hidroponics Growing Systems*.



14. Anexos

A continuación, se muestra una serie de anexos que complementan tanto información técnica, así como también datos de carácter económico-financiero.

Los valores de vida útil normal y depreciación acelerada fueron obtenidos de la página web del Servicio de Impuestos Internos (SII).

Fuente: https://www.sii.cl/valores_y_fechas/tabla_vida_util_activo_inmovilizado.html

14.1.1. Tablas depreciación cultivo tradicional.

Ítem	Precio (CLP)	Vida útil normal	Depreciación acelerada
Tractor	\$ 49.861.000	8	2
Arador	\$ 7.690.000	11	3
Rastra	\$ 10.330.950	11	3
Fertilizadora	\$ 2.543.800	8	2
Sembradora	\$ 5.134.635	8	2
Cosechadora	\$ 3.600.000	11	3
Melgadora	\$ 1.080.000	8	2
Pozo - Construcción pozo 60 metros, 5 pulgadas	\$ 9.000.000	20	6
Bomba Pedrollo 4SR8M-13	\$ 1.161.135	8	2
Manga riego	\$ 120.000	3	1
Acequiadora	\$ 119.000	8	2
Carro coloso tractor	\$ 2.990.000	8	2
Instalaciones eléctricas	\$ 1.400.000	10	3
Instalaciones agua	\$ 1.500.000	10	3

Tabla 25 - Costos máquinas, instalaciones, vida útil y depreciación acelerada (cultivo tradicional). Fuente: Elaboración Propia

TRADICIONAL	Pesos				
Ítem	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Tractor	6.232.625	6.232.625	6.232.625	6.232.625	6.232.625
Arador	699.091	699.091	699.091	699.091	699.091
Rastra	939.177	939.177	939.177	939.177	939.177
Fertilizadora	317.975	317.975	317.975	317.975	317.975
Sembradora	641.829	641.829	641.829	641.829	641.829
Cosechadora	327.273	327.273	327.273	327.273	327.273
Melgadora	135.000	135.000	135.000	135.000	135.000
Pozo - Construcción pozo 60 metros, 5 pulgadas	450.000	450.000	450.000	450.000	450.000
Bomba Pedrollo 4SR8M-13	145.142	145.142	145.142	145.142	145.142
Manga riego	40.000	40.000	40.000		
Acequiadora	14.875	14.875	14.875	14.875	14.875
Instalación eléctrica	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000
Instalación agua	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Carro coloso tractor	373.750	373.750	373.750	373.750	373.750
Total	10.606.737	10.606.737	10.606.737	10.566.737	10.566.737

Tabla 26 - Tabla de depreciación cultivo tradicional (en pesos). Fuente: Elaboración propia

TRADICIONAL	UF				
Ítem	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Tractor	171,28	171,28	171,28	171,28	171,28
Arador	19,21	19,21	19,21	19,21	19,21
Rastra	25,81	25,81	25,81	25,81	25,81
Fertilizadora	8,74	8,74	8,74	8,74	8,74
Sembradora	17,64	17,64	17,64	17,64	17,64
Cosechadora	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99
Melgadora	3,71	3,71	3,71	3,71	3,71
Pozo - Construcción pozo 60 metros, 5 pulgadas	12,37	12,37	12,37	12,37	12,37
Bomba Pedrollo 4SR8M-13	3,99	3,99	3,99	3,99	3,99
Manga riego	1,10	1,10	1,10	0,00	0,00
Acequiadora	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
Instalación eléctrica	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85
Instalación agua	4,12	4,12	4,12	4,12	4,12
Carro coloso tractor	10,27	10,27	10,27	10,27	10,27
Total	291,49	291,49	291,49	290,39	290,39

Tabla 27 - Tabla de depreciación cultivo tradicional (en UF). Fuente: Elaboración propia

14.1.2. Tabla IVA cultivo tradicional

Tabla IVA	Año					
	0	1	2	3	4	5
IVA CF	0,00	545,12	545,12	545,12	545,12	545,12
IVA DF	-427,95	87,32	87,32	87,32	87,32	87,32
Diferencia	427,95	457,80	457,80	457,80	457,80	457,80
IVA Acumulado	427,95	885,74	1343,54	1801,34	2259,14	2716,94
IVA al Flujo de Caja	0	427,95	0	0	0	0

Tabla 28 - Tabla IVA cultivo tradicional (UF). Fuente: Elaboración propia

14.1.3. Tablas depreciación cultivo aeropónico

ítem	Precio (CLP)	Vida útil normal	Depreciación acelerada
Máquina	\$63.679.467	3	1
Instalaciones eléctricas	\$ 1.400.000	10	3
Instalaciones agua	\$ 1.500.000	10	3
Invernadero	\$ 1.776.600	3	1
Radier	\$ 8.308.854	50	16

Tabla 29 - Costos máquinas, instalaciones, vida útil y depreciación acelerada (cultivo aeropónico). Fuente: Elaboración Propia

AEROPONÍA	Pesos				
Ítem	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Máquina	21.226.489	21.226.489	21.226.489		
Instalación eléctrica	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000
Instalación agua	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Invernadero	592.200	592.200	592.200		
Radier	166.177	166.177	166.177	166.177	166.177
Total	22.274.866	22.274.866	22.274.866	456.177	456.177

Tabla 30 - Tabla de depreciación cultivo aeropónico (en pesos). Fuente: Elaboración propia

AEROPONÍA	UF				
Ítem	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Máquina	583,34	583,34	583,34	0,00	0,00
Instalación eléctrica	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85
Instalación agua	4,12	4,12	4,12	4,12	4,12
Invernadero	16,27	16,27	16,27	0,00	0,00
Radier	4,57	4,57	4,57	4,57	4,57
Total	612,15	612,15	612,15	12,54	12,54

Tabla 31 - Tabla de depreciación cultivo aeropónico (en UF). Fuente: Elaboración propia

14.1.4. Tabla IVA cultivo aeropónico

	Año					
Tabla IVA	0	1	2	3	4	5
IVA CF	0,00	545,12	545,12	545,12	545,12	545,12
IVA DF	-314,88	77,58	77,58	77,58	77,58	77,58
Diferencia	314,88	467,55	467,55	467,55	467,55	467,55
IVA Acumulado	314,88	782,43	1249,98	1717,52	2185,07	2652,62
IVA al Flujo de Caja	0	314,88	0	0	0	0

Tabla 32 - Tabla IVA cultivo aeropónico (UF). Fuente: Elaboración propia

14.1.5. Gráfico bomba sumergible Pedrollo 4SR8/13

Esta bomba fue escogida para extraer agua del pozo profundo de 60 metros necesario para el cultivo tradicional, el cual necesita un flujo cercano a los 100 L/min.

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

50 Hz n= 2900 rpm

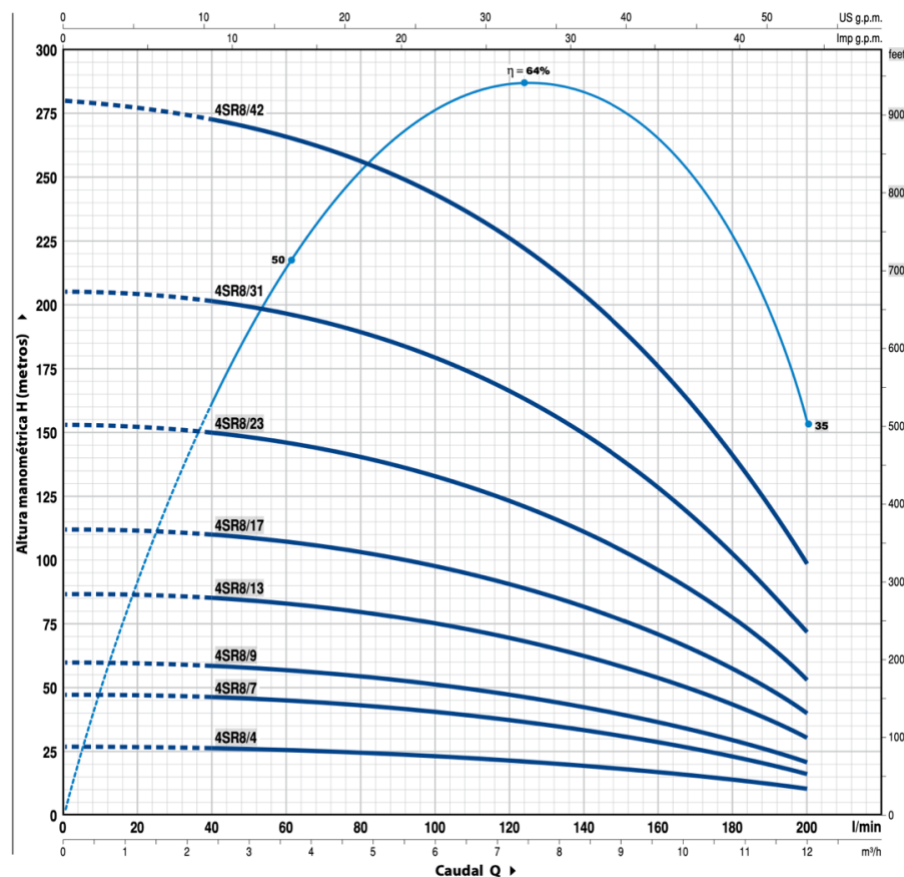


Figura 31 - Curvas y datos de prestaciones bomba sumergible Pedrollo 4SR8/13. Fuente: Pedrollo

MODELO		POTENCIA (P ₂)		Q	m ³ /h	0	2.4	3.6	4.8	6.0	7.2	8.4	9.6	10.8	12.0
Monofásica	Trifásica	kW	HP			0	40	60	80	100	120	140	160	180	200
4SR8m/4	4SR8/4	0.75	1	H metros	l/min	27	26	25	24	23	22	20	17	13	10
4SR8m/7	4SR8/7	1.1	1.5			47	46	45	43	41	38	34	29	23	16
4SR8m/9	4SR8/9	1.5	2			60	58	57	55	52	48	43	37	30	21
4SR8m/13	4SR8/13	2.2	3			87	85	83	80	76	70	63	54	43	30
–	4SR8/17	3	4			112	110	108	104	99	92	82	70	56	40
–	4SR8/23	4	5.5			153	150	146	141	134	124	111	95	76	53
–	4SR8/31	5.5	7.5			205	200	196	190	181	167	149	128	103	72
–	4SR8/42	7.5	10			280	272	266	257	244	225	202	175	140	98

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

Tabla 33 - Datos caudal Q y altura H bomba Pedrollo 4SR8/13. Fuente: Pedrollo



Figura 32 - Imagen bomba sumergible Pedrollo 4SR8/13. Fuente: Pedrollo

14.1.6. Precio observado lechuga en mercado mayorista:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojNzA1MjJkZDgtMDdmMS00NTNhLTk1ODAtY2I2ZTFhNWUwMTMyIiwidCI6IjMzYjdmNzA3LTZlNmYtNDJkMi04ZDZmLTk4YmZmOWZiNWZhMCI6ImMiOjR9>

14.1.7. Costos funcionamiento tractor:

<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/29894/Articulo?sequence=1>

En el reporte anterior, se presenta el dato de consumo de combustible de tractor de 0,6 litros/hora por cada HP de potencia del tractor.

Cuadro 2.- Coeficiente de Mantenimiento y Reparación (MR) de maquinarias y equipos. Cifras en porcentaje (%) sobre el Valor Inicial (VI) de la maquinaria	
Coeficiente de Mantenimiento/Reparación (%)	
Tractores	0,0125
Arados	0,035
Carro arrastre	0,030
Carro pulverizador	0,050
Chopper	0,040
Cosechadora de forraje	0,040
Trompo abonador	0,040
Enfardadora	0,040
Vibrocultivador	0,040
Segadora rotativa	0,050
Rastrillo descarga lateral	0,040
Rastras	0,040
Sembradoras	0,060
Cosechadora automotriz	0,009
Germinator	0,035

Figura 33 - Coeficiente de mantenimiento y reparación de maquinarias y equipos. Fuente: INIA

Cuadro 3.- Resumen metodológico para el cálculo del Costo Total de Uso Maquinaria Agrícola.				
	Etapas de la metodología	Tipo de costo	Items según tipo de costo	Sub-items de costo
1°	Definir o considerar los supuestos			
2°	Costo total uso maquinaria Costo variable (cv) + Costo fijo (cf)	Costo variable (CV)	Mantenimiento y reparaciones	
			Combustible, lubricantes, filtros	Petróleo
				Aceite motor
				Aceite caja y diferencial
				Grasa
				Filtro aceite
				Filtro combustible
				Filtro hidráulico
		Costo fijo (CF)	Mano de obra	
			Depreciación	
			Seguro	
			Interés al capital	

Figura 34 - Resumen metodológico para el cálculo del costo total de uso de maquinaria agrícola. Fuente: INIA

14.1.8. Potencia del tractor

Se decide por un tractor de 95HP, en base a lo mencionado en la página web de Interempresas, lo cual se presenta a continuación.

Tractor mediano: 71 – 115 CV, con cilindradas entre 3.500 y 4.500 cc en motor de 3-4 cilindros y con pesos en vacío entre los 4.000 y los 5.000 kg. Es el típico tractor compacto, batalla entre los 2.000 y 2.400 mm, que aunque su masa sin lastre es comedia sí tiene una potencia importante. Es un tractor polivalente, multiuso, ideal para explotaciones de 'todo un poco', también para la industria ganadera. Diseñado para moverse en espacios estrechos, pero que es capaz de comportarse muy bien en espacios abiertos.

Fuente: <https://www.interempresas.net/Grandes-cultivos/Articulos/149908-Que-es-un-tractor-de-alta-potencia.html>



14.1.9. Tabla maquinarias cultivo tradicional, con precio y enlace de compra.

Maquinaria	Precio (CLP)	Enlace
Tractor 95HP	49.861.000	https://ferosor.cl/maquinaria-agricola/1157-tractor-m9540-dt-cabinado-kubota.html
Aradura	7.690.000	https://agroplanet.cl/producto/arado-arh-4-4-discos-26-reversible-baldan/
Rastraje	10.330.950	https://www.copeval.cl/maquinaria/rastra-aradora-24-gacrr-l-16-95632.html
Fertilizador	2.543.800	https://ducom.cl/producto/trompo-fertilizador-trompo-abonador-nuevo/
Sembradora	5.134.635	https://ducom.cl/producto/sembradora-para-semillas-finas/
Cosechadora	3.600.000	https://www.magri.cl/z-cosechador-de-verdura-apio-3m-cebolla-verde-perejil-puerros-espinacas
Melgadora	1.080.000	https://www.magri.cl/arado-surcador-x3-aporcador-camellonera-750000iva
Carro coloso tractor	2.990.000	https://www.tecnodeliv.cl/carros/118-carro-coloso-tractor-agro-volteo-4ton-tornamesa.html
Bomba Pedrollo 4SR8M-13 2,2kW 3HP	1.161.135	https://bombasproservices.cl/producto/bomba-pedrollo-pozo-profundo-4sr8m-13-3-0hp-220v/
Manga riego	120.000	https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-1303549916-manga-de-riego-virgen-50cm-x-300mic-x-25kg-mimbral-JM?matt_tool=13097285&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14573893154&matt_ad_group_id=126469660466&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=544459325213&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=772659623&matt_product_id=MLC1303549916&matt_product_partition_id=2163429570179&matt_target_id=pla-2163429570179&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAmZGrBhAnEiwAo9qHiaQDLBf8kxGs8OVFIMtCWH6mS-nFExpKwFWm4x-psZpC21ft6j-uWBoC0B4QAvD_BwE
Acequiadora	119.000	https://agroplanet.cl/producto/arado-acequiador-kap-14-alpler/

Tabla 34 - Tabla maquinarias cultivo tradicional, con precio y enlace de compra. Fuente: Elaboración propia



14.2. Índice de figuras

Figura 1 - Fuente: Naciones Unidas	43
Figura 2 - Fuente: Michael E. Porter, Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors (Estrategia competitiva: Técnicas para analizar industrias y competidores) .	51
Figura 3 - Lechuga Milanesa. Fuente: ODEPA.....	54
Figura 4 - Fuente: Aquae Fundación	56
Figura 5 - Fuente: Canamerica	57
Figura 6 - Fuente: Canamerica	58
Figura 7 - Fuente: Canamerica	59
Figura 8 - Fuente: Canamerica	60
Figura 9 - Fuente: Canamerica	60
Figura 10 - Fuente: Canamerica	61
Figura 11 - Fuente: Canamerica	61
Figura 12 - Fuente: Canamerica	62
Figura 13 - Fuente: AquaPlants	65
Figura 14 - Fuente: ZipGrow.....	65
Figura 15 - Fuente: GroHo Garden.....	66
Figura 16 - Fuente: GroHo Garden.....	66
Figura 17 - Sistema aeropónico armado, diagrama de funcionamiento del sistema y elementos clave para el funcionamiento. Fuente: (Zhongshan Jiadi Technology Co., 2023)	68
Figura 18 - Mando de control bomba inteligente y bomba inteligente. Fuente: (Zhongshan Jiadi Technology Co., 2023)	69
Figura 19 - Vista superior del sistema y canastillo con una planta en pleno desarrollo. Fuente: (Zhongshan Jiadi Technology Co., 2023)	69
Figura 20 - Paso a paso del armado del producto. Fuente: (Zhongshan Jiadi Technology Co., 2023).....	70
Figura 21 - Imagen de cómo se envía el sistema desarmado. Fuente: (Zhongshan Jiadi Technology Co., 2023)	70
Figura 22 - Sensores IoT. Fuente: (Elaboración propia)	73
Figura 23 - Listado de costos y trámites realizados por WS Cargo. Fuente: www.wscargo.cl/tarifas/	85



Figura 24 - Gráfico sensibilización VAN=0 UF – Cultivo tradicional. Fuente: Elaboración propia.....	94
Figura 25 - Gráfico sensibilización VAN=2.000 UF – Cultivo tradicional. Fuente: Elaboración propia.....	95
Figura 26 - Gráfico sensibilización VAN=4.000 UF – Cultivo tradicional. Fuente: Elaboración propia.....	96
Figura 27 - Gráfico sensibilización VAN=0 UF – Cultivo aeropónico. Fuente: Elaboración propia.....	98
Figura 28 - Gráfico sensibilización VAN=2.000 UF – Cultivo aeropónico. Fuente: Elaboración propia.....	99
Figura 29 - Gráfico sensibilización VAN=4.000 UF – Cultivo aeropónico. Fuente: Elaboración propia.....	100
Figura 30 - Gráfico de precios lechuga en mercado mayorista de enero 2022 a octubre 2023. Fuente: ODEPA.....	103
Figura 31 - Curvas y datos de prestaciones bomba sumergible Pedrollo 4SR8/13. Fuente: Pedrollo.....	116
Figura 32 - Imagen bomba sumergible Pedrollo 4SR8/13. Fuente: Pedrollo.....	117
Figura 33 - Coeficiente de mantención y reparación de maquinarias y equipos. Fuente: INIA	118
Figura 34 - Resumen metodológico para el cálculo del costo total de uso de maquinaria agrícola. Fuente: INIA.....	119



14.3. Índice de tablas

Tabla 1 - Nutrientes necesarios para un vegetal	25
Tabla 2 - Datos sistema aeropónico. Fuente: (Zhongshan Jiadi Technology Co., 2023).	68
Tabla 3 - Ingresos obtenidos por la venta de lechugas milanesas	77
Tabla 4 - Listado de maquinarias necesarias para iniciar un sistema de cultivo tradicional	77
Tabla 5 - Obras necesarias para poner en marcha el sistema de cultivo tradicional	78
Tabla 6 - Datos relacionados al uso, mantención y reparación del tractor. Fuente: INIA.....	78
Tabla 7 - Consumibles tractor en pesos por hora. Fuente: INIA.	79
Tabla 8 - Insumos cultivo tradicional. Fuente: Fichas Productivas para la AFC – INDAP.....	79
Tabla 9 - Costos asociados a mano de obra cultivo tradicional. Fuente: Fichas Productivas para la AFC – INDAP	80
Tabla 10 - Costos extra y cálculos consumos energéticos. Fuente: Elaboración propia	81
Tabla 11 - Ingresos obtenidos por la venta de lechugas milanesas. Fuente: Fichas productivas para la AFC – INDAP	82
Tabla 12 - Información sobre la producción a suplir a través de sistema de cultivo aeropónico. Fuente: Elaboración Propia	82
Tabla 13 - Datos técnicos torre aeropónica. Fuente: (Zhongshan Jiadi Technology Co., 2023)	83
Tabla 14 - Costos de torre y sensores IoT antes de importar. Fuente: Elaboración Propia.....	84
Tabla 15 - Costos WS Cargo asociados. Fuente: Elaboración propia	84
Tabla 16 - Costos totales del sistema con todos los impuestos. Fuente: Elaboración propia....	85
Tabla 17 - Costos de obras necesarias para poner en funcionamiento el sistema aeropónico. Fuente: Elaboración propia.....	86
Tabla 18 - Costos de arriendo terreno, servicios básicos y soporte aplicación IoT. Fuente: Elaboración propia.....	87
Tabla 19 - Insumos y otros costos asociados al sistema de cultivo aeropónico. Fuente: Elaboración propia.....	88
Tabla 20 - Costos de mano de obra sistema aeropónico. Fuente: Elaboración propia	88
Tabla 21 - Variables sensibilizadas método de sensibilización de Montecarlo para cultivo tradicional.	94



Tabla 22 - Variables sensibilizadas método de sensibilización de Montecarlo para cultivo aeropónico.	97
Tabla 23 - Unidades de lechuga milanesa plantada. Fuente: Encuesta realizada por el INE a los productores 2022	102
Tabla 24 - Miles de unidades de lechuga arribadas a mercados mayoristas por año. Fuente: ODEPA.....	104
Tabla 25 - Costos máquinas, instalaciones, vida útil y depreciación acelerada (cultivo tradicional). Fuente: Elaboración Propia	113
Tabla 26 - Tabla de depreciación cultivo tradicional (en pesos). Fuente: Elaboración propia	114
Tabla 27 - Tabla de depreciación cultivo tradicional (en UF). Fuente: Elaboración propia ...	114
Tabla 28 - Tabla IVA cultivo tradicional (UF). Fuente: Elaboración propia	115
Tabla 29 - Costos máquinas, instalaciones, vida útil y depreciación acelerada (cultivo aeropónico). Fuente: Elaboración Propia	115
Tabla 30 - Tabla de depreciación cultivo aeropónico (en pesos). Fuente: Elaboración propia	115
Tabla 31 - Tabla de depreciación cultivo aeropónico (en UF). Fuente: Elaboración propia ..	115
Tabla 32 - Tabla IVA cultivo aeropónico (UF). Fuente: Elaboración propia	116
Tabla 33 - Datos caudal Q y altura H bomba Pedrollo 4SR8/13. Fuente: Pedrollo	117
Tabla 34 - Tabla maquinarias cultivo tradicional, con precio y enlace de compra. Fuente: Elaboración propia.....	120