



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**ANÁLISIS DE MEDIDA DE MITIGACIÓN DE CO_2 CON PLANTACIONES EN
EL NORTE DE CHILE A TRAVÉS DE DESALACIÓN Y ENERGÍA SOLAR**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL ELÉCTRICA

MALU DANAÉ FAÚNDEZ CARRILLO

PROFESOR GUÍA:
RODRIGO PALMA BEHNKE

PROFESOR CO-GUÍA:
CARLOS BENAVIDES FARÍAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ANDRÉS CABA RUTTE

SANTIAGO DE CHILE
2020

ANÁLISIS DE MEDIDA DE MITIGACIÓN DE CO_2 CON PLANTACIONES EN EL NORTE DE CHILE A TRAVÉS DE DESALACIÓN Y ENERGÍA SOLAR

En este trabajo se analiza la factibilidad de utilizar el sol como fuente de energía del proceso de desalación de agua, con el objetivo de posibilitar impactos positivos desde el punto de vista de reducción de emisiones y captura de CO_2 con plantaciones en el norte del país. Se determina su viabilidad energética, técnica y económica; y se analizan preliminarmente los impactos socioambientales que podría conllevar.

Primero se realiza una revisión bibliográfica de conceptos a utilizar y del estado del arte de las tecnologías de generación solar y de desalación. Según la investigación, la tecnología más utilizada para desalar agua es la ósmosis inversa, mientras que la tecnología solar fotovoltaica es más usada que la de concentración.

La metodología utilizada consiste en seleccionar una tecnología de desalación (ósmosis inversa), una fuente de energía (tradicional o fotovoltaica), plantaciones (tomates, naranjos o pinos) y un territorio (Mejillones). Se calcula la demanda de agua para 10 hectáreas de las plantaciones evaluadas, y según ese resultado se dimensiona una planta desaladora que pueda proporcionarla. Según los requerimientos energéticos de la desaladora se calcula la cantidad de energía que se debe adquirir, o bien, se dimensiona la planta fotovoltaica que pueda proporcionarla. Según estos parámetros se crean 4 casos y se evalúan según sus costos e ingresos, uso de agua, emisiones que produciría o mitigaría e impacto socioambiental.

El caso base contempla el riego de plantaciones con una desaladora alimentada de energía por un contrato de cliente libre y a través de la red de distribución, mientras que el caso 1 considera un contrato con una planta fotovoltaica. En el caso 2 se tiene una planta fotovoltaica propia que abastece a la desaladora para el riego de plantaciones, y el caso 3 extiende el caso 2, añadiendo la venta del servicio complementario de desconexión de carga.

Los resultados de las evaluaciones indican que la plantación de naranjos presenta el mayor potencial de mitigación, absorbiendo 3.946 toneladas de CO_2 equivalente. La construcción de una planta desaladora asociada a la plantación de pinos toda su vida, es la que presenta mayores emisiones. El caso con mejores resultados económicos es el caso 1 con plantación de tomates donde se obtiene un VAN de \$3.971 millones de pesos. Los pinos son los que requieren un mayor uso de agua ($3.583.406 m^3$). Sin embargo, la planta desaladora necesaria para abastecer a pinos y tomates requiere la misma capacidad, siendo factible la venta de agua desalada. Se presentan además otros posibles impactos socioambientales entre los que destacan el acceso al recurso agua y mercado laboral.

Como conclusión general se obtiene que la plantación de naranjos para el caso 1 (con contrato con planta fotovoltaica) es una opción de mitigación que a su vez presenta rentabilidad privada, por lo que se sugiere como alternativa a desarrollar. Asimismo, esta opción ofrece una oferta adicional de agua desalada a la comunidad. Los parámetros más sensibles de la evaluación económica resultan ser el precio de venta de los cítricos y el valor de la inversión. Como trabajo futuro se sugiere la evaluación de más casos, una mejor evaluación socioambiental y el uso de herramientas de evaluación especializadas en cada ámbito.

*A mi timbre,
que algún día arreglaré.*

Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer a mi comisión de memoria por ayudarme a desarrollar este trabajo. A Carlos Benavides y Marcia Montedonico, por aceptar ayudarme en medio de una pandemia, y por los aportes y comentarios. A Andrés Caba, quien no solo fue miembro de mi comisión, si no que también mi profesor durante casi todo mi paso por el DIE, por el apoyo y correcciones. A Rodrigo Palma, mi profesor guía, por darme un tema muy interesante a investigar, por la disposición a ayudarme y orientarme durante esta investigación, y por darse el tiempo de resolver mis dudas constantemente.

Agradecer al grupo Oikos, por enseñarme sobre sustentabilidad y quienes hasta el final de mi carrera estaban dispuestos a ayudarme. Al equipo CEIE quienes me apoyaron y ayudaron en mi formación como persona. A las y los electrotutores, que me arengaron y motivaron en todas las reuniones ET. A Karín, Miguel y Pancho por leer mi memoria para ayudarme a corregir errores.

Muchas gracias a todas las amistades que hice durante mi paso por la universidad, desde mis amiguis de plan común hasta mis amiguis de eléctrica, mención especial a Dasla que es parte de los 2 y con quien he vivido muchísimas experiencias bacanes, y a Belén, mi primera amiga de la U. A Sumaria2, que son much@s como para mencionarl@s a tod@s, por las risas, su ayuda y amistad. A Vale, Feña, Jean Franco, Claudio, Diego, Ivan y Gabo, los electrobigotitos, por ser mis primeros amigos en el departamento cuando no conocía a nadie, por las tardes de estudio con pizza y por ayudarme a terminar esta memoria.

Gracias mis amigas de toda la vida, Domi, Isi, Jesu, Chio y Dani, que me han estado para mi en las buenas y en las malas desde el colegio, por leer todas las versiones de mi memoria a pesar de no entender nada. A Matías Saavedra, por todo el amor que me has dado, por no dejarme creer que no podía lograrlo, por escucharme hablar sola mientras escribía este trabajo y por motivarme a trabajar, te amo.

Finalmente, agradecer a mi familia por su amor y apoyo incondicional. Al Dante y la Montse por siempre preguntarme cómo iba mi memoria y darme ánimos, mención honrosa a Dante que me ayudó en todo lo que tenía que ver con economía. A mi abuelita, por cocinarme puras cosas ricas mientras trabajaba en esto. A mi papá y mamá por educarme para ser quien soy ahora, enseñarme a ser fuerte y pelear por mis derechos, por comprarme comida rica para el estudio y siempre dejarme invitar amigos a estudiar.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
2. Marco teórico y estado del arte	3
2.1. Energía solar	3
2.1.1. Sistemas fotovoltaicos	4
2.1.2. Sistemas termosolares	8
2.1.2.1. Centrales cilindro-parabólicas	8
2.1.2.2. Torres de generación termosolar	8
2.1.3. Energía solar en Chile y el mundo	9
2.2. Uso de agua	10
2.3. Desalación	11
2.3.1. Tecnologías de desalación	12
2.3.1.1. Desalinización térmica	12
2.3.1.2. Evaporación relámpago	12
2.3.1.3. Congelación	13
2.3.1.4. Electrodiálisis	13
2.3.1.5. Ósmosis inversa	14
2.3.2. Desalación en el mundo	16
2.3.3. Costos de la desalación	17
2.4. Plantaciones	18
2.4.1. Uso de suelo y plantaciones	20
2.4.2. Plantaciones y agua	22
2.4.3. Plantaciones en el desierto	23
2.5. Servicios complementarios	24
2.5.1. Control de frecuencia	24
2.5.2. Control de tensión	25
2.5.3. Control de Contingencias	25
2.5.4. Plan de recuperación de servicio	25
3. Metodología	27
3.1. Localización	28
3.2. Descripción de casos	30
3.3. Evaluación de casos	32

3.3.1.	Uso de agua	32
3.3.2.	Evaluación económica	33
3.3.3.	Ingresos	36
3.3.4.	Emisión y captación de CO ₂	37
3.3.5.	Impacto socio-ambiental	37
4.	Resultados y discusión	39
4.1.	Resultados	39
4.1.1.	Uso de Agua	39
4.1.2.	Emisión y captación de CO ₂	41
4.1.3.	Evaluación económica	47
4.1.3.1.	Caso Base	48
4.1.3.2.	Caso 1	49
4.1.3.3.	Caso 2	51
4.1.3.4.	Caso 3	52
4.1.4.	Evaluación socioambiental	53
4.2.	Discusión	55
4.2.1.	Uso de agua	55
4.2.2.	Emisión y captación de CO ₂	56
4.2.3.	Evaluación económica	58
4.2.4.	Evaluación socioambiental	60
4.2.5.	Suma de resultados	60
4.2.6.	Análisis de sensibilidad	62
5.	Conclusiones	66
5.1.	Trabajo futuro	67
	Bibliografía	69
	Anexo A. Flujos de Caja	74
	Anexo B. Equivalencias CO₂	88

Índice de Tablas

2.1.	Demanda de agua por DAA y captación distribuida por usos	11
2.2.	Fijación de CO_2 anual en toneladas de CO_2 por hectárea, por especies de plantación	19
2.3.	Número de predios y superficie silvoagropecuaria utilizada según región	20
2.4.	Plantaciones forestales por región	21
2.5.	EDAC por Subfrecuencia SEN – Norte Grande	26
3.2.	Coefficientes de cultivo para tomates, naranjos y pinos	32
3.1.	Precipitaciones promedio mensuales en Antofagasta, Chile	33
3.3.	Costos	34
3.4.	Costos de distintos proyectos de desalación	34
3.5.	Costos de distintas tecnologías de riego	34
3.6.	Precios para semillas y plantas	35
3.7.	Datos planta fotovoltaica según plantación	35
3.8.	Costos de distintas tecnologías de riego	35
3.9.	Cargos y peajes	36
3.10.	Venta de SSCC	37
4.1.	Uso de agua para tomates, naranjos y pinos según etapa de crecimiento	39
4.2.	Tiempo por etapa para tomates, naranjos y pinos	39
4.3.	Captación de CO_2 por plantación anual	41
4.4.	Emisión de CO_2 según uso de madera	42
4.5.	Captación de CO_2 por plantación anual	42
4.6.	Emisiones asumidas por generación de energía convencional	43
4.7.	Emisiones por construcción de desaladora de 491 [m^3 /día]	44
4.8.	Emisiones por construcción de desaladora de 299 [m^3 /día]	45
4.9.	Emisiones por construcción de fotovoltaica de 0,43 [MW]	46
4.10.	Emisiones por construcción de fotovoltaica de 0,262 [MW]	47
4.11.	Costos construcción de desaladora según plantación	47
4.12.	Costos de operación diarios de planta desaladora según plantación	48
4.13.	Precios para naranjas y tomates	48
4.14.	Resultados del flujo de caja para las distintas plantaciones	48
4.15.	Resultados del flujo de caja para las distintas plantaciones	50
4.16.	Resultados del flujo de caja para las distintas plantaciones	51
4.17.	Resultados del flujo de caja para las distintas plantaciones	52
4.18.	Límites establecidos en normas de calidad del aire	56
4.19.	Emisiones por construcción de desaladoras y fotovoltaicas	56
4.20.	Límites establecidos en normas de calidad del aire	57
4.21.	Puntajes para captación de CO_2	60
4.22.	Puntajes para emisiones	61

4.23.	Puntajes para uso de agua	61
4.24.	Puntajes para la evaluación económica	61
4.25.	Puntajes finales por caso y plantación	61
A.1.	Flujo de caja caso base, tomates	75
A.2.	Flujo de caja caso base, naranjos	76
A.3.	Flujo de caja caso base, pinos	77
A.4.	Flujo de caja caso 1, tomates	78
A.5.	Flujo de caja caso 1, naranjos	79
A.6.	Flujo de caja caso 1, pinos	80
A.7.	Flujo de caja caso 2, tomates	81
A.8.	Flujo de caja caso 2, naranjos	82
A.9.	Flujo de caja caso 2, pinos	83
A.10.	Flujo de caja caso 3, tomates	84
A.11.	Flujo de caja caso 3, naranjos	85
A.12.	Flujo de caja caso 3, pino	86
A.13.	Ingresos y costos para tomates con resolución mensual, caso base	87
A.14.	Ingresos y costos para tomates con resolución mensual, caso 1	87
A.15.	Ingresos y costos para tomates con resolución mensual, caso 2	87
A.16.	Ingresos y costos para tomates con resolución mensual, caso 3	87
B.1.	Potencial de calentamiento global	88

Índice de Figuras

2.1.	Radiación solar	3
2.2.	Primera celda fotovoltaica	4
2.3.	Funcionamiento de una celda solar	5
2.4.	Curvas I-V y P-V de un panel solar	6
2.5.	Curvas I-V de un panel solar con distinta irradiancia	6
2.6.	Esquema de una central cilindro-parabólica	8
2.7.	Esquema de una torre de concentración	9
2.8.	Países con mayor capacidad instalada de energía solar	9
2.9.	Distribución del consumo total de agua, y del consumo superficial y subterráneo	11
2.10.	Funcionamiento de desalinización térmica	12
2.11.	Funcionamiento de evaporación relámpago	13
2.12.	Funcionamiento de congelación	13
2.13.	Funcionamiento de electrodiálisis	14
2.14.	Funcionamiento de ósmosis inversa	14
2.15.	Modelo de planta desaladora	15
2.16.	Contribución relativa al PIB silvoagropecuario por rubro	21
2.17.	Ciclo hidrológico	22
3.1.	Esquema de metodología	27
3.2.	Mapa de radiación Mejillones, Antofagasta	28
3.3.	Subestaciones Mejillones y Chacara, Antofagasta	29
3.4.	Radiación anual promedio Mejillones, Antofagasta	29
3.5.	Mejillones, Antofagasta	30
3.6.	Esquema básico del Caso base	30
3.7.	Esquema básico del Caso 1	31
3.8.	Esquema básico del Caso 2	31
3.9.	Esquema básico del Caso 3	32
3.10.	Costos Marginales Reales en la barra Atacama, de enero 2017 a junio 2020	36
3.11.	Representación gráfica de la Herramienta de Análisis Integral	38
4.1.	Evolución del uso de agua por plantación según etapa de crecimiento	40
4.2.	Demanda de agua por 20 años para 10 hectáreas plantadas, según plantación	40
4.3.	Requerimiento de agua de mar para desaladora, para 10 hectáreas, por 20 años	41
4.4.	Mitigación de CO_2 anual para 10 hectáreas plantadas, según plantación	41
4.5.	Mitigación de CO_2 por 20 años para 10 hectáreas plantadas, según plantación	42
4.6.	Mitigación de CO_2 anual para 10 hectáreas plantadas, según plantación	43
4.7.	Mitigación de CO_2 por 20 años para 10 hectáreas plantadas, según plantación	43
4.8.	Emisiones por uso de energía según plantación	44
4.9.	Emisiones por construcción de desaladoras, según producción de agua	45
4.10.	Emisiones por construcción de fotovoltaicas, según producción de agua	46

4.11.	Flujo de caja para el caso base, en el tiempo, considerando una plantación de tomates	49
4.12.	Flujo de caja para el caso base, en el tiempo, considerando una plantación de naranjos	49
4.13.	Flujo de caja para el caso base, en el tiempo, considerando una plantación de pinos	49
4.14.	Flujo de caja para el caso 1, en el tiempo, considerando una plantación de tomates	50
4.15.	Flujo de caja para el caso 1, en el tiempo, considerando una plantación de naranjos	50
4.16.	Flujo de caja para el caso 1, en el tiempo, considerando una plantación de pinos	51
4.17.	Flujo de caja para el caso 2, en el tiempo, considerando una plantación de tomates	51
4.18.	Flujo de caja para el caso 2, en el tiempo, considerando una plantación de naranjos	52
4.19.	Flujo de caja para el caso 2, en el tiempo, considerando una plantación de pinos	52
4.20.	Flujo de caja para el caso 3, en el tiempo, considerando una plantación de tomates	53
4.21.	Flujo de caja para el caso 3, en el tiempo, considerando una plantación de naranjos	53
4.22.	Flujo de caja para el caso 3, en el tiempo, considerando una plantación de pinos	53
4.23.	Ingresos por venta de agua por 20 años, según plantación	58
4.24.	Ingresos por venta de frutas o madera por 20 años, según plantación	59
4.25.	Cambio en el VAN al cambiar el precio de la energía	62
4.26.	Cambio en los flujos de caja en el tiempo, al cambiar el precio de la energía . .	63
4.27.	Cambio en los ingresos al cambiar el precio del agua y/o las naranjas	63
4.28.	Cambio en el VAN al cambiar la cantidad de hectáreas plantadas	64
4.29.	Costos de inversión por hectárea al variar cantidad de hectáreas plantadas . .	64
4.30.	Variación en el VAN al variar la tasa de impuestos	65

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

El cambio climático, provocado por la emisión de gases de efecto invernadero, es uno de los mayores problemas (si no el mayor) que enfrenta la humanidad en la actualidad. Para combatirlo se han creado distintos acuerdos y metas alrededor del mundo en busca de un futuro, y un desarrollo, sostenible, como lo son el Acuerdo de París [1], los Objetivos del Desarrollo Sostenible [2], y específicamente en Chile, la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) [3]. Estos acuerdos abarcan distintas áreas en las cuales se puede influir en pos de la sustentabilidad, que van desde la acción por el clima hasta la reducción de desigualdades sociales.

La NDC presenta planes de mitigación de emisiones y de adaptación al cambio climático, y la última versión integra nuevos agentes a considerar para enfrentar efectos e impactos de este, entre los cuales destacan los bosques y ecosistemas [3]. Los recursos vegetacionales tienen la capacidad de capturar el dióxido de carbono, además ayudan en la regulación del régimen hídrico, la conservación y protección de los suelos, y la conservación de la biodiversidad. Estas características los hacen aliados importantes en el camino hacia detener el cambio climático y sus consecuencias.

Una de las grandes formas en que el sector eléctrico puede aportar en estos desafíos es en el uso de Energías Renovables, las cuales se caracterizan por no agotarse y tener un impacto ambiental mucho menor que las tecnologías tradicionales. Chile especialmente tiene un gigantesco potencial en el desarrollo de este tipo de energía, debido a que se tiene la radiación solar más alta del mundo, fuertes vientos de norte a sur, una costa que recorre todo el país donde se puede obtener energía marina, una cordillera donde explotar el recurso geotérmico, entre otros factores [4].

Actualmente, en Chile casi el 49 % de la matriz eléctrica instalada corresponde a energías renovables [5] entre las que se encuentran: hidráulica (de embalse y pasada), mini hidráulica, solar, eólica, biomasa y geotermia. La energía solar es una de las ERNC más usadas en el país y el mundo, siendo cerca del 10 % de la capacidad instalada del SEN [6] y con más de 580 GW de capacidad solar a nivel mundial [7].

Sin embargo, planes de mitigación como utilizar energías renovables o cuidar y plantar

más bosques, no son las únicas acciones que se pueden o deben tomar, también se requieren medidas de adaptación. Desalinizar se define según la RAE como “*quitar la sal del agua del mar o de las aguas salobres, para hacerlas potables o útiles para otros fines*”, y es uno de los métodos que distintos países están usando actualmente para hacerle frente a la sequía que ha provocado el cambio climático, y Chile no es la excepción.

Dada la mega sequía que se vive en el país, se ha impulsado el desarrollo de la desalación como una alternativa para zonas donde el agua es muy escasa o tiene precios muy elevados, como el norte y para la industria minera. En Chile ya operan 24 plantas desalinizadoras que producen 5.570 litros de agua por segundo, y hay otros 22 proyectos en desarrollo [8]. Es aquí donde puede actuar la energía solar, jugando un rol fundamental en ser la fuente de energía del proceso de desalación, tecnologías que en conjunto con recursos vegetacionales, podrían ser claves para mitigar emisiones en el país.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

La energía solar, junto con las tecnologías de desalación, permiten pensar en nuevas medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, que sean especialmente atractivas en Chile gracias al potencial solar disponible. El proceso de desalación requiere una gran cantidad de energía, por lo que el objetivo de este trabajo será analizar la factibilidad de utilizar el sol como fuente de energía de este proceso, y así posibilitar impactos positivos desde el punto de vista de reducción de emisiones y captura de CO_2 . Concretamente, se analizarán medidas de mitigación de CO_2 basadas en plantaciones en el norte del país.

1.2.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos del trabajo, con el fin de cumplir el objetivo general son:

- Evaluar la viabilidad energética, técnica y económica, de utilizar desalación de agua de mar con energía solar para el riego de plantaciones en el desierto.
- Analizar distintas soluciones tecnológicas que permitan integrar energía solar en el proceso de desalación, y a su vez, contribuir a la operación del sistema.
- Realizar un análisis preliminar del impacto de las soluciones propuestas desde el enfoque de mitigación y socio-ambiental.

Si bien forma parte del análisis la identificación de aspectos socio-ambientales de las soluciones, una profundización en ellos está fuera del alcance de este trabajo.

Capítulo 2

Marco teórico y estado del arte

2.1. Energía solar

La energía solar, como su nombre lo dice, es la energía proveniente del sol. Es tan potente que la cantidad que llega a la superficie de la Tierra en un año es mucho mayor a lo que se usa de energía mundialmente en el mismo tiempo. En el ámbito eléctrico representa un tipo de energía renovable no convencional, en donde la radiación del sol puede ser utilizada para conversión térmica, es decir obtener calor, y para conversión fotovoltaica, para obtener electricidad.

La radiación solar es la densidad de potencia incidente en un objeto debido a la iluminación del sol, que a diferencia de la conducción y convección, no necesita un medio material para transmitirse. Sin embargo, el sol no es el único que emite radiación, todo cuerpo a una temperatura mayor a 0°K lo hace, y a mayor temperatura, la intensidad de radiación aumenta y las longitudes de onda se hacen más cortas. Específicamente el sol tiene una temperatura en la superficie de 5.778°K , y longitudes de onda de 0,3 a 2,5 micrones [9].

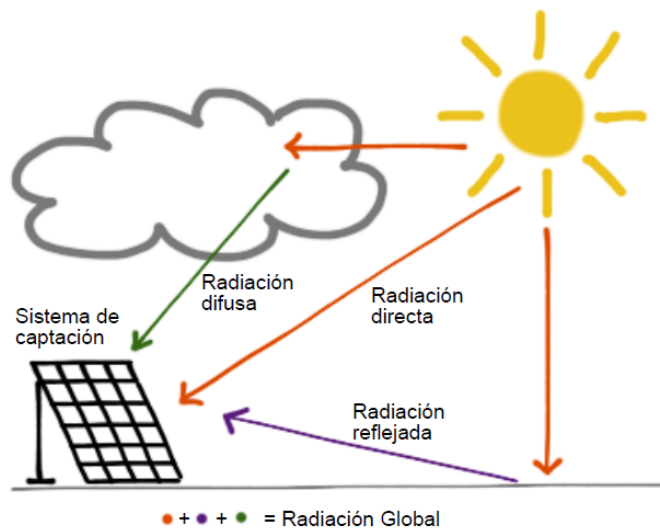


Figura 2.1: Radiación solar

La potencia emitida, a diferencia de las longitudes de onda, crece con la temperatura. La

potencia total emitida por el sol es de $9,5 \times 10^{25} [\text{W}]$, pero solo una fracción incide sobre la Tierra, específicamente $1.366,1 [\text{W}/\text{m}^2]$. Si bien la radiación que llega a la atmósfera es casi constante, la que llega a la superficie varía según efectos atmosféricos, nubes, contaminación, latitud del lugar, época del año y hora del día [10]. Se llama radiación directa a aquella que proyecta sombra, y radiación difusa a la que viene de otras direcciones. La radiación global es la suma de la intensidad de la directa y la difusa. Este efecto está representado en la Figura 2.1 [11].

A medida que la Tierra gira alrededor del sol y sobre su propio eje, cambia el ángulo en el que la luz llega a la Tierra, y esto impacta en la cantidad de energía que se recibirá. Específicamente, cuando los rayos del sol son perpendiculares a la superficie, la densidad de potencia en la superficie es igual a la incidente, y cuando el ángulo entre el sol y la superficie es 0 o 180° , se reduce la intensidad en la superficie llegando casi a ser nula [10].

Existen distintas formas en que se aprovecha la energía solar, puede ser como luz sin hacer ningún proceso, o convertirla en otra forma de energía. Hay tres grandes formas de conversión: conversión biológica, conversión térmica y conversión directa [9].

- La conversión biológica es lo que hacen las plantas en el proceso de fotosíntesis, donde se capta la radiación solar y se aprovecha esta energía para “fabricar” productos químicos y liberar oxígeno. Este tipo de conversión es lo que permite la vida en la Tierra.
- La conversión térmica es convertir la radiación solar en calor, esto es muy sencillo y casi no requiere un proceso extra, pero usando tecnologías adecuadas se pueden lograr temperaturas incluso mayores de las que entrega el sol por si solo.
- La conversión directa es la más reciente y consiste en transformar la energía solar en electricidad. Esto también se conoce como el fenómeno fotoeléctrico.

2.1.1. Sistemas fotovoltaicos

El efecto fotovoltaico fue descubierto en 1839 por Alexandre Becquerel, y consiste en la emisión de electrones de un metal expuesto a luz, es decir, la aparición de tensión en un material semiconductor expuesto a la luz. Muchos científicos investigaron este efecto durante el siglo XIX, incluyendo Heinrich Hertz, Philip Lenard, Willoughby Smith, Charles Fritts, William Grylls y Richard Evans. A los últimos 3 se les atribuye la creación de la primera celda fotovoltaica en 1877 (Grylls y Evans) y 1883 (Fritts), hecha de selenio [12], y mostrada en la Figura 2.2 [13].

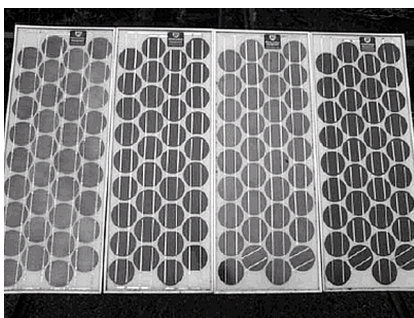


Figura 2.2: Primera celda fotovoltaica

La celda o célula de silicio, la más usada actualmente, se desarrolló en 1946, y su primera utilización fue en satélites artificiales. Su funcionamiento es dado a que los átomos del semiconductor de silicio están unidos por una pareja de electrones, y cuando sube la temperatura, algunos de estos se desprenden, permitiendo la conducción eléctrica relativa. Para su uso en paneles solares, estas celdas tienen una capa **n**, dopada con átomos pentavalentes, que aumentan el número de electrones, y una capa **p**, dopada con átomos trivalentes que reducen el número de electrones, permitiendo así “huecos” que pueden ser usados por los electrones de la otra capa, y generando electricidad. La Figura 2.3 muestra el funcionamiento de la celda solar [14].

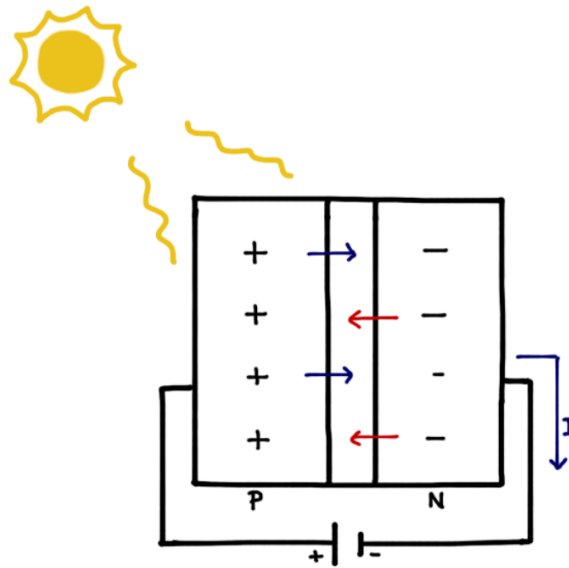


Figura 2.3: Funcionamiento de una celda solar

Un sistema fotovoltaico se compone de paneles o módulos, que pueden estar fijos o tener seguimiento, un sistema de control y acondicionamiento de potencia, y a veces un sistema de acumulación de energía, pudiendo estar o no conectados a la red. Las plantas fotovoltaicas son generadoras de energía eléctrica que se componen de módulos fotovoltaicos interconectados, y estos a su vez están compuestos por celdas fotovoltaicas. Estas celdas se pueden conectar en serie, para aumentar el voltaje, o en paralelo, para aumentar la corriente, en caso de estar en serie la corriente se limita a la de la celda con menor corriente. Los paneles solares también pueden ser conectados en serie o en paralelo, según se quiera aumentar la tensión o la corriente respectivamente [15].

Puede darse también que hayan en paralelo 2 hileras de celdas en serie, en este caso se sumarán las corrientes de ambas hileras y se limita el voltaje al de la hilera con menor voltaje, en el caso de paneles en vez de celdas, el funcionamiento es el mismo. Aquí es donde importa el *Efecto Sombra*, ya que en caso de tener celdas en serie la corriente de toda la hilera queda limitada a la de la celda que está a la sombra, y en caso de tener paneles en paralelo la corriente total disminuye a lo generado por el panel que está a la sombra. Para evitar que la potencia total del grupo se disipe en el panel a la sombra se usan diodos de protección en los paneles [16].

La curva de corriente-tensión (IV) y la curva potencia-tensión (P-V) de un panel solar

muestran el comportamiento del panel y sus valores de tensión y corriente en condiciones ambientales determinadas. Estas se presentan en la Figura 2.4 [15], de color azul y rojo respectivamente, donde I_{ccc} corresponde a la corriente de cortocircuito, V_{ca} es la tensión de circuito abierto, P_{mpp} el punto de máxima potencia y FF el factor de llenado o forma, que se calcula como muestra la siguiente ecuación:

$$FF = \frac{P_{mpp}}{(V_{ca} \cdot I_{ccc})} \quad (2.1)$$

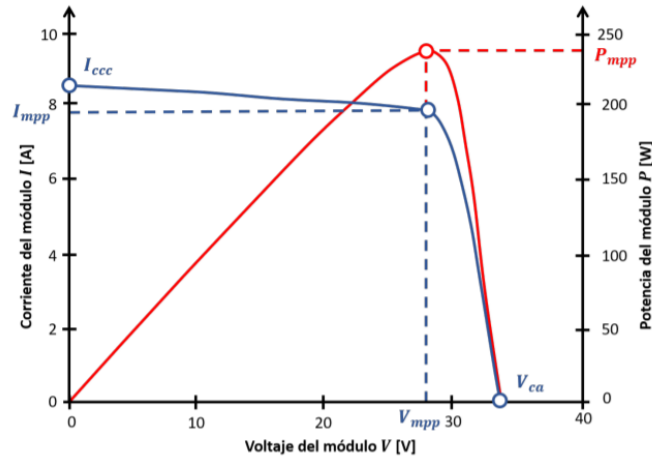


Figura 2.4: Curvas I-V y P-V de un panel solar

El lugar y tipo de instalación de un panel solar o de una planta solar, determina la irradiancia incidente y las condiciones de operación de estos. El voltaje en una celda es poco sensible a la intensidad de la radiación solar, pero la corriente es muy sensible a esta, al punto que con el doble de intensidad de radiación se tiene el doble de corriente. Esto se muestra en el gráfico de la Figura 2.5 [15]. La eficiencia de una celda también es sensible a la temperatura, potencia y espectro de la luz incidente, se produce una caída de rendimiento del orden de 0,5 % por grado de aumento de temperatura de celda [16].

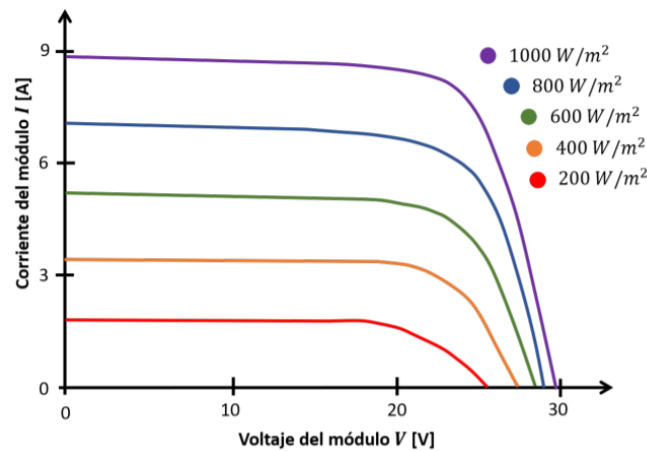


Figura 2.5: Curvas I-V de un panel solar con distinta irradiancia

Durante la última década, la eficiencia de paneles solares comerciales ha estado en el rango de 12 a 17%. Actualmente, el panel comercial basado en silicio monocristalino más eficiente tiene una eficiencia de 21,5% (SunPower's SPR-X21).

Gracias a la cooperación entre el Ministerio de Energía, la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ), el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, y otras asociaciones, se creó el **Explorador Solar**. Esta es una herramienta que presenta información pública detallada sobre el recurso solar en Chile, y puede usarse para conocer el recurso solar en el país, calcular sistemas de generación fotovoltaica y sistemas solares térmicos [17].

La capacidad de un sistema fotovoltaico (P_{DC} [kW]) se puede obtener de 2 formas según el Explorador Solar [18]. Primero, como se muestra en la ecuación 2.2 donde se necesita el área total efectiva (A_T [m^2]) y la eficiencia nominal (ϵ_{nom}), o como en la ecuación 2.3 donde se requiere la potencia máxima del panel (P_{mp} [W]) y el número de paneles (N).

$$P_{DC} = A_T \cdot \epsilon_{nom} \cdot 1 \left[\frac{kW}{m^2} \right] \quad (2.2)$$

$$P_{DC} = \frac{P_{mp} \cdot N}{1000} \quad (2.3)$$

La potencia generada por un panel (P_{gp}) está dada por:

$$P_{gp} = \begin{cases} \frac{I_{in}}{I_0} \cdot P_{DC} \cdot (1 + \gamma(T_c - T_0)) & \text{si } I_{in} \geq 125 \left[\frac{W}{m^2} \right] \\ \frac{0,008(I_{in})^2}{I_0} \cdot P_{DC} \cdot (1 + \gamma(T_c - T_0)) & \text{si } I_{in} < 125 \left[\frac{W}{m^2} \right] \end{cases} \quad (2.4)$$

Donde I_{in} es la radiación incidente, I_0 es la radiación de referencia (usualmente $1000 \left[\frac{W}{m^2} \right]$), γ es el coeficiente de temperatura de la celda para su potencia máxima, T_c la temperatura de la celda y T_0 a la temperatura de referencia (usualmente 25°C). Para obtener la temperatura de la celda, se necesita la temperatura del panel (T_p), la radiación incidente nuevamente, la velocidad del viento (V_v) y condiciones de instalación del panel, las cuales se definirán como:

$$\begin{aligned} a &= -3.47 \\ b &= -0.0594 \\ \Delta T &= 3 \end{aligned}$$

Entonces la temperatura de la celda queda como:

$$T_c = T_p + \frac{I_{in}}{1000} \cdot \Delta T \quad (2.5)$$

Mientras que la temperatura del panel es:

$$T_p = I_{in} \cdot e^{a+b \cdot V_v} \quad (2.6)$$

2.1.2. Sistemas termosolares

Los sistemas termosolares son sistemas capaces de convertir la radiación solar en calor útil. Las centrales termosolares calientan agua para producir vapor, el cual se usa para generación eléctrica convencional. Para lograr esto, requieren grandes cantidades de radiación solar, por lo que solo tiene sentido usarlas en lugares con mucha radiación directa [15]. Existen distintos tipos de sistemas termosolares, hay para bajas, medias, y altas temperaturas, entre los cuales destacan: sistemas cilindro-parabólicos, torres de concentración, discos solares parabólicos, reflectores y lentes fresnel, y hornos solares.

2.1.2.1. Centrales cilindro-parabólicas

Este tipo de centrales tienen una especie de canaletas con espejos parabólicos donde se concentra la radiación, con una tubería en el centro por la cual pasa un fluido (aceite o sal fundida) que se calienta. Usualmente se disponen varias de estas canaletas en paralelo para mejorar la eficiencia de la planta, la cual está cerca del 15%. La Figura 2.6 representa un esquema de estas centrales [19]. Sus medidas son del orden de 100[m] de largo, 6[m] de ancho

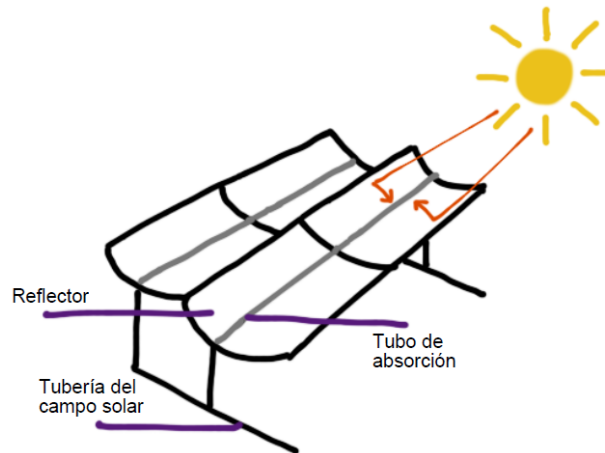


Figura 2.6: Esquema de una central cilindro-parabólica

y 7[cm] de diámetro de la tubería, logrando una superficie útil cercana a $550[m^2]$ de espejos. Si la relación entre superficie que recibe la radiación y la superficie del tubo absorbente es de 50/100, se logran temperaturas cercanas a los $400^{\circ}C$, y si se desea aumentar la temperatura se puede agregar una etapa de calentado adicional [15].

2.1.2.2. Torres de generación termosolar

En lo alto de estas torres se ubica un intercambiador de calor, en el cual se concentra toda la radiación que reflejan muchos espejos con sistemas de movimiento que mantienen la radiación en el foco de la torre. Con esto se logran temperaturas cercanas a los $600^{\circ}C$ [15]. Un esquema de cómo funcionan estas torres se presenta en la Figura 2.7 [20].

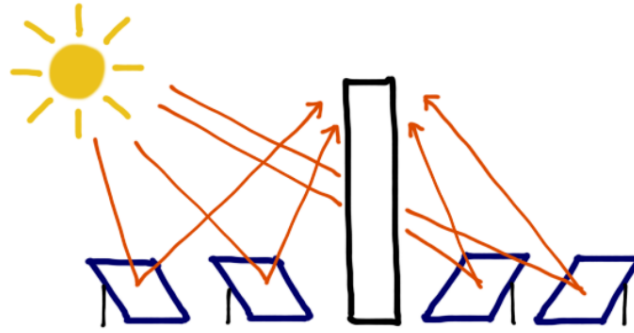


Figura 2.7: Esquema de una torre de concentración

2.1.3. Energía solar en Chile y el mundo

La demanda de energía crece todos los años en el mundo, en parte por el aumento de la población a nivel mundial y en parte por la creciente necesidad de calefacción o refrigeración. Para el 2018 el consumo de energía mundial era aproximadamente 330[Mtoe] (Mega toneladas equivalentes de petróleo), con una demanda electricidad de más de 23.000[TWh] [21]. El 26 % de la producción de esta electricidad es a partir de energías renovables, siendo 570[TWh] generados con energía solar [22].

Los países con mayor capacidad de energía solar en el mundo, según los datos del 2017 obtenidos por Solar Power Europe [23], se muestran en la Figura 2.8.

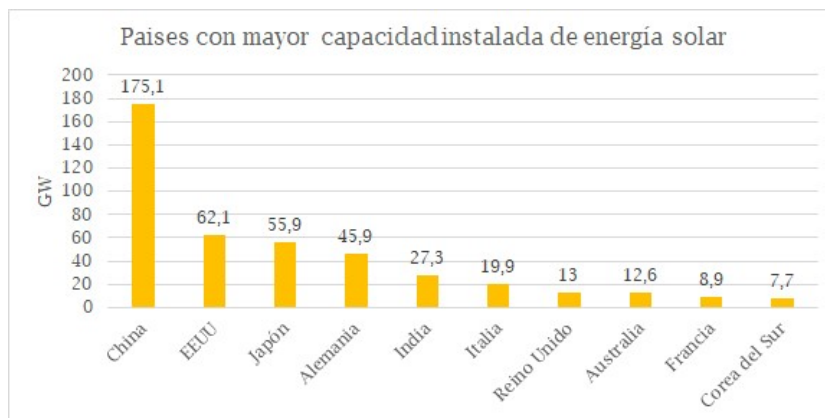


Figura 2.8: Países con mayor capacidad instalada de energía solar

En Chile casi el 11 % de la capacidad instalada de energía es solar fotovoltaica, sumando un total de 2.648,24 [MW] instalados [5], con los que se generaron 5.564 [GWh] el año 2019 [24]. Además de esto existen 23[MW] en proceso de pruebas, 1.625[MW] en construcción, 17.670[MW] con RCA aprobadas, y 3.643[MW] en calificación. Sobre centrales solares de concentración no hay ninguna en operación, pero hay 110[MW] en construcción y 2.775[MW] con RCA aprobada [25].

2.2. Uso de agua

La Tierra está cubierta en un 70 % por agua, de esta el 96.5 % corresponde a agua salada y el 3,5 % a agua dulce. Sin embargo, el 70 % del agua dulce está congelada y el 30 % restante se divide en pozos, subsuelo, arroyos, y ríos. Finalmente, el agua potable representa solo un 0,025 % de toda el agua del mundo [26]. A nivel mundial, el agua potable es necesaria para muchas actividades, específicamente, las proporciones de extracción de agua son 59 % agropecuaria, 23 % municipal y 18 % industrial [27].

El estrés hídrico está definido según PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) como “Cuando la demanda de agua es mayor que la cantidad disponible durante un periodo determinado o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad” [28], lo que provoca un deterioro de los recursos de agua dulce. Los grandes problemas que aportan al estrés hídrico son el cambio climático y el crecimiento de la población. Actualmente existen 23 países que presentan estrés hídrico por encima del 70 % [26]

Chile era considerado un país privilegiado con respecto al recurso hídrico debido a la gran cantidad de aguas continentales que hay a lo largo del país, específicamente existen 1.251 ríos y 15.000 lagos y lagunas. En el 2009, en promedio, el volumen de las precipitaciones alcanzaba para abastecer $53.000m^3$ por persona al año [29]. Pero actualmente Chile se encuentra en una sequía extrema, con un déficit de lluvias de entre 80 % a 30 % en distintas regiones del país [30].

En el país la agroindustria utiliza el 77 % del agua dulce, la industria el 9,1 %, la minería el 7 %, y el consumo doméstico el 5,9 %. Sin embargo, estos valores son promedios nacionales, y al ser un país tan diverso, hay muchas diferencias con respecto al uso y disponibilidad del recurso hídrico en las distintas zonas y regiones del país. La oferta hídrica, de forma superficial y subterránea, aumenta mientras más al sur se está, partiendo con un caudal de $0,01 m^3/s$ en el norte hasta $3.480 m^3/s$ en la zona austral [31].

El consumo de agua para el sector silvoagropecuario (agrícola, pecuario y forestal), se da principalmente en las regiones del Biobío, Maule y La Araucanía, debido a que abarcan la mayor cantidad de plantaciones forestales, fruticultura de exportación y cereales anuales más relevantes. El sector industrial consume más agua en las regiones del Biobío ($0,54 m^3/s$) y Maule ($0,15 m^3/s$), por la industria de celulosa, además de La Araucanía ($0,14 m^3/s$) y Los Ríos ($0,09 m^3/s$), por actividades vinculadas a alimentos de origen animal [31].

La demanda de agua específica de cada sector se presenta en la Tabla 2.1, donde “DAA” son Derechos de Aprovechamiento de Aguas, “Coeficiente DAA/captación” expresa la proporción entre los DAA otorgados y la captación actual de aguas, “Acciones” son los DAA expresados en el Catastro Público de Aguas como acciones, y “Captación” es el volumen de agua dulce superficial y/o subterránea extraída de fuentes naturales para ser utilizada por diferentes usuarios. [31]

Es importante notar que en la Tabla 2.1 el sector forestal no registra DAA y Captación de aguas ya que utiliza agua de lluvia, mientras que en el sector de generación eléctrica no se considera el cálculo de Coeficiente DAA/captación, debido a que sus derechos y usos de

agua son mayoritariamente no consuntivos. La Figura 2.9, presenta gráficamente el consumo de agua a nivel nacional, siendo el primer gráfico el uso total (huella hídrica azul y verde) y el segundo gráfico el uso de agua superficial y subterránea (huella hídrica azul) [31].

Tabla 2.1: Demanda de agua por DAA y captación distribuida por usos

Uso	DDA [m ³ /s]	Coefficiente DAA/captación	Acciones [n ^o]	Captación [m ³ /s]
Agrícola (Riego)	1.184,01	2,93	44.676	404,53
Minero	24,95	2,46	-	10,16
Agua potable y saneamiento	192,78	3,49	270	55,29
Industrial	16,81	1,30	-	12,93
Forestal	N/A	N/A	N/A	-
Generación Eléctrica	3,64	N/A	-	1.339,62
Pecuario	-	-	-	3,19
Otros Usos/No especificado	1.913,24	-	164.968	-

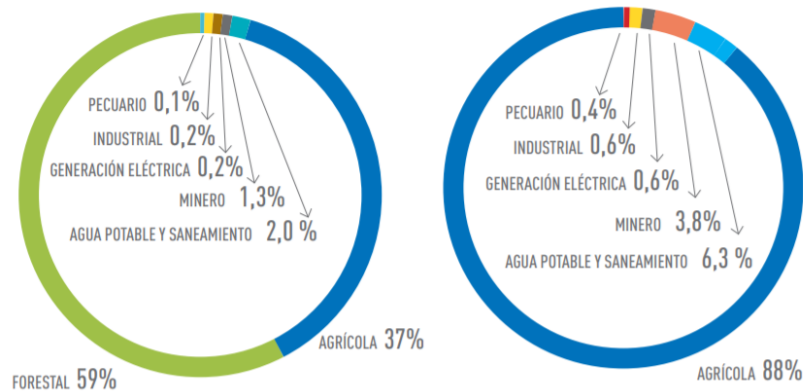


Figura 2.9: Distribución del consumo total de agua, y del consumo superficial y subterráneo

La huella hídrica verde se refiere al volumen de agua lluvia utilizada para riego, principalmente por el sector agrícola y forestal. Esta agua queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo, y se puede evaporar, evapotranspirar o incorporar en la vegetación. La huella hídrica azul se refiere al volumen de agua fresca extraída de fuentes superficiales y/o subterráneas, que no retorna al ambiente de donde se extrajo. Este “no retorno” puede ocurrir por: evaporación o evapotranspiración de agua, incorporación de agua en el producto, agua que no retorna a la misma cuenca de extracción o se descarga al mar, o agua que retorna a la cuenca en un periodo de tiempo distinto al que se extrajo.

2.3. Desalación

Como se menciona en la introducción, la desalación o desalinización, es un proceso físico-químico para quitarle la sal al agua de mar o agua salobre. Este proceso data de antes de Cristo, donde se decía que el agua dulce se obtenía por filtración del agua de mar, pero las plantas desaladoras no se vieron hasta el siglo XX [32]. Actualmente hay cerca de 18.000

plantas desaladoras en el mundo, según la Asociación Internacional de Desalinización, que satisfacen entre el 1 y 3% de lo necesario a nivel mundial [33].

2.3.1. Tecnologías de desalación

Existen distintos métodos de desalación, entre los que destacan: la desalinización térmica, destilación, compresión de vapor, congelación, evaporación relámpago, electrodiálisis, y ósmosis inversa, el proceso más usado en el mundo [34]. La energía solar puede servir en el proceso de desalación aportando calor o electricidad de manera fácil y a bajo costo, por ejemplo, si se necesita energía térmica, pueden acoplarse a plantas con colectores solares, y si se necesita electricidad, a plantas fotovoltaicas [35].

2.3.1.1. Desalinización térmica

La desalinización térmica consiste en imitar el ciclo natural del agua al evaporar y luego condensar esta. Como se necesita calor para este proceso, usualmente se vincula a centrales eléctricas o refinerías y se usa su calor residual. Existen tres tipos de desalación térmica: compresión de vapor (VC), destilación multiefecto (MED) y destilación flash multietapa (MSF) [36]. Un ejemplo gráfico de desalación térmica se presenta en la Figura 2.10 [37].

La **Destilación** es un proceso de desalinización térmica, en el que se calienta el agua hasta evaporarla, para luego condensarla y obtener agua dulce, la diferencia con otras desalinizaciones térmicas es que se hace en varias etapas, donde la presión y temperatura descienden en cada una. Se hace con presiones más bajas de la presión atmosférica y se usa una bomba de vacío para extraer el agua, además, el calor de la condensación sirve para volver a destilar el agua [38]. La **compresión de vapor** funciona de manera similar, con la diferencia de que se realiza por medios mecánicos, y el calor se aplica por medio de un vapor comprimido.

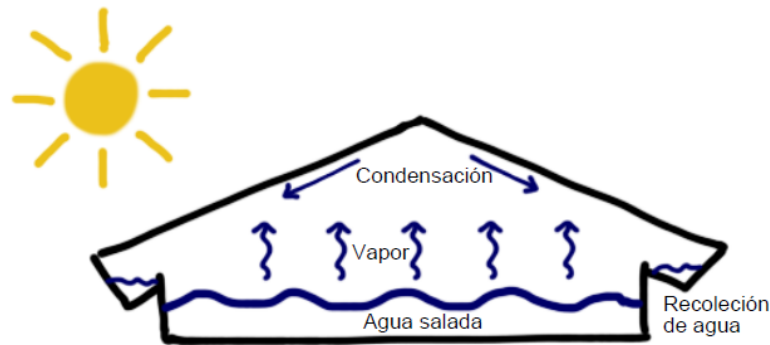


Figura 2.10: Funcionamiento de desalinización térmica

2.3.1.2. Evaporación relámpago

En la evaporación relámpago se introducen gotas de agua salada sobre una cámara a baja presión, parte de ellas se evapora y luego se condensa, repitiendo el proceso con las gotas restantes y presión más baja hasta lograr un grado específico de desalación [34] [39].

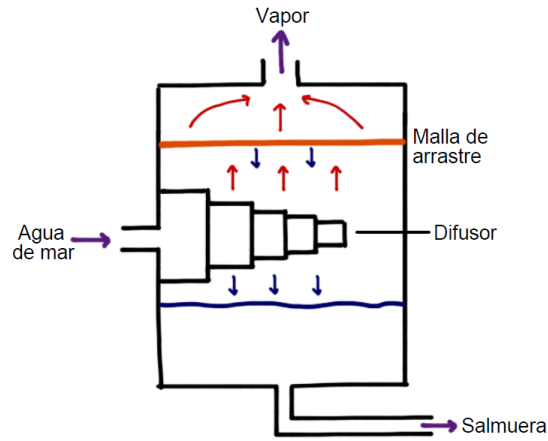


Figura 2.11: Funcionamiento de evaporación relámpago

2.3.1.3. Congelación

La congelación consiste en pulverizar el agua de mar en una cámara refrigerada, formando cristales que se separan, y al lavar con agua normal se obtiene agua dulce [34] [40].

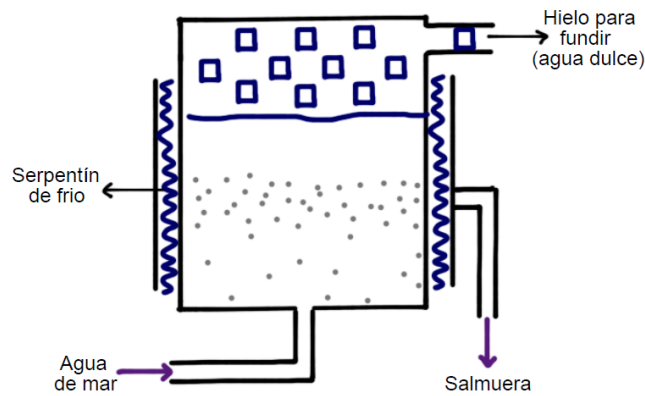


Figura 2.12: Funcionamiento de congelación

2.3.1.4. Electrodialisis

La electrodialisis consiste en aplicar electricidad a través de una membrana que actúa de barrera para el transporte de iones y cationes para desalinizar el agua [38] [40].

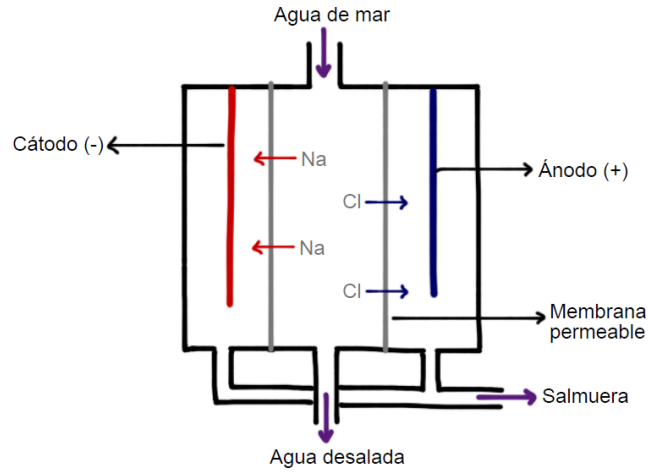


Figura 2.13: Funcionamiento de electrodiálisis

2.3.1.5. Ósmosis inversa

En este proceso se separa el agua de la sal al aplicar presión sobre agua salada y hacerla pasar por una membrana semipermeable, la cual deja pasar el agua pero no las sales disueltas. Para este proceso se necesita un aporte de energía exterior en forma de presión, y que vence a la osmótica natural. Es el proceso más eficiente en gasto energético pero necesita hasta 3 veces más agua de la producida, es decir, se recupera 1/3 de agua dulce de toda el agua de mar utilizada [34] [38] [41].

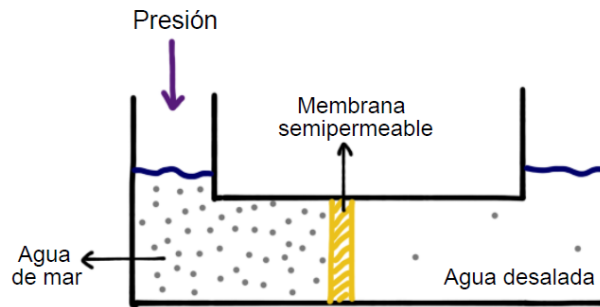


Figura 2.14: Funcionamiento de ósmosis inversa

Para modelar una planta de ósmosis inversa se parte de un esquema como el de la Figura 2.15 [42]. El flujo de agua de mar que entra a la planta está dado por A_i , mientras que el flujo de agua desalada sería A_d y el flujo de salmuera sería A_s . Estos flujos se miden en [l/s] y se relacionan entre sí como muestra la ecuación 2.7.

$$A_i = A_d + A_s \quad (2.7)$$

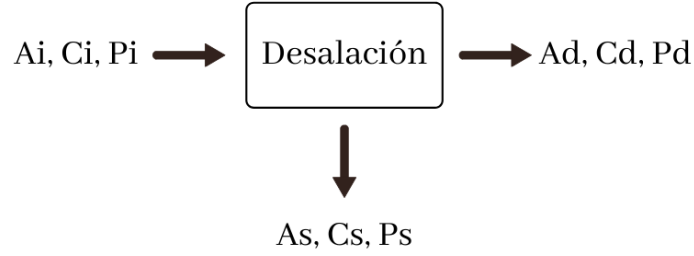


Figura 2.15: Modelo de planta desaladora

C_i , C_d y C_s representan la concentración de sal en [g/l] del agua de mar, el agua desalada y la salmuera respectivamente, mientras que P_i , P_d y P_s representan la presión en [bar] de los distintos tipos de agua. Ahora, el balance de sal está dado por la ecuación 2.8.

$$A_i \cdot C_i = A_d \cdot C_d + A_s \cdot C_s \quad (2.8)$$

La recuperación de la planta (R) es la parte del flujo de agua que cruza la membrana de ósmosis inversa, y se calcula como muestra la ecuación 2.9.

$$R = \frac{A_d}{A_i} \quad (2.9)$$

Con esto, la concentración de sal en la salmuera se puede expresar como:

$$C_s = \frac{C_i}{1 - R} \quad (2.10)$$

El número de membranas necesarias para lograr filtrar el agua de mar está dado por:

$$N_m = \frac{A_d}{f \cdot S_m} \quad (2.11)$$

Donde S_m es la superficie de la membrana en [m^2] y f el coeficiente de transporte del agua.

$$A_d = Per \cdot S_m \cdot F_f \cdot K_{TCF} \cdot P_{nd} \quad (2.12)$$

El flujo del agua desalada producida por ósmosis inversa está relacionado con la presión del agua de mar por la ecuación 1.12, donde Per es la permeabilidad de la membrana, F_f el factor de ensuciamiento y K_{TCF} es el factor de corrección de la temperatura, necesario ya que si aumenta la temperatura del agua de mar, aumenta la permeabilidad de la membrana. Este último factor está descrito en la ecuación 2.13, donde T es la temperatura en grados Celsius.

$$K_{TCF} = \begin{cases} \exp\left(2640 \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{273+T}\right)\right) & \text{si } T \geq 25 \\ \exp\left(3020 \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{273+T}\right)\right) & \text{si } T < 25 \end{cases} \quad (2.13)$$

Finalmente P_{nd} es la gradiente de presión, cuya ecuación es:

$$P_{nd} = P_i - \frac{1}{2} \left(0,01 \left(\frac{A_i + A_s}{2} \right)^{-1,7} \right) - P_d - \left(\left(\frac{\frac{2C_i}{2-R} + C_s}{C_s} \right) \cdot \left(\frac{\pi_i + \pi_s}{2} \right) - \pi_d \right) \quad (2.14)$$

Con π siendo la presión osmótica, cuya fórmula es:

$$\pi_x = 0,002654(T + 273) \cdot C_x \left(\frac{1}{1000 - \frac{C_x}{1000}} \right) \quad (2.15)$$

Si además se quiere saber la energía necesaria para la operación de la planta, se utiliza la ecuación 2.16 que presenta la potencia de la bomba hidráulica, ya que según distintos estudios, lo que más consume energía es el bombeo de agua de mar.

$$Pot_H = 27,78 \frac{P_i A_i}{\eta_H} \quad (2.16)$$

Donde η_H es la eficiencia de bombeo.

2.3.2. Desalación en el mundo

Actualmente los países pioneros en desalación son: Emiratos Árabes, Libia, Kuwait, Qatar, Estados Unidos, Japón, España, y Arabia Saudita, país donde 4 de 5 litros que se consumen de agua dulce provienen de plantas desalinizadoras. Oriente Medio tiene más del 50% de la capacidad mundial de desalación, y prontamente tendrá una de las mayores plantas del mundo. Shuqaiq 3 en Arabia Sudita, es un proyecto con una inversión de 600 millones de dólares, utilizará ósmosis inversa, y tendrá una capacidad de 450.000 m^3 por día, que abastecerá de agua potable a 1,8 millones de personas, además de abastecer el consumo industrial, agrícola y comercial [43].

Otras plantas desaladoras importantes existentes en el mundo son: IDAM Sorek, la más grande del mundo, se inauguró el 2013 en Israel, utiliza la tecnología de ósmosis inversa, y tiene un caudal de tratamiento de 624.000 m^3 al día. IDAM Port Stanvac, una planta en Australia en la localidad de Port Stanvac, que cuenta con una capacidad punta de 300.000 m^3 al día, cubriendo el 50% del suministro de agua potable en toda la región, destacando por incorporar membranas de ultrafiltración y configuración en doble etapa para optimizar el rendimiento energético [44].

En Chile, según el Ministerio de Obras Públicas, para octubre del 2019 habían 24 plantas desalinizadoras y sistemas de impulsión de agua de mar operando en el norte del país que utilizan el método de ósmosis inversa, y con las cuales se producen 5.570 litros de agua por segundo. Se espera además, que en los próximos 5 años esa cifra crezca a cerca de 14.500 litros de agua por segundo, ya que existen otros 22 proyectos en el país que van en distintas etapas de desarrollo [8].

La minería y la industria son los sectores que producen más agua dulce a partir de agua de mar, llegando a tener el 82,4% de la capacidad de desalación del país y el 65,2% de las plantas instaladas. Con esto logran cubrir el 20% de lo que necesitan del recurso hídrico

[8]. Además de estos sectores, existen plantas desaladoras que abastecen de agua dulce a la población, como lo son la planta desaladora de Antofagasta, que entrega 600[l/s], abasteciendo el 60 % del consumo de los habitantes de la ciudad; o la desaladora de Taltal, que produce 5[l/s] [45].

El uso de energía solar para desalinización ya es usado en Chile y el mundo. En Kenya existe una planta de desalación energizada por tecnología fotovoltaica, que entrega 75.000 litros de agua potable al día para 25.000 personas [46], mientras que en Algarrobo hay un prototipo funcional de planta desaladora en base a energía solar, con paneles fotovoltaicos monocristalinos que entregan 2,2[kW] para la producción de 1[m³] de agua purificada cada hora [47].

2.3.3. Costos de la desalación

Uno de los grandes problemas de estas plantas es que necesitan mucha energía para lograr el proceso de desalar agua, ya que esta representa casi la mitad de los costos. Según la Fundación Aquae, estas plantas consumen más de 200 GWh cada día, y como ejemplo, la planta Carlsbad de California requiere la misma cantidad de energía para desalar agua para 300.000 personas, que lo que podrían usar cerca de 40.000 hogares en un año como electricidad [48]. Hace 10 años producir 1 litro de agua desalada por segundo requería un gasto de energía de 10[kWh], pero para el 2018 este bajó a la mitad [49].

La última información encontrada, según una investigación realizada por la Universidad de Corea el 2019, indica que entre los factores que más afectan el consumo de energía se encuentran: la concentración de sal (a mayor concentración se requiere más energía), la eficiencia del sistema de ósmosis inversa y de la bomba de presión (a mayor eficiencia se requiere menos energía), y la calidad que se quiera del agua desalada (a mayor calidad se requiere más energía) [50].

A partir de este mismo artículo se obtiene un promedio de consumo de energía para plantas de desalación con ósmosis inversa en el mundo, el cual es de 4,3[kWh/m³]. Cabe destacar que entre las plantas consideradas en el estudio hay 2 chilenas, las cuales consumen 4,3 y 4,2 [kWh/m³], lo que confirma que el promedio encontrado sería un buen supuesto a utilizar durante este trabajo.

El gasto de energía impacta fuertemente en el costo del agua desalada, sin embargo, gracias a que el primero está disminuyendo, el segundo también. Actualmente el precio del agua desalada se ubica entre 0,5 y 1,5 US\$/m³, siendo más barata en países con costos de electricidad baratos y más cara en zonas con costos de electricidad altos [51]. Según un estudio del 2016 de la IWA (International Water Association), con los avances tecnológicos se espera que los costos del agua desalada se reduzcan en un 20 % en 2021, y hasta un 60 % en 15 años más.

Además del costo energético y monetario, existe un costo medioambiental del proceso de desalación. Varias plantas desalinizadoras se ubican cerca de termoeléctricas y utilizan el calor excedente de la generación de electricidad para evaporar agua de mar, por lo que se usan muchas plantas generadoras de energía que dependen de combustibles fósiles y emiten

gases de efecto invernadero. Esto, combinado con el hecho de que los países que necesitan más agua desalada calzan con ser los países que más petróleo producen, lleva a seguir utilizando esas tecnologías [52].

El otro gran costo medioambiental es la eliminación del agua salada. El proceso de desalación tiene como resultado agua dulce y salmuera (agua salada concentrada), y según recientes estudios de la ONU, la proporción es 1/1,5 respectivamente, es decir, se produce 50 % más salmuera que agua salada. Además de esto, cuando la salmuera regresa al océano, tiene mayor cantidad de salinidad que el agua de mar, es más cálida, y contiene elementos como cobre y cloro, agregados en el proceso de desalinización para controlar el crecimiento bacteriano o reducir la corrosión. Todo esto puede provocar efectos negativos en la flora y fauna marina [53].

2.4. Plantaciones

Los ecosistemas boscosos tienen la capacidad de capturar CO_2 , brindan seguridad hídrica, ayudan a la preservación de la biodiversidad, la mitigación de daños y riesgo de desastres, y a la reducción de deslizamiento de tierras. Además de esto, el aumento de bosques tiene una relación directa con el bienestar de las personas en aspectos como salud, identidad, espiritualidad, entre otros, además de beneficios culturales y de turismo [54].

Según recomendaciones internacionales, una de las principales medidas para mitigar los efectos del cambio climático es la forestación de extensas zonas territoriales. Esto está estrechamente ligado a los Objetivos del Desarrollo Sostenible, especialmente el 13 y 15, que tratan de “Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos” y “gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad” respectivamente.

En Chile, el Ministerio de Agricultura, a través de la CONAF, ha trabajado desde el 2013 en la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV), un instrumento de política pública con medidas de acción directas y facilitadoras centradas en enfrentar el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras y la sequía (DDTS), mediante la gestión adecuada de los recursos vegetacionales, buscando en primer lugar evitar o disminuir las tasas de deforestación, devegetación y degradación de bosques nativos y otros recursos vegetacionales, y a la vez fomentando la recuperación, forestación, revegetación y manejo sustentable de éstos recursos.[3]

Algunos de los compromisos que ha tomado Chile son [3]:

1. Reducir las emisiones del sector forestal por degradación y deforestación del bosque nativo en un 25 % al 2030.
2. El manejo sustentable y recuperación de 200.000 hectáreas de bosques nativos al año 2030.
3. Forestar 200.000 hectáreas, de las cuales al menos 100.000 hectáreas corresponden a cubierta forestal permanente, con al menos 70.000 hectáreas con especies nativas.

4. Plan Nacional de Restauración de Paisajes para el período 2021 - 2030, con el objetivo de restituir la funcionalidad ecológica y la calidad de vida de las comunidades.

En un esfuerzo por contribuir al conocimiento y propuestas de evaluación, manejo, protección, recuperación y aprovechamiento del *bosque esclerófilo*, distintos investigadores de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile, realizaron una investigación sobre las funciones de la biomasa y la estimación de carbono fijado por especies de bosque esclerófilo en 2 regiones del país [55]. A partir de ella obtuvieron, entre otras cosas, la captación de CO_2 que realizan distintos árboles de según la densidad del bosque, presentada en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Fijación de CO_2 anual en toneladas de CO_2 por hectárea, por especies de plantación

Especie	Bosque abierto [tCO ₂ /ha]	Bosque semidenso [tCO ₂ /ha]	Bosque denso [tCO ₂ /ha]
Boldo	1,76	2,69	3,24
Espino	0,44	0,90	0,68
Litre	0,31	1,80	1,83
Quillay	0,18	0,45	0,57
Peumo	0,01	0,03	0,84
Otros	0,39	0,23	0,14

Para calcular la captación de carbono hecha por la biomasa se pueden utilizar distintos métodos, siendo el más sencillo solo considerar que ente el 45 % y 50 % de la biomasa seca representa la fracción de carbono [56]. Según esto, es necesario saber primero cómo calcular la biomasa seca, y para esto es posible usar el método de R. Garfias [55]. El modelo utilizado fue el de la ecuación 2.17 donde y corresponde a la biomasa por componente [kg], x al diámetro a la altura del tocón (DAT [cm]), y a y b son variables calculadas empíricamente por especie según la densidad del bosque.

$$y = ax^b \quad (2.17)$$

Es importante notar que el dióxido de carbono se fija mientras las plantaciones crecen, pero se devuelve a la atmósfera en caso de tala o descomposición. Cuánto de este CO_2 se libera es un debate aún no resuelto, algunas fuentes como la Corporación Chilena de la Madera indican que para plantaciones forestales solo se libera en caso de la tala completa del bosque y la quema de la madera, y si se producen bienes, este queda almacenado en ellos, hasta que estos se descompongan [57], otros estudios [58] indican que depende del uso que se le de a la madera.

Lo mismo ocurre con los tomates, algunas referencias indican que con la muerte y descomposición de las plantas de tomates se libera todo el CO_2 almacenado [59], mientras que otras dicen que puede ser el 90 % y que algo se mantiene en el suelo [60][61]. Para este informe se considerará un promedio de los distintos usos de madera y el dato de que para tomates se devuelve el 90 % de lo absorbido.

2.4.1. Uso de suelo y plantaciones

La industria agrícola es la que junta actividades económicas, técnicas y materiales relacionados con la agricultura, es decir, el tratamiento del suelo y el cultivo de la tierra para la producción de alimentos. La industria forestal es la que trabaja con el procesamiento de la madera, desde su plantación hasta su transformación en objetos, usualmente utiliza especies como pino radiata y eucalipto, plantaciones que representan un poco más del 17% del total de bosques en Chile [62].

En Chile el sector agrícola y forestal es muy importante para el desarrollo del país, reúnen actividades primarias y secundarias proveedoras de alimentos, y tienen una directa relación con las personas y el medio ambiente donde se desenvuelven. Según el último censo agropecuario (2007), existen 31.635.041 hectáreas de superficie silvoagropecuaria potencial, de las cuales más de 18 millones ya están siendo usadas. Como muestra la Tabla 2.3, la mayoría de los predios ya usados están en la regiones del Maule, Biobio y La Araucanía [63].

Tabla 2.3: Número de predios y superficie silvoagropecuaria utilizada según región

Región	Número de predios	Superficie silvoagropecuaria utilizada [ha]
Arica y Parinacota	2.497	175.111
Tarapacá	1.979	501.476
Antofagasta	2.000	668.335
Atacama	2.925	109.273
Coquimbo	15.777	3.259.519
Valparaíso	17.734	506.860
Metropolitana	12.805	329.631
O'Higgins	25.249	775.708
Maule	41.904	1.752.936
Ñuble/Biobio	62.797	1.948.737
La Araucanía	58.069	1.783.300
Los Ríos	16.529	697.124
Los Lagos	35.717	961.795
Aysén	4.002	775.799
Magallanes	1.392	4.197.632
Total	301.376	18.443.233

El sector silvoagropecuario representa el 2,9% del PIB nacional, con un crecimiento promedio de 2,6% en los últimos 4 años, el cual se extendió a 5,8% el último año. El aporte de cada uno de los rubros silvoagropecuarios al PIB nacional se puede observar en la Figura 2.16.

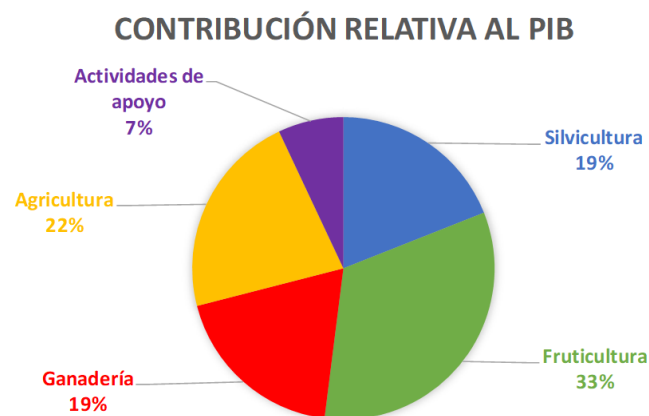


Figura 2.16: Contribución relativa al PIB silvoagropecuario por rubro

El sector forestal representa el 63,7% del PIB de la región del Biobío, considerando actividades de silvicultura y extracción de madera, celulosa y papel. Le siguen las regiones de La Araucanía, Maule y Los Ríos, debido a que las plantaciones forestales se concentran en esas regiones, según el detalle de la Tabla 2.4. Además, el sector forestal representa el 9,1% de las exportaciones totales del país (75.542 millones de dólares, 2018) [64].

Tabla 2.4: Plantaciones forestales por región

Región	Plantación forestal [ha]	Bosque nativo [ha]	Bosque mixto [ha]	Total [ha]
Arica y Parinacota	20,8	47.151,3	-	47.172,1
Tarapacá	29.264,2	33.246,4	-	62.510,6
Antofagasta	3.411,2	-	-	3.411,2
Atacama	-	-	-	-
Coquimbo	12.285,1	48.474,9	886,4	61.646,4
Valparaíso	68.757,9	484.115,7	724,6	553.598,1
Metropolitana	9.181,0	363.955,3	218,0	373.354,3
O'Higgins	130.536,4	459.309,1	545,7	590.391,2
Maule	634.893,5	581.515,3	28.674,8	1.245.083,6
Biobío	1.255.890,0	845.552,3	68.687,4	2.170.129,7
La Araucanía	632.289,0	964.152,9	47.639,5	1.644.081,3
Los Ríos	208.775,2	908.530,7	17.866,0	1.135.171,9
Los Lagos	96.598,8	2.827.436,4	12.799,3	2.936.834,5
Aysén	32.017,3	4.398.744,8	1.083,0	4.431.845,1
Magallanes	22,8	2.671.593,9	-	2.671.616,7
Total	3.113.943,2	14.633.778,8	179.124,6	17.926.846,6

Según el instituto forestal, entre el 2017 y 2018 existían 77.220 [ha] de hortalizas, 696.341 [ha] de cultivos anuales (cereales, leguminosas y tubérculos), 321.590 [ha] de árboles frutales, 45.000 [ha] de semilleros y 2.289.525 [ha] con plantaciones forestales [63]. Considerando bosque nativo y plantaciones forestales, el recurso forestal cubre 17,9 millones de hectáreas, es decir, el 23,7% de la superficie nacional. La Tabla 2.4 especifica el territorio usado por estas

plantaciones según la región [64].

2.4.2. Plantaciones y agua

La demanda de agua ha incrementado en distintos sectores del país, principalmente debido al aumento en la población y una mayor actividad productiva. Esto sumado a la sequía, produce nuevas tensiones entre los distintos usuarios del agua, además de resaltar los conflictos antiguos de comunidades rurales y pueblos originarios. En este contexto es necesario explicar el papel que juegan los bosques en el ciclo del agua.

Los árboles ayudan a mantener agua en el suelo. La interceptación de lluvias disminuye el impacto de las precipitaciones en el suelo, reduciendo la erosión y el fragmentado, mientras que la cubierta sobre el suelo, viva o muerta, aumenta la retención del agua de lluvia, favoreciendo la infiltración y emisión de escorrentía subsuperficial, además, las raíces favorecen la infiltración del agua en napas subterráneas, aumentando la calidad del agua [65].

Los árboles y plantas consumen agua a través de sus raíces, la cual se evapora por los poros en las hojas (transpiración), y además interceptan agua de lluvia por la superficies de las hojas, ramas y troncos, que luego se evapora. Estos dos procesos juntos se denominan evapotranspiración y se ven afectados por la cantidad de luz, la temperatura, la humedad atmosférica. el tipo de suelo y la velocidad del viento [65].

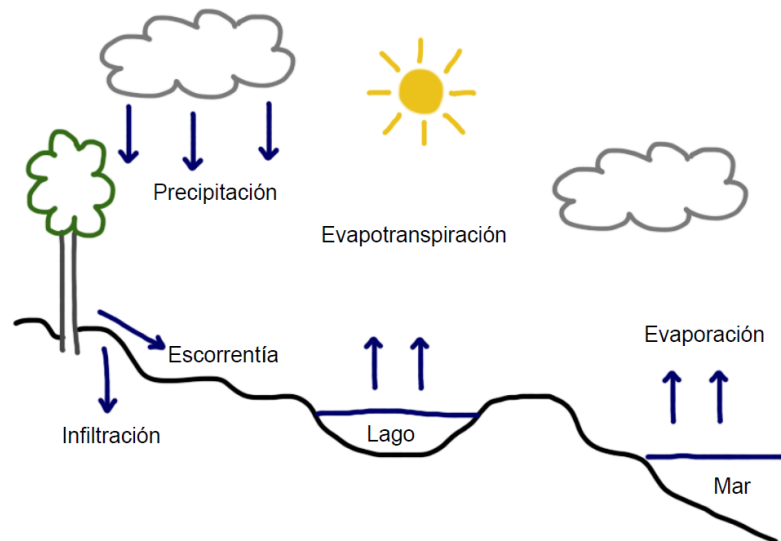


Figura 2.17: Ciclo hidrológico

El consumo de agua se realiza mayormente en primavera y verano, cuando las temperaturas aumentan, ya que es cuando los procesos fisiológicos se activan y las plantas inician su crecimiento, por lo que requieren agua y nutrientes. Mientras que en invierno, cuando bajan las temperaturas, los árboles y plantas entran en latencia, disminuyen funciones fisiológicas, detienen su crecimiento, y su consumo de agua. Asimismo, cuando las plantaciones están a menor altura, están a mayor temperatura, y por lo tanto requieren más agua [65].

Respecto a la humedad, esta representa la cantidad de vapor de agua presente en el aire.

La humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de agua que contiene el aire y la máxima que podría contener a la misma temperatura. Según esto, mientras mayor sea la humedad relativa, la planta perderá agua a un menor ritmo. Lo contrario pasa con el viento, mientras más viento haya, la planta perderá agua a un mayor ritmo, además, con una mayor velocidad también es más probable que el suelo se seque más rápido [66].

La cantidad de agua que requiere un cultivo es la que necesita para compensar la pérdida por evotranspiración (ET_c), y el requerimiento de agua de riego es la diferencia entre el requerimiento del cultivo y la precipitación efectiva, además de incluir agua para el lavado de sales y suplir la pérdida por la forma de aplicar el agua. La fórmula de cálculo de la demanda de agua de un cultivo (D_a) es [67]:

$$D_a = 10 \sum_{d=1}^{lp} \frac{(K_c \cdot ET_p) - \frac{P \cdot K_e}{100}}{K_r} \cdot A \quad (2.18)$$

Donde lp es la duración del periodo de crecimiento, K_c es el coeficiente de cultivo, ET_p es la evapotranspiración de referencia potencial, P es la cantidad de precipitación [mm], K_e es el coeficiente de escorrentía del sector, K_r es el coeficiente de eficiencia de riego, A es el área sembrada, y 10 es un factor que se aplica para convertir a m^3/ha .

2.4.3. Plantaciones en el desierto

Existen distintos casos de bosques plantados en zonas áridas y desiertas alrededor del mundo, algunos hechos como proyectos de científicos y universidades, y otros por privados. Científicos alemanes y el gobierno egipcio crearon el bosque Serapium en medio del desierto, compuesto de alrededor de 200 hectáreas de árboles nativos y no nativos como el eucalipto y la caoba, prosperando a pesar de la tierra seca y la escasez de lluvia. Esto se logra con un sistema de riego a través de mangueras, obteniendo agua de una planta de tratamiento de aguas residuales.

En India, el desierto frío en Himachal Pradesh que está mayormente compuesto de piedras y arena, actualmente posee 90 hectáreas (ha) de distintas plantaciones en la cima de una montaña gracias a un hombre de 63 años que logró hacer crecer 30.000 árboles, frijoles, guisantes y manzanas usando el agua que se derrite de glaciares. En el mismo país, Jadav Payeng plantó un bosque de 550 hectáreas, (Bosque Molai) para combatir la erosión en la isla Mājuli, el cual se ha convertido en hábitat para animales, incluidos elefantes, tigres, ciervos y buitres.

En el caso de Chile, hace años que existe el cultivo de alimentos en medio del desierto. Desde el pueblo Aymara que en los valles del norte plantaba yuca, ají, maní, calabazas, etc., hasta comunidades y cooperativas actuales como lo es Agroconcordia, una organización comercializadora y productora agrícola. Este conjunto de agricultores, desde el 2012 ha cultivado distintas frutas y verduras en el terreno desértico cercano a la frontera con Perú, tales como tomates, pimientos, cebollas, frutillas, mangos, y muchas más. [68]

Además de frutas y verduras, podemos encontrar bosques. La planta de filtros del puerto de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi en Punta Patache genera un efluente promedio

de 22 l/s o su equivalente 1900 m^3 /día, que es usado para el riego de una plantación de 22.7 [ha], con especies tanto nativas como exóticas de árboles. Para lograr esto, el agua residual pasa primero por una planta de tratamiento de nanofiltración, y el excedente se va a una piscina de evaporación solar.

2.5. Servicios complementarios

Los servicios complementarios (SSCC) son prestaciones que permiten la coordinación de la operación del sistema eléctrico, estos se prestan por medio de los atributos de las instalaciones del sistema eléctrico que permiten contribuir a la operación segura, de calidad y más económica del sistema, como la capacidad de generación, inyección y/o absorción de potencia activa y reactiva y por la infraestructura asociada. Según la Ley General de Servicios Eléctricos, se consideran SSCC, al menos, el control de frecuencia, control de tensión y el plan de recuperación de servicio, y el según el Coordinador eléctrico las definiciones de cada SSCC son las presentadas a continuación [69]:

2.5.1. Control de frecuencia

Son los servicios que ayudan a mantener el equilibrio entre generación y demanda del sistema, por lo tanto, la frecuencia de este. Existen 5 servicios de control de frecuencia:

1. Control Rápido de Frecuencia (CRF): Corresponde a acciones de control automáticas locales que permiten responder rápido frente a variaciones de frecuencia en el sistema eléctrico, el tiempo de activación del servicio es de 1 segundo y el tiempo de entrega es de 5 minutos mínimo.
2. Control Primario de Frecuencia (CPF): Corresponde a acciones de control automáticas locales para contener y corregir variaciones de frecuencia en el sistema eléctrico, el tiempo de activación del servicio es de 10 segundos y el tiempo de entrega es de 5 minutos mínimo.
3. Control Secundario de Frecuencia (CSF): Corresponde a acciones de control para restablecer la frecuencia del sistema a su valor nominal, el tiempo de activación del servicio es de 5 minutos y el tiempo de entrega es de 15 minutos mínimo. Existen 2 subcategorías, el Control Secundario de Frecuencia por Subfrecuencia (CSF+) y el Control Secundario de Frecuencia por Sobrefrecuencia (CSF-).
4. Control Terciario de Frecuencia (CTF): Corresponde a acciones de control destinadas a restablecer las reservas de CSF o incorporar reservas adicionales con el objetivo de preparar al sistema para responder a desequilibrios, el tiempo de activación del servicio es de 5 minutos y el tiempo de entrega es de 1 hora máximo. Existen 2 subcategorías, el Control Terciario por Subfrecuencia (STF+) y el Control Terciario por Sobrefrecuencia (CTF-).
5. Cargas Interrumpibles: Es la reducción de demanda neta del usuario final bajo instrucción, con el objetivo de reducir la demanda en periodos de alto consumo y baja generación, gestionar congestiones, responder ante emergencias sistémicas, entre otros. El tiempo de activación del servicio es de 30 minutos y el tiempo de entrega es de 2 horas mínimo.

2.5.2. Control de tensión

Son los servicios que permiten mantener la tensión de operación de las barras del sistema dentro de una banda predeterminada, según los niveles aceptados y establecidos por la normativa chilena vigente.

2.5.3. Control de Contingencias

Son aquellos cuyo objetivo es evitar la ocurrencia de un apagón total o parcial del sistema ante contingencias.

1. Desconexiones de Carga Automática y Manual (EDAC y DMC): Corresponde al desprendimiento de carga, automático o manual, para preservar la seguridad y calidad de servicio del sistema eléctrico.
2. Desconexión de Generación (EDAG y ERAG): Corresponde al desprendimiento o reducción automática de generación o inyección para preservar la seguridad y calidad de servicio cuando esté en riesgo la estabilidad del sistema eléctrico.
3. Plan de Defensa contra Contingencias (PDCE y PDCC): Corresponde a las acciones automáticas coordinadas para evitar un apagón total o parcial ante una contingencia extrema o crítica.

2.5.4. Plan de recuperación de servicio

Servicios que permiten restablecer el suministro eléctrico, luego de un apagón parcial o total del sistema eléctrico, en el menor tiempo posible.

1. Partida Autónoma (PA): Corresponde a la capacidad de un generador o sistema de almacenamiento fuera de servicio, de iniciar sus instalaciones, energizar líneas, tomar carga y sincronizarse con el sistema, sin un suministro externo de electricidad.
2. Aislamiento Rápido (AR): Corresponde a la capacidad de un generador o sistema de almacenamiento de continuar operando de forma aislada tras su desconexión del sistema debido a un apagón total o parcial.
3. Elementos de Vinculación (EV): Corresponde al servicio que dan los equipos que permiten sincronizar 2 zonas del sistema que se hayan mantenido operando en forma de islas independientes.

Específicamente, se trabajará con el servicio complementario de desconexión de carga, el que se divide en Desconexión Manual de Carga (DMC) y Esquemas de Desconexión Automático de Carga (EDAC), el cual a su vez se divide en EDAC por Subfrecuencia, EDAC por Subtensión y EDAC por Contingencia Específica.

La Desconexión Manual de Carga son las acciones o instrucciones que da el coordinador para que algunos usuarios desconecten o limiten su carga manualmente cuando haya un riesgo de seguridad del sistema eléctrico. Pueden realizar DMC las instalaciones de distribución y clientes no regulados, y esta se puede instruir en tiempo real o a través de la planificación a corto plazo (PCP) y puede darse a partir de un fenómeno sistémico o local. Es importante

notar que la activación de DMC deberá ser instruida como último recurso para preservar la seguridad y calidad del sistema [70].

Los Esquemas de Desconexión Automático de Carga son esquemas de control que emiten automáticamente la orden de desenganche a interruptores asociados al consumo, cuando existen condiciones anormales en el sistema eléctrico que podrían poner en riesgo su estabilidad. Los EDAC se activan frente a límites o umbrales de subfrecuencia, gradientes de disminución de frecuencia, límites de subtensión o señales de desenganche directo emitidas por sistemas de control que detecten contingencias específicas, es así como se distingue EDAC por Subfrecuencia, EDAC por Subtensión y EDAC por Contingencia Específica [70].

Para otorgar el servicio de EDAC es necesario tener los equipos adecuados, que en este caso serían relés de frecuencia, tensión y señal específica. El 2020 se proyectó la necesidad de EDAC por Subfrecuencia para el Norte Grande y el Centro Sur y EDAC por Contingencia Específica para 5 zonas, además de DMC solo como último recurso, sin embargo no se considera necesidad de EDAC por Subtensión. La especificación de necesidad de EDAC por Subfrecuencia para el Norte Grande se presenta en la Tabla 2.5 [70].

Tabla 2.5: EDAC por Subfrecuencia SEN – Norte Grande

Escalón	Frecuencia por escalón [Hz]	Carga asignada [MW]	Carga acumulada [MW]
Escalón 1	49,0	45,7	45,7
Escalón 2	48,9	52,0	97,7
Escalón 3	48,8	102,9	200,6
Escalón 4	48,7	90,9	291,5
Escalón 5	48,6	104,8	396,3
Escalón 6	48,5	117,9	514,2
Escalón 7	48,4	119,7	633,9
Escalón 8	48,3	119,2	753,1

La remuneración por la prestación de los servicios de EDAC y DMC, considera los siguientes costos:

1. El costo asociado a los eventos de desconexión de carga.
2. Costo de Inversión y/o habilitación de los EDAC activados por señal específica.
3. Costo de Operación y Mantenimiento de los EDAC activados por señal específica.

Internacionalmente los servicios complementarios pueden ser obligatorios, o negociarse a través de contratos bilaterales o multilaterales y mercados de subastas competitivos. Servicios como control de voltaje y servicios de emergencia suelen ser un servicio obligatorio o se obtienen mediante contratos bilaterales en la mayoría de los mercados del mundo. Los servicios para frecuencias y contingencias, en la mayoría de los países, se obtienen mediante licitaciones en mercados de electricidad a corto plazo. [71]

Capítulo 3

Metodología

Para la metodología de este trabajo se seguirá el procedimiento que se muestra en la Figura 3.1.

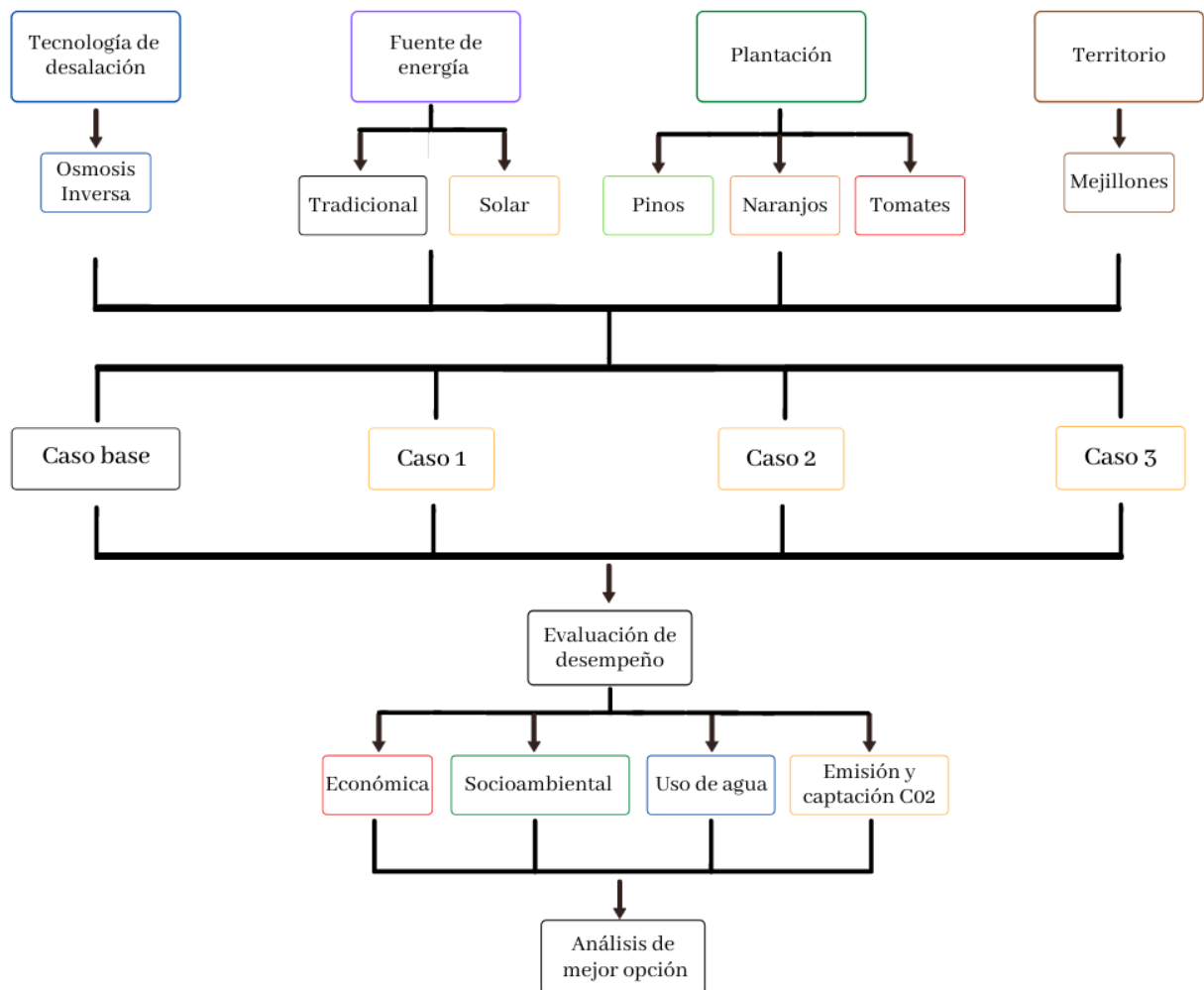


Figura 3.1: Esquema de metodología

Se parte por elegir los parámetros de entrada, que son la tecnología de desalación, la fuente de energía para el proceso, las plantaciones propuestas para evaluar, y el territorio donde se haría el proyecto. Con esto, se plantea el desafío de estudiar **4 distintos escenarios**

para el uso de **10 hectáreas**, localizadas en el borde costero de la zona de **Mejillones** en Antofagasta, con el fin de evaluar **plantaciones de 3 tipos** (pinos, naranjos y tomates), utilizando como fuente de energía la **generación tradicional o solar** (según el caso) y **ósmosis inversa** como tecnología de desalación.

Para todas las propuestas se hará una evaluación de desempeño, en un horizonte de 20 años, según distintos criterios como: costos de inversión y de operación, ingresos esperados, las emisiones y captación de CO_2 , el uso de agua y los impactos socio-ambientales.

Luego, para la evaluación multicriterio se podrían utilizar distintas formas, como por ejemplo usar un equivalente monetario de emisiones de CO_2 y uso de agua para trabajar bajo las mismas unidades, o jerarquizar los distintos criterios. En este trabajo, a modo de ejemplo, se decide hacer una asignación de puntajes al resultado de cada caso, considerando como máximo 100 para el que tenga mejor resultado, y 1 al peor, los puntajes de los demás resultados serán calculados proporcionalmente a estos [72]. Con esto se escoge la mejor alternativa y esta se compara con el análisis socio-ambiental, con el cual se decide si esta es válida o no, según los impactos sociales que produciría.

3.1. Localización

Se elige las cercanías de Mejillones dado que es un lugar en el norte de Chile, donde se puede aprovechar la radiación en el uso de energía solar, además está cercano al mar para obtener el agua del océano y cercano a la subestación Mejillones en el caso de conexión al sistema. Se utiliza el Explorador Solar para verificar la radiación que llega, esta se muestra en la Figura 3.2, mientras que la Figura 3.3 presenta la ubicación de las subestaciones Mejillones y Chacara según el Geo Portal de la CNE [73].

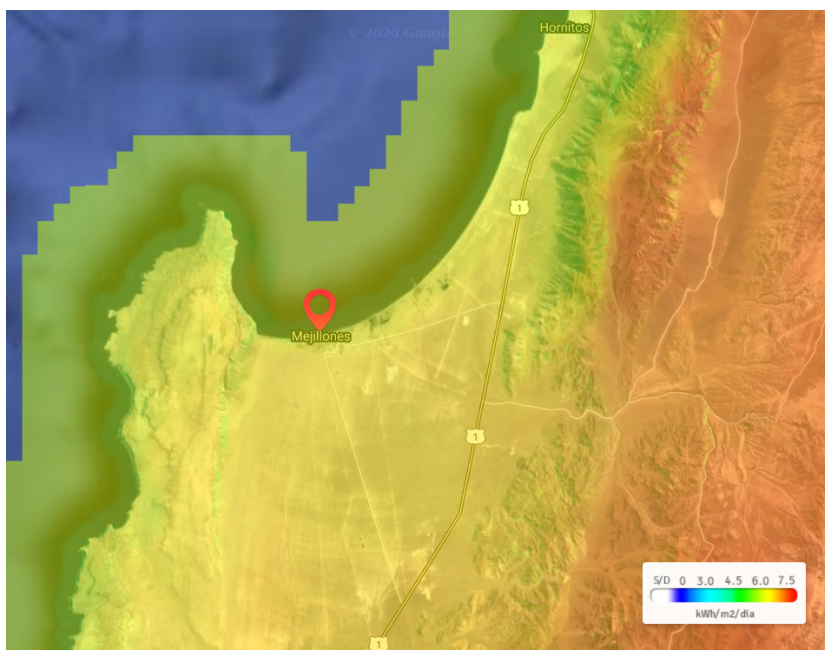


Figura 3.2: Mapa de radiación Mejillones, Antofagasta



Figura 3.3: Subestaciones Mejillones y Chacara, Antofagasta

Los resultados específicos de radiación global horizontal obtenidos en el sector se presentan en las siguientes imágenes, la Figura 3.4 presenta la radiación global horizontal promedio durante el año, la Figura 3.5 presenta la radiación global horizontal promedio diaria según el mes, separada en 2 semestres.

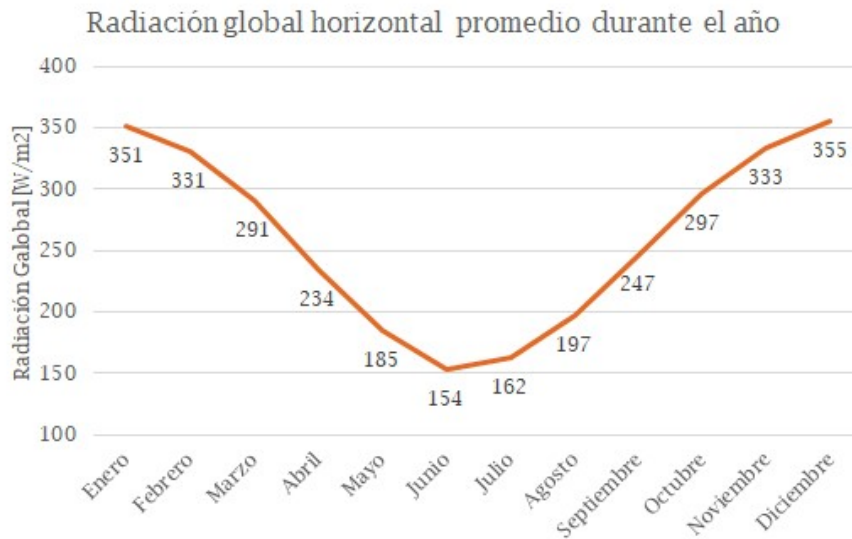


Figura 3.4: Radiación anual promedio Mejillones, Antofagasta

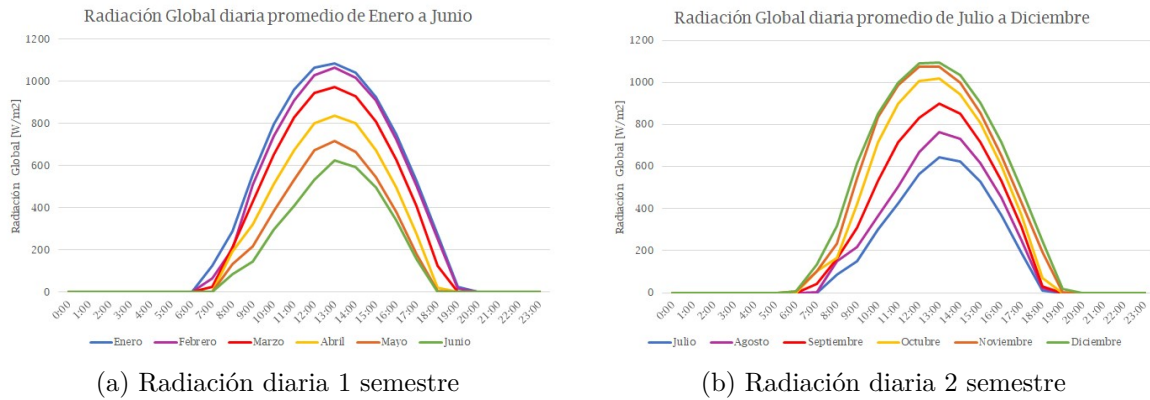


Figura 3.5: Mejillones, Antofagasta

Queda fuera del alcance comprobar la capacidad del terreno de suministrar los nutrientes requeridos para el desarrollo de plantaciones. Esto se considera indirectamente en costos operacionales pero requiere un mayor desarrollo.

3.2. Descripción de casos

Para los 4 casos a evaluar se deciden probar por separado plantaciones forestales (*Pinus radiata*), árboles frutales (Naranjos) y cultivos de tomate. Además se utilizará ósmosis inversa como tecnología de desalación y para tecnología de riego se tendrá riego por aspersión y se tendrá un estanque para almacenar el agua que puede ir a la comunidad o a las plantas.

El **caso base** contempla abastecimiento eléctrico directamente de la red, pagando el precio de un cliente libre con contrato, y no se ofrecen servicios complementarios. La Figura 3.6 muestra un esquema simple para describir el caso, en esta se observa que la bomba abastece con agua de mar a la planta desaladora, y luego la planta entrega agua desalada para riego y salmuera que se devuelve al mar, además de observa el abastecimiento directo de la red.

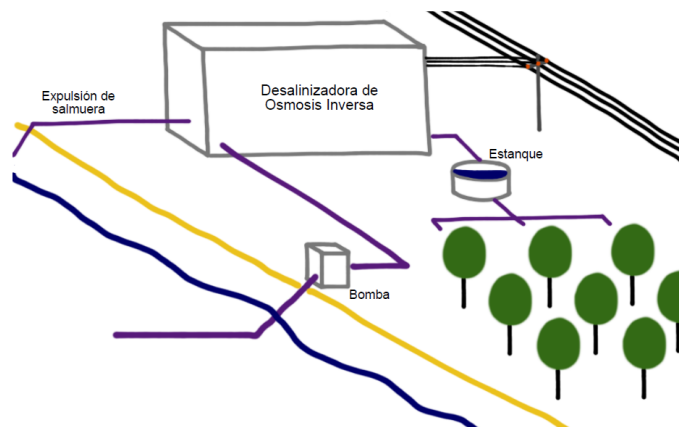


Figura 3.6: Esquema básico del Caso base

El **caso 1** considera abastecimiento eléctrico a través de un contrato de suministro con una planta fotovoltaica en las cercanías, conectado a la red y no se ofrecen servicios com-

plementarios. La Figura 3.7 muestra un esquema para describir el caso, en esta se observa nuevamente que la bomba abastece con agua de mar a la planta desaladora, y luego la planta entrega agua desalada para riego y salmuera que se devuelve al mar, pero en este caso el abastecimiento viene de la red a través de un contrato con la planta fotovoltaica.

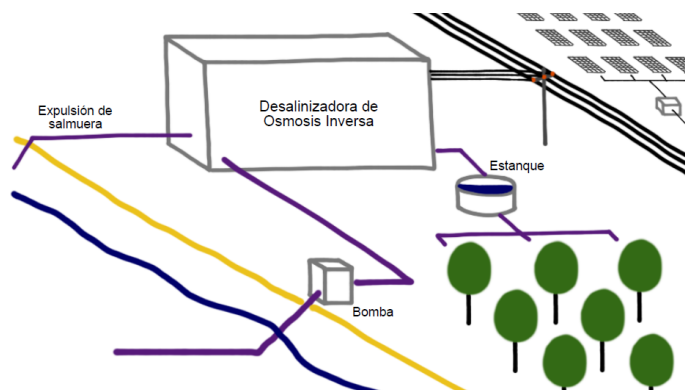


Figura 3.7: Esquema básico del Caso 1

El **caso 2** considera abastecimiento eléctrico a través de una planta fotovoltaica propia en las cercanías, esta vez aislado de la red, y nuevamente no se ofrecen servicios complementarios, como muestra la Figura 3.8.

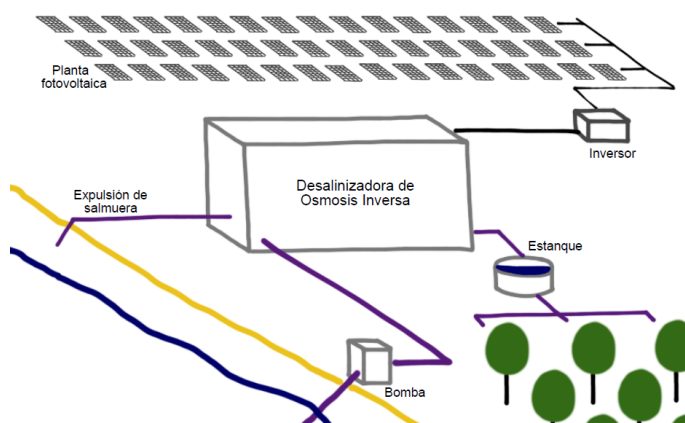


Figura 3.8: Esquema básico del Caso 2

Finalmente el **caso 3** considera abastecimiento eléctrico a través de contrato de suministro con planta fotovoltaica propia en las cercanías, conectado a la red y se ofrecen servicios complementarios de desconexión de carga. El esquema de la Figura 3.9 representa este caso.

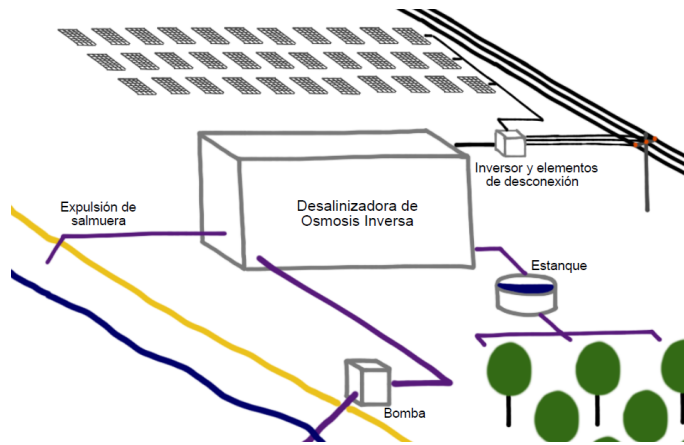


Figura 3.9: Esquema básico del Caso 3

En los casos 2 y 3, donde se tiene una planta fotovoltaica propia, se utiliza un arreglo fotovoltaico TSAT con inclinación 12° , es decir, un panel inclinado en 12° con seguimiento en eje inclinado. De esta forma mejora el factor de planta y se genera más electricidad que en el caso de un panel fijo.

3.3. Evaluación de casos

3.3.1. Uso de agua

Lo primero que se necesita para evaluar estos casos es saber cuánta agua requieren las plantaciones, para esto se utiliza la fórmula 2.18 de la sección 2.4.2, donde:

1. Se calcula la demanda diaria
2. Se considera que $3,8416$ [mm/día] es la evapotranspiración de referencia [74]
3. Las precipitaciones promedio mensual, que se observan en la Tabla 3.1, son de $0,283$ [mm] [75], lo que significa una precipitación diaria de $0,0094$ [mm]
4. El coeficiente de escorrentía es $0,2$
5. El coeficiente de eficiencia de riego es $0,9$ dado que se usa riego por aspersión [76]

Tabla 3.2: Coeficientes de cultivo para tomates, naranjos y pinos

Tipo de plantación	Etapa inicial	Etapa media	Etapa de desarrollo	Etapa final
Tomate	0,45	0,75	1,15	0,80
Naranja	0,70	0,65	0,65	0,65
Pino	1,15	1,15	1,15	1,15

Además, se utilizan como coeficientes de cultivo los presentados en la Tabla 3.2 [67] [77].

Tabla 3.1: Precipitaciones promedio mensuales en Antofagasta, Chile

Mes	Precipitaciones [mm]
Enero	0,2
Febrero	0
Marzo	0,1
Abril	0
Mayo	0,3
Junio	1,2
Julio	0,3
Agosto	0,4
Septiembre	0,6
Octubre	0,1
Noviembre	0,1
Diciembre	0,1
Promedio	0,283

Con esto se tendría, por ejemplo para el caso de los tomates en su etapa inicial:

$$\begin{aligned}
 D_a &= 10 \sum_{d=1}^{l_p} \frac{(K_c \cdot ET_p) - \frac{P \cdot K_e}{100}}{K_r} \cdot A \\
 D_a &= 10 \cdot \frac{(0,45 \cdot 3,8416) - \frac{0,0094 \cdot 0,2}{100}}{0,9} \cdot 10 \\
 D_a &= 192,08[m^3/día]
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Con el dato de la demanda de agua diaria se procede a dimensionar la planta desaladora y la cantidad de energía necesaria para su funcionamiento, según el mayor requerimiento de agua durante la vida de la plantación. Así también, se dimensiona la planta fotovoltaica necesaria para generar esa cantidad de energía en los casos 2 y 3. El uso de agua dependerá de la plantación, específicamente, de cuál se está evaluando y de su etapa de crecimiento.

3.3.2. Evaluación económica

Para evaluar económicamente se realiza un flujo de caja por cada caso y por cada plantación, donde se calcula un VAN a una tasa del 10% dado que es un valor comúnmente utilizado para proyectos similares. Se consideran los siguientes costos:

Tabla 3.3: Costos

Caso base	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Construcción desaladora	Construcción desaladora	Construcción desaladora	Construcción desaladora
Tecnología riego	Tecnología riego	Tecnología riego	Tecnología riego
Terreno	Terreno	Terreno	Terreno
Semillas/plantas	Semillas/plantas	Semillas/plantas	Semillas/plantas
		Construcción planta FV	Construcción planta FV
Operación desaladora	Operación desaladora	Operación desaladora	Operación desaladora
Operación riego	Operación riego	Operación riego	Operación riego
		Operación planta FV	Operación planta FV
			Costo de oportunidad por venta de SSCC

Costos de inversión

Para el cálculo de los costos de inversión en la construcción de la planta desaladora, se utiliza la información de otros proyectos reales [78] [79], que se encuentra en la Tabla 3.4, específicamente el valor de inversión de las plantas según su producción de agua, y se calcula un valor proporcional para este proyecto. Se considera que **1 [US\$] equivale a 819,7 [CLP]**.

Tabla 3.4: Costos de distintos proyectos de desalación

	Proyecto 1	Proyecto 2
Flujo [m^3 /día]	6	86.400
Inversión [US\$]	300.000	620.000.000
Inversión [CLP]	245.910.000	508.214.000.000

Las tecnologías de riego posibles con sus respectivos costos de inversión se encuentran en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5: Costos de distintas tecnologías de riego

	Surco	Goteo	Aspersión
Costo inversión [CLP/ha]	80.000	3.725.300	9.872.589

El valor del terreno se calcula según los precios indicados en el Servicio de Impuestos Internos para el sector de Mejillones, los cuales iban desde **1.225** a 1.469 [CLP/ m^2], y se elige el valor más bajo [80]. El costo de las semillas o plantas para tomates, naranjos y pinos se encuentra en la Tabla 3.6

Para los costos de inversión de la planta fotovoltaica se necesita dimensionar la planta fotovoltaica, para esto se utilizan los requerimientos de energía ($4,3[kWh/m^3]$), y según la

Tabla 3.6: Precios para semillas y plantas

Plantación	Precio [CLP/unidad]
Semilla tomate	80
Planta naranjo	8000
Semilla pino	0,9

necesaria por cada plantación, se simula en el Explorador Solar. Se considera que la desaladora trabaja solo las horas de sol y se revisa que la producción de energía sea mayor a la que necesita la planta desaladora en todas las épocas del año. Los resultados de esta simulación se encuentran en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7: Datos planta fotovoltaica según plantación

Plantación	Capacidad instalada [MW]	Factor de planta	Generación diaria [kWh]
Tomate	0,43	28 %	2914,98
Naranjo	0,262	28 %	1776,10
Pino	0,43	28 %	2914,98

Luego de dimensionar la planta fotovoltaica se consultan los costos de inversión por tecnología de generación que entrega la CNE [81], que indican que el precio está entre **923 y 993** [$US\$/kW$] para plantas pequeñas.

Costos de operación

En el cálculo de los costos de operación de la planta desaladora, se utiliza el dato de que el gasto es de $0,182$ [$US\$/m^3$] producido [82].

Las tecnologías de riego posibles con sus respectivos costos de operación se encuentran en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8: Costos de distintas tecnologías de riego

	Surco	Goteo	Aspersión
Costo operación anual [CLP/ha]	1.484.039	2.895.950	716.767

En el caso de los costos de energía, cuando se tiene abastecimiento eléctrico directamente de la red, se considera un contrato de cliente libre, utilizando un promedio de los Costos Marginales Reales (CMr) en la barra Atacama (según los valores anuales desde enero 2017 hasta junio 2020 del CEN) para definir el precio [83]. La Figura 3.10 muestra un gráfico de cómo varían los CMr en la barra durante el periodo antes mencionado. El promedio calculado es de $51,18$ [$US\$/MWh$].

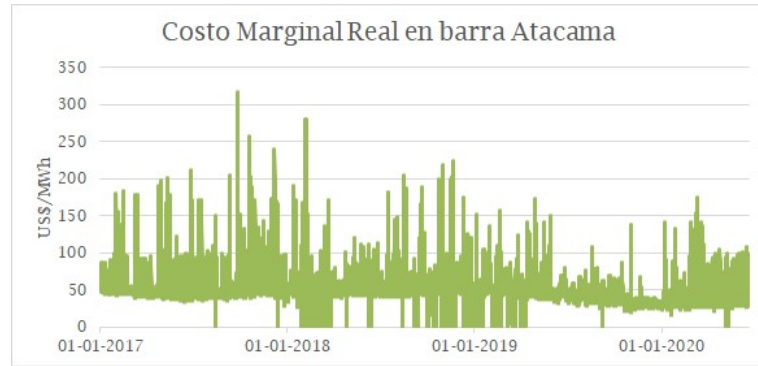


Figura 3.10: Costos Marginales Reales en la barra Atacama, de enero 2017 a junio 2020

Además, se agregan cargos y peajes por transmisión de la energía, los cuales se encuentran en la Tabla 3.9. Esto en conjunto con el promedio anterior, entrega un valor final de 55,83 [CLP/kWh] en el caso base. Cabe mencionar que este valor concuerda con los Precios Medios de Mercado previos al 2020.

Tabla 3.9: Cargos y peajes

Cargos	Valor	Unidad
Cargo zonal (A)	7,721	CLP/kWh
Nacional	1,346	CLP/kWh
	3,004	CLP/kWh
Peaje Infraestructura SS.CC.	0,17	CLP/kWh
Cargo por servicio publico	0,494	CLP/kWh
Peaje dx	1,139	CLP/kWh
Cargos totales	13,874	CLP/kWh

En el caso de tener abastecimiento eléctrico con contrato con una planta fotovoltaica, se considera un contrato de cliente libre con un precio de 30 [US\$/MWh], cercano a los 33,12 calculados según el costo marginal real en la barra Atacama y ponderado por la generación solar que se produce en cada hora. Sumándole los cargos y peajes, el valor final queda en 38,47 [CLP/kWh] para el caso 1. Los costos de operación y mantenimiento de la planta fotovoltaica se consideran como el 1% de la inversión y se pagan anualmente.

3.3.3. Ingresos

Los ingresos esperados están dados por las ganancias de vender frutas o madera, vender el agua restante de la producida por la desaladora y además vender servicios complementarios de desconexión de carga con la planta desaladora. Para calcular estos ingresos, en el caso de la fruta, se buscan precios en el Boletín de fruta y hortalizas de la ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias) [84] [85], y en el caso de la madera se revisa el Boletín de Precios Forestales [86].

Dado que las plantas desaladoras están dimensionadas para producir el máximo de agua que demandan en su vida las plantaciones ($490 m^3$ al día para pinos y tomates, y $299 m^3$ al

día para naranjos), cuando necesiten menos agua, el excedente se venderá a 1 [US\$] el m^3 , es decir 819,7 [CLP].

En el caso 3, donde se venden SSCC de desconexión de carga, se investigan precios internacionales para desconexión de carga [87], [88], [89], y se considera que la planta desaladora está 1 día entero al año desconectada. Con esto se obtienen los resultados de la Tabla 3.10 para la venta de SSCC.

Tabla 3.10: Venta de SSCC

Plantación	Valor SSCC [US\$/MWh]	MWh/día	Ganancia por SSCC [CLP]
Tomates	23,85	2,1	\$41.076
Naranjas	23,85	1,27	\$25.003
Pinos	23,85	2,1	\$41.076

Sin embargo, como estará desconectada un día entero se considera un gasto extra en este caso. Este gasto es el costo de oportunidad por la venta de SSCC, y se valora con el equivalente a la venta de agua generada un día entero.

3.3.4. Emisión y captación de CO₂

Las emisiones son las producidas por la construcción de la planta desaladora y la planta fotovoltaica, además las emisiones indirectas por el uso de energía en el caso base y la tala de árboles forestales o descomposición de cultivos. Para el cálculo de las emisiones por construcción se revisan las DIA y los EIA de distintos proyectos reales similares y aprobados [90] [91], y se hace una estimación de las emisiones del proyecto en particular. No se consideran las emisiones producidas por la fabricación de celdas y módulos fotovoltaicos.

En el caso base con el uso de energía convencional, las emisiones se calculan con el dato de que por cada kWh se generan 0,28 kg de CO₂ equivalente, considerando el promedio de emisión para las distintas tecnologías tradicionales (gas, diesel, carbón). Para el cálculo de las emisiones por la tala de pinos y por la descomposición de las plantas de tomate, se utilizan los datos encontrados en distintas bibliografías [60] [59] [61] [58].

La captación de CO₂ depende de la plantación a utilizar, para calcularla se utiliza el método expuesto en la sección 2.4, el cual depende de la biomasa que se tiene. Para encontrar la captación realizada por cada plantación se utilizan los datos que entrega el Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España [92] y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de Argentina [58].

3.3.5. Impacto socio-ambiental

Para evaluar los impactos socio-ambientales se utiliza la herramienta HAIN (Herramienta de Análisis Integral) la que trata de preguntas que complementan la toma de decisiones en la Evaluación de Proyectos, y busca que los proyectos no solo se justifiquen desde lo puramente técnico y lo económico [93]. Esta se muestra en la Figura 3.11, y será adaptada para evaluar cada caso socio-ambientalmente.

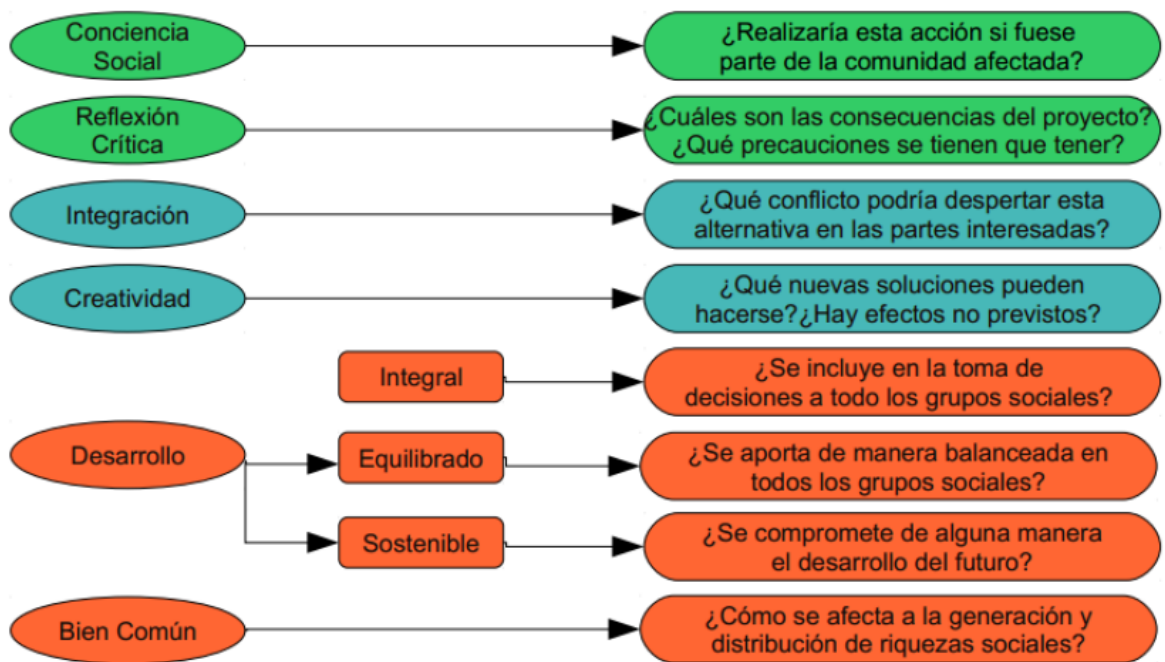


Figura 3.11: Representación gráfica de la Herramienta de Análisis Integral

Capítulo 4

Resultados y discusión

4.1. Resultados

4.1.1. Uso de Agua

Los resultados para el uso de agua son iguales en todos los casos evaluados, pero distintos según la plantación a utilizar, y se presentan en la Tabla 4.1, considerando 10 hectáreas plantadas. Además, se consideran los tiempos por etapa de desarrollo que se presentan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.1: Uso de agua para tomates, naranjos y pinos según etapa de crecimiento

Tipo de plantación	Etapa inicial [m ³ /día]	Etapa media [m ³ /día]	Etapa de desarrollo [m ³ /día]	Etapa final [m ³ /día]
Tomate	192,08	320,13	490,87	341,47
Naranja	298,79	277,45	277,45	277,45
Pino	490,87	490,87	490,87	490,87

Tabla 4.2: Tiempo por etapa para tomates, naranjos y pinos

Tipo de plantación	Etapa inicial	Etapa media	Etapa de desarrollo	Etapa final
Tomate	25 días	40 días	60 días	30 días
Naranja	3 años	6 años	15 años	15 años
Pino	5 años	5 años	5 años	5 años

La Figura 4.1 muestra gráficamente la evolución del uso de agua durante el crecimiento de las plantaciones y la Figura 4.2 muestra cuánta agua usarían en el periodo evaluado, que son 20 años.



Figura 4.1: Evolución del uso de agua por plantación según etapa de crecimiento



Figura 4.2: Demanda de agua por 20 años para 10 hectáreas plantadas, según plantación

Asumiendo que se puede desalar un tercio del agua que se saca del mar, como se indica en la sección 2.3.1.5, la Figura 4.3 presenta el requerimiento de agua de mar que tendrían las desaladoras en todos los casos evaluados a 20 años, según plantación. Cabe recordar que la cantidad de agua de mar necesaria para la planta está dada según el máximo requerimiento de agua de cada plantación durante su vida, es decir $490,87 [m^3/\text{día}]$ para pinos y tomates, y $298,79 [m^3/\text{día}]$ para naranjos.

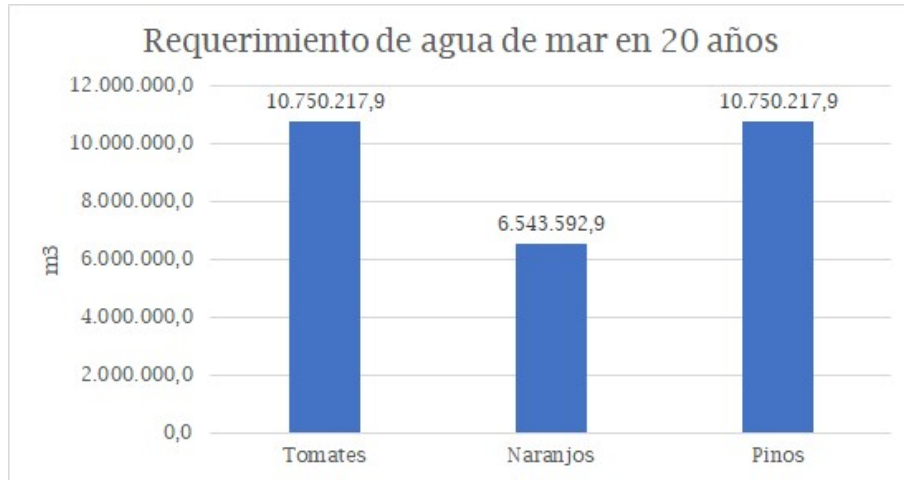


Figura 4.3: Requerimiento de agua de mar para desaladora, para 10 hectáreas, por 20 años

4.1.2. Emisión y captación de CO_2

Los resultados para la captación de CO_2 hecha por las distintas plantaciones evaluadas, se presentan en la Tabla 4.3. En este caso se considera la mitigación hecha por 10 hectáreas plantadas de Tomates, Naranjos y Pinos anualmente. La Figura 4.4 muestra gráficamente el potencial de mitigación de cada plantación en 10 hectáreas durante un año, mientras que la Figura 4.5 muestra los mismos potenciales de mitigación para 10 hectáreas por 20 años.

Tabla 4.3: Captación de CO_2 por plantación anual

Plantación	Captación [t CO_2 e/ha/año]	Captación [t CO_2 e/10ha/año]
Tomates	23,85	238,5
Naranjos	19,73	197,3
Pinos	25,23	252,3

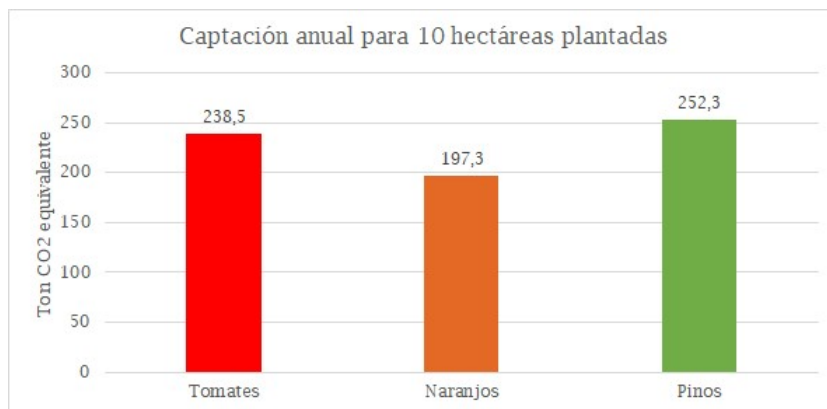


Figura 4.4: Mitigación de CO_2 anual para 10 hectáreas plantadas, según plantación



Figura 4.5: Mitigación de CO_2 por 20 años para 10 hectáreas plantadas, según plantación

Sin embargo, es necesario considerar la emisión de CO_2 debido a la tala de pinos y a la descomposición de las plantas de tomate. En el caso de las plantas de tomate, distintas fuentes [60] [59] [61] sugieren que entre el 100 y el 90 % del CO_2 que absorben estas plantas, vuelve a la atmósfera por descomposición una vez que maduran los frutos. Se consideran las emisiones de la Tabla 4.4 según el uso que se le da a la madera para el caso de plantaciones forestales.

Tabla 4.4: Emisión de CO_2 según uso de madera

Uso	Emisión [tCO ₂ e/ha/año]
Ciclo Vital e Industrial	0,77
Elaboración dimensional de la madera	0,318
Fabricación de papel	11,02
Quema	20,07

Según esto, la verdadera captación de CO_2 hecha por las plantaciones consideradas sería la mostrada en la Tabla 4.5. La Figura 4.6 muestra gráficamente la captación final de cada plantación en 10 hectáreas durante un año, mientras que la Figura 4.7 muestra la captación para 10 hectáreas por 20 años.

Tabla 4.5: Captación de CO_2 por plantación anual

Plantación	Captación [tCO ₂ e/ha/año]	Emisión [tCO ₂ e/ha/año]	Captación total [tCO ₂ e/ha/año]
Tomates	23,85	21,46	2,39
Naranjos	19,73	-	19,73
Pinos (muebles)	25,23	1,08	24,15
Pinos (papel)	25,23	11,79	13,44
Pinos (leña)	25,23	20,84	4,39
Pinos (prom.)	25,23	11,23	14



Figura 4.6: Mitigación de CO_2 anual para 10 hectáreas plantadas, según plantación



Figura 4.7: Mitigación de CO_2 por 20 años para 10 hectáreas plantadas, según plantación

La emisiones que se asumen por el uso de energía convencional en el **caso base** se presentan en la Tabla 4.6, donde se utiliza un promedio de los factores de CO_2 equivalente que producen las diferentes tecnologías de generación de energía convencional, el cual es de 0,4 ton de CO_2 equivalente por MWh [94]. La Figura 4.8 presenta los resultados de la Tabla 4.6 gráficamente.

Tabla 4.6: Emisiones asumidas por generación de energía convencional

Plantación	Energía necesaria [kWh/ m^3]	Energía utilizada [kWh/día]	Emisiones al día [ton CO_2e]	Emisiones por 20 años [Ton CO_2e]
Tomates	4,2	2052	0,82	5991,8
Naranjos	4,2	1249	0,499	3647,08
Pinos	4,2	2052	0,82	5991,8

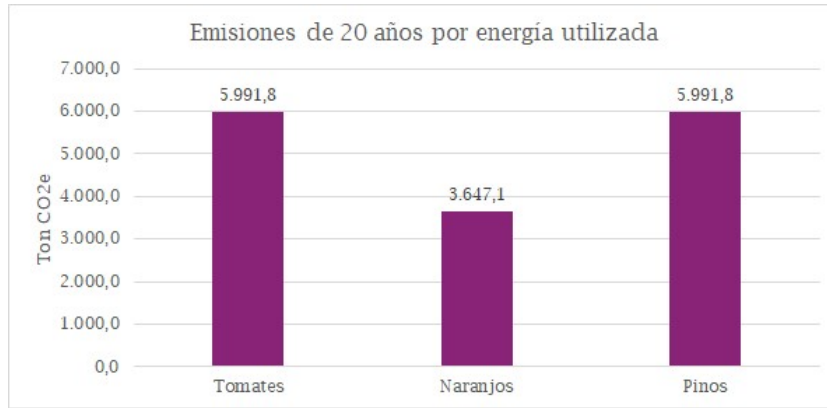


Figura 4.8: Emisiones por uso de energía según plantación

Para todos los casos, las emisiones provocadas por la construcción de la planta desaladora al plantar tomates o pinos, y al plantar naranjos, se presentan en las Tablas 4.7 y 4.8 respectivamente. Las emisiones se consideran en kilogramos durante todo el tiempo que dure la construcción de la planta (aproximadamente 3 meses). La Figura 4.9 presenta gráficamente la comparación entre los resultados de ambas tablas antes mencionadas.

Cabe recordar que estos resultados se obtienen a partir de proyectos reales haciendo una proporción según la producción que tendrá la desaladora.

Tabla 4.7: Emisiones por construcción de desaladora de 491 [m³/día]

Fuentes de emisión	Emisión [kg/tiempo total]			
	MP	CO	HC	NOx
Actividad constructiva proyecto pequeña escala	77,2	-	-	-
Levantamiento polvo camiones	742,2	-	-	-
Levantamiento polvo camionetas	196,4	-	-	-
Combustión camiones	1,3	-	-	-
Combustión camionetas	1,3	-	-	-
Combustión maquinaria	18,3	-	-	-
Gases camiones	-	7,6	3,9	32,2
Gases camionetas	-	12,3	2,2	25,4
Gases maquinaria	-	57,5	26,3	219,7
Total	1.036,7	77,4	32,5	277,2

Tabla 4.8: Emisiones por construcción de desaladora de 299 [m³/día]

Fuentes de emisión	Emisión [kg/tiempo total]			
	MP	CO	HC	NOx
Actividad constructiva proyecto pequeña escala	47	-	-	-
Levantamiento polvo camiones	451,8	-	-	-
Levantamiento polvo camionetas	119,5	-	-	-
Combustión camiones	0,8	-	-	-
Combustión camionetas	0,8	-	-	-
Combustión maquinaria	11,2	-	-	-
Gases camiones	-	4,6	2,4	19,6
Gases camionetas	-	7,5	1,4	15,5
Gases maquinaria	-	35	16	133,7
Total	631,1	47,1	19,8	168,8



Figura 4.9: Emisiones por construcción de desaladoras, según producción de agua

Las emisiones provocadas por la construcción de la planta fotovoltaica que abastezca la desaladora para el riego de tomates y pinos, y para el riego de naranjos, se presentan en las Tablas 4.9 y 4.10 respectivamente. Las emisiones se consideran en kilogramos durante todo el tiempo que dure la construcción de las plantas (8 meses aproximadamente). La Figura 4.10 presenta gráficamente la comparación de los resultados de emisiones de las 2 tablas antes mencionadas.

Al igual que en el caso de las emisiones por la construcción de la desaladora, para el cálculo de estas emisiones se hace un cálculo proporcional a la potencia instalada, a partir de proyectos reales.

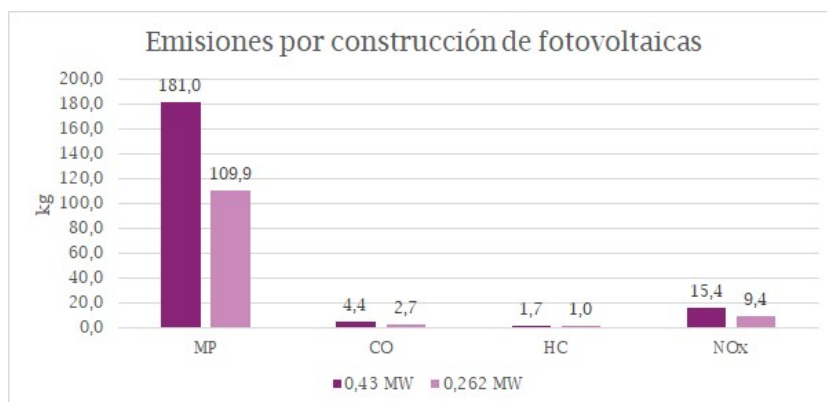


Figura 4.10: Emisiones por construcción de fotovoltaicas, según producción de agua

Tabla 4.9: Emisiones por construcción de fotovoltaica de 0,43 [MW]

Fuentes de emisión	Emisión [kg/tiempo total]			
	MP	CO	HC	NOx
Compactación y nivelación	0,046	-	-	-
Excavación	14,3	-	-	-
Erosión eólica de pilas	2,6	-	-	-
Carga y Descarga De Material	0,011	-	-	-
Resuspensión Caminos pavimentados (Camiones)	10,2	-	-	-
Resuspensión Caminos pavimentados (Buses)	5,4	-	-	-
Resuspensión Caminos pavimentados (vehículos)	0,1	-	-	-
Resuspensión Caminos no pavimentados (camiones)	99,4	-	-	-
Resuspensión Caminos no pavimentados (buses)	8,6	-	-	-
Resuspensión Caminos no pavimentados (vehículos)	38,2	-	-	-
Tubo escape retro-excavadora	1,8	-	-	-
Emisión de gases para vehículos pesados diesel	-	3,3	1,6	15
Emisión de gases para vehículos livianos con convertidor catalítico	-	1	0,072	0,4
Total	181	4,4	1,7	15,4

Tabla 4.10: Emisiones por construcción de fotovoltaica de 0,262 [MW]

Fuentes de emisión	Emisión [kg/tiempo total]			
	MP	CO	HC	NO _x
Compactación y nivelación	0,028	-	-	-
Excavación	8,7	-	-	-
Erosión eólica de pilas	1,5	-	-	-
Carga y Descarga De Material	0,006	-	-	-
Resuspensión Caminos pavimentados (Camiones)	6,2	-	-	-
Resuspensión Caminos pavimentados (Buses)	3,3	-	-	-
Resuspensión Caminos pavimentados (vehículos)	0,086	-	-	-
Resuspensión Caminos no pavimentados (camiones)	60,3	-	-	-
Resuspensión Caminos no pavimentados (buses)	5,2	-	-	-
Resuspensión Caminos no pavimentados (vehículos)	23,2	-	-	-
Tubo escape retro-excavadora	1,1	-	-	-
Emisión de gases para vehículos pesados diesel	-	2	0,9	9,1
Emisión de gases para Vehículos livianos con convertidor catalítico	-	0,6	0,04	0,2
Total	109,8	2,6	1	9,3

4.1.3. Evaluación económica

Se realizan distintos flujos de caja para evaluar económicamente el proyecto, se diferencian los 4 casos y 3 subcasos según la plantación a utilizar. El detalle de los flujos de caja se encuentra en el Anexo.

Los costos de inversión para la construcción de la planta desaladora se encuentran en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11: Costos construcción de desaladora según plantación

Plantación	Costo [CLP]
Tomates	3.096.829.199
Naranjos	1.967.442.853
Pinos	3.096.829.199

Para la tecnología de riego se elige el sistema de aspersión, por lo que el costo de inversión es de 98.725.890 [CLP] [76].

Los costos de operación de la planta desaladora se presentan en la Tabla 4.12 y varían según el tipo de plantación.

Tabla 4.12: Costos de operación diarios de planta desaladora según plantación

Plantación	Costo diario
Tomates	\$140.830
Naranjos	\$85.723
Pinos	\$140.830

El costo de operación del riego es de 7.167.670 [CLP] al año [76].

La Tabla 4.13 presenta los precios a los cuales se vende la fruta y madera. Además el m^3 de agua se vende a 1 dolar (819,7 [CLP]).

Tabla 4.13: Precios para naranjas y tomates

Plantación	Precio [CLP/kg]
Tomates	727
Naranjas	861
Madera	72

4.1.3.1. Caso Base

Los resultados del flujo de caja del caso base se encuentran en la Tabla 4.14, donde se observa que el proyecto tiene un VAN positivo si se plantan tomates y naranjos, sin embargo es negativo en el caso de plantar pinos.

Tabla 4.14: Resultados del flujo de caja para las distintas plantaciones

Plantación	VAN (10%)	TIR
Tomate	\$3.904.277.232	25 %
Naranjo	\$1.987.952	10 %
Pino	\$-3.942.827.326	-39 %

La Figuras 4.11, 4.12 y 4.13 muestran los flujos en 20 años en el caso de plantar tomates, naranjos y pinos respectivamente. Se destacan los mínimos y máximos.



Figura 4.11: Flujo de caja para el caso base, en el tiempo, considerando una plantación de tomates



Figura 4.12: Flujo de caja para el caso base, en el tiempo, considerando una plantación de naranjos



Figura 4.13: Flujo de caja para el caso base, en el tiempo, considerando una plantación de pinos

4.1.3.2. Caso 1

Los resultados del flujo de caja del caso 1 se encuentran en la Tabla 4.15, donde se observa que el proyecto nuevamente tiene un VAN positivo si se plantan tomates y naranjos, sin embargo es negativo en el caso de plantar pinos. Se observa que los resultados mejoran para las 3 plantaciones en comparación con el caso base.

Tabla 4.15: Resultados del flujo de caja para las distintas plantaciones

Plantación	VAN (10 %)	TIR
Tomate	\$3.970.849.744	26 %
Naranja	\$61.228.760	10 %
Pino	-\$3.829.451.186	-33 %

La Figuras 4.14, 4.15 y 4.16 muestran los flujos en 20 años en el caso de plantar tomates, naranjos y pinos respectivamente. Se destacan los mínimos y máximos.



Figura 4.14: Flujo de caja para el caso 1, en el tiempo, considerando una plantación de tomates



Figura 4.15: Flujo de caja para el caso 1, en el tiempo, considerando una plantación de naranjos



Figura 4.16: Flujo de caja para el caso 1, en el tiempo, considerando una plantación de pinos

4.1.3.3. Caso 2

Los resultados del flujo de caja del caso 2 se encuentran en la Tabla 4.16, donde se observa que el proyecto nuevamente tiene un VAN positivo si se plantan tomates, pero es negativo en el caso de plantar naranjos y pinos. Se observa que los resultados empeoran para las 3 plantaciones en comparación con el caso base y el caso 1, sin embargo mejora la TIR de los pinos en comparación con los 2 casos anteriores.

Tabla 4.16: Resultados del flujo de caja para las distintas plantaciones

Plantación	VAN (10%)	TIR
Tomate	\$3.827.516.380	24%
Naranja	-\$23.436.528	10%
Pino	-\$3.957.056.918	-22%

La Figuras 4.17, 4.18 y 4.19 muestran los flujos en 20 años en el caso de plantar tomates, naranjos y pinos respectivamente. Se destacan los mínimos y máximos.



Figura 4.17: Flujo de caja para el caso 2, en el tiempo, considerando una plantación de tomates



Figura 4.18: Flujo de caja para el caso 2, en el tiempo, considerando una plantación de naranjos

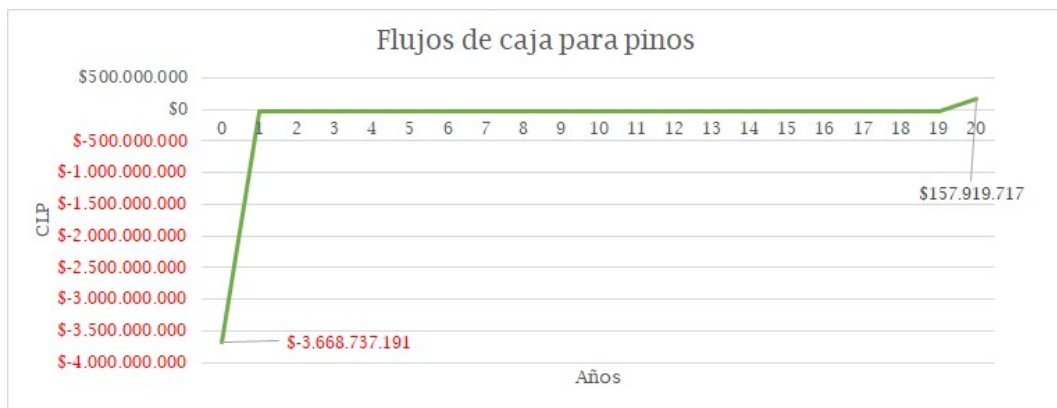


Figura 4.19: Flujo de caja para el caso 2, en el tiempo, considerando una plantación de pinos

4.1.3.4. Caso 3

Los resultados del flujo de caja del caso 3 se encuentran en la Tabla 4.17, donde se observa que el proyecto nuevamente tiene un VAN positivo si se plantan tomates, y es negativo en el caso de plantar naranjos y pinos. Se observa que los resultados del VAN empeoran para el caso de tomates, naranjos y pinos en comparación con los 3 casos anteriores, pero mejora la TIR de los pinos comparación con el caso base y el caso 1. Cabe recordar que para este caso se considera la venta de SSCC y un costo de oportunidad por vender ese servicio, que se valorizó en agua no vendida (819,7 [CLP/ m^3]).

Tabla 4.17: Resultados del flujo de caja para las distintas plantaciones

Plantación	VAN (10%)	TIR
Tomate	\$3.824.775.882	24%
Naranja	-\$165.144.511	9%
Pino	-\$3.964.379.192	-24%

La Figuras 4.20, 4.21 y 4.22 muestran los flujos en 20 años en el caso de plantar tomates, naranjos y pinos respectivamente. Se destacan los mínimos y máximos.



Figura 4.20: Flujo de caja para el caso 3, en el tiempo, considerando una plantación de tomates



Figura 4.21: Flujo de caja para el caso 3, en el tiempo, considerando una plantación de naranjos



Figura 4.22: Flujo de caja para el caso 3, en el tiempo, considerando una plantación de pinos

4.1.4. Evaluación socioambiental

¿Cuáles son las consecuencias del proyecto? ¿Qué precauciones se tienen que tener?

Entre las consecuencias positivas que puede tener el proyecto se encuentran:

1. En los 4 casos evaluados se genera agua limpia, que según la plantación a utilizar, puede llegar a la comunidad y a bajo costo (1 dolar versus 2 dolares).
2. En los 4 casos evaluados se plantaría tomates, naranjos o pinos, plantaciones que pueden mitigar CO_2 y por ende, ayudar en los objetivos sustentables del país.
3. En los 4 casos evaluados, cuando se considera plantar tomates o naranjos, se obtiene alimento, el cual puede ser para la comunidad de la zona o para otra.
4. En los 4 casos evaluados, se podrían crear trabajos, ya sea en la etapa de construcción de la desaladora, construcción de la fotovoltaica en los casos 2 y 3, en la operación de la desaladora y la fotovoltaica, y en el proceso de recolección de frutas y/o madera según la plantación elegida.
5. En el caso 3 con la venta de SSCC se apoya a la seguridad y calidad del SEN.

Entre las consecuencias negativas que puede tener el proyecto se encuentran:

1. El proyecto considera el uso de mínimo 10 hectáreas de la región, lo que implica uso de territorio, donde se puede encontrar flora y fauna que se puede ver afectada.
2. La producción de salmuera por el proceso de desalación puede afectar el ecosistema marino de la región.
3. En los 4 casos evaluados, se producirá un impacto por ruido en la etapa de construcción de la planta desaladora y la planta fotovoltaica en los casos 2 y 3, además de ruido constante durante la etapa de operación debido a la bomba que provee a la desaladora con agua de mar.

Se tiene que tener como precauciones para el proyecto: afectar lo menos posible la flora y fauna de la región, gestionar de manera óptima el vertimiento de salmuera para evitar el impacto en el ecosistema marino, no superar los niveles de ruido permitidos por el D.S. 38/11 “Norma de emisión de ruidos generados por fuentes que indica” de 85 [dB]. Además de esto se debe procurar que los beneficios del proyecto lleguen prioritariamente a la zona donde se emplaza el proyecto.

¿Qué conflicto podría despertar esta alternativa en las partes interesadas?

Se podrían generar conflictos ambientales con la comunidad debido a las consecuencias negativas expuestas anteriormente, principalmente por la salmuera y cómo esta pueda afectar. Con respecto al uso de territorio y su posible impacto en flora y fauna, según la DIA de Autogeneración Eléctrica Terminal GNL Mejillones [95] hay una escasa presencia de flora y fauna, por ser zona desértica, por lo que no debería despertar un gran conflicto. Sin embargo, el Gaviotín Chico es una especie en extinción de la zona, a la que habría que tener especial cuidado de no afectar.

¿Qué nuevas soluciones pueden hacerse? ¿Hay efectos no previstos?

Otras soluciones para lograr el mismo objetivo de mitigar emisiones utilizando desalación y energía solar, podrían ser utilizar otra tecnología de desalación, por ejemplo desalación térmica, otra tecnología solar como concentración, o utilizar otro tipo de plantación. Otra

solución que podría darse puede ser cambiar el lugar donde se ubica el proyecto o cambiar el objetivo para que no sea restringido por el uso de tecnologías específicas como lo son la desalación y la energía solar.

Entre los efectos no previstos se consideran cambios que se puedan producir debido al calentamiento global, como un cambio en el clima de la zona, lo que podría implicar un cambio en el funcionamiento y los requerimientos del proyecto.

¿Se incluye en la toma de decisiones a todos los grupos sociales?

Ante la eventual realización de este proyecto se podría incluir a la comunidad de Mejillones en una consulta ciudadana para tomar ciertas decisiones y definir límites que el proyecto deba cumplir.

¿Se aporta de manera balanceada en todos los grupos sociales?

Existe aporte a la comunidad al mitigar emisiones, proporcionar trabajos y disponer de agua a la comunidad, generar alimentos, y aportar en la seguridad y calidad de servicio eléctrico con la venta de SSCC en el caso 3.

Estos aportes se contraponen con las consecuencias negativas del proyecto, como la producción y eliminación de salmuera o el impacto ante la fauna y flora de la región. Sin embargo, si se toman las medidas necesarias para hacer el proyecto de la manera más sustentable posible, se podría considerar que los beneficios son mayores a los perjuicios.

¿Se compromete de alguna manera el desarrollo del futuro?

El desarrollo del futuro podría verse comprometido principalmente por el uso de terreno y la expulsión de salmuera. Lo primero debido a que al ocupar tantas hectáreas se podrían perjudicar otros planes de proyectos futuros, y lo segundo debido a que la salmuera podría afectar el ecosistema marino y por lo tanto el paisaje y los recursos marinos de la zona.

¿Cómo se afecta a la generación y distribución de riquezas sociales?

El proyecto podría aportar en el PIB de la región, con la venta de agua y fruta o madera, podría aportar en el desarrollo tecnológico, en el índice de empleabilidad al generar nuevos trabajos, podría aumentar la calidad de vida de las personas al proporcionar agua a bajo costo y mitigar CO_2 .

Por el lado negativo podría afectar a la flora y fauna del sector, ya sea terrestre o marina y por lo tanto a la comunidad de la zona, ya sea en su fuente de alimentos o en su territorio y paisaje.

4.2. Discusión

A partir de los resultados anteriores se realiza una discusión según lo que se quiere lograr con la evaluación de los casos.

4.2.1. Uso de agua

La Figura 4.2 muestra que para los casos de estudio de este trabajo, que se evalúan a 20 años, la plantación que necesitaría más agua es la de los pinos con 3,58 millones de m^3 , mientras que la de los naranjos es la que necesitaría menos agua con 2,05 millones de m^3 .

Ahora, cuando se analiza el requerimiento de agua de mar que se necesitaría, nuevamente es el mismo para los 4 casos a evaluar, sin embargo como se considera que las plantas desaladoras están hechas para poder proporcionar el máximo de agua que requiere la plantación en su vida, y se vende el agua sobrante cuando se pueda, se observa que los tomates y pinos requieren la mayor cantidad de agua y los naranjos la menor en la evaluación a 20 años. La Figura 4.3 presenta esta situación.

4.2.2. Emisión y captación de CO_2

Con respecto a las emisiones de CO_2 generadas por la construcción de las desaladoras y de las fotovoltaicas, se observa que en ambas construcciones se considera la emisión de los mismos compuestos, específicamente se emite material particulado (MP), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxido de nitrógeno (NOx). Estos 4 compuestos pueden ocasionar graves problemas de salud en las personas, como problemas respiratorios e incluso la muerte, es por esto que se parte por revisar si las emisiones están dentro de los límites permitidos por la norma chilena, que se encuentran en la Tabla 4.18 [96].

Tabla 4.18: Límites establecidos en normas de calidad del aire

Contaminantes	Período	Norma [$\mu g/m^3$]
Material Particulado	24 horas	150
Material Particulado	Anual	50
Óxidos de Nitrógeno	1 hora	400
Óxidos de Nitrógeno	Anual	100
Monóxido de Carbono	1 hora	30.000
Monóxido de Carbono	8 horas	10.000

Para calcular las emisiones en $\mu g/m^3$ se considera que el área afectada es un volumen de una mitad de esfera con diámetro de 1 km, es decir $261.799.387,79 m^3$. Con esto se convierten los valores expuestos en las tablas 4.8, 4.7, 4.10 y 4.9, en $\mu g/m^3$, y los resultados se presentan en la Tabla 4.19. Se consideran los límites con periodos en horas ya que la construcción de los proyectos dura menos de un año. D1 representa la desaladora de $491 m^3$, D2 la desaladora de $299 m^3$, FV1 la fotovoltaica de 0,43 MW y FV2 la fotovoltaica de 0,262 MW.

Tabla 4.19: Emisiones por construcción de desaladoras y fotovoltaicas

Contaminantes	Resultado D1 [$\mu g/m^3$]	Resultado D2 [$\mu g/m^3$]	Resultado FV1 [$\mu g/m^3$]	Resultado FV2 [$\mu g/m^3$]
MP 24 horas	43,39	26,4	2,88	1,74
NOx 1 hora	0,483	0,294	0,01	0,006
CO 1 hora	0,134	0,082	0,002	0,001
CO 8 horas	1,079	0,657	0,023	0,014
HC 1 hora	0,056	0,034	0,001	0,0006

A partir de estos resultados se puede confirmar que las emisiones están bajo los límites de la norma chilena, y por lo tanto, ninguna de estas construcciones debería afectar la salud de las comunidades cercanas. Cabe destacar que si bien la norma no explicita un límite de emisiones

de hidrocarburos, según las Declaraciones de Impacto Ambiental de otros proyectos revisados, cuyas emisiones de HC eran mayores, estos se encontrarían bajo el límite y no provocarían daños a la salud de las personas.

Al comparar estos resultados con la normativa de la unión europea [97], la que se presenta en la Tabla 4.20, se observa que se cumplen todas las normas con periodos horarios, y no se cumple la norma para hidrocarburos. En el anexo se encuentra la Tabla de equivalencias entre gases de efecto invernadero y CO_2 según el Cuarto informe de evaluación del IPCC [98].

Tabla 4.20: Límites establecidos en normas de calidad del aire

Contaminantes	Período	Norma [$\mu g/m^3$]
MP 10	24 horas	50
MP 10	Anual	40
NOx	1 hora	200
NOx	Anual	40
CO	8 horas	10.000
HC (aromáticos policíclicos)	Anual	0,001

Con respecto a la cantidad de emisiones que producen estos proyectos, se observa que la desaladora que debe producir más agua, también produce más emisiones, lo mismo pasa con la fotovoltaica con más capacidad instalada. Esto se debe a que para calcular estas emisiones se utilizaron proyectos reales y se asumió que sus emisiones serían proporcionales a su capacidad de producción de agua y energía respectivamente.

La captación de CO_2 es la misma para los 4 casos evaluados, sin embargo cambia según la plantación que se tiene. Se observa según las Tablas 4.6 y 4.7 y las Figuras 4.6 y 4.7 que los naranjos son la plantación que captura más CO_2 anualmente y durante 20 años para 10 hectáreas plantadas, mientras que los tomates son la plantación que menos captura. Esto se explica ya que los naranjos son una plantación semi permanente, que se espera que perdure varios años más de los que dura la evaluación del proyecto, por lo que no se considera que tiene emisiones de CO_2 .

En el caso de los pinos y los tomates, se considera que estos se cortan en algún momento de evaluación, lo que implica una emisión de CO_2 . Específicamente se considera que los tomates emiten el 90 % de lo que absorben, mientras que para los pinos se considera un promedio de emisión según los distintos usos que se le puede dar a la madera.

Otras formas no cuantificadas en que se puede mitigar CO_2 podrían ser considerar los traslados de fruta y madera que usualmente se realizan para llevar estos bienes a la comuna de Mejillones. Si se considera que la madera que llega a Mejillones viene de la región de Biobío se tendrían que recorrer 1925,7 km para hacer llegar el producto, lo que implica emitir 0.37 toneladas de CO_2 por cada viaje. Si se considera que los tomates son de Agroconcordia en Arica, se tendrían que recorrer 668,1 km, es decir, se emitirían 0.13 toneladas de CO_2 por

cada viaje¹.

En el caso de plantar pinos, se podría considerar que esto fuera un traslado de empresas forestales desde el sur del país al norte, territorio que podría ser reemplazado con bosque nativo, implicando que estos casos conllevarían una mayor mitigación aún. Sin embargo este supuesto es muy grande, ya que la liberación de territorio en el sur podría terminar de diferentes formas, como la reclamación de tierras indígenas, venta para edificación o agricultura, entre otras.

4.2.3. Evaluación económica

Los resultados de la evaluación económica indican que para los 4 casos, la plantación que presenta una mejor evaluación económica es la de tomates, seguida por la de naranjos y finalmente la de pinos. Esto se debe principalmente a los ingresos que la plantación de tomates genera. Los tomates requieren una planta desaladora de 491 [m^3 /día] pero solo necesita esa cantidad de agua durante 4 meses de año, lo que le permite vender más agua que el resto de las plantaciones, y además se venden más de 72 toneladas de tomates 2 veces al año a 727 [CLP/kg].

Los ingresos de los naranjos, en cambio, consideran la venta de máximo 60 toneladas de naranjas al año (desde el año 6) a 861 [CLP/kg], y también considera venta de agua pero a partir del año 4 y con un máximo de 7.790 [m^3 /año], versus los más de 46.000 [m^3 /año] que se pueden vender con los tomates.

Finalmente los pinos presentan evaluaciones muy negativas en todos los casos, y esto se debe principalmente a la inexistencia de ingresos hasta el último año. Los pinos requieren durante toda su vida la misma cantidad de agua (491 [m^3 /día]) por lo que ningún año se puede vender agua con esta plantación, y además de esto, la venta de madera ocurre solamente una vez a los 20 años ya que se debe esperar que los pinos estén en su etapa final para cortarlos.

La comparación de ingresos por venta de agua y venta de frutas o madera, se presenta en las figuras 4.23 y 4.24 respectivamente.



Figura 4.23: Ingresos por venta de agua por 20 años, según plantación

¹ Los cálculos para el equivalente en CO_2 se hace en la Calculadora de CO_2 , Mi huella [99]



Figura 4.24: Ingresos por venta de frutas o madera por 20 años, según plantación

Haciendo la comparación entre los casos evaluados, el que presentó mejores resultados fue el caso 1, en el cual se tenía un contrato de suministro con una planta fotovoltaica. Este caso tiene mejores resultados que los otros debido a que el precio de la energía considerado para el contrato es 17 [CLP/kWh] más barato que el precio de la red que se considera en el caso base, y si bien la suma de la inversión en la construcción de la planta fotovoltaica y los gastos de operación y mantenimiento es menor que los gastos en energía, aumentaba la inversión total el año 0.

El caso 3 terminó siendo el peor caso debido a que el costo de oportunidad por la venta de SSCC era mucho mayor que la ganancia que producía la venta del servicio de desconexión de carga. A pesar de esto, con plantaciones de tomates este caso sigue siendo una opción viable económicamente, y aportar estabilidad en el sistema eléctrico se podría considerar un aporte en la evaluación social que contrarreste el gasto que significa en la operación económica.

Se realiza un análisis de sensibilidad en el que se varía el valor al que se venden las naranjas y los pinos para obtener un VAN positivo. Con esto se encuentra que si se venden naranjas a 870 [CLP/kg] se tendrá un VAN positivo en el caso 2, si se vendieran a 920 [CLP/kg] el VAN sería positivo en todos los casos.

En el caso de los pinos, si la madera se vendiera a 2.204 [CLP/kg], la TIR ya no sería negativa en el caso base, si se vendiera a 12.231 [CLP/kg] recién se tendría un VAN positivo en el caso base, y con 12.302 [CLP/kg] el VAN sería positivo en todos los casos.

También se evalúa el mínimo valor al que se pueden vender los tomates para que el VAN siga siendo positivo, y este valor es de 342 [CLP/kg] si se quiere positivo en todos los casos y 327 [CLP/kg] si se quiere positivo solo en un caso (caso 1).

Se observa que un pequeño cambio en el valor al que se vendían las frutas de cada caso afectaba mucho al resultado del flujo de caja, lo que indica que si se hubiera considerado que estas se vendieran un poco más caras, todos los casos que consideraran tomates o naranjos hubieran tenido un VAN positivo.

4.2.4. Evaluación socioambiental

Según el análisis socioambiental el caso base y el caso 1 podrían tener entre sus consecuencias positivas la generación de agua limpia para la comunidad de Mejillones, la reducción de CO_2 y por ende una posible mejora en la salud y calidad de vida de las personas, la producción de alimentos para la comunidad (en caso de plantar tomates o naranjos) y la generación de trabajos durante la construcción y operación de la planta desaladora.

Entre sus consecuencias negativas se encuentra la posible afectación del ecosistema marino y terrestre de la región debido al gran uso de territorio para plantaciones, y a la expulsión de salmuera en el mar. Además de esto se generará impacto por ruido durante la construcción y la operación de la desaladora. Estas consecuencias podrían ocasionar conflictos con la comunidad y es por esto que ante una eventual realización del proyecto se debe tener en consideración la opinión pública y tratar de que las consecuencias positivas lleguen principalmente a la gente afectada por las negativas.

El caso 2 presenta la oportunidad de aportar con más trabajos aún debido a la construcción de una planta fotovoltaica, sin embargo también agranda las consecuencias negativas como el afectar el ecosistema terrestre y generar mayores impactos en el periodo de construcción. El caso 3 considera estas las mismas ventajas y desventajas, añadiendo el beneficio de que la planta desaladora puede actuar como SSCC y por ende, ayudar en la estabilidad y calidad del sistema eléctrico de la zona, aportando así a la calidad de vida de las personas.

Según estos análisis la peor opción en el ámbito social pareciera ser el caso 2, debido a que genera un mayor impacto que los otros casos, manteniendo casi los mismos beneficios que los primeros 2.

4.2.5. Suma de resultados

Para poder elegir el mejor caso considerando todos los ámbitos evaluados se realiza una designación de puntajes y una suma de los resultados obtenidos. Primero se definen los límites máximos y mínimos, luego, según estos límites, se le asigna un puntaje de 1 a 100 a cada caso, y finalmente estos puntajes se suman

En el caso de la captación de CO_2 se tiene que el límite máximo de captación es de 3.946 toneladas de CO_2 equivalente para los naranjos en 20 años, mientras que el mínimo es de 478 toneladas de CO_2 equivalente para los tomates. Según esto los puntajes obtenidos por caso y plantación se presentan en la Tabla 4.21.

Tabla 4.21: Puntajes para captación de CO_2

Plantación/Caso	Caso base	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tomates	1	1	1	1
Naranjos	100	100	100	100
Pinos	67,3	67,3	67,3	67,3

En el caso de la emisión de compuestos se tiene que el límite máximo es en el caso que se tiene la desaladora de $491[m^3]$ y la fotovoltaica de $0,43 [MW]$, mientras que el mínimo es el

caso en que solo se tiene la desaladora de 299[m³]. Para la emisión de CO₂ equivalente por el uso de energía tradicional en el caso base, se considera el máximo 5.991,8 [ton CO₂e] y el mínimo 0. En este caso se considera que el máximo obtendrá 1 punto y el mínimo 100. Según esto los puntajes obtenidos por caso y plantación se presentan en la Tabla 4.22.

Tabla 4.22: Puntajes para emisiones

Plantación/Caso	Caso base	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tomates	14,43	34,23	20,80	20,80
Naranjos	87,95	100	91,85	91,85
Pinos	14,43	34,23	20,80	20,80

En el caso del uso de agua se tiene que el límite máximo es de 10.750.217,9 [m³] que es el agua de mar que usa la desaladora para plantaciones de pinos y tomates, mientras que el mínimo es de 0 [m³]. En este caso nuevamente se considera que el máximo obtendrá 1 punto y el mínimo 100. Según esto los puntajes obtenidos por caso y plantación se presentan en la Tabla 4.23:

Tabla 4.23: Puntajes para uso de agua

Plantación/Caso	Caso base	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tomates	1	1	1	1
Naranjos	39,74	39,74	39,74	39,74
Pinos	1	1	1	1

En el caso de la evaluación económica se tiene que el límite máximo es de \$3.802.802.415 de VAN para los tomates en el caso 1, mientras que el mínimo es de \$ - 4.173.704.841 de VAN para los pinos en el caso 3. Según esto los puntajes obtenidos por caso y plantación se presentan en la Tabla 4.24:

Tabla 4.24: Puntajes para la evaluación económica

Plantación/Caso	Caso base	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tomates	99,17	100	98,21	98,18
Naranjos	50,48	51,22	50,16	48,40
Pinos	1,27	2,68	1,09	1

Finalmente, la suma de los puntajes anteriores se presenta en la Tabla 4.25

Tabla 4.25: Puntajes finales por caso y plantación

Plantación/Caso	Caso base	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tomates	115,60	136,23	121,01	120,98
Naranjos	278,17	290,96	281,75	279,99
Pinos	83,98	105,20	90,18	90,09

Según estos resultados la mejor opción es el caso 1 con plantación de naranjos, ya que genera la mayor cantidad de beneficios y la menor cantidad de costos (ya sean económicos o

ambientales). Además, este caso se compara con los resultados socioambientales y al ser de las mejores opciones en este ámbito, se reafirma que el caso 1 sería la mejor opción.

4.2.6. Análisis de sensibilidad

Para finalizar, se realiza un análisis de sensibilidad a la opción ganadora en caso de variar distintos parámetros.

Si se cambia el precio de la energía, el VAN resultante se mantiene positivo (\$2.507.587) hasta los 51 [USD/MWh] sin considerar cargos y peajes, es decir, a 55,68 [CLP/kWh] considerando cargos y peajes. Esto implica que para que el VAN se haga nulo, se necesita un aumento del 70% respecto al valor actual de la energía. Los resultados del VAN según el cambio en el valor de la energía se muestran en la Figura 4.25

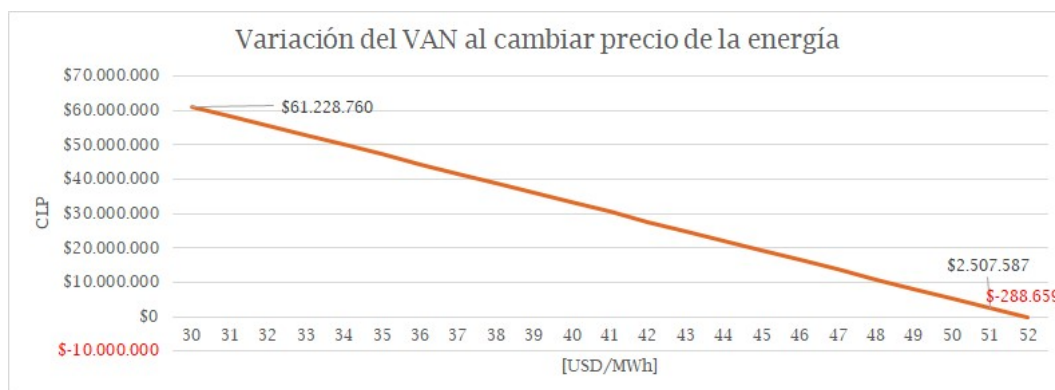


Figura 4.25: Cambio en el VAN al cambiar el precio de la energía

En el caso de ir variando el precio de la energía en el tiempo, subiendo 1 [USD/MWh] al año, se alcanza a los 20 años un valor de 49 [USD/MWh] (sin considerar cargos y peajes) y se mantiene el VAN positivo en \$44.090.851. Si el precio de la energía varía subiendo 2[USD/MWh] al año, también se logra un VAN positivo, esta vez de \$26.952.942. Si varía subiendo 3[USD/MWh] al año nuevamente el VAN es positivo con \$9.815.033, y si varía subiendo 4[USD/MWh] al año el VAN pasa a ser negativo con -\$7.322.875. En estos casos los flujos de caja evolucionan como muestra la Figura 4.26, se muestran desde el año 5 para notar el cambio.

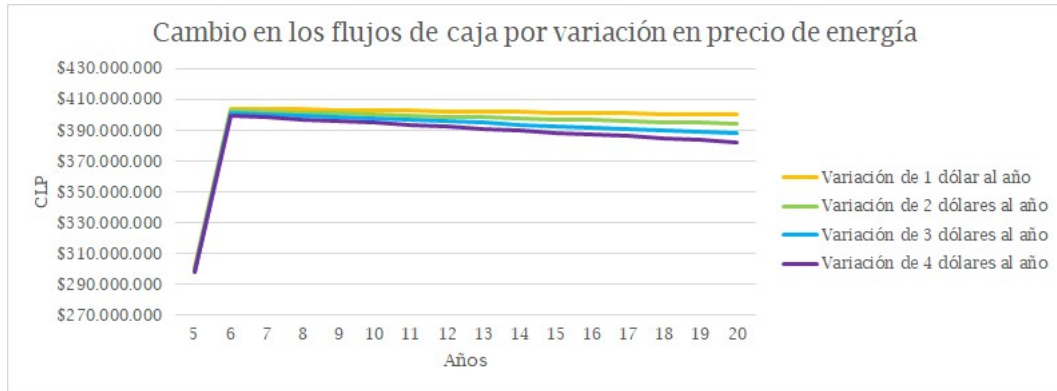


Figura 4.26: Cambio en los flujos de caja en el tiempo, al cambiar el precio de la energía

Si se cambia el precio al que se vende el agua desalada, este puede bajar hasta los 0 [CLP/ m^3] y el VAN aún es positivo, con \$30.441.901, lo que indica que la principal ganancia viene de la venta de naranjas. Continuando con el caso en que el agua es gratis, el precio de las naranjas puede bajar hasta 850 [CLP/kg] y se obtiene un VAN positivo de \$2.095.021. En caso de no bajar el precio del agua, las naranjas se pueden vender hasta a 840 [CLP/kg] y se mantiene positivo el VAN en \$2.216.671, es decir, con una variación del 2,4 % del precio estimado, se llega al menor VAN positivo. Los ingresos que se obtienen en estos casos se muestran en la Figura 4.27.



Figura 4.27: Cambio en los ingresos al cambiar el precio del agua y/o las naranjas

En el caso de que se plantaran 20 hectáreas de naranjos en vez de 10, se alcanza un VAN de \$323.595.325 con una TIR del 11 %, para 30 hectáreas el VAN queda en \$585.961.890 nuevamente con una TIR del 11 %, para 40 hectáreas el VAN es \$848.328.455 y la TIR se mantiene en 11 %. Esta tendencia continúa al menos hasta las 100 hectáreas, con un VAN creciente y una TIR estática en 11 % desde las 20 hectáreas. La Figura 4.28 presenta la variación del VAN al cambiar el número de hectáreas consideradas para este trabajo.

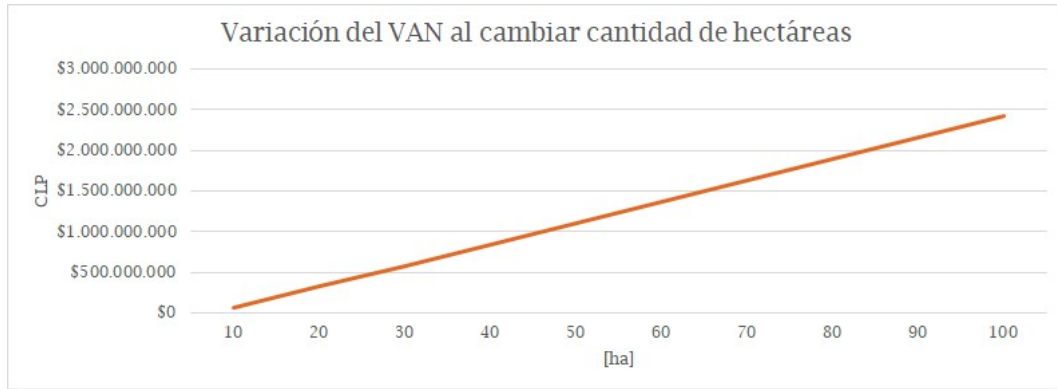


Figura 4.28: Cambio en el VAN al cambiar la cantidad de hectáreas plantadas

Esta variación indica una economía de escala, ya que como muestra la Figura 4.29, a mayor cantidad de hectáreas plantadas, se necesita mayor producción de agua desalada para riego, y se tiene menor costo de inversión por hectárea.

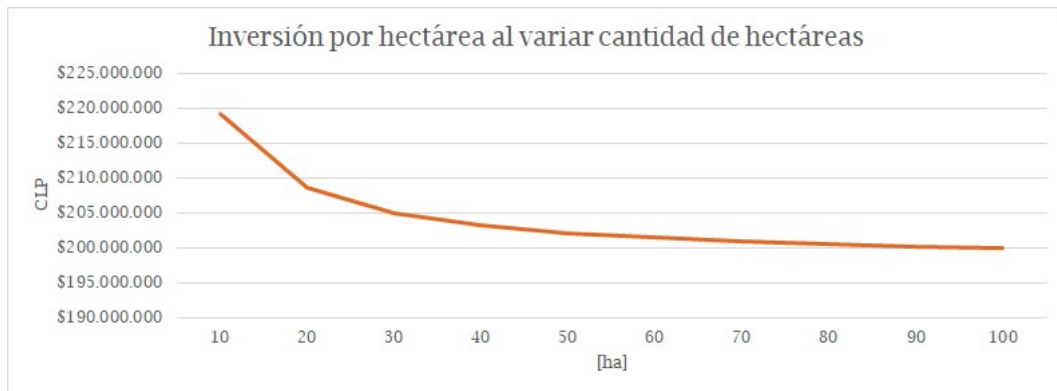


Figura 4.29: Costos de inversión por hectárea al variar cantidad de hectáreas plantadas

Con respecto a los costos para obtener un VAN nulo, los costos de inversión deben ser 61 millones de pesos mayor a la inversión actual, es decir, un aumento del 2,7% de la inversión. En el caso de los costos de operación, estos deben aumentar 8 millones de pesos al año, es decir, un aumento del 34,2% del valor actual, para que el VAN sea nulo. Finalmente los impuestos. Si la tasa de impuestos aumenta de 20 a 23% el VAN pasa a ser nulo, es decir, con un aumento del 15% de la tasa de impuesto. La Figura 4.30 muestra como cambia el VAN al cambiar el valor de la tasa de impuestos.

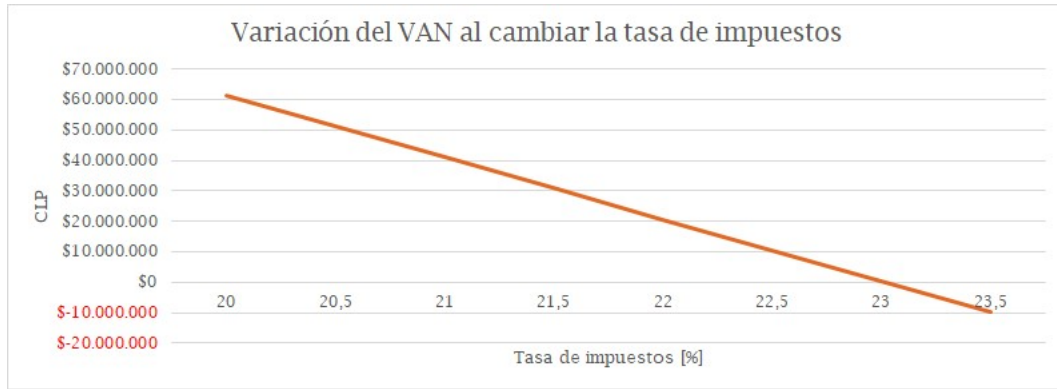


Figura 4.30: Variación en el VAN al variar la tasa de impuestos

Con este análisis de sensibilidad se obtiene que el resultado económico del caso 1 con plantación de naranjos es bastante sensible al valor de venta de la fruta y el valor de inversión.

Capítulo 5

Conclusiones

En este trabajo se analiza la factibilidad de utilizar el sol como fuente de energía del proceso de desalación de agua, con el objetivo de posibilitar impactos positivos desde el punto de vista de reducción de emisiones y captura de CO_2 basada en plantaciones en el norte del país. Además, se determina la viabilidad energética, técnica, y económica de utilizar desalación con energía solar para el riego de plantaciones en el desierto y se analizan los impactos ambientales y sociales que podría conllevar.

Para lograr este objetivo se crean 4 casos y se evalúan según sus costos e ingresos, su uso de agua, las emisiones que produciría, el CO_2 que mitigaría, y finalmente su impacto socioambiental. A partir de los resultados obtenidos y luego de asignarles un puntaje, se obtiene que el mejor caso para mitigar emisiones utilizando desalación y energía solar es el caso 1 con plantación de naranjos.

Se logra simular el uso de energía y de agua de los distintos casos evaluados, principalmente gracias a la bibliografía revisada del estado del arte y a la herramienta Explorador Solar, la cual fue clave en el dimensionamiento de la planta fotovoltaica. También se logra calcular gastos, emisiones y captación de CO_2 utilizando como base los informes de impacto ambiental de proyectos reales en Chile.

La revisión bibliográfica y los resultados indican que es factible técnicamente abastecer con energía solar una planta desaladora, y además, utilizarla para mitigar emisiones a través de plantaciones en el desierto. Los resultados económicos indican que la venta de agua desalada y fruta regada con esta, hace rentable la construcción de una planta desaladora y una planta fotovoltaica para abastecerla en algunos casos como con plantaciones de tomates. Sin embargo, en el caso de venta de madera no se logra compensar los gastos necesarios para realizar el proyecto.

Con respecto a los impactos ambientales estimados, todos los casos generan emisiones, ya sea por la construcción de la planta desaladora y/o fotovoltaica, o por la liberación de CO_2 al terminar el ciclo de las plantaciones. A pesar de esto, en el caso de plantaciones de naranjos, se logra mitigar CO_2 . No se realiza una comparación entre emisiones y mitigación, pero se dejan informadas las tablas de equivalencias de CO_2 respectivas. Además se identifica un impacto en los ecosistemas terrestres por el uso de territorio y en ecosistemas marinos por la expulsión de salmuera.

Los impactos socioambientales, se separan en negativos y positivos, entre los primeros están principalmente las emisiones y afectación de ecosistemas, mientras que los segundos son la generación de trabajos, acceso a agua a bajo costo, producción de alimentos para la comunidad, captación de CO_2 , apoyo a la calidad de servicio del sistema eléctrico.

Se realiza un análisis de sensibilidad para el caso con mejores resultados, donde se obtiene que los resultados económicos son muy sensibles a variaciones en el precio de la fruta y el costo de inversión. También se observa que a mayor cantidad de hectáreas plantadas se tendrá un mejor VAN, ya que la inversión por hectárea es menor. Esto representa una economía de escala.

Como conclusión se obtiene que la plantación de naranjos para el caso 1 (con contrato con planta fotovoltaica) es una opción de mitigación que a su vez presenta rentabilidad privada, por lo que se sugiere como alternativa a desarrollar. Asimismo, esta opción ofrece una oferta adicional de agua desalada a la comunidad. Consecuentemente, se deduce que es factible aportar al proceso de mitigación a través de un proceso productivo que logra rentabilidad privada y aprovecha el recurso solar rico en la región.

Finalmente, se concluye que además de cumplir el objetivo del proyecto y comprobar que la desalación de agua con energía solar para riego de plantaciones podía ayudar a mitigar CO_2 en el país, se observa que según los resultados obtenidos, estas tecnologías aportan en otras áreas, como ayudar a mejorar la calidad de vida de comunidades cercanas y combatir la sequía producto del calentamiento global.

5.1. Trabajo futuro

Como propuestas para mejorar el trabajo realizado y hacer una mayor investigación se propone:

- Perfeccionar las evaluaciones ya hechas, como en el caso de la evaluación de emisiones, hacer la equivalencia entre emisiones de MP, CO, HC, NOx a CO_2 y considerar emisiones por la fabricación de paneles fotovoltaicos, para así poder comparar si la emisión es menor o mayor a la mitigación lograda. Además, hacer una evaluación multicriterio distinta.

Aumentar el alcance del proyecto, considerando una profundización mayor en algunos temas, como por ejemplo el aporte de nutrientes necesarios para las plantaciones.

- Hacer un mejor análisis socioambiental, considerando la opinión de la comunidad en que se evaluó el proyecto, ojalá con datos reales, y así poder pasar de un análisis cualitativo a uno cuantitativo, que permitiera integrarlo en la elección de la mejor opción.
- Analizar más casos o una variación de los ya evaluados, por ejemplo en el caso 3, donde se venden servicios complementarios, explorar otros SSCC que podrían haber generado mayores ingresos. Otra cosa que se podría hacer sería probar más tipos de plantaciones.
- Encontrar y utilizar herramientas de evaluación especializadas que pudieran ayudar en el dimensionamiento de la planta desaladora y en los requerimientos de agua de las plantaciones. Esto se intentó hacer para este trabajo, sin embargo no se encontraron

herramientas para plantaciones y el software que se intentó utilizar para dimensionar la desaladora entregaba resultados muy distintos a los investigados en el marco teórico, lo que pudo deberse a falta de manejo con el mismo.

Bibliografía

- [1] Naciones Unidas. Acuerdo de París, 2015.
- [2] Naciones Unidas. Objetivos de desarrollo sostenible, 2015.
- [3] Gobierno de Chile. Contribución determinada a nivel nacional de Chile (NDC), 2020.
- [4] Ministerio de Energía. Energías renovables.
- [5] Energía Abierta Comisión Nacional de Energía. Capacidad instalada, 2020.
- [6] Comisión Nacional de Energía. Capacidad instalada de generación, 2019.
- [7] Agencia Internacional de Energías Renovables. Estadísticas de capacidad renovable 2020, 2020.
- [8] Consejo Políticas de Infraestructura. Megasecuía impulsa desarrollo de desaladoras en Chile: ya hay 24 plantas operando y hay otros 22 proyectos en diferentes etapas de avance, 2019.
- [9] Roberto Román L. Sistemas solares en Chile - diplomado en energías renovables no convencionales, 2014.
- [10] PVEducation.org. Propiedades de la luz del sol - radiación solar.
- [11] Monografías. La energía solar fotovoltaica y sus aplicaciones.
- [12] J. Roldán Vitoria. *Energías renovables. Lo que hay que saber*. España, 1st edition, 2013.
- [13] Aula Verde. La primera celda solar, 2012.
- [14] PELANDINTECNO-TECNOLOGÍA ESO. ¿cómo funciona una unión pn?
- [15] W. Brokering Christie, R. Palma Behnke. *Atrapando el sol en los sistemas eléctricos de potencia*. Santiago, 1st edition, 2018.
- [16] Roberto Román L. Me-6000 introducción a la energía solar: Sistemas fv, 2014.
- [17] Departamento de Geofísica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile. Explorador solar, sobre el proyecto, 2017.
- [18] Alejandra Molina Monje; Francisco Martínez. Modelo de generación fotovoltaica, 2017.
- [19] Structuralia. ¿conoces las diferentes tecnologías termoelectricas por concentración?, 2018.
- [20] exEnergyOp. Tipos de centrales termosolares.
- [21] International Energy Agency. Global energy and CO2 status report 2019, 2019.
- [22] International Energy Agency. Solar, 2019.

- [23] Solar Power Europe. Global market outlook for solar power / 2018 - 2022, 2018.
- [24] Energía Abierta. Generación bruta ernc, 2019.
- [25] Comisión Nacional de Energía. Reporte mensual de ernc, diciembre 2019, 2019.
- [26] National Geographic. 11 datos interesantes sobre el agua, 2019.
- [27] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Aquastat - sistema mundial de información de la fao sobre el agua en la agricultura.
- [28] GreenFacts. Glosario - estrés hídrico.
- [29] Ministerio de Obras Públicas. Estrategia nacional de recursos hídricos 2012 - 2025, 2013.
- [30] Center for Climate and Resilience Research. Análisis: Sequía, escasez hídrica y vegetación | (cr)2, 2019.
- [31] Fundación Chile. Radiografía del agua, 2019.
- [32] Aquae Fundación. Historia de la desalinización del agua.
- [33] BBC News. ¿puede la desalinización ser la solución para la crisis mundial del agua?, 2017.
- [34] Aquae Fundación. Métodos de desalinización.
- [35] EDUARDO ZARZA MOYA Plataforma Solar de Almería-CIEMAT. Desalinización de agua del mar mediante energías renovables, 1997.
- [36] IDE Technologies. ¿qué es la desalinización?
- [37] Noticias Energía Solar. Desalación mediante energía solar térmica directa, 2006.
- [38] Acciona. Desalinización del agua.
- [39] Milton Beychok. Diagram of a typical vapor-liquid separator, 2007.
- [40] Facultad de Educación Universidad Complutense de Madrid. Intervención humana en las aguas marinas.
- [41] PRODETECS. ¿en qué consiste el proceso de osmosis inversa?, 2018.
- [42] S. Laamari, W. Zghal, and H. Kchaou. Modeling of reverse osmosis system powered by photovoltaic energy. In *2016 7th International Renewable Energy Congress (IREC)*, pages 1–6, 2016.
- [43] iAqua Magazine. Cuando la desalación es la solución más eficaz, 2019.
- [44] TECPA. Las 3 desaladoras mas grandes del mundo, 2018.
- [45] Aguas Antofagasta. Desalación - historia de la desalación, 2019.
- [46] Big Think. Solar-powered desalination plant in kenya gives fresh water to 25,000 people a day, 2019.
- [47] Revista Electricidad. Desalinización con energía solar da sus primeros pasos en región de valparaíso, 2019.
- [48] Aquae Fundación. Cifras sobre la desalinización.
- [49] Consejo de Políticas de Infraestructura. Fuerte caída en costos reabre las ganas de

- desalinizar agua, 2018.
- [50] Jungbin Kim; Kiho Park; Dae Ryook Yang; Seungkwan Hong. A comprehensive review of energy consumption of seawater reverse osmosis desalination plants, 2019.
 - [51] iagua. La evolución de las tarifas en desalación (parte i), 2019.
 - [52] The New York Times. ¿cuánto cuesta desalinizar el agua que necesita el mundo?, 2019.
 - [53] Collections at UNU. The state of desalination and brine production: A global outlook, 2018.
 - [54] CONAF Ministerio de Agricultura. Cambio climático.
 - [55] Garfias Salinas; Castillo Soto; Bown Intveen; Vita Alonso; Zúñiga Navarrete; Ruiz Gonzalez; Caldentey Pont. Funciones de biomasa y estimación de carbono fijado por las principales especies del bosque esclerófilo de las regiones de o'higgins y del maule, 2019.
 - [56] William Fonseca-González. Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51:91, 06 2017.
 - [57] Corporación Chilena de la Madera. Plantaciones forestales: Un aporte clave a mitigación de cambio climático, 2020.
 - [58] Pesca y Alimentos Secretaría de Agricultura, Ganadería. La fijación de co2 en plantaciones forestales y en productos de madera en argentina.
 - [59] Antti Keskitalo. Environmental impacts of conventionally and year-round produced greenhouse tomato (*solanum lycopersicum* l.) production chain in finland, 2009.
 - [60] The Conversation. Plants absorb more co2 than we thought, but . . . , 2014.
 - [61] Ying Sun, Lianhong Gu, Robert E. Dickinson, Richard J. Norby, Stephen G. Pallardy, and Forrest M. Hoffman. Impact of mesophyll diffusion on estimated global land co2 fertilization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2014.
 - [62] CONAF Ministerio de Agricultura. Plantaciones forestales.
 - [63] Gobierno de Chile Ministerio de Agricultura. Panorama de la agricultura chilena, 2019.
 - [64] Instituto Forestal Ministerio de Agricultura. Anuario forestal 2019, 2019.
 - [65] y Universidad Austral de Chile Universidad de Talca; Universidad de Chile, Universidad de Concepción. Antecedentes de la relación masa forestal y disponibilidad hídrica en chile central, 2017.
 - [66] Miguel Briceño; Francisco Álvarez; Ulises Barahona; Escuela Agrícola Panamericana; Zamorano. Manual de riego y drenaje, 2012.
 - [67] María González; Gabriel Saldarriaga; Omar Jaramillo. Estudio nacional del agua 2010, 2010.
 - [68] Cooperativa de servicios Agrícolas de Pampa Concordia. Agroconcordia.
 - [69] CEN. Informe de definición de servicios complementarios, 2020.
 - [70] CEN. Informe de servicios complementarios año 2020, 2020.
 - [71] Anuj Banshwar, Naveen Kumar Sharma, Yog Raj Sood, and Rajnish Shrivastava. An

- international experience of technical and economic aspects of ancillary services in deregulated power industry: Lessons for emerging bric electricity markets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90:774 – 801, 2018.
- [72] Universidad de Colorado. Introducción al diseño de ingeniería: Un enfoque basado en proyectos, 2007.
- [73] Comisión Nacional de Energía. Geo portal cne, 2020.
- [74] Fernando Santibáñez; Paula Santibáñez; Carolina Caroca; Paulina González; Felipe Huiza; Pablo Perry; Cecilia Melillán. Evapotranspiración de referencia para la determinación de las demandas de riego en Chile, 2015.
- [75] Weather Atlas. Previsión meteorológica y clima mensual Antofagasta, Chile, 2020.
- [76] Pilar M. Gil; Cristián Barrera; Daniela Cea; Samuel Contreras; Luis Gustavo Díaz; Aiko Adell; Edward R. Atwill. Tecnologías apropiadas para mejorar eficiencia de uso y calidad de agua para una producción sostenible e inocua, 2019.
- [77] R.L. Snyder; M. Orang; K. Bali; S. Eching. Basic irrigation scheduling (bis), 2014.
- [78] CODELCO. Pescadores artesanales operarán primera planta desaladora de agua con energía solar, 2012.
- [79] Portal Minero. Planta desalinizadora de Spence, Mitsui y Tedagua consiguen financiamiento para construir proyecto, 2018.
- [80] SII Servicio de Impuestos Internos. Cartografía digital SII Mapas, 2020.
- [81] CNE. Informe de costos de tecnologías de generación, 2020.
- [82] Mediterranean Regional Technical Meeting. Desalination technologies and economics: Capex, opex and technological game changers to come, 2016.
- [83] Coordinador Eléctrico Nacional. Costo marginal real, 2020.
- [84] Oficina de Estudios y Políticas Agrarias ODEPA. Boletín de fruta, julio 2020, 2020.
- [85] Oficina de Estudios y Políticas Agrarias ODEPA. Boletín de hortalizas, julio 2020, 2020.
- [86] Instituto Forestal. Boletín de precios forestales, marzo 2020, 2020.
- [87] Potomac Economics. 2019 state of the market report for the ERCOT electricity markets, 2020.
- [88] Pallavi Jain. Ancillary services shortage pricing, 2020.
- [89] Australian Energy Regulator. Quarterly global FCAS costs by services, 2020.
- [90] Sustentable S.A. Declaración de impacto ambiental, proyecto planta desalinizadora Hornos, 2010.
- [91] RIJN Capital; Tebal. Declaración de impacto ambiental, proyecto planta solar fotovoltaica San Pedro de Vi, 2014.
- [92] Departamento de Nutrición Vegetal Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Investigation into CO₂ absorption of the most representative agricultural crops of the region of Murcia, 2009.
- [93] Richard Martinez. Dilemas Éticos en la Ingeniería Química., 2012.

- [94] Energía Abierta. Factores de emisión, 2020.
- [95] GNL Mejillones. Dia autogeneración eléctrica terminal gnl mejillones, 2017.
- [96] Ministerio del Medio Ambiente. Establece plan de prevención y descontaminación atmosférica para la región metropolitana de santiago, 2017.
- [97] European Comission. Air quality standards, 2019.
- [98] Climate Change Connection. Global warming potential (gwp) table, 2020.
- [99] Mi huella. La calculadora de co_2 , 2008.

Anexo A

Flujos de Caja

Las siguientes páginas muestran los flujos de caja para cada caso y plantación.

Tabla A.1: Flujo de caja caso base, tomates

Periodo (año)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		\$1.100.637.417	\$1.100.637.417	\$1.100.637.417	\$1.100.637.417	\$1.100.637.417	\$1.100.637.417	\$1.100.637.417	\$1.100.637.417	\$1.100.637.417	\$1.100.637.417
Costos	\$0	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224
COMA		\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263
Energía		\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961
Depreciación (20 años)		\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754
Utilidad antes de impuestos		\$864.148.439	\$864.148.439	\$864.148.439	\$864.148.439	\$864.148.439	\$864.148.439	\$864.148.439	\$864.148.439	\$864.148.439	\$864.148.439
Tasa de impuestos		20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos		\$172.829.688	\$172.829.688	\$172.829.688	\$172.829.688	\$172.829.688	\$172.829.688	\$172.829.688	\$172.829.688	\$172.829.688	\$172.829.688
Utilidad neta	\$0	\$691.318.751	\$691.318.751	\$691.318.751	\$691.318.751	\$691.318.751	\$691.318.751	\$691.318.751	\$691.318.751	\$691.318.751	\$691.318.751
Depreciación (20 años)	\$0	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754
Inversión	\$-3.321.154.546	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000
Terreno	\$-123.199.458										
Semillas	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000
Construcción desaladora	\$-3.096.829.199										
Tecnología de riego	\$-98.725.890										
Flujo de caja neto	\$-3.321.154.546	\$848.696.505	\$848.696.505	\$848.696.505	\$848.696.505	\$848.696.505	\$848.696.505	\$848.696.505	\$848.696.505	\$848.696.505	\$848.696.505

Periodo (año)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos	\$1.100.637.417	\$1.100.637.417	\$1.100.637.417	\$1.100.637.417	\$1.100.637.417	\$1.100.637.417	\$1.100.637.417	\$1.100.637.417	\$1.100.637.417	\$1.100.637.417
Costos	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224
COMA	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263
Energía	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961
Depreciación (20 años)	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754
Utilidad antes de impuestos	\$864.148.439	\$864.148.439	\$864.148.439	\$864.148.439	\$864.148.439	\$864.148.439	\$864.148.439	\$864.148.439	\$864.148.439	\$864.148.439
Tasa de impuestos	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos	\$172.829.688	\$172.829.688	\$172.829.688	\$172.829.688	\$172.829.688	\$172.829.688	\$172.829.688	\$172.829.688	\$172.829.688	\$172.829.688
Utilidad neta	\$691.318.751	\$691.318.751	\$691.318.751	\$691.318.751	\$691.318.751	\$691.318.751	\$691.318.751	\$691.318.751	\$691.318.751	\$691.318.751
Depreciación (20 años)	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754
Inversión	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000
Terreno										
Semillas	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000
Construcción desaladora										
Tecnología de riego										
Flujo de caja neto	\$848.696.505	\$848.696.505	\$848.696.505	\$848.696.505	\$848.696.505	\$848.696.505	\$848.696.505	\$848.696.505	\$848.696.505	\$848.696.505

Tabla A.2: Flujo de caja caso base, naranjos

Periodo (año)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		\$0	\$21.529.210	\$129.175.258	\$264.736.017	\$393.911.275	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533
Costos	\$0	\$-49.498.412	\$-49.498.412	\$-49.498.412	\$-49.498.412	\$-49.498.412	\$-49.498.412	\$-49.498.412	\$-49.498.412	\$-49.498.412	\$-49.498.412
COMA		\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812
Energía		\$-26.060.600	\$-26.060.600	\$-26.060.600	\$-26.060.600	\$-26.060.600	\$-26.060.600	\$-26.060.600	\$-26.060.600	\$-26.060.600	\$-26.060.600
Depreciación (20 años)		\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437
Utilidad antes de impuestos		\$-152.806.849	\$-131.277.640	\$-23.631.592	\$111.929.167	\$241.104.425	\$370.279.683	\$370.279.683	\$370.279.683	\$370.279.683	\$370.279.683
Tasa de impuestos		20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos		\$0	\$0	\$0	\$22.385.833	\$48.220.885	\$74.055.937	\$74.055.937	\$74.055.937	\$74.055.937	\$74.055.937
Utilidad neta	0	\$-152.806.849	\$-131.277.640	\$-23.631.592	\$89.543.334	\$192.883.540	\$296.223.747	\$296.223.747	\$296.223.747	\$296.223.747	\$296.223.747
Depreciación (20 años)	0	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437
Inversión	\$-2.192.294.499										
Terreno	\$-122.925.756										
Semillas	\$-3.200.000										
Construcción desaladora	\$-1.967.442.853										
Tecnología de riego	\$-98.725.890										
Flujo de caja neto	\$-2.192.294.499	\$-49.498.412	\$-27.969.203	\$79.676.846	\$192.851.771	\$296.191.977	\$399.532.184	\$399.532.184	\$399.532.184	\$399.532.184	\$399.532.184

Periodo (año)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533
Costos	\$-49.498.412	\$-49.498.412	\$-49.498.412	\$-49.498.412	\$-49.498.412	\$-49.498.412	\$-49.498.412	\$-49.498.412	\$-49.498.412	\$-49.498.412
COMA	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812
Energía	\$-26.060.600	\$-26.060.600	\$-26.060.600	\$-26.060.600	\$-26.060.600	\$-26.060.600	\$-26.060.600	\$-26.060.600	\$-26.060.600	\$-26.060.600
Depreciación (20 años)	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437
Utilidad antes de impuestos	\$370.279.683	\$370.279.683	\$370.279.683	\$370.279.683	\$370.279.683	\$370.279.683	\$370.279.683	\$370.279.683	\$370.279.683	\$370.279.683
Tasa de impuestos	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos	\$74.055.937	\$74.055.937	\$74.055.937	\$74.055.937	\$74.055.937	\$74.055.937	\$74.055.937	\$74.055.937	\$74.055.937	\$74.055.937
Utilidad neta	\$296.223.747	\$296.223.747	\$296.223.747	\$296.223.747	\$296.223.747	\$296.223.747	\$296.223.747	\$296.223.747	\$296.223.747	\$296.223.747
Depreciación (20 años)	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437
Inversión										
Terreno										
Semillas										
Construcción desaladora										
Tecnología de riego										
Flujo de caja neto	\$399.532.184	\$399.532.184	\$399.532.184	\$399.532.184	\$399.532.184	\$399.532.184	\$399.532.184	\$399.532.184	\$399.532.184	\$399.532.184

Tabla A.3: Flujo de caja caso base, pinos

Periodo (año)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Costos	\$0	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224
COMA		\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263
Energía		\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961
Depreciación (20 años)		\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754
Utilidad antes de impuestos		\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978
Tasa de impuestos		20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Utilidad neta	\$0	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978
Depreciación (20 años)	\$0	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754
Inversión	\$-3.318.755.728										
Terreno	\$-123.199.458										
Semillas	\$-1.182										
Construcción desaladora	\$-3.096.829.199										
Tecnología de riego	\$-98.725.890										
Flujo de caja neto	\$-3.318.755.728	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224

Periodo (año)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$195.193.652
Costos	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224
COMA	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263
Energía	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961	\$-42.813.961
Depreciación (20 años)	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754
Utilidad antes de impuestos	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-65.968.796
Tasa de impuestos	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Utilidad neta	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-236.488.978	\$-65.968.796
Depreciación (20 años)	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754
Inversión										
Terreno										
Semillas										
Construcción desaladora										
Tecnología de riego										
Flujo de caja neto	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$-76.711.224	\$93.808.958

Tabla A.4: Flujo de caja caso 1, tomates

Periodo (año)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776
Costos	\$0	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105
COMA		\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263
Energía		\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842
Depreciación (20 años)		\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754
Utilidad antes de impuestos		\$873.922.917	\$873.922.917	\$873.922.917	\$873.922.917	\$873.922.917	\$873.922.917	\$873.922.917	\$873.922.917	\$873.922.917	\$873.922.917
Tasa de impuestos		20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos		\$174.784.583	\$174.784.583	\$174.784.583	\$174.784.583	\$174.784.583	\$174.784.583	\$174.784.583	\$174.784.583	\$174.784.583	\$174.784.583
Utilidad neta	\$0	\$699.138.333	\$699.138.333	\$699.138.333	\$699.138.333	\$699.138.333	\$699.138.333	\$699.138.333	\$699.138.333	\$699.138.333	\$699.138.333
Depreciación (20 años)	\$0	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754
Inversión	\$-3.321.154.546	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000
Terreno	\$-123.199.458										
Semillas	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000
Construcción desaladora	\$-3.096.829.199										
Tecnología de riego	\$-98.725.890										
Flujo de caja neto	\$-3.321.154.546	\$856.516.088	\$856.516.088	\$856.516.088	\$856.516.088	\$856.516.088	\$856.516.088	\$856.516.088	\$856.516.088	\$856.516.088	\$856.516.088

Periodo (año)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776
Costos	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105
COMA	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263
Energía	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842
Depreciación (20 años)	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754
Utilidad antes de impuestos	\$873.922.917	\$873.922.917	\$873.922.917	\$873.922.917	\$873.922.917	\$873.922.917	\$873.922.917	\$873.922.917	\$873.922.917	\$873.922.917
Tasa de impuestos	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos	\$174.784.583	\$174.784.583	\$174.784.583	\$174.784.583	\$174.784.583	\$174.784.583	\$174.784.583	\$174.784.583	\$174.784.583	\$174.784.583
Utilidad neta	\$699.138.333	\$699.138.333	\$699.138.333	\$699.138.333	\$699.138.333	\$699.138.333	\$699.138.333	\$699.138.333	\$699.138.333	\$699.138.333
Depreciación (20 años)	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754
Inversión	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000
Terreno										
Semillas	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000
Construcción desaladora										
Tecnología de riego										
Flujo de caja neto	\$856.516.088	\$856.516.088	\$856.516.088	\$856.516.088	\$856.516.088	\$856.516.088	\$856.516.088	\$856.516.088	\$856.516.088	\$856.516.088

Tabla A.5: Flujo de caja caso 1, naranjos

Periodo (año)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		\$0	\$21.529.210	\$129.175.258	\$264.736.017	\$393.911.275	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533
Costos	\$0	\$-41.392.362	\$-41.392.362	\$-41.392.362	\$-41.392.362	\$-41.392.362	\$-41.392.362	\$-41.392.362	\$-41.392.362	\$-41.392.362	\$-41.392.362
COMA		\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812
Energía		\$-17.954.550	\$-17.954.550	\$-17.954.550	\$-17.954.550	\$-17.954.550	\$-17.954.550	\$-17.954.550	\$-17.954.550	\$-17.954.550	\$-17.954.550
Depreciación (20 años)		\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437
Utilidad antes de impuestos		\$-144.700.799	\$-123.171.590	\$-15.525.542	\$120.035.217	\$249.210.475	\$378.385.733	\$378.385.733	\$378.385.733	\$378.385.733	\$378.385.733
Tasa de impuestos		20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos		\$0	\$0	\$0	\$24.007.043	\$49.842.095	\$75.677.147	\$75.677.147	\$75.677.147	\$75.677.147	\$75.677.147
Utilidad neta	\$0	\$-144.700.799	\$-123.171.590	\$-15.525.542	\$96.028.174	\$199.368.380	\$302.708.587	\$302.708.587	\$302.708.587	\$302.708.587	\$302.708.587
Depreciación (20 años)	\$0	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437
Inversión	\$-2.192.294.499										
Terreno	\$-122.925.756										
Semillas	\$-3.200.000										
Construcción desaladora	\$-1.967.442.853										
Tecnología de riego	\$-98.725.890										
Flujo de caja neto	\$-2.192.294.499	\$-41.392.362	\$-19.863.153	\$87.782.896	\$199.336.611	\$302.676.817	\$406.017.024	\$406.017.024	\$406.017.024	\$406.017.024	\$406.017.024

Periodo (año)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533
Costos	\$-41.392.362	\$-41.392.362	\$-41.392.362	\$-41.392.362	\$-41.392.362	\$-41.392.362	\$-41.392.362	\$-41.392.362	\$-41.392.362	\$-41.392.362
COMA	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812	\$-23.437.812
Energía	\$-17.954.550	\$-17.954.550	\$-17.954.550	\$-17.954.550	\$-17.954.550	\$-17.954.550	\$-17.954.550	\$-17.954.550	\$-17.954.550	\$-17.954.550
Depreciación (20 años)	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437	\$-103.308.437
Utilidad antes de impuestos	\$378.385.733	\$378.385.733	\$378.385.733	\$378.385.733	\$378.385.733	\$378.385.733	\$378.385.733	\$378.385.733	\$378.385.733	\$378.385.733
Tasa de impuestos	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos	\$75.677.147	\$75.677.147	\$75.677.147	\$75.677.147	\$75.677.147	\$75.677.147	\$75.677.147	\$75.677.147	\$75.677.147	\$75.677.147
Utilidad neta	\$302.708.587	\$302.708.587	\$302.708.587	\$302.708.587	\$302.708.587	\$302.708.587	\$302.708.587	\$302.708.587	\$302.708.587	\$302.708.587
Depreciación (20 años)	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437	\$103.308.437
Inversión										
Terreno										
Semillas										
Construcción desaladora										
Tecnología de riego										
Flujo de caja neto	\$406.017.024	\$406.017.024	\$406.017.024	\$406.017.024	\$406.017.024	\$406.017.024	\$406.017.024	\$406.017.024	\$406.017.024	\$406.017.024

Tabla A.6: Flujo de caja caso 1, pinos

Periodo (año)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Costos	\$0	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105
COMA		\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263
Energía		\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842
Depreciación (20 años)		\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754
Utilidad antes de impuestos		\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859
Tasa de impuestos		20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Utilidad neta	\$0	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859
Depreciación (20 años)	\$0	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754
Inversión	\$-3.318.755.728										
Terreno	\$-123.199.458										
Semillas	\$-1.182										
Construcción desaladora	\$-3.096.829.199										
Tecnología de riego	\$-98.725.890										
Flujo de caja neto	\$-3.318.755.728	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105

Periodo (año)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$195.193.652
Costos	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105
COMA	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263	\$-33.897.263
Energía	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842	\$-29.496.842
Depreciación (20 años)	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754	\$-159.777.754
Utilidad antes de impuestos	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-27.978.207
Tasa de impuestos	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Utilidad neta	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-223.171.859	\$-27.978.207
Depreciación (20 años)	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754	\$159.777.754
Inversión										
Terreno										
Semillas										
Construcción desaladora										
Tecnología de riego										
Flujo de caja neto	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$-63.394.105	\$131.799.547

Tabla A.7: Flujo de caja caso 2, tomates

Periodo (año)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776
Costos	\$0	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935
COMA		\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935
Energía	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Depreciación (20 años)		\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115
Utilidad antes de impuestos		\$883.159.726	\$883.159.726	\$883.159.726	\$883.159.726	\$883.159.726	\$883.159.726	\$883.159.726	\$883.159.726	\$883.159.726	\$883.159.726
Tasa de impuestos		20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos		\$176.631.945	\$176.631.945	\$176.631.945	\$176.631.945	\$176.631.945	\$176.631.945	\$176.631.945	\$176.631.945	\$176.631.945	\$176.631.945
Utilidad neta	\$0	\$706.527.781	\$706.527.781	\$706.527.781	\$706.527.781	\$706.527.781	\$706.527.781	\$706.527.781	\$706.527.781	\$706.527.781	\$706.527.781
Depreciación (20 años)	\$0	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115
Inversión	\$-3.671.136.009	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000
Terreno	\$-135.513.702										
Semillas	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000
Construcción desaladora	\$-3.096.829.199										
Tecnología de riego	\$-98.725.890										
Construcción fotovoltaica	\$-337.667.218										
Flujo de caja neto	\$-3.671.136.009	\$880.788.896	\$880.788.896	\$880.788.896	\$880.788.896	\$880.788.896	\$880.788.896	\$880.788.896	\$880.788.896	\$880.788.896	\$880.788.896

Periodo (año)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776
Costos	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935
COMA	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935
Oportunidad ssc	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Depreciación (20 años)	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115
Utilidad antes de impuestos	\$883.159.726	\$883.159.726	\$883.159.726	\$883.159.726	\$883.159.726	\$883.159.726	\$883.159.726	\$883.159.726	\$883.159.726	\$883.159.726
Tasa de impuestos	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos	\$176.631.945	\$176.631.945	\$176.631.945	\$176.631.945	\$176.631.945	\$176.631.945	\$176.631.945	\$176.631.945	\$176.631.945	\$176.631.945
Utilidad neta	\$706.527.781	\$706.527.781	\$706.527.781	\$706.527.781	\$706.527.781	\$706.527.781	\$706.527.781	\$706.527.781	\$706.527.781	\$706.527.781
Depreciación (20 años)	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115
Inversión	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000
Terreno										
Semillas	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000
Construcción desaladora										
Tecnología de riego										
Construcción fotovoltaica										
Flujo de caja neto	\$880.788.896	\$880.788.896	\$880.788.896	\$880.788.896	\$880.788.896	\$880.788.896	\$880.788.896	\$880.788.896	\$880.788.896	\$880.788.896

Tabla A.8: Flujo de caja caso 2, naranjos

Periodo (año)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		\$0	\$21.529.210	\$129.175.258	\$264.736.017	\$393.911.275	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533
Costos	\$0	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226
COMA		\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226
Energía		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Depreciación (20 años)		\$-113.595.508	\$-113.595.508	\$-113.595.508	\$-113.595.508	\$-113.595.508	\$-113.595.508	\$-113.595.508	\$-113.595.508	\$-113.595.508	\$-113.595.508
Utilidad antes de impuestos		\$-139.090.735	\$-117.565.735	\$-9.940.735	\$125.594.766	\$254.744.766	\$383.894.766	\$383.894.766	\$383.894.766	\$383.894.766	\$383.894.766
Tasa de impuestos		20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos		\$0	\$0	\$0	\$22.125.338	\$47.960.389	\$73.795.441	\$73.795.441	\$73.795.441	\$73.795.441	\$73.795.441
Utilidad neta	\$0	\$-139.090.735	\$-117.565.735	\$-9.940.735	\$100.475.813	\$203.795.813	\$307.115.813	\$307.115.813	\$307.115.813	\$307.115.813	\$307.115.813
Depreciación (20 años)	\$0	\$113.595.508	\$113.595.508	\$113.595.508	\$113.595.508	\$113.595.508	\$113.595.508	\$113.595.508	\$113.595.508	\$113.595.508	\$113.595.508
Inversión	\$-2.405.539.018										
Terreno	\$-130.428.854										
Semillas	\$-3.200.000										
Construcción desaladora	\$-1.967.442.853										
Tecnología de riego	\$-98.725.890										
Construcción fotovoltaica	\$-205.741.421										
Flujo de caja neto	\$-2.405.539.018	\$-25.495.226	\$-3.970.226	\$103.654.774	\$214.071.321	\$317.391.321	\$420.711.321	\$420.711.321	\$420.711.321	\$420.711.321	\$420.711.321

Periodo (año)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533	\$523.086.533
Costos	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226
COMA	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226
Oportunidad ssc	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Depreciación (20 años)	\$-113.595.508	\$-113.595.508	\$-113.595.508	\$-113.595.508	\$-113.595.508	\$-113.595.508	\$-113.595.508	\$-113.595.508	\$-113.595.508	\$-113.595.508
Utilidad antes de impuestos	\$383.894.766	\$383.894.766	\$383.894.766	\$383.894.766	\$383.894.766	\$383.894.766	\$383.894.766	\$383.894.766	\$383.894.766	\$383.894.766
Tasa de impuestos	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos	\$73.795.441	\$73.795.441	\$73.795.441	\$73.795.441	\$73.795.441	\$73.795.441	\$73.795.441	\$73.795.441	\$73.795.441	\$73.795.441
Utilidad neta	\$307.115.813	\$307.115.813	\$307.115.813	\$307.115.813	\$307.115.813	\$307.115.813	\$307.115.813	\$307.115.813	\$307.115.813	\$307.115.813
Depreciación (20 años)	\$113.595.508	\$113.595.508	\$113.595.508	\$113.595.508	\$113.595.508	\$113.595.508	\$113.595.508	\$113.595.508	\$113.595.508	\$113.595.508
Inversión										
Terreno										
Semillas										
Construcción desaladora										
Tecnología de riego										
Construcción fotovoltaica										
Flujo de caja neto	\$420.711.321	\$420.711.321	\$420.711.321	\$420.711.321	\$420.711.321	\$420.711.321	\$420.711.321	\$420.711.321	\$420.711.321	\$420.711.321

Tabla A.9: Flujo de caja caso 2, pinos

Periodo (año)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Costos	\$0	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935
COMA		\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935
Energía		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Depreciación (20 años)		\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115
Utilidad antes de impuestos		\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050
Tasa de impuestos		20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Utilidad neta	\$0	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050
Depreciación (20 años)	\$0	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115
Inversión	\$-3.668.737.191										
Terreno	\$-135.513.702										
Semillas	\$-1.182										
Construcción desaladora	\$-3.096.829.199										
Tecnología de riego	\$-98.725.890										
Construcción fotovoltaica	\$-337.667.218										
Flujo de caja neto	\$-3.668.737.191	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935

Periodo (año)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$195.193.652
Costos	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935
COMA	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935
Oportunidad ssc	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Depreciación (20 años)	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115
Utilidad antes de impuestos	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-18.741.398
Tasa de impuestos	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Utilidad neta	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-213.935.050	\$-18.741.398
Depreciación (20 años)	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115
Inversión										
Terreno										
Semillas										
Construcción desaladora										
Tecnología de riego										
Construcción fotovoltaica										
Flujo de caja neto	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$157.919.717

Tabla A.10: Flujo de caja caso 3, tomates

Periodo (año)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776
Costos	\$0	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307
COMA		\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935
Oportunidad ssc		\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372
Depreciación (20 años)		\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115
Utilidad antes de impuestos		\$882.757.353	\$882.757.353	\$882.757.353	\$882.757.353	\$882.757.353	\$882.757.353	\$882.757.353	\$882.757.353	\$882.757.353	\$882.757.353
Tasa de impuestos		20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos		\$176.551.471	\$176.551.471	\$176.551.471	\$176.551.471	\$176.551.471	\$176.551.471	\$176.551.471	\$176.551.471	\$176.551.471	\$176.551.471
Utilidad neta	\$0	\$706.205.883	\$706.205.883	\$706.205.883	\$706.205.883	\$706.205.883	\$706.205.883	\$706.205.883	\$706.205.883	\$706.205.883	\$706.205.883
Depreciación (20 años)	\$0	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115
Inversión	\$-3.671.136.009	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000
Terreno	\$-135.513.702										
Semillas	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000
Construcción desaladora	\$-3.096.829.199										
Tecnología de riego	\$-98.725.890										
Construcción fotovoltaica	\$-337.667.218										
Flujo de caja neto	\$-3.671.136.009	\$880.466.998	\$880.466.998	\$880.466.998	\$880.466.998	\$880.466.998	\$880.466.998	\$880.466.998	\$880.466.998	\$880.466.998	\$880.466.998

Periodo (año)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776	\$1.097.094.776
Costos	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307
COMA	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935
Oportunidad ssc	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372
Depreciación (20 años)	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115	\$-176.661.115
Utilidad antes de impuestos	\$882.757.353	\$882.757.353	\$882.757.353	\$882.757.353	\$882.757.353	\$882.757.353	\$882.757.353	\$882.757.353	\$882.757.353	\$882.757.353
Tasa de impuestos	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos	\$176.551.471	\$176.551.471	\$176.551.471	\$176.551.471	\$176.551.471	\$176.551.471	\$176.551.471	\$176.551.471	\$176.551.471	\$176.551.471
Utilidad neta	\$706.205.883	\$706.205.883	\$706.205.883	\$706.205.883	\$706.205.883	\$706.205.883	\$706.205.883	\$706.205.883	\$706.205.883	\$706.205.883
Depreciación (20 años)	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115	\$176.661.115
Inversión	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000
Terreno										
Semillas	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000	\$-2.400.000
Construcción desaladora										
Tecnología de riego										
Construcción fotovoltaica										
Flujo de caja neto	\$880.466.998	\$880.466.998	\$880.466.998	\$880.466.998	\$880.466.998	\$880.466.998	\$880.466.998	\$880.466.998	\$880.466.998	\$880.466.998

Tabla A.11: Flujo de caja caso 3, naranjos

Periodo (año)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		\$25.003	\$21.554.212	\$129.200.260	\$264.761.019	\$393.936.277	\$523.111.535	\$523.111.535	\$523.111.535	\$523.111.535	\$523.111.535
Costos	\$0	\$-25.740.148	\$-25.740.148	\$-25.740.148	\$-25.740.148	\$-25.740.148	\$-25.740.148	\$-25.740.148	\$-25.740.148	\$-25.740.148	\$-25.740.148
COMA		\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226
Oportunidad ssc		\$-244.922	\$-244.922	\$-244.922	\$-244.922	\$-244.922	\$-244.922	\$-244.922	\$-244.922	\$-244.922	\$-244.922
Depreciación (20 años)		\$-9.466.292	\$-9.466.292	\$-9.466.292	\$-9.466.292	\$-9.466.292	\$-9.466.292	\$-9.466.292	\$-9.466.292	\$-9.466.292	\$-9.466.292
Utilidad antes de impuestos		\$-35.181.438	\$-13.656.438	\$93.968.562	\$229.504.063	\$358.654.063	\$487.804.063	\$487.804.063	\$487.804.063	\$487.804.063	\$487.804.063
Tasa de impuestos		20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
Impuestos		\$0	\$0	\$18.793.712	\$45.900.813	\$71.730.813	\$97.560.813	\$97.560.813	\$97.560.813	\$97.560.813	\$97.560.813
Utilidad neta	\$0	\$-35.181.438	\$-13.656.438	\$75.174.850	\$183.603.251	\$286.923.251	\$390.243.251	\$390.243.251	\$390.243.251	\$390.243.251	\$390.243.251
Depreciación (20 años)	\$0	\$9.466.292	\$9.466.292	\$9.466.292	\$9.466.292	\$9.466.292	\$9.466.292	\$9.466.292	\$9.466.292	\$9.466.292	\$9.466.292
Inversión	\$-2.405.539.018										
Terreno	\$-130.428.854										
Semillas	\$-3.200.000										
Construcción desaladora	\$-1.967.442.853										
Tecnología de riego	\$-98.725.890										
Construcción fotovoltaica	\$-205.741.421										
Flujo de caja neto	\$-2.405.539.018	\$-25.715.145	\$-4.190.145	\$84.641.142	\$193.069.543	\$296.389.543	\$399.709.543	\$399.709.543	\$399.709.543	\$399.709.543	\$399.709.543

Periodo (año)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos	\$523.111.535	\$523.111.535	\$523.111.535	\$523.111.535	\$523.111.535	\$523.111.535	\$523.111.535	\$523.111.535	\$523.111.535	\$523.111.535
Costos	\$-25.740.148	\$-25.740.148	\$-25.740.148	\$-25.740.148	\$-25.740.148	\$-25.740.148	\$-25.740.148	\$-25.740.148	\$-25.740.148	\$-25.740.148
COMA	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226	\$-25.495.226
Oportunidad ssc	\$-244.922	\$-244.922	\$-244.922	\$-244.922	\$-244.922	\$-244.922	\$-244.922	\$-244.922	\$-244.922	\$-244.922
Depreciación (20 años)	\$-9.466.292	\$-9.466.292	\$-9.466.292	\$-9.466.292	\$-9.466.292	\$-9.466.292	\$-9.466.292	\$-9.466.292	\$-9.466.292	\$-9.466.292
Utilidad antes de impuestos	\$487.804.063	\$487.804.063	\$487.804.063	\$487.804.063	\$487.804.063	\$487.804.063	\$487.804.063	\$487.804.063	\$487.804.063	\$487.804.063
Tasa de impuestos	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
Impuestos	\$97.560.813	\$97.560.813	\$97.560.813	\$97.560.813	\$97.560.813	\$97.560.813	\$97.560.813	\$97.560.813	\$97.560.813	\$97.560.813
Utilidad neta	\$390.243.251	\$390.243.251	\$390.243.251	\$390.243.251	\$390.243.251	\$390.243.251	\$390.243.251	\$390.243.251	\$390.243.251	\$390.243.251
Depreciación (20 años)	\$9.466.292	\$9.466.292	\$9.466.292	\$9.466.292	\$9.466.292	\$9.466.292	\$9.466.292	\$9.466.292	\$9.466.292	\$9.466.292
Inversión										
Terreno										
Semillas										
Construcción desaladora										
Tecnología de riego										
Construcción fotovoltaica										
Flujo de caja neto	\$399.709.543	\$399.709.543	\$399.709.543	\$399.709.543	\$399.709.543	\$399.709.543	\$399.709.543	\$399.709.543	\$399.709.543	\$399.709.543

Tabla A.12: Flujo de caja caso 3, pino

Periodo (año)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		\$41.076	\$41.076	\$41.076	\$41.076	\$41.076	\$41.076	\$41.076	\$41.076	\$41.076	\$41.076
Costos	\$0	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307
COMA		\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935
Oportunidad ssc		\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372
Depreciación (20 años)		\$-14.721.760	\$-14.721.760	\$-14.721.760	\$-14.721.760	\$-14.721.760	\$-14.721.760	\$-14.721.760	\$-14.721.760	\$-14.721.760	\$-14.721.760
Utilidad antes de impuestos		\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991
Tasa de impuestos		20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Utilidad neta	\$0	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991
Depreciación (20 años)	\$0	\$14.721.760	\$14.721.760	\$14.721.760	\$14.721.760	\$14.721.760	\$14.721.760	\$14.721.760	\$14.721.760	\$14.721.760	\$14.721.760
Inversión	\$-3.668.737.191										
Terreno	\$-135.513.702										
Semillas	\$-1.182										
Construcción desaladora	\$-3.096.829.199										
Tecnología de riego	\$-98.725.890										
Construcción fotovoltaica	\$-337.667.218										
Flujo de caja neto	\$-3.668.737.191	\$-37.635.232	\$-37.635.232	\$-37.635.232	\$-37.635.232	\$-37.635.232	\$-37.635.232	\$-37.635.232	\$-37.635.232	\$-37.635.232	\$-37.635.232

Periodo (año)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos	\$41.076	\$41.076	\$41.076	\$41.076	\$41.076	\$41.076	\$41.076	\$41.076	\$41.076	\$195.234.728
Costos	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307	\$-37.676.307
COMA	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935	\$-37.273.935
Oportunidad ssc	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372	\$-402.372
Depreciación (20 años)	\$-14.721.760	\$-14.721.760	\$-14.721.760	\$-14.721.760	\$-14.721.760	\$-14.721.760	\$-14.721.760	\$-14.721.760	\$-14.721.760	\$-14.721.760
Utilidad antes de impuestos	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$142.836.661
Tasa de impuestos	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Impuestos	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$23.632.638
Utilidad neta	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$-52.356.991	\$114.269.329
Depreciación (20 años)	\$14.721.760	\$14.721.760	\$14.721.760	\$14.721.760	\$14.721.760	\$14.721.760	\$14.721.760	\$14.721.760	\$14.721.760	\$14.721.760
Inversión										
Terreno										
Semillas										
Construcción desaladora										
Tecnología de riego										
Construcción fotovoltaica										
Flujo de caja neto	\$-37.635.232	\$-37.635.232	\$-37.635.232	\$-37.635.232	\$-37.635.232	\$-37.635.232	\$-37.635.232	\$-37.635.232	\$-37.635.232	\$128.991.088

Tabla A.13: Ingresos y costos para tomates con resolución mensual, caso base

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total anual
Ingresos	\$7.347.700	\$4.198.686	\$ -	\$ -	\$3.673.850	\$536.869.794	\$4.198.686	\$ -	\$ -	\$3.673.850	\$3.805.059	\$536.869.794	\$1.100.637.417
Costos	\$-5.906.439	\$-5.334.848	\$-5.906.439	\$-5.715.909	\$-5.906.439	\$-5.715.909	\$-5.906.439	\$-5.906.439	\$-5.715.909	\$-5.906.439	\$-5.715.909	\$-5.906.439	\$-69.543.554
COMA (desalacion)	\$-2.270.185	\$-2.050.489	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-26.729.593
Energía	\$-3.636.254	\$-3.284.359	\$-3.636.254	\$-3.518.956	\$-3.636.254	\$-3.518.956	\$-3.636.254	\$-3.636.254	\$-3.518.956	\$-3.636.254	\$-3.518.956	\$-3.636.254	\$-42.813.961

Tabla A.14: Ingresos y costos para tomates con resolución mensual, caso 1

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total anual
Ingresos	\$7.347.700	\$4.198.686	\$ -	\$ -	\$3.673.850	\$533.327.153	\$7.347.700	\$4.198.686	\$ -	\$ -	\$3.673.850	\$533.327.153	\$1.097.094.776
Costos	\$-4.775.396	\$-4.313.261	\$-4.775.396	\$-4.621.351	\$-4.775.396	\$-4.621.351	\$-4.775.396	\$-4.775.396	\$-4.621.351	\$-4.775.396	\$-4.621.351	\$-4.775.396	\$-56.226.435
COMA (desalacion)	\$-2.270.185	\$-2.050.489	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-26.729.593
Energía	\$-2.505.211	\$-2.262.771	\$-2.505.211	\$-2.424.398	\$-2.505.211	\$-2.424.398	\$-2.505.211	\$-2.505.211	\$-2.424.398	\$-2.505.211	\$-2.424.398	\$-2.505.211	\$-29.496.842

Tabla A.15: Ingresos y costos para tomates con resolución mensual, caso 2

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total anual
Ingresos	\$7.347.700	\$4.198.686	\$ -	\$ -	\$3.673.850	\$533.327.153	\$7.347.700	\$4.198.686	\$ -	\$ -	\$3.673.850	\$533.327.153	\$1.097.094.776
Costos	\$-2.270.185	\$-2.050.489	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-26.729.593
COMA (desalacion)	\$-2.270.185	\$-2.050.489	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-26.729.593
Energía	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0

Tabla A.16: Ingresos y costos para tomates con resolución mensual, caso 3

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total anual
Ingresos	\$7.347.700	\$4.198.686	\$ -	\$ -	\$3.673.850	\$533.327.153	\$7.347.700	\$4.198.686	\$ -	\$ -	\$3.673.850	\$533.327.153	\$1.097.094.776
Costos	\$-2.672.557	\$-2.452.862	\$-2.672.557	\$-2.599.325	\$-2.672.557	\$-2.599.325	\$-2.672.557	\$-2.672.557	\$-2.599.325	\$-2.672.557	\$-2.599.325	\$-2.672.557	\$-31.558.060
COMA (desalacion)	\$-2.270.185	\$-2.050.489	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-2.196.953	\$-2.270.185	\$-26.729.593
Oportunidad ssc	\$-402.372												\$-402.372

Anexo B

Equivalencias CO_2

Tabla B.1: Potencial de calentamiento global

Greenhouse Gas	Formula	100-year GWP (AR4)
Carbon dioxide	CO ₂	1
Methane	CH ₄	25
Nitrous oxide	N ₂ O	298
Sulphur hexafluoride	SF ₆	22,8
Hydrofluorocarbon-23	CHF ₃	14,8
Hydrofluorocarbon-32	CH ₂ F ₂	675
Perfluoromethane	CF ₄	7,39
Perfluoroethane	C ₂ F ₆	12,2
Perfluoropropane	C ₃ F ₈	8,83
Perfluorobutane	C ₄ F ₁₀	8,86
Perfluorocyclobutane	c-C ₄ F ₈	10,3
Perfluoropentane	C ₅ F ₁₂	13,3
Perfluorohexane	C ₆ F ₁₄	9,3