



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

**“SELECCIÓN DE MEDIDAS PARA MEJORAR SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL
EN HIDROPÓNICOS LA CRUZ UTILIZANDO ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA”**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL INDUSTRIAL

KATALINA GABRIELA DÍAZ ZAMORANO

PROFESOR GUÍA:
RAÚL URIBE DARRIGANDI

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MANUEL DÍAZ ROMERO
CLAUDIA MC-LEAN BRAVO

Este trabajo ha sido patrocinado por Fundación Chile dentro del Programa de Desarrollo de Proveedores cofinanciado por CORFO y *Walmart* Chile.

SANTIAGO – CHILE
2014

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniera Civil Industrial
POR: Katalina Gabriela Díaz Zamorano
FECHA: 26 de septiembre de 2014
PROFESOR GUÍA: Raúl Uribe Darrigandi

SELECCIÓN DE MEDIDAS PARA MEJORAR SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL EN HIDROPÓNICOS LA CRUZ UTILIZANDO ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

El trabajo de título “Selección de Medidas para Mejorar Sustentabilidad Ambiental en Hidropónicos La Cruz Utilizando Análisis de Ciclo de Vida” tiene como objetivo general seleccionar medidas empresariales costo-eficientes, que contribuyan a mejorar la sustentabilidad ambiental de las lechugas hidropónicas producidas en Hidropónicos La Cruz, analizando la cadena de valor de las mismas y realizando un estudio de caso en la empresa mencionada.

Como metodología principal se utiliza el Análisis de Ciclo de Vida con enfoque en procesos, que permite primero diagnosticar los puntos más conflictivos ambientalmente, y luego modelar y simular diferentes alternativas de solución para obtener los impactos ambientales asociados a éstas. Con esta misma herramienta se realiza una evaluación de las propuestas y finalmente se seleccionan aquellas que se ajustan mejor al objetivo planteado. Tras esto, se realiza un análisis de costos de las mejores alternativas ambientales y se recomiendan líneas de acción para la empresa.

Se identifica que para las lechugas de la empresa estudiada, el impacto se concentra en dos categorías de impacto: reducción de fósiles y calentamiento global. Adicional a esto, las etapas del ciclo de vida que concentran más del 80% del impacto del ciclo son la de extracción de materias primas y la distribución y almacenamiento. De lo anterior, se tiene que las medidas de acción directa de la empresa, tienen un impacto menor si se compara con lo que pueden hacer en las empresas proveedoras y las empresas de *retail*. Hidropónicos La Cruz si bien no puede tomar acciones directas, puede elegir a sus proveedores e involucrarlos en la sustentabilidad y por otro lado, involucrar también a las empresas de *retail*.

Como resultado principal se identifica el cambio de sustrato de hidroponía como la mejor medida para reducción de impacto ambiental, reduciendo en un valor del 7% el impacto total del ciclo al analizarlo normalizado por las emisiones promedio de una persona chilena al día, y la instalación de paneles fotovoltaicos como la segunda mejor medida y la única otra que resulta significativa en términos ambientales.

Se sugiere a la empresa tomar ambas, pues la primera significa una pequeña reducción en costos, y la segunda al presentar menores costos bajo un análisis de Valor Anual Uniforme Equivalente y evaluarse a 25 años, que es la vida útil de los paneles, con la tasa de descuento que utiliza la empresa para evaluar proyectos propios.

En cuanto a recomendaciones generales para la industria, se sugiere buscar la eficiencia en los procesos, minimizando inputs, y poner especial cuidado en aquellas etapas que para este producto representan mayor impacto: transporte, mejorándolo a través de la eficiencia energética, uso de vehículos menos contaminantes y con una buena gestión de despacho, y almacenamiento en *retail*, a través de una planificación de la demanda que signifique que cada producto esté la menor cantidad de tiempo posible en exhibición, y el uso de refrigeradores que impliquen menor uso de energía eléctrica.

DEDICATORIA

A mis abuelos, Eliana, Elsa, Jaime y Sergio.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a quienes participaron de forma importante en mi proceso formativo, y a quienes apoyaron la realización de mi trabajo de título.

A Viviana y Edgardo, que han estado toda mi vida conmigo, y a Isabel y Andrea que han estado todas sus vidas también.

A Sven, que me acompaña.

A mis amigos, en particular a quienes vivieron junto conmigo esta etapa final, María Paola y Francisco.

A quienes me recibieron en Fundación Chile, con quienes aprendí casi todo lo que sé sobre sustentabilidad, permitiéndome desarrollar este tema tan apasionante y necesario para el planeta, del que la Ingeniería debe hacerse parte.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	1
1.1	Antecedentes generales.....	1
1.1.1	Estrategia de <i>Walmart</i>	1
1.1.2	Sustentabilidad ambiental.....	2
1.1.3	Descripción del proyecto	2
1.1.4	Justificación del proyecto	3
1.2	Antecedentes de la empresa	4
1.2.1	Identificación y descripción del sector económico.....	4
1.2.2	Relación de la empresa con el medio industrial	4
1.2.3	Localización de la empresa.....	4
1.2.4	Evolución histórica de la empresa	4
1.2.5	Tipo de empresa	5
1.2.6	Misión y objetivos de la empresa	5
1.2.7	Productos	5
1.2.8	Proceso productivo	5
1.2.9	Estructura organizacional y descripción de las unidades básicas de la empresa.....	7
1.3	Objetivos.....	8
1.3.1	Objetivo general	8
1.3.2	Objetivos específicos.....	8
1.4	Metodología.....	9
1.5	Marco conceptual	12
2	ESCENARIO INTERNACIONAL.....	15
2.1	ACV en agricultura	15
2.2	ACV en hidroponía.....	15
2.2.1	Técnicas de hidroponía.....	16
2.2.2	Fertirrigación en hidroponía	16
2.2.3	Sustratos para hidroponía	16
2.2.4	Estructura del invernadero.....	17
2.2.5	Fertilizantes	17
2.3	ACVs de lechugas	18
3	ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.....	20
3.1	Objetivos y alcance.....	20
3.1.1	Definición de objetivos.....	20
3.1.2	Definición de alcance	21
3.2	Flujos y procesos.....	21

3.3	Análisis de Inventario	24
3.4	Evaluación de Impacto	24
3.5	Interpretación de resultados	26
3.5.1	<i>Hotspots</i> Extracción y pre-procesamiento de materias primas:	29
3.5.2	<i>Hotspots</i> Producción	30
3.5.3	<i>Hotspots</i> Distribución y almacenamiento	31
3.5.4	<i>Hotspot</i> Consumo	31
4	MEDIDAS PARA REDUCIR IMPACTO AMBIENTAL	34
4.1	Escenarios de simulación	34
4.1.1	Cambio del sustrato utilizado:	34
4.1.2	Cambio de material del plástico del invernadero	34
4.1.3	Cambio de agroquímicos	35
4.1.4	Instalación de paneles solares para producción de electricidad	35
4.1.5	Transporte a centro de distribución	35
4.1.6	Otras sugerencias	35
4.1.7	<i>Hotspots</i> no abordados	36
4.2	ACV de las medidas propuestas	37
4.2.1	Resultados	37
4.2.2	Costos de las alternativas	38
4.3	Recomendación de medidas	40
5	CONCLUSIONES	41
6	GLOSARIO	43
8	BIBLIOGRAFÍA	44
9	ANEXOS	47
9.1	Anexo 1: Antecedentes	47
9.2	Anexo 2: Inventarios	47
9.2.1	Inventario línea base	47
9.2.2	Inventario Sure to Grow	50
9.2.3	Inventario fibra de coco	50
9.2.4	Inventario paneles solares	51
9.2.5	Inventario nuevos agroquímicos	52
9.2.6	Inventario policarbonato	52
9.2.7	Inventario ETFE	53
9.2.8	Inventario biodiesel	53
9.3	Anexo 3: Resultados por etapa del ciclo de vida	53

9.4 Anexo 4: Cálculos y supuestos	54
9.4.1 Plantas de rechazo	54
9.4.2 Distancias marítimas para materias primas	54
9.4.3 Emisiones de agroquímicos	55
9.4.4 Transporte a <i>retail</i>	55
9.4.5 Transporte <i>retail</i> – lugar de consumo.....	56
9.4.6 Uso de electricidad en <i>retail</i>	56
9.4.7 Uso de electricidad doméstica	56
9.4.8 Cambio de sustrato	56
9.4.9 Cambio de material del plástico del invernadero	56
9.4.10 Cambio de agroquímicos	57
9.5 Anexo 5: Resultados modelación de alternativas	59
9.6 Anexo 6: Estudio de instalación de paneles fotovoltaicos para autoconsumo	60
9.6.1 Lectura de potencia y perfil teórico de generación solar promedio semanal (kW).....	60
9.6.2 Flujos de caja proyecto puro.....	60
9.6.3 Flujo de caja proyecto financiado.....	61
9.6.4 Flujo de caja proyecto con subvención financiado.....	62
9.6.5 Flujo de caja sin proyecto.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Evolución histórica Hidropónicos La Cruz.....	5
Tabla 4-1 Reducción porcentual de impacto por escenario de modelación	38
Tabla 4-2 VAN y VAUE.....	40
Tabla 9-1 Año y país de conferencias LCA <i>Food</i>	47
Tabla 9-2 Inventario línea base	47
Tabla 9-3 Inventario Sure to Grow.....	50
Tabla 9-4 Inventario fibra de coco	50
Tabla 9-5 Inventario paneles solares	51
Tabla 9-6 Inventario nuevos agroquímicos	52
Tabla 9-7 Inventario policarbonato	52
Tabla 9-8 Inventario ETFE.....	53
Tabla 9-9 Inventario biodiesel.....	53
Tabla 9-10 Resultados línea base por etapa de ciclo de vida	53
Tabla 9-11 Distancia Rotterdam-Valparaíso	54
Tabla 9-12 Distancia Amberes-Valparaíso	55
Tabla 9-13 Distancia Charleston-Valparaíso.....	55
Tabla 9-14 Distancia Sri Lanka-Valparaíso	55
Tabla 9-15 Alternativas de insecticidas.....	57
Tabla 9-16 Alternativas de insecticidas.....	57
Tabla 9-17 Alternativas de insecticidas.....	58
Tabla 9-18 Alternativas de insecticidas.....	58
Tabla 9-19 Resultados modelación de alternativas	59
Tabla 20 Flujo de caja proyecto puro	60
Tabla 21 Flujo de caja proyecto financiado.....	61

Tabla 22 Flujo de caja proyecto con subvención financiado.....	62
Tabla 23 Flujo de caja sin proyecto.....	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1 Procesos y actores de lechugas hidropónicas por etapa del ciclo de vida	6
Ilustración 1.2 Sistema NFT.....	7
Ilustración 1.3 Estructura organizacional Hidropónicos La Cruz	7
Ilustración 1.4 Etapas metodológicas ACV.....	9
Ilustración 1.5 Proceso normalización de impactos	11
Ilustración 1.6 Ciclo de Vida de Productos	12
Ilustración 2.1 <i>Work packages</i> proyecto EUPHOROS	16
Ilustración 2.2 Invernadero Venlo.....	17
Ilustración 2.3 Invernadero multi túnel	17
Ilustración 3.1 Diagrama de flujo lechugas hidropónicas	22
Ilustración 3.2 <i>Business Process Diagram</i> para obtención de materias primas	23
Ilustración 3.3 <i>Business Process Diagram</i> para ciclo de vida de lechugas hidropónicas HLC....	23
Ilustración 3.4 Impactos normalizados por categoría.....	25
Ilustración 3.5 Impactos normalizados porcentuales por categoría.....	26
Ilustración 3.6 Porcentaje de impacto por etapa de ciclo de vida para cuatro categorías de impacto	28
Ilustración 3.7 Impacto normalizado por categoría de impacto por etapa del ciclo de vida	28
Ilustración 3.8 Impactos normalizados etapa de materias primas por inputs	30
Ilustración 3.9 Impactos normalizados etapa de producción por inputs.....	30
Ilustración 3.10 Impactos normalizados etapa de distribución y almacenamiento por inputs	31
Ilustración 3.11 Impactos normalizados etapa de consumo por inputs	32
Ilustración 3.12 Impactos normalizados etapa de fin del ciclo por inputs	32
Ilustración 3.13 Impactos por procesos por categoría	33
Ilustración 3.14 Impactos por procesos por categoría	33
Ilustración 4.1 Comparación de impactos normalizados por escenario de modelación por categoría	37
Ilustración 9.1 Lectura de potencia-consumo semanal y perfil teórico de generación solar promedio	60

1 INTRODUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes generales

El proyecto se enmarca en la ejecución del Programa de Desarrollo de Proveedores (PDP) que Fundación Chile realiza para la filial nacional de *Walmart*, con la subvención de CORFO. En el programa, algunos proveedores de esta cadena de *retail* que pertenecen al sector de las PYMES, participan voluntariamente para mejorar sus prácticas ambientales.

Una de las empresas que participa en el PDP es Hidropónicos La Cruz, y Fundación Chile propone y apoya la realización de un Análisis de Ciclo de Vida en el contexto de este trabajo de título. El apoyo entregado por Fundación Chile consiste en infraestructura de trabajo y entrega de insumos de estudios previamente realizados en la empresa: Levantamiento de Perfil Energético, Levantamiento de Perfil Social y Manejo Integrado de Cultivo, así como un inventario preliminar de los procesos de la empresa, que considera algunos procesos que ocurren dentro de Hidropónicos La Cruz pero que no permiten la realización de un Análisis de Ciclo de Vida completo por sí solos. Finalmente, Fundación Chile apoya con la experiencia que tienen sus profesionales en Análisis de Ciclo de Vida, orientando el trabajo realizado, y acompañando las visitas que se realizan a Hidropónicos La Cruz.

Para contextualizar el proyecto, a continuación se revisa la estrategia de *Walmart* en el ámbito de sustentabilidad ambiental y las tendencias globales sobre consumo y producción sostenibles, las que permiten entender por qué *Walmart* decide invertir en la realización del PDP.

1.1.1 Estrategia de *Walmart*

Walmart a nivel global sigue una estrategia que persigue hacer negocios responsable y exitosamente, para lo que se propone las siguientes metas:

- Tener un suministro de energía renovable del 100%.
- Generar cero residuos.
- Vender productos sostenibles para las personas y el medio ambiente. [1]

Walmart Chile, enfocándose en la tercera meta de la cadena internacional: “Vender productos sostenibles para las personas y el medio ambiente”, declara: “no queremos que, al momento de comprar, nuestros clientes tengan que escoger entre un producto que puedan pagar y otro que sea bueno para su familia y el planeta” [2]. Para lograr esto, realizan el PDP, junto con establecer metas propias a sus proveedores, destacando aquellos que muestren un mayor compromiso con el medio ambiente.

1.1.2 Sustentabilidad ambiental

La sustentabilidad se observa desde tres ámbitos: ambiental, económico y social. Además, la sustentabilidad en general y ambiental en particular, se manifiesta en diversas dimensiones de la sociedad, encontrándose en las políticas públicas, en los consumidores y en las empresas.

Las políticas públicas apuntan a normar y promover la sustentabilidad ambiental, los consumidores demandan productos y servicios más o menos sustentables, y las empresas deben conjugar normas con mercado en su oferta.

El comportamiento sostenible que buscan las empresas se relaciona con la tendencia global de generar políticas para promover el consumo sostenible. La Comisión Europea presentó en 2008 el “*Sustainable Consumption and Production and Sustainable Industrial Policy (SCP/SIP) Action Plan*” que busca promover y normar comportamiento sostenible por parte de los consumidores y del sector industrial respectivamente, proponiendo un plan de acción.

Por otra parte, Chile, junto a los miembros de la OECD firmó el año 2009 el documento “*Declaration on Green Growth*”, en el que se declara el compromiso de perseguir estrategias de crecimiento “verde” o ambientalmente sostenible. En este contexto, la OECD realizó el 2011 una encuesta sobre consumo sostenible, resultando en la publicación “*Greening Household Behavior: Overview from the 2011 Survey*” del año 2013, donde los consumidores evalúan distintas medidas según la percepción de aporte a la sustentabilidad. Las políticas con mayor apoyo sobre la generación de desecho de hogares resultan ser las que incentivan a los productores a reducir los empaques de sus productos, lo que habla de una intención por parte del consumidor de mirar la sustentabilidad dentro de la cadena de valor de los productos. [3]

En términos de la industria, en la versión del año 2011 del “*Sustainability & Innovation Global Executive Study and Research Project*”, conducido por el MIT y *Boston Consulting Group*, el 67% de los participantes responde que estrategias relacionadas con sustentabilidad son necesarias para la competitividad, un 22% responde que no, pero que lo será en un futuro y solo un 7% responde que no. Esta encuesta se aplica a 4.000 gerentes de 113 países y muestra un mercado que tiende hacia la sustentabilidad ambiental como parte fundamental de la sustentabilidad económica. [4]

Si bien los objetivos del trabajo de título se enfocan en mejorar la sustentabilidad ambiental, esto es sin dejar de lado los aspectos económicos y sociales, los que harán que las medidas sean sostenibles globalmente. Lo anterior quiere decir que se evitan aquellas recomendaciones que pueden llegar a ser convenientes para el medio ambiente, pero que provocan un empeoramiento en la sustentabilidad económica o que promueven actividades poco responsables en términos sociales.

1.1.3 Descripción del proyecto

El proyecto consiste en llevar a cabo un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de lechugas hidropónicas, realizando un estudio de caso en Hidropónicos La Cruz. El objetivo principal de la realización del ACV es la selección de medidas que permitan reducir el impacto ambiental del ciclo de vida de las lechugas de la empresa, alternativas que se analizan también en términos de costos.

Los resultados del ACV inicial entregan la situación actual de la empresa, en cuanto a impactos ambientales generados a lo largo del ciclo de vida de lechugas. Tras este diagnóstico, se estudian

alternativas de mejora, es decir, de reducción de impacto ambiental, y se modelan estas mejoras utilizando ACV de forma iterativa para cuantificar impactos y variaciones de costos asociadas. Finalmente se recomiendan aquellas medidas que contribuyen de mejor manera a la reducción de impacto ambiental en relación a su costo.

Para complementar y contextualizar el estudio, se realiza una revisión bibliográfica de ACV de lechugas y de cultivos con técnica hidropónica obteniendo un conjunto de buenas prácticas internacionales que sirven como insumo para la preselección de medidas.

1.1.4 Justificación del proyecto

El proyecto es relevante para diferentes actores:

- Para la empresa con la que se trabaja el estudio de caso, pues le permite rediseñar sus procesos reduciendo costos e impactos ambientales, lo que significará que se convierta en una empresa más competitiva y sustentable.
- Para quien distribuye los productos de la empresa. Los distribuidores tendrán acceso a una oferta más sostenible.
- Consumidores finales de los productos de la empresa que llegarán a reducir el propio impacto ambiental de implementarse las medidas recomendadas.
- Sociedad en su conjunto, al contar con una empresa que genera menor impacto ambiental.
- Otras empresas hidropónicas, o productoras de lechugas, que puedan adaptar las soluciones propuestas a sus realidades.

Es importante mencionar que la competitividad que ganan las empresas que reducen sus impactos ambientales, también tiene que ver con cumplir con normativas internacionales. Como está mencionado en la sección anterior, importantes comunidades económicas apuntan a la sustentabilidad, lo que significará que aquellos productores que mejoren el ciclo de vida de sus productos opten a competir en estos mercados.

1.2 Antecedentes de la empresa

1.2.1 Identificación y descripción del sector económico

El sector económico corresponde al agrícola, en particular de hortalizas frescas. El año 2012 la lechuga fue la segunda hortaliza fresca de mayor producción con 7.293ha, después del choclo, alcanzando un 9% de la superficie cultivada, mientras el primero un 17%. [5]

Al ser una de las hortalizas más consumidas en el país, los agricultores han aplicado una serie de transformaciones productivas con el objetivo de mantener la continuidad de la oferta en el transcurso del año, como son sistemas de producción escalonada, técnicas de manejo mejoradas a nivel de potrero y diversos sistemas de comercialización. [6] La hidroponía de lechugas, representa a su vez, una transformación productiva importante, que apunta justamente al objetivo recién mencionado.

1.2.2 Relación de la empresa con el medio industrial

La empresa en julio del 2014 duplicó su capacidad de producción, con lo que espera alcanzar entre un 50 y 60% del mercado de lechugas hidropónicas en *retail*, conservando su posición de mayor productora de lechugas hidropónicas en el país. Sin contar Hidropónicos La Cruz, el mercado está atomizado, es decir, existen muchos productores pequeños y sin el nivel de tecnificación que se observa en esta empresa. Como ejemplo, Hidropónicos La Cruz tiene la segunda planta más grande a nivel mundial productora de lechugas con la tecnología utilizada, superada por una instalación rusa de 3 hectáreas.

1.2.3 Localización de la empresa

Hidropónicos La Cruz se ubica en la comuna de La Cruz, en la región de Valparaíso. El suelo es de carácter agrícola y el agua utilizada en el cultivo es de pozo.

Las condiciones ambientales permiten que el invernadero no necesite calefacción, pero sí deben tomar medidas para reducir la radiación solar que llega a las plantas durante el verano.

1.2.4 Evolución histórica de la empresa

La organización tiene su origen en la empresa productora de tomates hidropónicos Tomaval S.A., siendo un *spin off* de ésta, luego que inversionistas ligados a Tomaval vislumbran la demanda de mercado por lechugas hidropónicas el año 2008.

El año 2011 Hidropónicos La Cruz se constituye definitivamente, comenzando con 0,7 hectáreas. Se amplía el año 2012 a 1,4 ha y en mayo de 2014 comienza a operar la última ampliación, sumando 2,7 ha. Desde sus inicios y a pesar de su crecimiento en producción, la empresa ha tenido 17 empleados con contrato indefinido, aumentando en tres trabajadores cada verano, cuando se produce más intensivamente.

Tabla 1-1 Evolución histórica Hidropónicos La Cruz [Elaboración propia]

Año	Hectáreas	Unidades producidas
2011	0.7	1.700.000
2012	1.4	2.223.000
2013	1.4	3.400.000
2014	2.7	

1.2.5 Tipo de empresa

Hidropónicos La Cruz es una empresa privada de carácter productivo. Su propiedad se divide en los siguientes porcentajes: 40% empresa Tomaval, 40% empresa Punto azul (distribuidora de sus productos) y 20% dividido en formas iguales en dos accionistas como personas naturales, entre los que se encuentra el gerente general de la compañía.

Es importante mencionar que la empresa se emplaza en un terreno perteneciente a Tomaval, donde además se ubican otras tres empresas pertenecientes al mismo *holding* que esta última.

Sus ingresos el año 2013 alcanzan las 49.000 UF, lo que la clasifica según ventas como mediana empresa, pero se espera que al finalizar el año 2014 y debido a la ampliación de la capacidad productiva que tomó lugar a mediados del mismo año, la empresa pase a ser clasificada como grande. En términos de lechugas, la producción al 2013 es cercana a las 3.400.000 lechugas, proyectando 5 millones para el 2014.

1.2.6 Misión y objetivos de la empresa

La empresa no tiene formalmente definida su estrategia, en sus tres años de vida se han ido acomodando a las necesidades del mercado, pero declaran estar trabajando en la construcción de una misión, visión y objetivos.

1.2.7 Productos

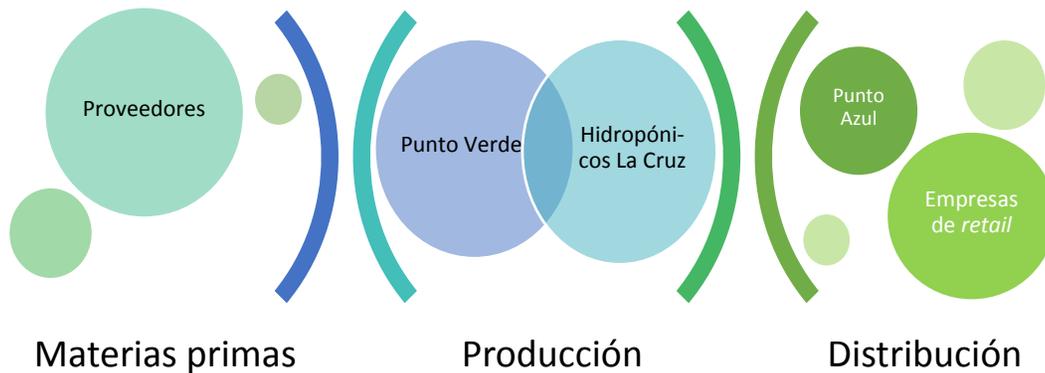
Los productos ofrecidos son lechugas hidropónicas de las variedades: española, lollo bionda, lollo rossa, hoja de roble morada y hoja de roble verde. La marca registrada para la venta es Pura Hoja. Estos productos son vendidos por la distribuidora Punto Azul a empresas de *retail*, quienes a su vez los distribuyen al consumidor final, a lo largo de todo el país.

1.2.8 Proceso productivo

El proceso productivo consiste en el cultivo de las lechugas. Se comienza con la siembra, que ocurre en un invernadero de producción de plantines, bajo el nombre Punto Verde. Lo más importante de esta primera etapa es entregar a la semilla, que ya se encuentra en un sustrato de hidroponía, abundante agua. Al vigésimo sexto día de vida, la planta llamada plantín es transportada al invernadero hidropónico donde finalmente el día 45 se cosecha y empaqueta simultáneamente. Los plazos son un promedio, ya que la tasa de crecimiento depende de las condiciones climáticas, siendo los mejores meses entre marzo y mayo. Las lechugas se empaquetan y se envían al centro de distribución, único cliente efectivo de la empresa. A su vez el centro de distribución se encarga de la venta a distintos agentes del *retail* nacional, que distribuyen al

consumidor final. La Ilustración 1.1 esquematiza los procesos y sus actores para las tres primeras etapas del ciclo de vida.

Ilustración 1.1 Procesos y actores de lechugas hidropónicas por etapa del ciclo de vida [Elaboración propia]



Todos los procesos de la empresa ocurren en un invernadero semi cerrado de estructura multi túnel, y a través de un sistema mecánico de canaleta móvil llamado MGS (*Mobile Gutter System*). La forma de hidroponía es NFT (*Nutrient Film Technique*) modificada, utilizando sustrato (lana de roca) y una solución con fertilizantes que se recircula en un sistema 100% cerrado (no hay drenaje de agua).

El sistema de canaleta móvil se instala dentro de un invernadero. Consiste en un campo para plantar en el que las plantas se mueven automáticamente desde un área de plantado hasta un área de cosecha. A medida que las plantas avanzan, el área entre canaletas se ensancha, con el objetivo de proveer un espacio óptimo entre cada planta para cada etapa de crecimiento. El sistema de canaletas incluye el sistema de recirculación de agua y fertirrigación dentro de esta misma agua.

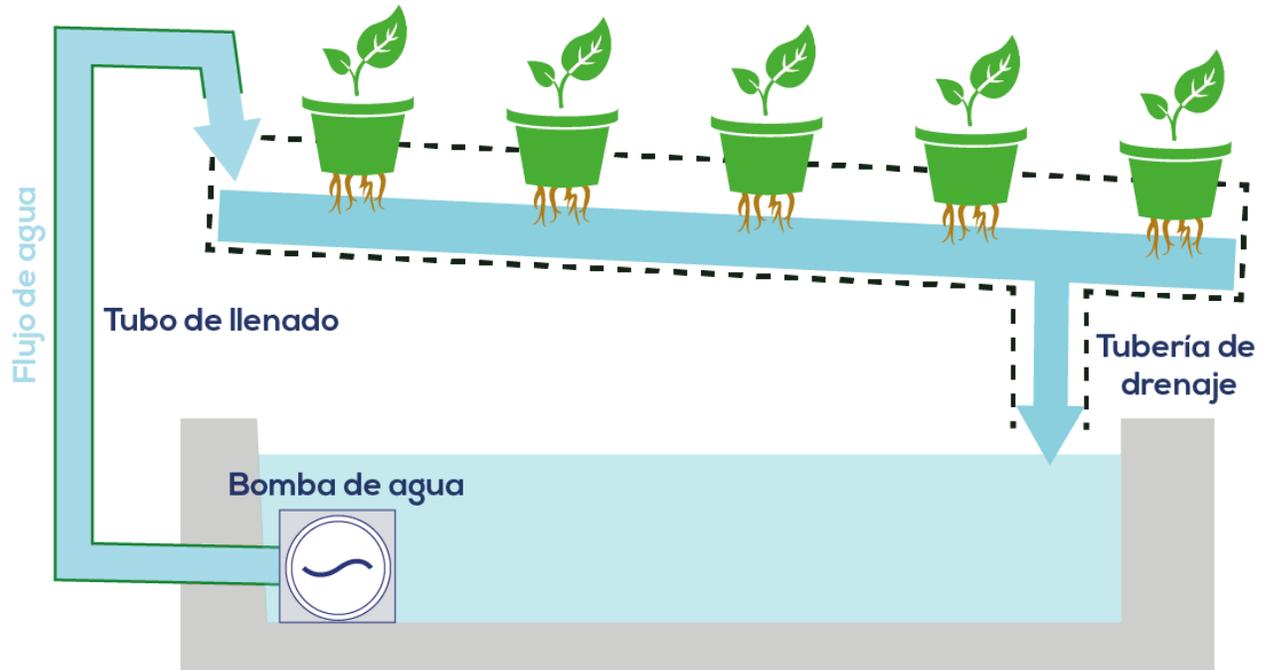
La instalación del sistema MGS consiste en:

- Un área de plantinería
- Un área de plantado, donde los plántines se ubican ya sea manualmente o con un robot
- Un campo automatizado, en el que los canales se separan gradualmente de la manera ya descrita
- Un área de cosecha, en el extremo opuesto del invernadero al área de plantado

De esta forma, el personal de invernadero solo toma contacto con las plantas en el área de plantinería y trasplante, en caso de no tener un robot, y en el área de cosecha. [7]

NFT es una técnica de hidroponía que consiste en irrigar las plantas con una pequeña cantidad de solución (que parezca una lámina de agua) que contenga los nutrientes, que además tiene la característica de recircular el agua. El sistema se diagrama en la Ilustración 1.2.

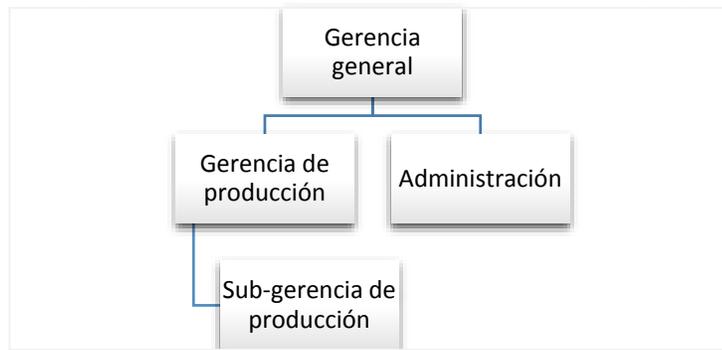
Ilustración 1.2 Sistema NFT [Elaboración propia]



1.2.9 Estructura organizacional y descripción de las unidades básicas de la empresa

La estructura organizacional es reducida y como ya fue mencionado, el gerente general es compartido con otras cuatro empresas con la misma localización que Hidropónica La Cruz. Esto se repite con el gerente de producción y el subgerente, quien tiene la función de *grower*, término que denomina a la persona encargada del crecimiento o producción de plantas. En administración se agrupa la gestión de recursos humanos, contabilidad y adquisiciones. En producción misma se emplea a 10 operarios, algunos dedicados al trasplante, cultivo y cosecha y otros a trasladar los productos cuando llegan y también cuando son despachados.

Ilustración 1.3 Estructura organizacional Hidropónicos La Cruz [Elaboración propia]



1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar análisis de costo efectividad de cambios en la cadena de valor que permitan mejorar la sustentabilidad ambiental, utilizando Análisis de Ciclo de Vida, en las lechugas hidropónicas de la empresa.

1.3.2 Objetivos específicos

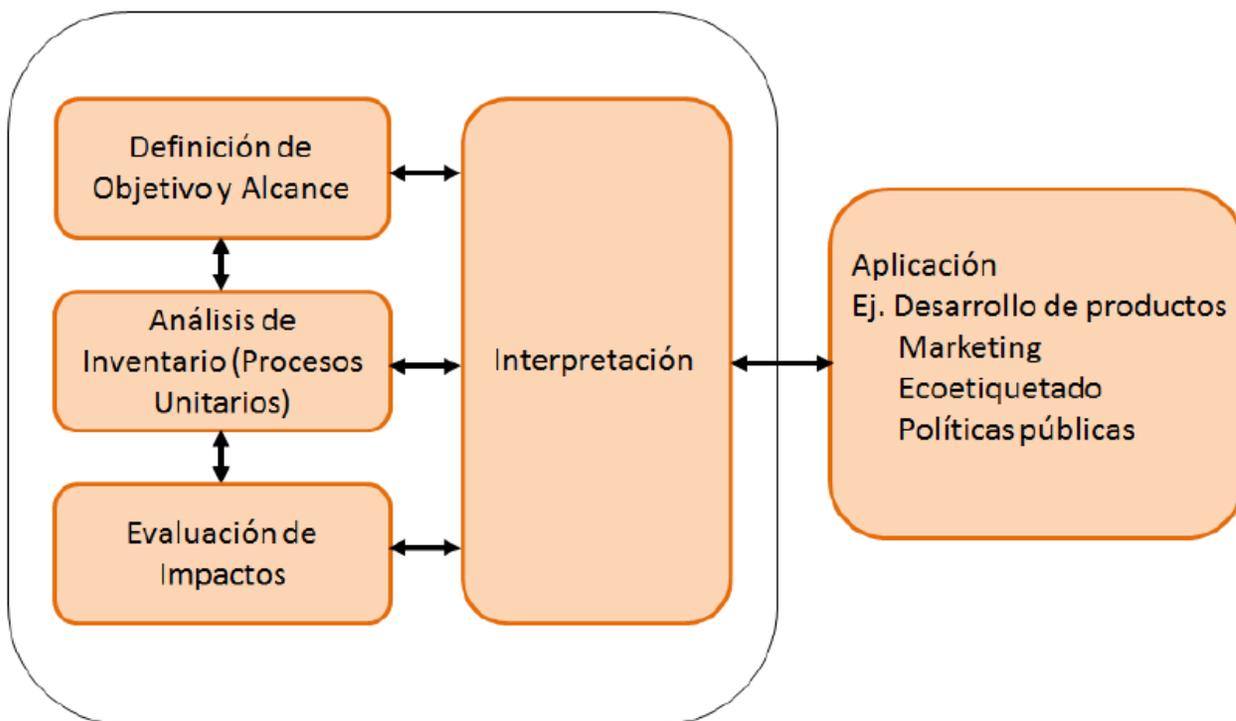
- Levantar y diagramar procesos e inventarios de la producción de lechugas en Hidropónicos La Cruz (HLC).
- Evaluar a través de Análisis de Ciclo de Vida los impactos asociados a las lechugas hidropónicas de HLC, obteniendo *hotspots*¹.
- Preseleccionar alternativas de mejora para los *hotspots* según buenas prácticas internacionales.
- Evaluar a través de ACV, impactos asociados a las alternativas de mejora en las lechugas hidropónicas.
- Analizar en términos de costo efectividad las alternativas que constituyan el mejor conjunto de reducción de impactos ambientales.

¹ *Hotspot*: punto crítico de impacto ambiental

1.4 Metodología

La metodología que guía este trabajo es la de Análisis de Ciclo de Vida, que sigue las etapas que se muestran en la ilustración que sigue:

Ilustración 1.4 Etapas metodológicas ACV [Fundación Chile]



1. Definición de objetivo y alcance:

La primera parte del proyecto consiste en investigación bibliográfica del mismo, la que se utiliza para la justificación, el marco conceptual y para analizar alternativas de mejora en los procesos o productos. La justificación se realiza investigando sobre tendencias mundiales a través de páginas webs de organizaciones tales como la OECD y declaraciones de estas organizaciones. El marco conceptual se obtiene de normas internacionales: los protocolos ISO14040-44; “*The Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol)*”, que se constituye como la herramienta más utilizada para la gestión de emisiones de gases de efecto invernadero; y PAS2050-1 (2012): *Assessment of life cycle greenhouse emissions from horticultural products*, donde PAS es la sigla de *Publicly Available Specification*. Finalmente, para las alternativas de reducción de impactos, se utilizan publicaciones y estudios de ACV sobre productos similares a las lechugas hidropónicas, sobre sustratos, invernaderos y fuentes de energía para los mismos, entre otros temas.

2. Análisis de inventario, procesos unitarios:

El levantamiento de procesos se realiza con visitas a terreno a la empresa y comunicación continua con el gerente general, lo que se complementa con revisión bibliográfica de técnicas de hidroponía. Parte del inventario fue recogido previo a la realización de este trabajo, por personas de Fundación Chile, el que se limitaba a un inventario de la cuna a la puerta de Hidropónicos La Cruz y sin considerar todos los procesos. El trabajo realizado se canaliza a través de diagramas de flujos, con

las herramientas descritas en el siguiente punto y la construcción de los inventarios para todo el ciclo de vida, que utiliza las bases de datos disponibles en el software *SimaPro* con el que se modelará el ACV.

Para diagramar los procesos se utiliza un diagrama de flujo que identifica procesos y sus flujos, a lo largo del ciclo de vida de la lechuga, y la notación de BPMN para diagramar los procesos de Hidropónicos La Cruz y con menos detalle los que ocurren fuera de la empresa pero que forman parte del ciclo de vida.

3. Evaluación de impactos:

Se realiza Análisis de Ciclo de Vida, el que se modela con el software *SimaPro*, para reflejar la línea base de trabajo de la empresa y luego para modelar las medidas propuestas. Los resultados concretos que se obtienen del software *SimaPro*, son el impacto ambiental de cada proceso del producto, en forma agregada y por categoría de impacto, las que son descritas en el Marco Conceptual.

La evaluación de impacto sigue las recomendaciones de *The Sustainability Consortium*, utilizando el método *ReCiPe Midpoint (H) w USEtox Recommended*. *ReCiPe* es un método de evaluación de impactos que puede tener como resultados *Midpoints* o *Endpoints*.

Midpoints o Puntos de Caracterización Intermedia quiere decir separar en categorías de impacto, y cuantificar el impacto en cada una de ellas, lo que tiene un alto grado de certeza pero un bajo nivel de capacidad de interpretación.

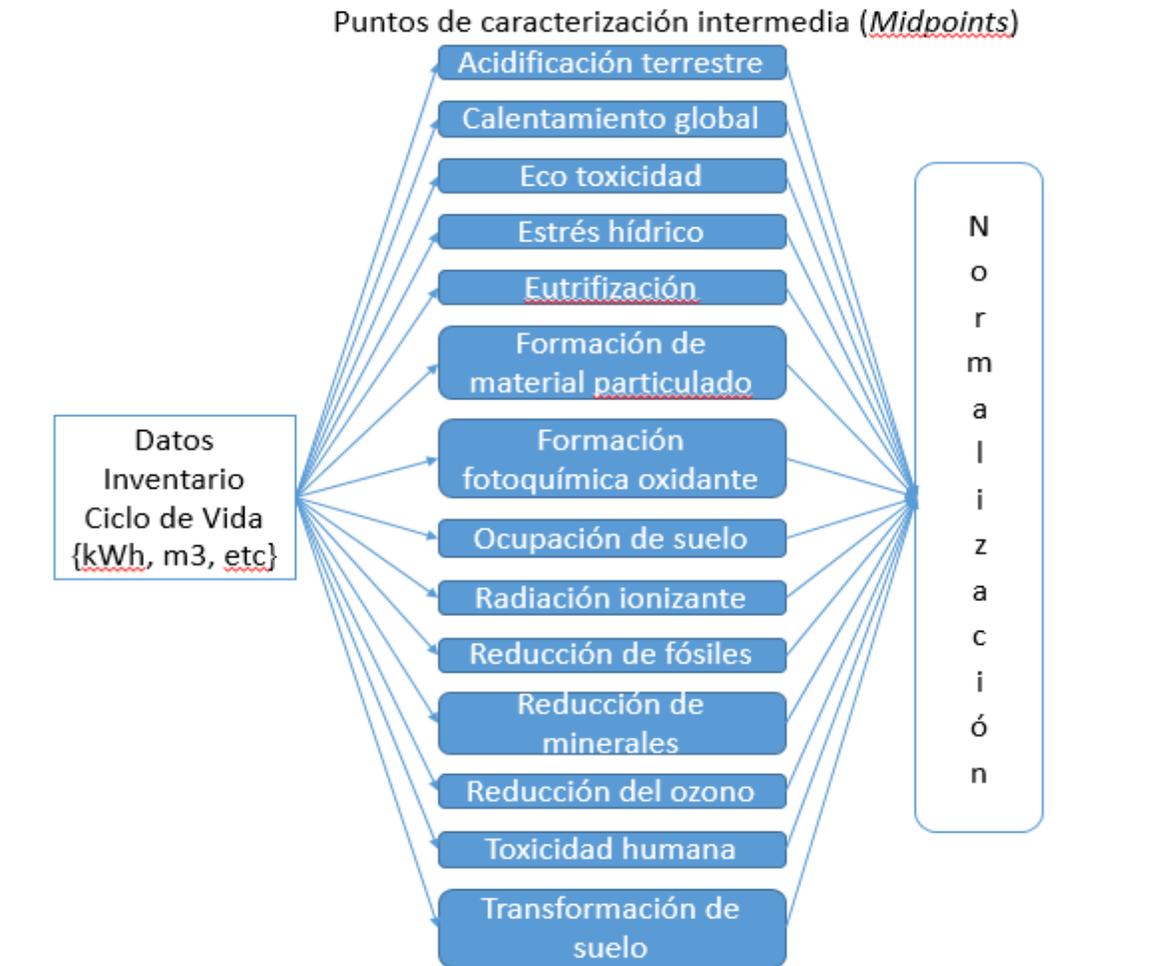
Por otra parte, *Endpoints*, que no es el método utilizado, es menos certero, pero se refiere a tres consecuencias de los procesos que son: 1. Daño a la salud humana, 2. Daño al ecosistema y 3. Daño a la disponibilidad de recursos. Estas tres categorías son más interpretables, pero con menos certeza en cuanto a que es una interpretación de las categorías previas [8].

El software utiliza como insumo los inventarios construidos para cada proceso del ciclo de vida, y utiliza la base de datos que incluye, para entregar impactos para distintas categorías de impacto para cada elemento del inventario construido.

Para trabajar los resultados, estos pasan por un proceso de normalización, lo que se consigue al dividir el impacto de cada categoría por el impacto diario de un chileno en esa misma categoría. Es posible interpretar esta normalización como el porcentaje del impacto diario promedio de un chileno que representa una lechuga de Hidropónicos La Cruz. El impacto diario promedio de un chileno fue calculado por Fundación Chile basado en diversas fuentes bibliográficas.

Existe la alternativa de calcular ecopuntos, o realizar una ponderación de los impactos para cada categoría de impacto, que no se realiza en este trabajo por no contar con una ponderación de impactos debidamente validada para el contexto chileno. Esto quiere decir que no se da más relevancia a una categoría que a otra.

Ilustración 1.5 Proceso normalización de impactos [Elaboración propia]



4. Interpretación

Identificación de hotspots: Tras la obtención de resultados de *SimaPro*, normalizados, se procede a identificar los *hotspots*. Un *hotspot* queda definido si la actividad o recurso representa el 10% o más del impacto dentro de una categoría de impacto, o el 5% o más, en más de una categoría. Adicionalmente, para este trabajo, se define que solo se consideran *hotspots* en las categorías que representen al menos un 2% del impacto total de ciclo, para que las medidas que se modelan puedan apuntar a reducir significativamente el impacto ambiental.

Preselección de alternativas: Con los resultados de este ACV se selecciona el conjunto de propuestas que den respuesta a estos *hotspots*. La preselección de alternativas se basa en estudios internacionales de sustentabilidad en cultivos hidropónicos en general, y el juicio de expertos de analistas de ciclo de vida de Fundación Chile.

Análisis de costos: Una vez identificadas las mejores medidas en términos ambientales, se realiza un análisis de los costos asociados a cada escenario de cambio. El costeo se hace a través de proveedores. Aquellas medidas que implican una modificación en la adquisición de insumos por parte de la empresa, se analizan términos de cambios en los costos. Aquellas medidas que implican una inversión, y luego un cambio en costos, se analizan con valores anualizados, con el indicador VAUE.

1.5 Marco conceptual

El ACV es una herramienta de Gestión Ambiental que permite evaluar impactos ambientales. Se distingue de otros métodos al utilizar una unidad funcional para cuantificar los impactos. Por ejemplo, la unidad funcional es un plato de ensalada de lechuga, y a esa base se asocian inputs y outputs del proceso productivo, desde la adquisición de materias primas hasta el desecho final, lo que se denomina inventario. [9] Otra característica importante de la herramienta es que asegura un análisis sistémico, al considerar todos los procesos como un ciclo, y que estos mismos procesos están conformados por procesos previos, es decir, se hace cargo de la vida del producto más allá de lo que ocurre en la empresa productora.

La Ilustración 1.6 esquematiza el Ciclo de Vida de un producto:

Ilustración 1.6 Ciclo de Vida de Productos [Fundación Chile]



Tal como se observa en la Ilustración 1.6, las etapas del ciclo de vida son:

- **Extracción y pre procesamiento de materias primas:** comienza con la extracción de la materia prima desde la naturaleza y termina cuando llegan al lugar de producción.
- **Producción:** comprende todos los procesos productivos, desde que las materias primas ingresan al sitio de producción hasta que el producto deja la puerta de las instalaciones.
- **Distribución y almacenamiento:** considera la distribución desde la empresa al *retail* o punto de venta, y el almacenamiento en el mismo. Comprende lo que ocurre desde que el producto deja las instalaciones de producción hasta que el consumidor toma posesión de este.
- **Uso:** procesos que se realizan para el uso o consumo del producto. Empieza cuando el consumidor obtiene el producto, hasta que los desechos son llevados al sitio de su disposición final.
- **Fin del ciclo de vida:** en el fin del ciclo de vida existen distintas posibilidades: reutilización, reciclaje o disposición final (a relleno sanitario). Transcurre entre que el producto está listo para ser desechado (o lo que quede de él) hasta que el producto es devuelto a la naturaleza. [10]

Hasta el momento se han desarrollado dos usos del ACV:

- Analizar el impacto del sistema de un producto a modo de caracterización.
- Estudiar las posibles consecuencias ambientales al introducir cambios en el sistema. [11]

En este trabajo se desarrollan ambos enfoques para cumplir con los objetivos del mismo.

Las categorías de impacto que se estudian en el proyecto son descritas a continuación [12] [13], junto con su unidad de medida y las emisiones diarias promedio de una persona chilena, abreviada con las siglas EDP:

Acidificación terrestre: proceso en el que elementos contaminantes se convierten en sustancias ácidas, las que degradan el medio ambiente

- Unidades: kilogramos equivalentes de dióxido de azufre (kg SO₂ eq)
- EDP: 1,77E+01

Calentamiento global: aumento en la temperatura promedio del planeta

- Unidades: kilogramos equivalentes de dióxido de carbono (kg CO₂ eq)
- EDP: 1,51E+01

Eco toxicidad: es la liberación de sustancias tóxicas en un ecosistema. Se puede dar en agua dulce, océano y de forma terrestre

- Unidades: unidades tóxicas comparativas (CTUe)²
- EDP: 1,21E+01

Estrés hídrico o uso de agua: consumo de agua dulce

- Unidades: metros cúbicos (m³)
- EDP: 6,03E+00

Eutrofización marina: aumento en los niveles de nutrientes, especialmente fosfatos, nitratos y cloratos en el agua marina

- Unidades: kilogramos equivalentes de nitrógeno (kg N eq)
- EDP: 4,11E-02

Eutrofización de agua fresca: aumento en los niveles de nutrientes, especialmente fosfatos, nitratos y cloratos en el agua dulce

- Unidades: kilogramos equivalentes de fósforo (kg P eq)
- EDP: 2,18E-03

Formación de material particulado: liberación de compuestos o partículas que pueden ser dañinas para el sistema respiratorio humano

- Unidades: kilogramos equivalentes de material particulado con diámetro menor a 10 µm (kg PM₁₀ eq)
- EDP: 6,61E-02

Formación fotoquímica oxidante: se conoce como smog, es un tipo de polución del aire que se produce por una reacción entre la luz del sol, óxido de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles

- Unidades: kilogramos de compuestos volátiles (no metano) (kg NMVOC)
- EDP: 1,30E-01

² CTUe se refiere a una estimación de la fracción de especies potencialmente afectadas, integrado en tiempo y volumen, por unidad de masa de químico emitido. [37]

Ocupación de suelo agrícola: perturbación en el ambiente natural a través de cambios en el suelo

- Unidades: metros cuadrados (m²)
- EDP: 5,69E+01

Ocupación de suelo urbano: perturbación en el ambiente natural a través de cambios en el suelo

- Unidades: metros cuadrados (m²)
- EDP: 1,55E+00

Radiación ionizante: liberación de sustancias radioactivas y/o exposición directa a radiación

- Unidades: kilogramos equivalentes del isótopo Uranio 235 (kg U₂₃₅ eq)
- EDP: 1,71E+01

Reducción o agotamiento de combustibles fósiles: pérdida de recursos naturales fósiles

- Unidades: kilogramo de petróleo equivalente (kg oil eq)³
- EDP: 3,54E+00

Reducción o agotamiento de minerales: pérdida de recursos naturales minerales

- Unidades: kilogramos equivalentes de hierro (kg Fe eq)
- EDP: 1,29E+00

Reducción del ozono o agotamiento de la capa de ozono: disminución del volumen de ozono en la estratósfera

- Unidades: kilogramos equivalentes de triclorofluorometano (kg CFC-11 eq)
- EDP: 3,48E-06

Toxicidad humana, cáncer: emisión de sustancias que son dañinas para el ser humano

- Unidades: unidades tóxicas comparativas (CTUh)⁴
- EDP: 1,17E-09

Toxicidad humana, no cáncer: emisión de sustancias que son dañinas para el ser humano

- Unidades: unidades tóxicas comparativas (CTUh)
- EDP: 1,29E-08

Transformación de suelo natural: cambios en la composición del suelo

- Unidades: metros cuadrados (m²)
- EDP: 9,78E-03

³ Kg oil eq es una unidad de energía equivalente a la cantidad aproximada de energía que se puede extraer de un kg de petróleo. [38]

⁴ CTUh se refiere a una estimación del incremento en la morbilidad en el total de la población humana, por unidad de masa de químico emitido, asumiendo igual ponderación entre cáncer y no cáncer. [37]

2 ESCENARIO INTERNACIONAL

En esta sección se revisa el escenario internacional en términos de Análisis de Ciclo de Vida y sustentabilidad relacionados con lechugas, empezando con agricultura en general, hidroponía, lechugas y finalmente lechugas hidropónicas.

2.1 ACV en agricultura

En el sector agroalimentario, el Análisis de Ciclo de Vida se ha realizado de forma organizada desde la última década del siglo XX. En 1996 se realiza en Bruselas, Bélgica, la primera Conferencia Internacional en ACV en el sector agroalimentario [14], conferencia que en octubre de 2014 tendrá su novena versión y la primera fuera de Europa, a realizarse en San Francisco, California [15]. En la Tabla 9-1 de anexos se encuentran los años y lugares de todas las realizaciones de la conferencia.

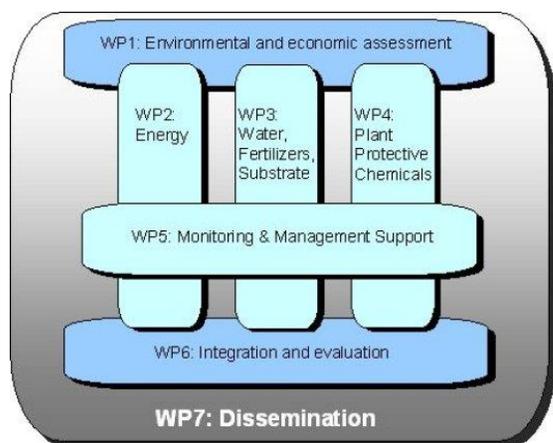
Esta iniciativa se justifica por el alto impacto ambiental que tiene la producción de alimentos. En el reporte de Impacto Ambiental de Productos de la Comisión Europea del año 2006, de un estudio realizado sobre productos de consumo con enfoque de Análisis de Ciclo de Vida, la comida y las bebidas están dentro de los tres mayores grupos de productos en términos de impactos ambientales, junto con transporte y vivienda, sumando entre estos tres grupos aproximadamente un 80% de los impactos. La comida representa entre 20 y 30% del total de impactos, siendo importante destacar que dentro del grupo, la carne y sus derivados, seguidos de los lácteos, son los que más contribuyen [16]. Esto destaca la relevancia que deben tener los demás productos alimenticios, como la lechuga, en la dieta, dado el menor impacto ambiental que desencadena su producción.

2.2 ACV en hidroponía

En hidroponía en general, el trabajo que más se destaca y alinea con los objetivos de este trabajo de título, es el proyecto EUPHOROS, que “apunta a desarrollar un sistema de invernadero sostenible que no necesite ninguna energía fósil y minimice la huella de carbono de su equipo; con cero desperdicio de agua ni emisiones de fertilizante y completo reciclaje del sustrato; con necesidad mínima de químicos para la protección de plantas y con alta productividad y eficiente uso de recursos.” [17]

EUPHOROS es un proyecto financiado por la Unión Europea, en el que participan centros de investigación, universidades y empresas. Su nombre completo es “*Efficient Use of Inputs in Protected Horticulture*” y se compone de 7 paquetes de trabajo (WP: *work packages*): 1. Evaluación ambiental (uso de ACV) y económica; 2. Energía; 3. Agua, fertilizantes y sustrato; 4. Fitosanitarios; 5. Soporte de monitoreo y gestión; 6. Integración y evaluación; y 7. Difusión.

Ilustración 2.1 *Work packages* proyecto EUPHOROS [17]



2.2.1 Técnicas de hidroponía

La técnica de hidroponía queda definida por el tipo de sustrato que se utiliza, el contenedor de la planta, cómo se entrega la solución nutritiva a la planta y el destino del drenaje de la solución nutritiva: sistema abierto (drenaje libre) o cerrado (recirculación de agua). [18].

Las técnicas de hidroponía en general que son mejores en términos de sustentabilidad ambiental son aquellas donde el agua es recirculada en el sistema, ya que se consume menos agua y se utiliza menos fertilizante, además de reducir el escurrimiento de los mismos. [18]

2.2.2 Fertirrigación en hidroponía

La fertirrigación se refiere a cómo se entrega los nutrientes a la planta, lo que puede ser: a través de riego por goteo; sub irrigación; o solución nutritiva en forma de niebla, como un flujo o estancada.

2.2.3 Sustratos para hidroponía

Del proyecto EUPHOROS y con ACV como metodología, se obtiene que la fabricación de sustrato, como parte del equipamiento auxiliar dentro de un invernadero, es un impacto ambiental importante, en particular por la fabricación del mismo. A partir de esto, se sugiere la reutilización del sustrato y la reducción del volumen utilizado como acciones importantes a seguir [19].

Además se reconoce como potencial amenaza al medio ambiente el desecho del sustrato al final del ciclo de vida: pueden contener pesticidas, afectan el paisaje o son llevados a rellenos sanitarios. [18]

Un estudio de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile en plántulas de lechugas hidropónicas en sistema NFT modificado como el de H. La Cruz y con lana de roca como sustrato, al igual que la empresa estudiada, muestra que la lana de roca da mejores resultados que la perlita, otro sustrato muy popular en hidroponía. [20]

Finalmente, la lana de roca en general es reciclable y en particular la marca utilizada por Hidropónicos La Cruz es 100% reciclable, pero en Chile no existen plantas para realizar este proceso, por el contrario, en Europa y Norte América sí.

2.2.4 Estructura del invernadero

En el proyecto EUPHOROS se analizan dos tipos de invernaderos: multi túnel, con cubierta plástica y Venlo, con cubierta de vidrio. El tipo que tiene Hidropónicos La Cruz es multi túnel. Para este tipo, la estructura tiene impactos ambientales en múltiples categorías, siendo una razón importante para ello la cantidad de acero utilizada. Para mejorar el impacto, la alternativa recomendada es ampliar la vida útil. Por otra parte, el plástico también contribuye en términos de impactos ambientales, en particular en las categorías de agotamiento abiótico y demanda de energía acumulada [21].

Ilustración 2.2 Invernadero Venlo [22]

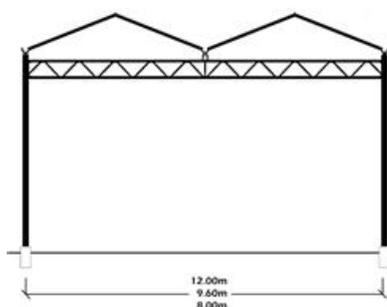
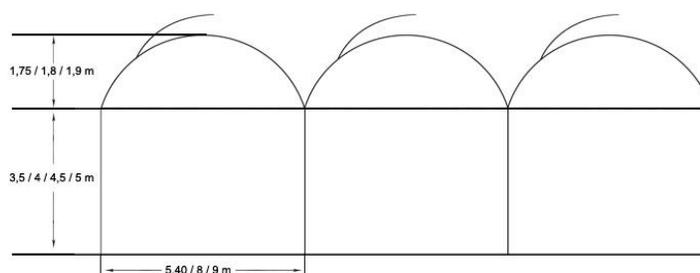


Ilustración 2.3 Invernadero multi túnel [23]



2.2.5 Fertilizantes

El uso de fertilizantes implica impactos tanto en su proceso de manufactura como en las emisiones derivadas de su uso.

En el estudio “*Report on economic & environmental profile of new technology greenhouses at the three scenarios*” del proyecto EUPHOROS se recomienda la recirculación de agua como la mejor forma de reducir las emisiones, y tomándose como cero cuando el sistema de recirculación es cerrado como en Hidropónicos La Cruz.

Para reducir los impactos, en general se sugiere reducir el uso o mejorar la productividad. Una forma de hacer esto es utilizar compuestos orgánicos que actúan como potenciadores de los fertilizantes. Para cultivos en suelo se recomienda el uso de leguminosas, y para cultivos hidropónicos una alternativa es el uso de humus líquido [24].

2.3 ACVs de lechugas

Para lechugas, el Consorcio para la Sustentabilidad cuenta con un Perfil de Categoría de Producto. Este perfil se realiza en base a una recopilación de estudios de ACVs para la categoría, con un sistema de validación de acuerdo a las fuentes bibliográficas utilizadas llamado SMRS (*Sustainability Measurement and Reporting System*). [25]

En este perfil se identifican como *hotspots*:

- Consumo de energía durante la fabricación de fertilizantes.
- Consumo de energía durante el cultivo (máquinas, invernaderos, etc.).

Como temas adicionales:

- Aplicación de productos químicos para protección del cultivo.
- Desecho de empaque en rellenos sanitarios.
- Transformación del suelo en la granja.
- Seguridad y salud de los empleados.

Finalmente, identifica preocupaciones de los *stakeholders*:

- Consumo de energía durante la distribución.
- Consumo de energía durante la operación del *retail*.
- Ecurrimiento al suelo y agua debido a la aplicación de fertilizantes.
- Generación de desperdicio de comida durante el consumo.
- Generación de desperdicio de comida durante la producción.
- Generación de desperdicio de comida en procesos de selección y empaque.
- Generación de desperdicio de comida en la operación del *retail*.
- Transformación del suelo durante la producción.
- Uso de agua durante la producción.
- Uso de agua post-producción [26].

Se toma también como referencia el estudio “*Life Cycle Assessment of cultivating lettuce and escarole in Spain*” [27]. Este estudio es para lechugas y escarolas tanto fuera como dentro de invernaderos, pero siempre en cultivo en suelo. Además, es un estudio que busca comparar distintas realidades de cultivo y por lo tanto es desde la cuna a la puerta del lugar de cultivo, pues se asume que el valor comercial es igual para todas las plantas y la comercialización de las mismas tendrá impactos iguales. Aquí se habla sobre el mejor desempeño ambiental de invernaderos no calefaccionados (como es el caso de Hidropónicos La Cruz) utilizados en climas cálidos, versus aquellos que necesitan calefacción al estar en climas fríos.

En general donde existen mayores impactos ambientales es en las secciones de; estructura del invernadero debido a la estructura de acero y al uso y recambio de plásticos de cubierta; equipos auxiliares, debido a los diversos materiales de canaletas y tuberías y: fertilizantes y pesticidas, por una parte debido a la producción y por otra parte a las pérdidas y emisiones, que se dan principalmente por ser cultivo en suelo, siendo una ventaja contar en la empresa con un sistema

hidropónico con recirculación de agua. Finalmente, los menores impactos se dieron en las categorías de cultivo, calefacción y desechos.

3 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

En esta sección se desarrolla el ACV de las lechugas hidropónicas de la empresa Hidropónicos La Cruz, incluyendo los aspectos formales de un ACV, esto es, definición de objetivos y alcance, al mismo tiempo que la evaluación de los impactos del producto estudiado.

3.1 Objetivos y alcance

3.1.1 Definición de objetivos

Las intenciones de aplicación de estudio son la identificación de *hotspots* en el ciclo de vida de una lechuga hidropónica, y guiar decisiones corporativas sobre los procesos de la producción de las mismas, para mejorar el desempeño ambiental.

Como propósito del estudio, está la determinación del impacto ambiental de las etapas de ciclo de vida del producto para su análisis, y la evaluación del impacto que puede significar la implementación de cambios en el producto o en los procesos.

La audiencia objetivo del estudio es en una primera instancia el personal de la empresa, tanto quienes toman las decisiones (gerencia), como operarios que puedan contribuir al desempeño de la operación. En una segunda instancia, clientes directos de la empresa (Punto Azul quien distribuye el producto) e indirectos, es decir, *retailers* que hacen llegar la lechuga al consumidor final.

Las principales limitaciones del método, de supuestos y de impactos están en la utilización de información secundaria en los inventarios, al estar la mayoría de ellos desarrollados para las realidades europeas. A pesar de lo anterior, se han hecho adaptaciones, incluyendo la matriz energética chilena en todos los inventarios, y las bases de datos dentro de la licencia de *SimaPro* están regularmente siendo actualizadas. Para la línea base, no hay muchas limitaciones pues la mayoría de la información proviene directamente de la empresa productora, pero para evaluar las alternativas de mejora, se debe recurrir a un mayor uso de información secundaria y supuestos, pues no se sabe a ciencia cierta qué impacto más allá del ambiental, tendrán los cambios implementados. Es por esto que se valora más el método de Análisis de Ciclo de Vida para un diagnóstico, que para la simulación de alternativas de mejora, las que quedan restringidas a cambios en materiales o algunas eficiencias que no afecten directamente a la productividad en términos de tiempo de cultivo.

El estudio no tiene la intención de realizar comparación de productos para divulgación pública, es decir, no está dentro de sus propósitos comparar las lechugas de Hidropónicos La Cruz con otras lechugas de otras empresas, o incluso otros vegetales. Adicionalmente, para poder realizar estas comparaciones, el estudio debe someterse a revisión crítica de expertos externos al mandante, pero se deja abierta la posibilidad de utilizar los resultados e inventarios de este trabajo con este fin en el futuro, lo que se puede realizar al haber definido un flujo de referencia para el ACV.

3.1.2 Definición de alcance

La unidad funcional del análisis de ciclo de vida son 280 gramos de lechuga empacada, y el flujo de referencia, es decir, la cantidad de lechugas que cumplen esas condiciones para el caso de Hidropónicos La Cruz, es una lechuga empacada.

El análisis es de la cuna a la tumba. Lo anterior quiere decir que incluye todas las etapas por las que pasa el producto: extracción y pre procesamiento de materias primas, producción, distribución y almacenamiento, consumo y fin del ciclo de vida.

Se utilizan datos para todos los flujos, con excepción de la infraestructura permanente: en este caso se excluye la estructura metálica del invernadero, pero no el recambio del plástico que lo cubre, dada su vida útil de 4 años. La exclusión responde a que no es posible atribuir el impacto de activos que no tienen vida útil efectiva asociada, a una lechuga, que es la unidad de análisis de este trabajo.

Los inventarios que se utilizan para los procesos dentro de la empresa son con información primaria, utilizando como respaldo información secundaria. Por ejemplo: de la empresa se obtiene información sobre qué agroquímicos se utilizan. El inventario se construye con ese ingrediente activo y la cantidad utilizada por la empresa realmente, pero las emisiones se extraen de la información que está en la base de datos, para ese agroquímico en particular.

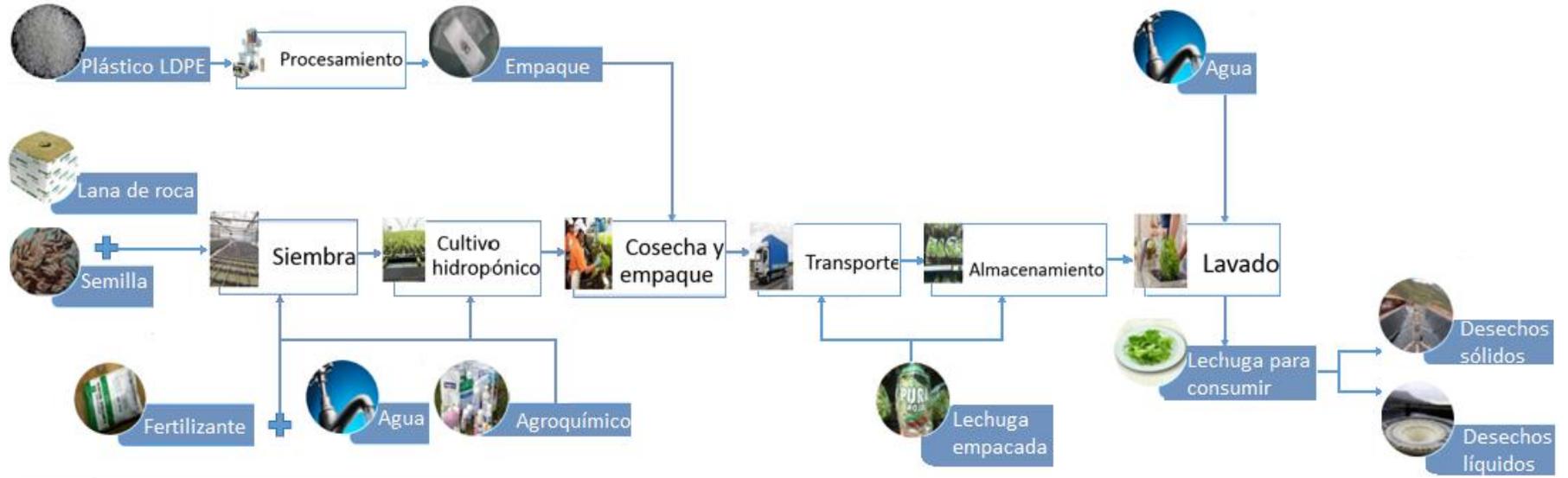
Para procesos fuera de la empresa, como distribución a *retail*, o transporte desde el *retail* al lugar de consumo, se utilizan metodologías de otros análisis de ciclo de vida.

3.2 Flujos y procesos

A continuación, en la Ilustración 3.1 se presenta un diagrama de flujo simplificado, en el que se muestra el inventario de la producción de lechugas. Los rectángulos representan procesos y los círculos son las entradas y salidas, según indican las flechas. Se dice que es simplificado pues cada proceso es posible asociar inputs de energía y emisiones al aire y al agua, junto con residuos sólidos, que no se ilustran.

Por otra parte, las ilustraciones que siguen modelan el ciclo de vida de las lechugas hidropónicas a través de los procesos que ocurren a lo largo de él, usando la nomenclatura de BPMN.

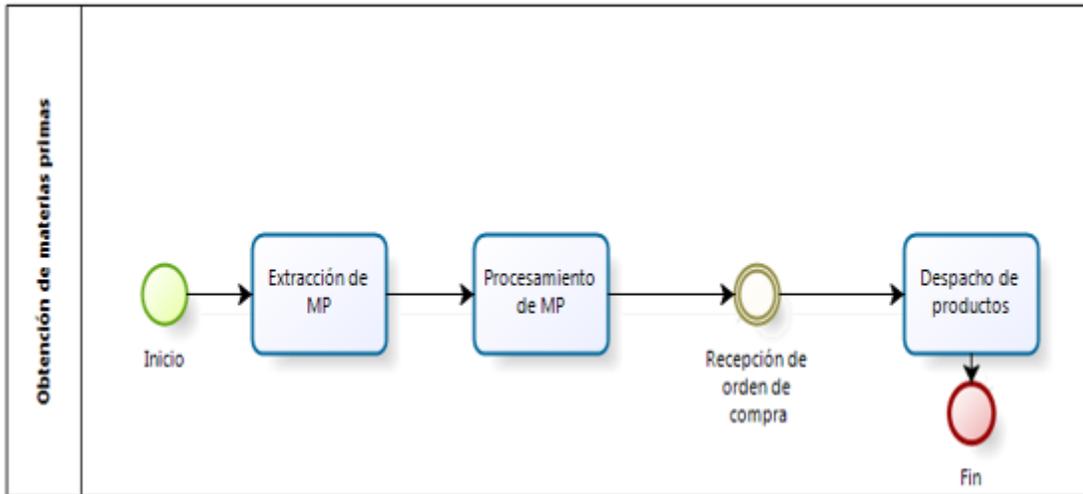
Ilustración 3.1 Diagrama de flujo lechugas hidropónicas [Elaboración propia]



5

⁵ LDPE: Polietileno de baja densidad (Low Density Polyethylene)

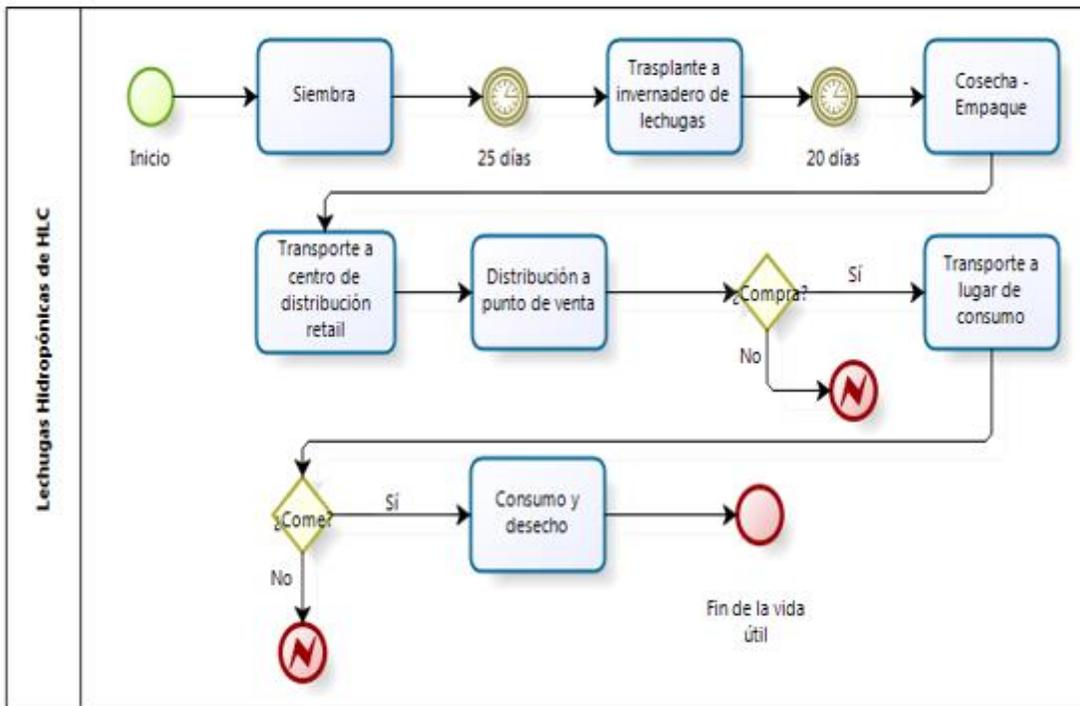
Ilustración 3.2 *Business Process Diagram* para obtención de materias primas [Elaboración propia]



El primer *pool* corresponde a los procesos de los proveedores y es genérico para todas las materias primas. Contiene la extracción y el pre procesamiento, cuando la empresa proveedora recibe un pedido, como evento, pasa a realizar el despacho de los productos

En el segundo *pool* se agrupa la producción y post producción, que ocurren en Hidropónicos La Cruz, los procesos de *retail* (distribución a *retail* y el evento de compra) y finalmente el consumo que es llevado a cabo por los consumidores en distintos escenarios, principalmente en hogares.

Ilustración 3.3 *Business Process Diagram* para ciclo de vida de lechugas hidropónicas en HLC [Elaboración propia]



La siembra ocurre en la empresa Punto Verde, que se ubica contigua a Hidropónicos La Cruz. En términos generales, desde que se siembra una semilla en un cubo de lana de roca, el plantín cumple 25 días dentro de Punto Verde hasta que se traslada al invernadero de lechugas hidropónicas. Los primeros tres días de la siembra, las semillas reciben un riego por manguera abundante por 3 horas seguidas, con el objetivo de que la lana de roca quede empapada. Desde el cuarto día, solo reciben riego por aspersores y por manguera de forma breve, para recuperar la humedad en la superficie del sustrato.

Una vez los plantines llegan al invernadero de lechugas hidropónicas, se ubican los cubos en las canaletas del sistema de hidroponía NFT modificado, en las que todos los procesos, como fertirrigación y movimiento de las canaletas, están automatizados. La única excepción corresponde a la aplicación de insecticidas y fungicidas, que es realizada por personal especializado. En los 20 días que las lechugas permanecen en el invernadero, cruzan de un lado de éste al otro, por el movimiento automático de las canaletas. Esto permite que las operarias trabajen únicamente en los extremos del invernadero: en un extremo se trasplanta y en el otro se cosecha.

3.3 Análisis de Inventario

Para el inventario se debe considerar que los datos primarios corresponden al inventario del año 2012, que fue construido en primera instancia por Fundación Chile en el marco del Programa de Desarrollo de Proveedores de CORFO, para luego ser completado y corregido en la realización de este proyecto.

El inventario de las etapas de distribución y almacenamiento y consumo se realizó siguiendo la metodología de [28], que está orientada a Europa y por lo tanto puede perfeccionarse, pero sí se usan parámetros que corresponden a la realidad chilena cuando tanto el centro de distribución vinculado a la empresa, Punto Azul, como el *retail*, en particular *Walmart*, contaban con los datos disponibles.

La mayor ausencia de datos primarios en el inventario se da en la etapa de consumo, debido a la inexistencia de datos de consumo que representen al país, y por lo mismo metodología que permita modelar esta etapa del ciclo de vida.

Los inventarios utilizados para el ACV se encuentran en detalle en Anexo 2: Inventarios.

3.4 Evaluación de Impacto

Esta etapa del ACV consiste en relacionar los procesos recogidos en los inventarios, con impactos ambientales para cada categoría de análisis.

Los impactos son entregados por el *software SimaPro* en lo que se denomina caracterización de impactos, donde cada categoría tiene un valor con las unidades correspondientes. Además, se ingresan los valores de normalización, descritos en el marco conceptual, para que el *software* los calcule, a los que se denomina impactos normalizados.

Para analizar los impactos, se agrupan según etapa del ciclo de vida, y se trabaja con los impactos normalizados, debido a que no es interpretable una comparación entre diferentes categorías si las dimensiones son diferentes.

Los diferentes gráficos que se presentan a continuación, son diferentes agrupaciones; impactos agregados del ciclo de vida para cada categoría; impactos por etapa del ciclo de vida para cada categoría; e impactos por categoría de impacto para cada etapa del ciclo de vida.

Una forma de interpretar los impactos normalizados, es entenderlos como porcentaje relativo a las emisiones promedio de un chileno al día, pero siempre dentro de la misma categoría. Cuando se habla de impacto total del ciclo se están sumando los impactos de cada categoría, lo que deja de representar el porcentaje en relación a las emisiones promedio de una persona chilena y se utiliza solamente como un indicador, sin tener una interpretación representable.

Se realiza una evaluación de todas las categorías mencionadas en el marco conceptual, y además de encontrar en anexos los resultados teóricos, se pueden apreciar gráficamente en la Ilustración 3.4 en términos porcentuales. Este mismo ejercicio se repite para cada elemento del ciclo de vida, obteniendo el impacto que genera cada input y output asociado a la lechuga.

Ilustración 3.4 Impactos normalizados por categoría

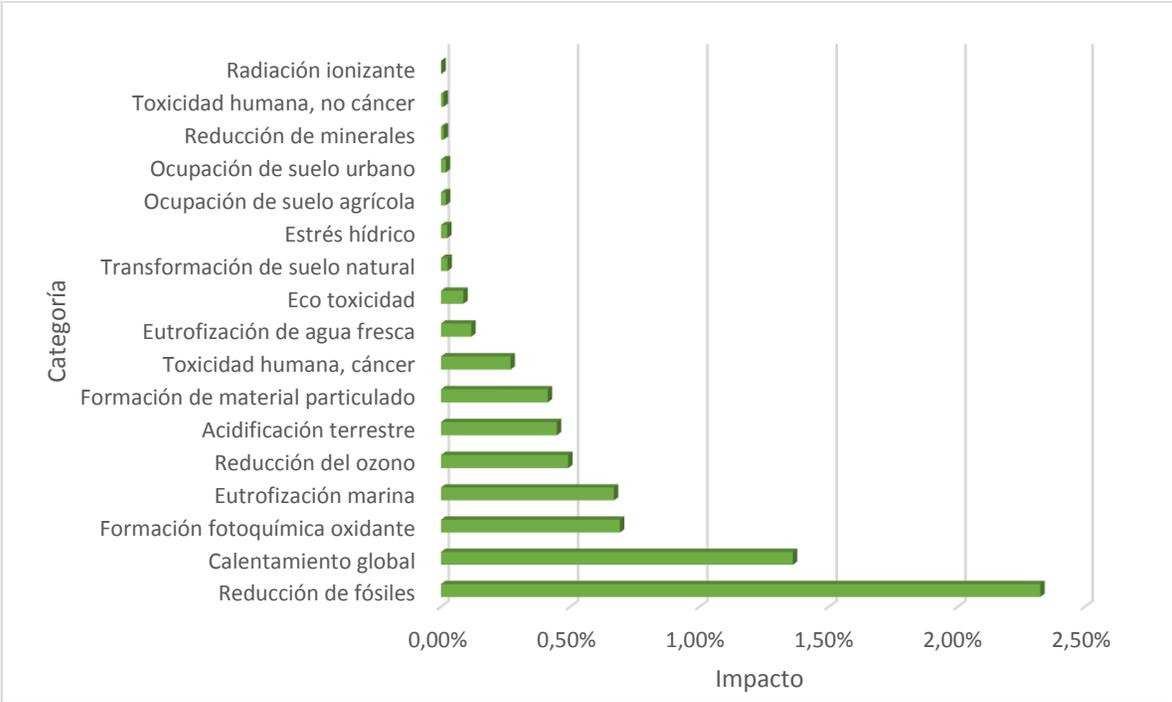
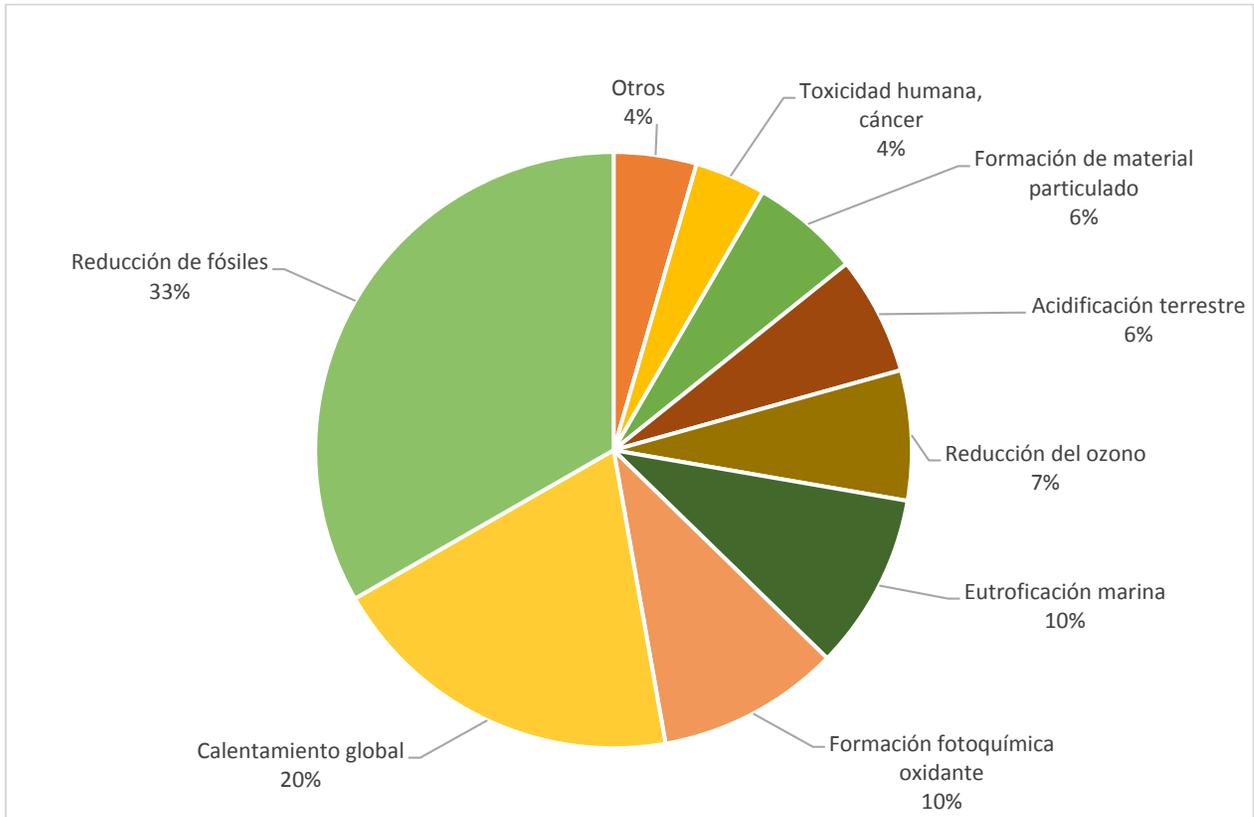


Ilustración 3.5 Impactos normalizados porcentuales por categoría



3.5 Interpretación de resultados

El objetivo de esta etapa del ACV, es determinar qué fases del ciclo de vida, y qué procesos del mismo, tienen mayor impacto ambiental.

La interpretación de resultados deriva en la selección de *hotspots*, que a su vez permiten definir los alcances de las medidas de mejora que se proponen, seleccionando como ámbito de acción aquel componente del ciclo de vida que supone un mayor impacto ambiental, y por consiguiente, se toman medidas que reducirán con mayor probabilidad el impacto general del producto.

De los resultados se obtiene que aproximadamente el 53% del impacto que genera una lechuga hidropónica está entre las categorías de calentamiento global y reducción de fósiles, y el 95,5% del impacto lo explican 8 de las 17 categorías analizadas. Se toma por tanto la decisión de no considerar para la selección de *hotspots* las 9 categorías que en conjunto representan menos del 5% del sistema. Estas son radiación ionizante (0,02%), toxicidad humana, no cáncer (0,15%), reducción de minerales (0,16%), ocupación de suelo urbano (0,27%), ocupación de suelo agrícola (0,27%), estrés hídrico (0,34%), transformación de suelo natural (0,36%), eco toxicidad (1,24%) y eutrofización de agua fresca (1,68%).

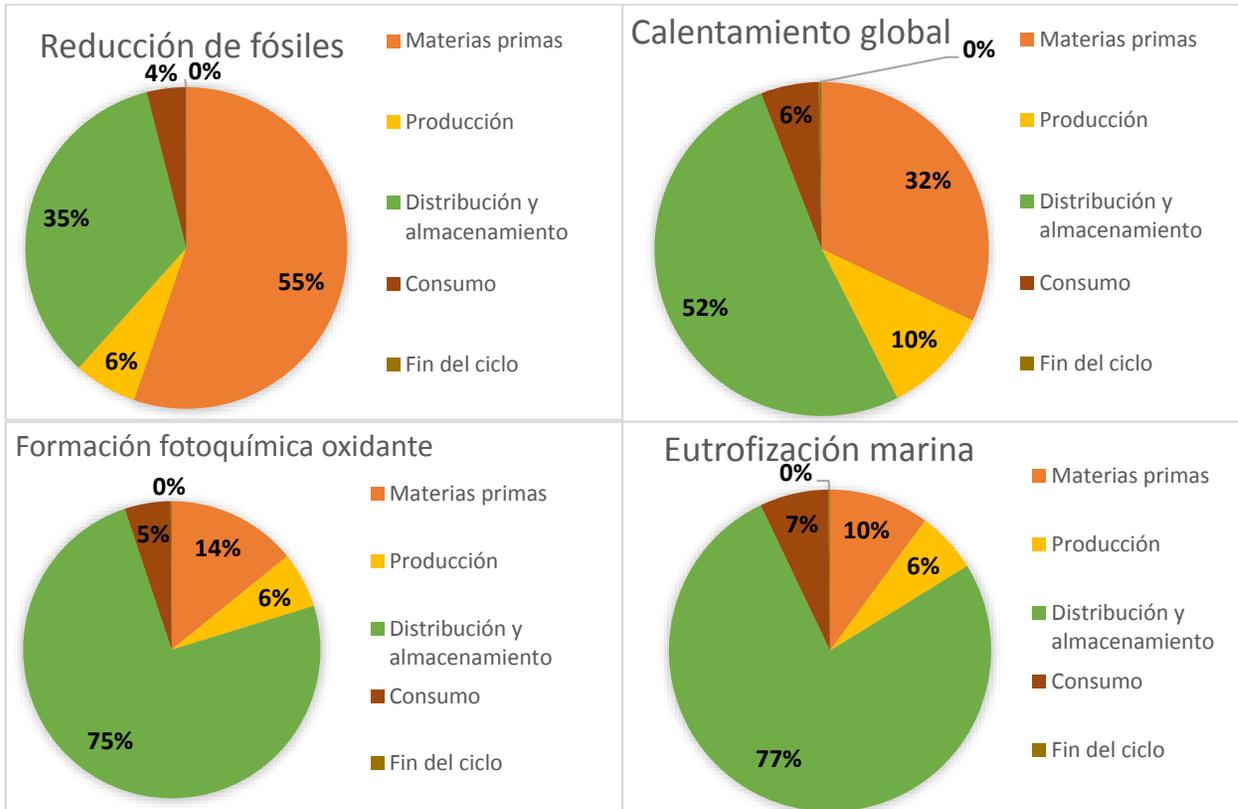
El gran impacto en calentamiento global y reducción de fósiles se explica mejor al realizar un análisis por etapa y componente del ciclo de vida, en el que destacan los impactos asociados al transporte y el uso de electricidad, además del uso de plástico en los procesos.

De las categorías excluidas, llama la atención la eco toxicidad, que se esperaba fuera mayor dado el uso de agroquímicos. El bajo impacto se debe a que las cantidades aplicadas son muy bajas. De la misma forma, se debe notar que el uso de agua, a través de la categoría de estrés hídrico, no representa mayor impacto dentro del ciclo, a pesar de pertenecer al rubro de la agricultura, lo que se debe a la recirculación de agua que realiza la empresa, perdiendo solo el 5% que es lo que consumen las plantas. Por otra parte, resulta natural que no haya mayor impacto en las categorías de ocupación de suelo, considerando que los cultivos son hidropónicos y el área que utiliza una lechuga durante su producción es muy reducida.

Para realizar un análisis de impactos por etapa de ciclo de vida, se eligen las categorías con mayor impacto normalizado: reducción de fósiles, calentamiento global, formación fotoquímica oxidante y eutrofización marina. Se observa que en reducción de fósiles, la etapa de materias primas alcanza un 55,28% del impacto y distribución y almacenamiento 34,4%, sumando casi el 90% entre estas dos etapas. Para las otras 3 categorías, distribución y almacenamiento es siempre mayor que las demás etapas, y en todos los casos, sumando al menos dos tercios del impacto total entre las dos etapas ya mencionadas. Todo esto se puede apreciar en la Ilustración 3.6.

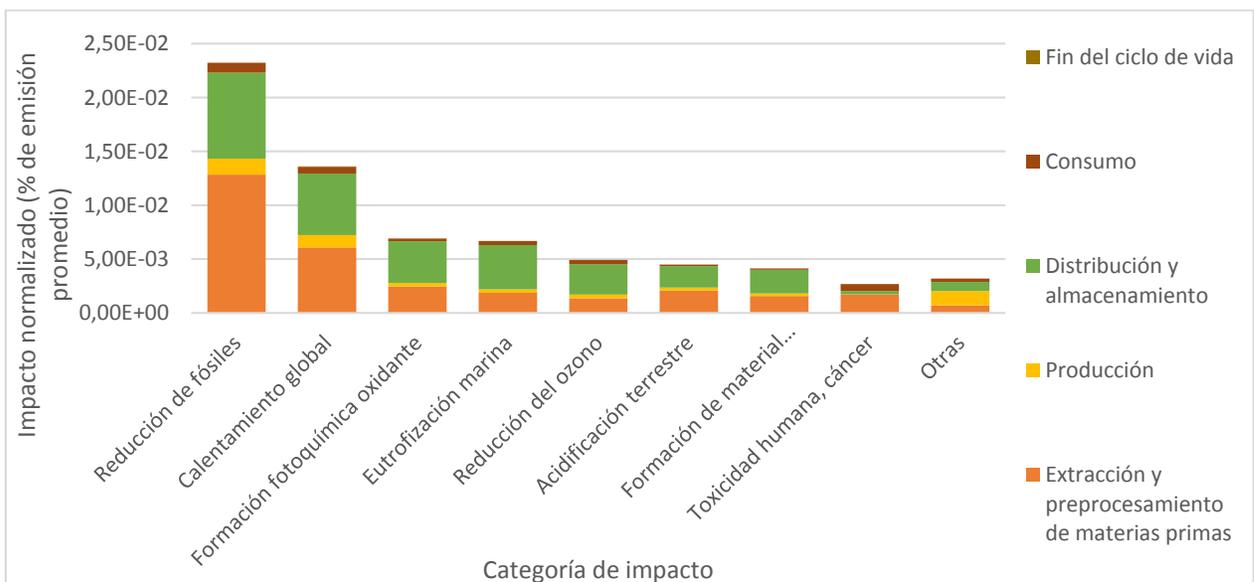
En un análisis de impactos por etapa de ciclo de vida para las categorías más relevantes, que se puede observar en la Ilustración 3.6, el mayor impacto se concentra en las etapas de extracción y materias primas y distribución y almacenamiento, que es lo que ocurre hasta que las materias primas ingresan a la empresa y luego desde que el producto deja Hidropónicos La Cruz hasta que es adquirido por el consumidor. En este caso, se incluye el transporte al centro de distribución, la empresa Punto Azul, la refrigeración en Punto Azul, el transporte al *retail* y la propia electricidad usada en un centro de distribución intermedio y luego el consumo energético que significa la refrigeración en *retail*.

Ilustración 3.6 Porcentaje de impacto por etapa de ciclo de vida para cuatro categorías de impacto



La baja contribución de la etapa de producción no debe confundirse con que el impacto ambiental que se genera no sea accionable por parte de Hidropónicos La Cruz, puesto que se puede trabajar sobre la selección de proveedores y materias primas, mejorar en parte la eficiencia en el transporte, generar conciencia en el *retail* sobre los impactos que genera en el producto y finalmente puede educar al consumidor tanto sobre el consumo como el fin del ciclo, sin dejar de notar que estas últimas dos etapas son aún menos relevantes que la etapa de producción.

Ilustración 3.7 Impacto normalizado por categoría de impacto por etapa del ciclo de vida



Para las categorías que suman el 95,5% del impacto del ciclo, éste es mayor en la etapa de extracción de materias primas o en distribución y almacenamiento. En las categorías no relevantes, o que suman menos del 5% del total de impacto, la eco toxicidad, el estrés hídrico y la ocupación de suelo agrícola son mayores en la etapa de producción, lo que viene dado por la naturaleza agrícola de la operación.

La eco toxicidad se explica en un 99,5% por el uso de agroquímicos, los que son diseñados para eliminar plagas y enfermedades. Las cantidades aplicadas en el escenario actual son bajas, como se explicó anteriormente, lo que permite que esta categoría no sea lo suficientemente relevante como para transformarse en *hotspot*.

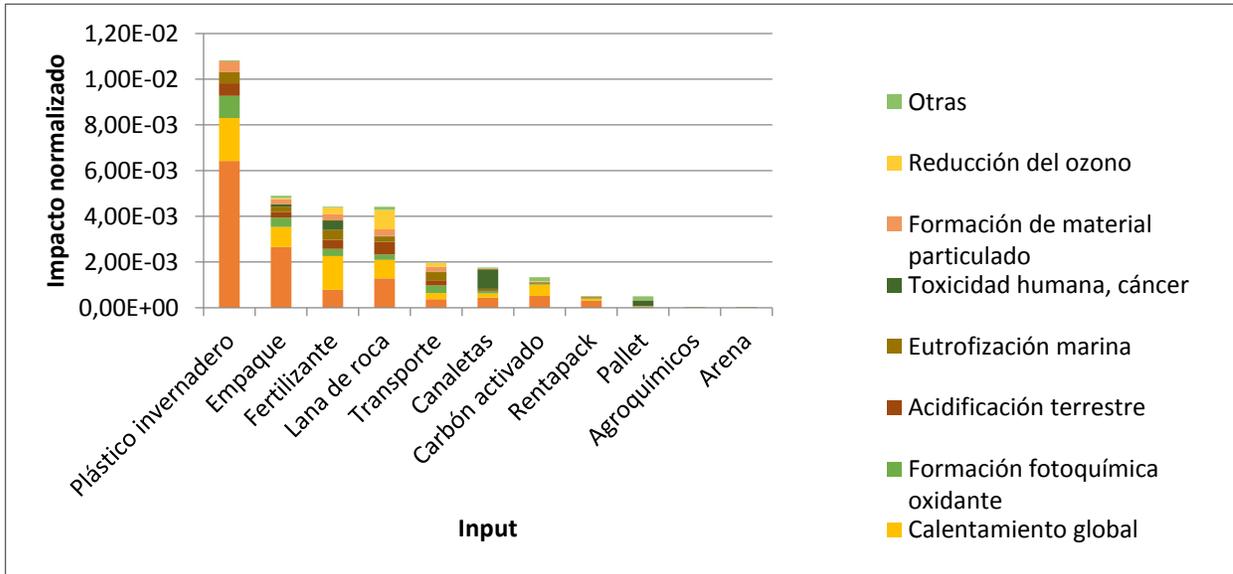
Tanto la ocupación de suelo agrícola como el estrés hídrico, es de esperar que sean elevados en la producción, este último debido al requerimiento de las plantas, pero también se destaca en este punto la recirculación de agua, lo que permite minimizar el uso de la misma.

Para explicar mejor qué es lo que contribuye dentro de cada etapa en los impactos, se analizarán los *hotspots*. Además se incluye gráficamente, para las 8 categorías más importantes, los porcentajes de impacto por *hotspot* en Ilustración 3.13 e Ilustración 3.14.

3.5.1 *Hotspots* Extracción y pre-procesamiento de materias primas:

- Fabricación de lana de roca: tiene sobre 10% del impacto en las categorías de reducción del ozono y acidificación terrestre.
- Fabricación de fertilizantes: Los fertilizantes se utilizan tanto en la etapa de producción de plantines, como en el cultivo hidropónico. El uso es mucho mayor en la etapa hidropónica, y tiene sobre 10% en la categoría de toxicidad humana, cáncer y sobre 5% en las categorías de calentamiento global, formación de material particulado, acidificación terrestre, eutrofización marina y reducción del ozono. El impacto va relacionado con los desechos que se derivan de la producción de fertilizante, muchos de estos descargados a través de los drenajes de agua.
- Fabricación plástico del invernadero: La fabricación del material (polietileno de baja densidad) tiene un 27,6% del impacto la categoría de reducción de fósiles, la más significativa del ciclo de vida y más del 10% en las categorías de calentamiento global, formación fotoquímica oxidante, formación de material particulado y acidificación terrestre también. Un aspecto relevante a considerar es que la vida útil alcanza los 4 años y de no cambiarse el material, las recomendaciones para mejorar la sustentabilidad apuntan a alargar la vida útil.
- Fabricación canaletas de hidroponía (PVC): Es *hotspot* por representar el 31,9% del impacto en toxicidad humana, cáncer. Es necesario notar que esta categoría solo representa el 3,85% del impacto total del ciclo, por lo que finalmente las canaletas de PVC tiene una bajísima contribución al impacto total.
- Fabricación de empaque: Contribuye con un 11,4% de la categoría de reducción de fósiles.

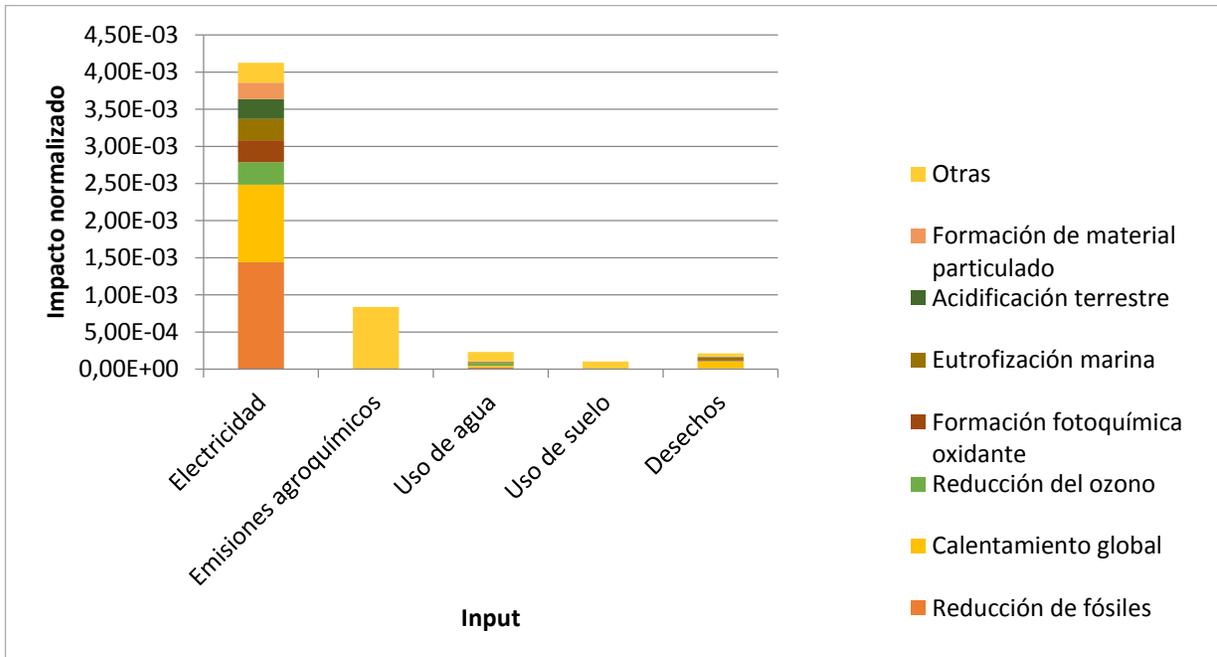
Ilustración 3.8 Impactos normalizados etapa de materias primas por inputs



3.5.2 Hotspots Producción

- Uso de electricidad: El uso de electricidad durante la producción tiene impactos sobre el 5% en 5 de las 9 categorías relevantes: calentamiento global, reducción del ozono, formación de materia particulado, acidificación terrestre y reducción de fósiles, siendo el único *hotspot* de la etapa de producción.

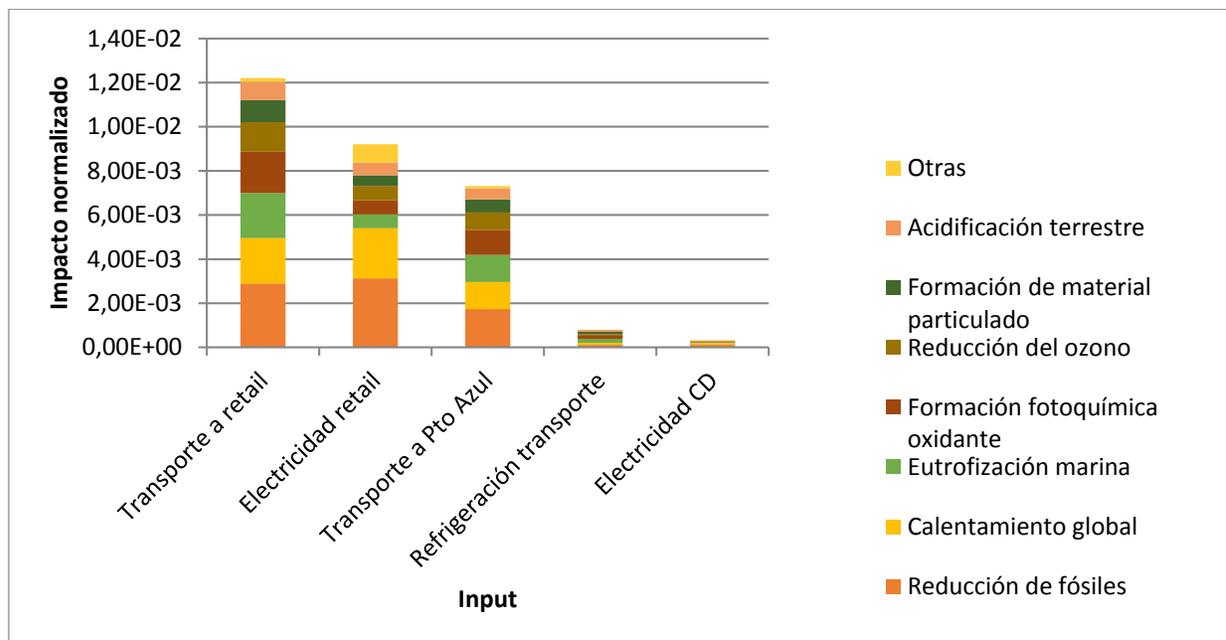
Ilustración 3.9 Impactos normalizados etapa de producción por inputs



3.5.3 Hotspots Distribución y almacenamiento

- Transporte a centro de distribución: tiene aportes relevantes en casi todas las categorías, destacándose un 18% de eutrofización marina, 16% de reducción del ozono y formación fotoquímica oxidante y 14% de formación de material particulado.
- Transporte a *retail*: al igual que el *hotspot* anterior, impacta sobre casi todas las categorías de forma muy relevante, lo que se suma a que la distancia es mayor entre el centro de distribución y *retail* que entre Hidropónicos La Cruz y el centro de distribución, lo que se traduce en que es el proceso con mayor contribución al impacto total del ciclo.
- Electricidad de almacenamiento en *retail*: representa más del 10% del impacto en las categorías de calentamiento global, formación de material particulado, acidificación terrestre y reducción de fósiles. Se explica porque los refrigeradores estándar de los supermercados son abiertos a diferencia de los refrigeradores domésticos, perdiendo mucha energía permanentemente.

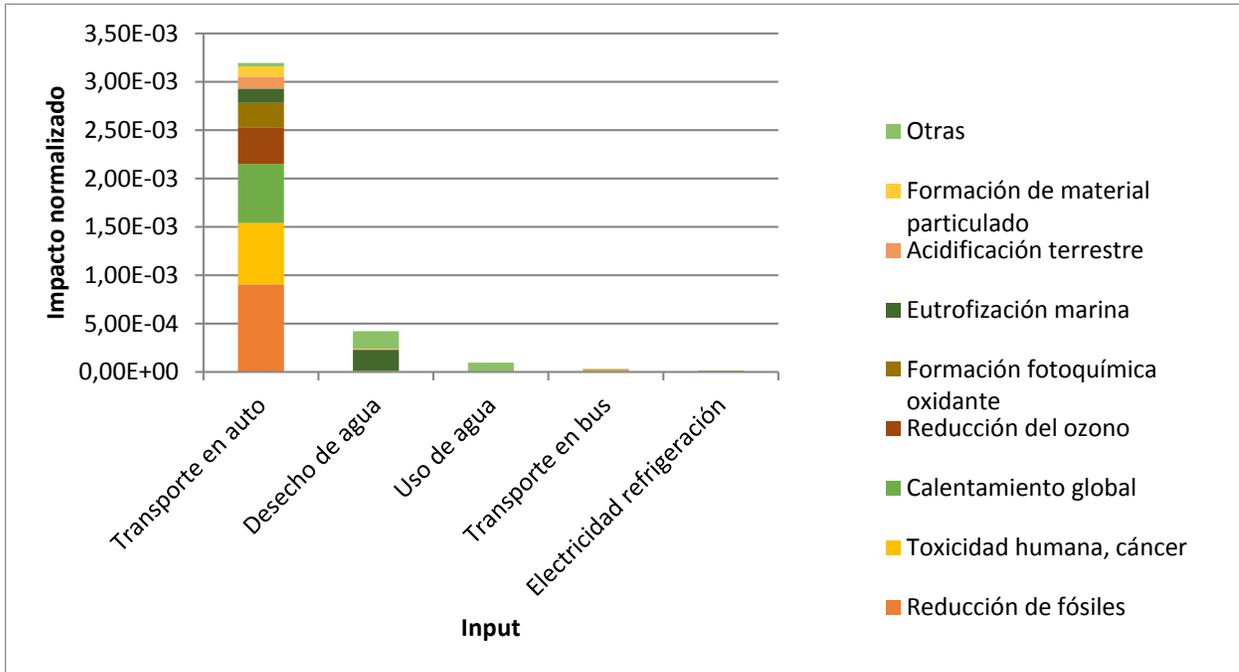
Ilustración 3.10 Impactos normalizados etapa de distribución y almacenamiento por inputs



3.5.4 Hotspot Consumo

- Transporte del consumidor (en auto): tiene un aporte importante en la categoría de toxicidad humana cancerígena (21,5%), lo que se debe al uso del automóvil y las emisiones que esta actividad implica.

Ilustración 3.11 Impactos normalizados etapa de consumo por inputs



La etapa fin del ciclo de vida no tiene ningún *hotspot*, etapa en la que se descarta el empaque y la lana de roca.

Ilustración 3.12 Impactos normalizados etapa de fin del ciclo por inputs

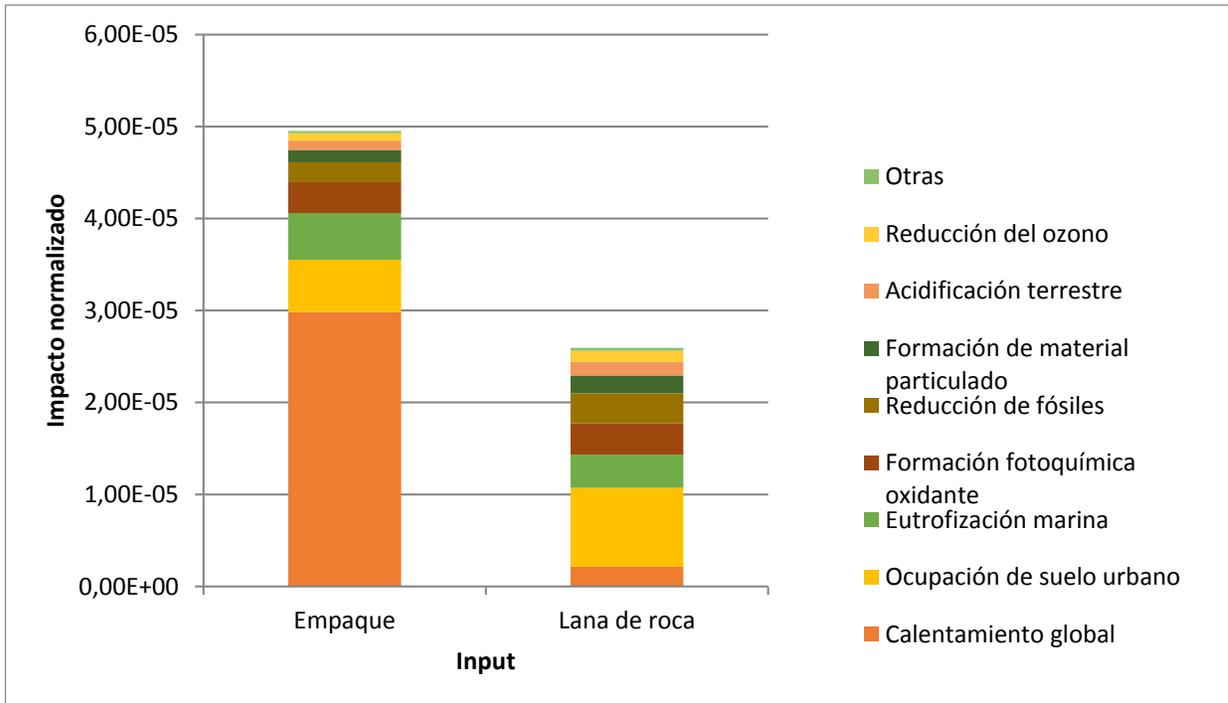


Ilustración 3.13 Impactos por procesos por categoría

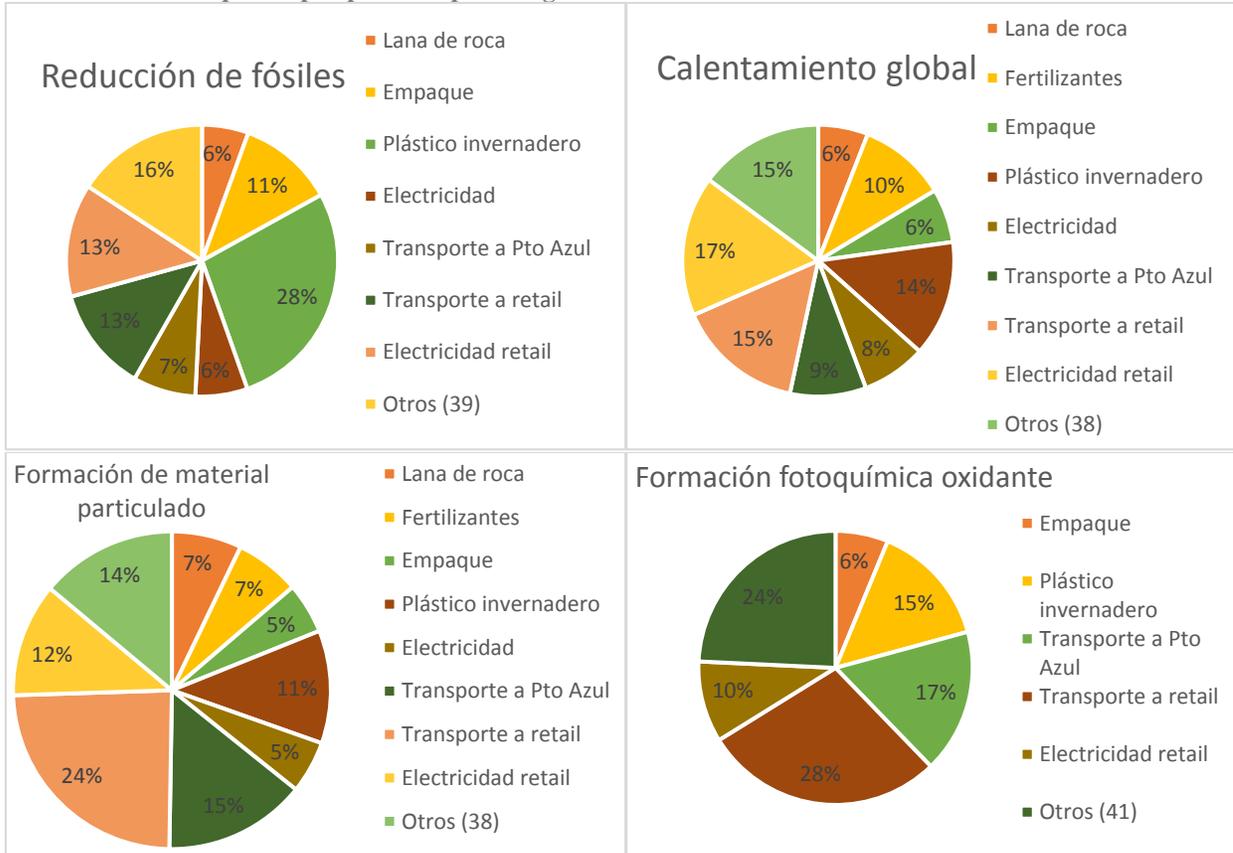
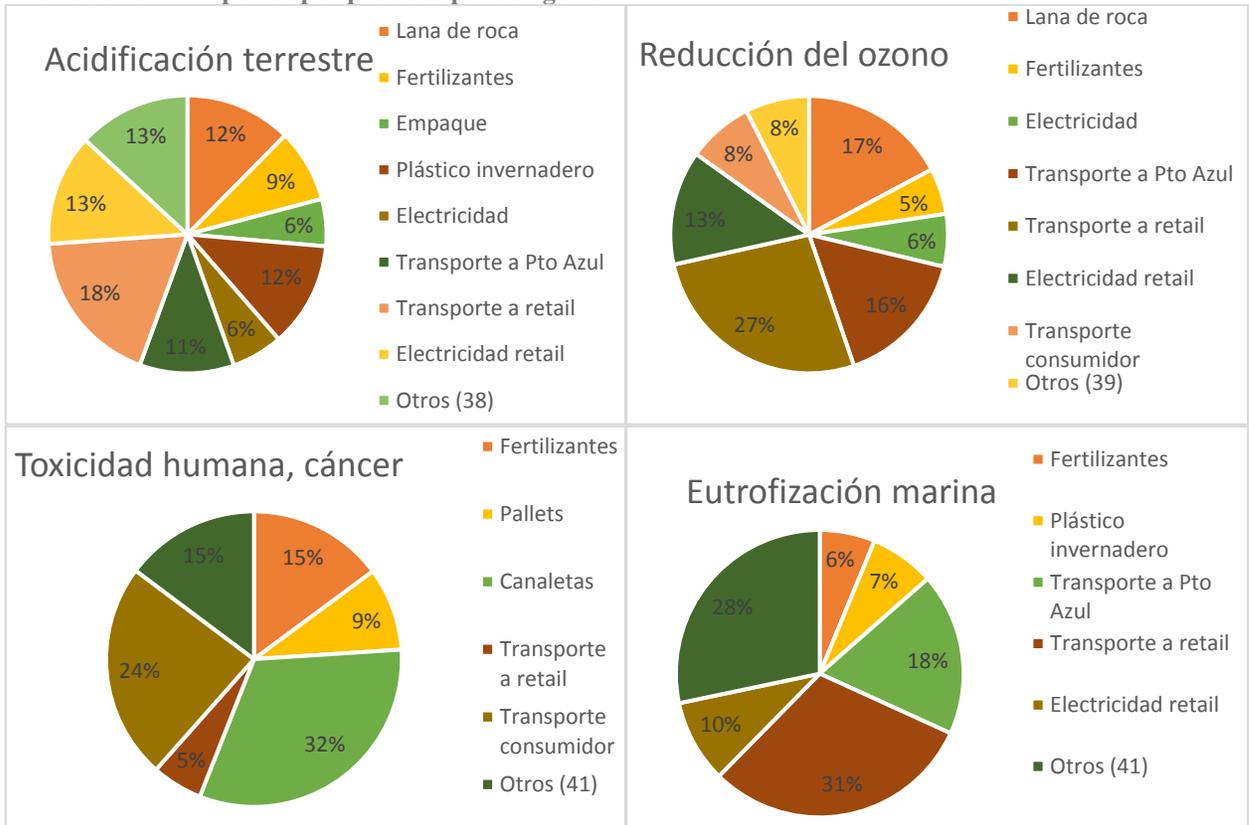


Ilustración 3.14 Impactos por procesos por categoría



4 MEDIDAS PARA REDUCIR IMPACTO AMBIENTAL

En esta sección se proponen medidas que buscan reducir los impactos ambientales de las lechugas hidropónicas de Hidropónicos La Cruz, a través de la modificación de aquellos procesos que supongan *hotspots* según el análisis realizado. Las medidas propuestas responden a que exista una posibilidad real de ser adoptadas por la empresa, y por lo tanto, se busca dentro de las opciones disponibles en el mercado actualmente. Al mismo tiempo, se estudian medidas propuestas por actores relevantes para este trabajo: la misma empresa, Fundación Chile y *Walmart*.

Las medidas propuestas se someten a una iteración del ACV, realizándose un nuevo Análisis de Inventario para cada medida, y una nueva Evaluación de Impactos, la que permite finalmente comparar los impactos generados por la línea base con los generados por las propuestas.

4.1 Escenarios de simulación

4.1.1 Cambio del sustrato utilizado:

Los cambios de sustrato responden a la identificación de la lana de roca como *hotspot* dentro de las materias primas. La selección de alternativas se hizo considerando que el formato del sustrato debe ser compatible con el sistema actual de la empresa, de *Mobile Gutter System*. Los siguientes dos sustratos, *Sure to Grow* y la fibra de coco, cumplen con este requisito, estando diseñados para sistemas NFT de hidroponía a través de canaleta móvil.

- Se modela el cambio de lana de roca por *Sure to Grow*⁶. Se busca con esta sustitución disminuir el impacto en la producción del sustrato, al cambiar el material desde el basalto al tereftalato de polietileno (PET). Otras ventajas que presenta este cambio es la reducción en el uso de combustibles fósiles en el transporte al realizar la importación desde Ohio en vez de Holanda. Al mismo tiempo se busca reducir el impacto del desecho de lana de roca, porque el material del sustrato (PET) es ampliamente reciclado en Chile, siendo posible reciclar tanto por Hidropónicos La Cruz como por los consumidores en los puntos limpios accesibles en supermercados y otros lugares públicos.
- Se modela el cambio de lana de roca por fibra de coco: este es un sustrato natural que se obtiene como subproducto de la producción de cocos. El cambio es con el mismo objetivo que *Sure to Grow* y se obtienen beneficios adicionales similares. Si bien el transporte desde el lugar de producción (Sri Lanka) es mayor en kilómetros, la densidad del sustrato resulta mucho menor que la lana de roca, y por tanto los kilogramos por kilómetro (kgkm), medida utilizada para cuantificar el inventario, son menores.

4.1.2 Cambio de material del plástico del invernadero

Para mejorar el desempeño ambiental, se modela la sustitución del material actual que tiene 4 años de vida útil, por materiales con los que se obtenga una mayor vida útil. Se modela el policarbonato con una vida útil de 10 años y el EFTE con 15 años.

⁶ Sure to Grow es un sustrato de hidroponía inerte, hecho a partir del material tereftalato de polietileno, también conocido como PET.

4.1.3 Cambio de agroquímicos

Si bien la utilización de agroquímicos no representa un *hotspot*, siguiendo el estudio de Manejo Integrado de Cultivo realizado por Fundación Chile para Hidropónicos La Cruz, se modela cambiar aquellos agroquímicos que no posean categoría toxicológica IV, con el objetivo de mejorar la toxicidad de los compuestos aplicados.

4.1.4 Instalación de paneles solares para producción de electricidad

Instalar un 50% de capacidad en energía solar. Esto se puede lograr instalando 27kW según estudio de producción de autoconsumo realizado por *Inelsa Solar*. El gráfico que se obtuvo al instalar un medidor por una semana, para medir el consumo, se encuentra en el Anexo 6. Esto se consigue instalando 90 celdas fotovoltaicas, las que tienen 25 años de vida útil garantizada.

4.1.5 Transporte a centro de distribución

Esta etapa del transporte está a cargo de la empresa Punto Azul, asociada a Hidropónicos La Cruz, y cabe señalar que se utiliza un camión de una empresa relacionada (del *holding*), y un camión arrendado. Los cambios por lo tanto se realizarán sobre el camión de la empresa relacionada.

- Utilización de biodiesel hasta 5%. El biodiesel a pesar de reducir el rendimiento del combustible (para una misma distancia se necesita más combustible), reduce las emisiones en la operación de los vehículos. Se justifica esta medida considerando que el transporte es el proceso que más impacto tiene en el total del ciclo, aunque se espera una baja reducción del impacto, al poder ocuparse hasta en un 5% y sobre la mitad del trayecto (o la mitad de las veces). Este 5% es el máximo recomendado por el ministerio de Energía de Chile que puede ser usado sin necesidad de realizar modificaciones al motor del vehículo [29].
- Implementar medidas de conducción eficiente y eficiencia energética. Con estas medidas se espera reducir en un 10% el consumo de combustible, pero se da la sensibilidad de reducir en un 5, 10, 15 y 20%. El 10% responde a que ya existe gestión de carga dentro de la empresa, los camiones siempre circulan llenos, por lo que ya se tiene camino avanzado en este ámbito. La sensibilidad responde a pre-cuantificar la reducción de impactos en el ciclo de vida que significaría tomar medidas de eficiencia energética.

4.1.6 Otras sugerencias

Otra alternativa que se propone y que no se puede modelar con el software *SimaPro*, es utilizar medidas que mejoran la productividad de los fertilizantes, como la adición de ácido húmico a la solución nutritiva [24]. No es posible modelarlo pues no está estudiado exhaustivamente el efecto que tiene en la adopción de nutrientes por parte de las plantas, ni es posible determinar a priori el aumento en la productividad que se obtendría.

Agregar el número de material reciclable es una medida que apunta a mejorar la conducta del consumidor. Esta es una medida que está fuera de los *hotspots* pero que buscan involucrar al consumidor en la sustentabilidad del producto. Debido a su material (polietileno de baja densidad), las bolsas se pueden reciclar en puntos limpios públicos del país. Al agregar el número del material

se espera que los consumidores aumenten la tasa de reciclaje, mejorando la sustentabilidad del producto.

También como educación hacia el consumidor, se propone difundir los posibles usos que tiene el sustrato lana de roca una vez se ha consumido la lechuga. Éste se puede añadir al suelo de plantas domésticas, aprovechando sus características orientadas a la agricultura, evitando así que su desecho sea en un relleno sanitario.

4.1.7 *Hotspots* no abordados

Un *hotspot* que no se aborda es la producción de canaletas de PVC, ya que es el único material disponible tanto en el mercado nacional como internacional para canaletas de hidroponía. Lo anterior tiene su justificación en la seguridad que representa para los alimentos, su duración (15 años) y lo liviano que es en relación a otros materiales con las mismas características.

La fabricación del empaque no se aborda porque ante situaciones de empaque se toman dos caminos: reducir el tamaño o cambiar el material. En el caso de una lechuga, la empresa ha trabajado en la reducción del empaque y señala no factible reducir más su tamaño. Por otra parte, en diversos estudios de ACV el polietileno de baja densidad prueba ser mejor alternativa para la conservación de alimentos.

La fabricación de fertilizantes no se modela, ya que sin experimentos de prueba, no se puede saber el efecto que tendrá sobre la producción, pudiendo alterar los días que debe pasar la lechuga en el invernadero, por ejemplo. En este recurso la recomendación es minimizar el input, para lo que se debe ir testeando las dosis con eso mente, y evitar el uso de urea que ha probado ser un fertilizante con alto impacto ambiental. [30]

Tampoco se aborda el transporte entre el centro de distribución y *retail*, el uso de electricidad en *retail* y el transporte *retail*-lugar de consumo, ya que están fuera del campo de acción de la empresa Hidropónicos La Cruz.

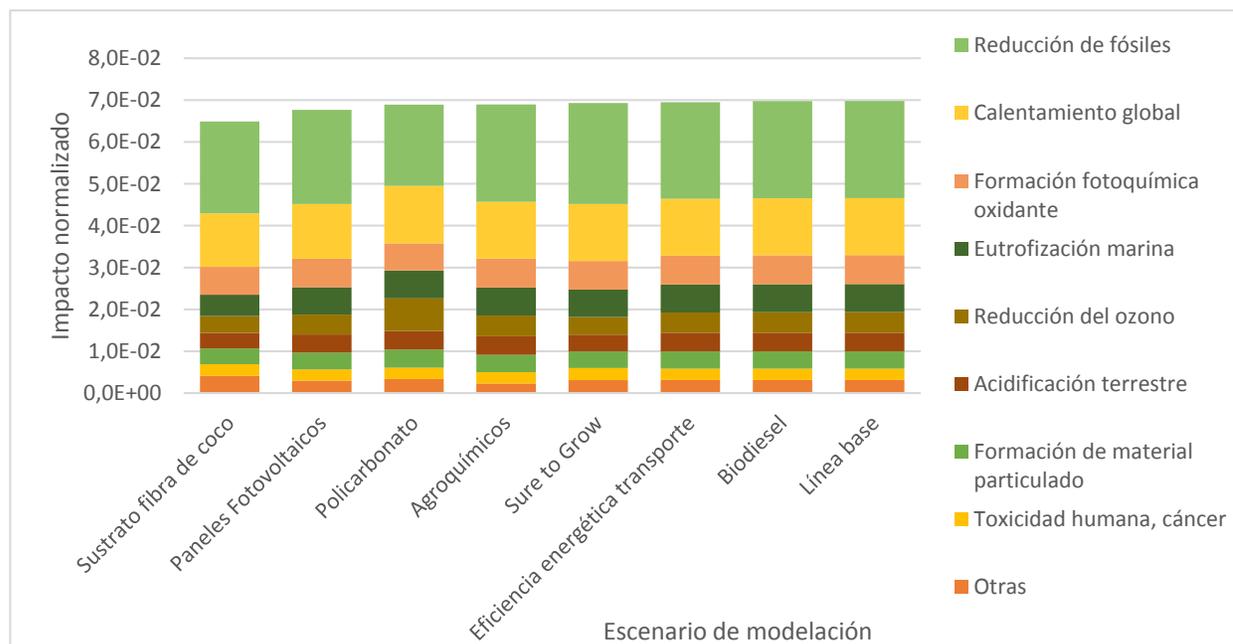
4.2 ACV de las medidas propuestas

Se modelan los escenarios anteriores, es decir, se construye un inventario teórico para cada escenario de mejora, y se vuelve a utilizar el software *SimaPro* para el cálculo de impactos, tanto caracterizados como normalizados.

4.2.1 Resultados

En la Ilustración 4.1 se pueden apreciar gráficamente los resultados obtenidos al modelar las medidas de mejora en el software *SimaPro*. La columna de la derecha representa la línea base y hacia la izquierda se encuentran los escenarios, concluyendo que el escenario que logra mejor reducción del impacto es el de reemplazo de lana de roca por fibra de coco, luego la instalación de paneles fotovoltaicos, y que los siguientes escenarios, apenas logran reducir el impacto del total del ciclo.

Ilustración 4.1 Comparación de impactos normalizados por escenario de modelación por categoría



Se excluye del gráfico el resultado del reemplazo de plástico del invernadero por ETFE por tener más de 10 veces mayor impacto que la línea base, es decir, no supone una mejora en términos de impactos ambientales.

Los resultados numéricos se encuentran en el Anexo 5: Resultados modelación de alternativas.

La Tabla 4-1 resume los resultados en términos de porcentaje de reducción de impacto para cada escenario:

Tabla 4-1 Reducción porcentual de impacto por escenario de modelación

Escenario	Reducción porcentual
Reemplazo de sustrato por fibra de coco	7,03%
Instalación de paneles fotovoltaicos	3,05%
Cambio de polietileno por policarbonato en la cubierta	1,24%
Cambios en el mix de agroquímicos	1,19%
Reemplazo de sustrato por <i>Sure to Grow</i>	0,7%
Utilización de medidas de eficiencia energética en el transporte	0,46%
Utilización de 5% de biodiesel en el transporte	0,08%

La mejor medida encontrada es la sustitución de lana de roca por fibra de coco o *coconut coir*, reduciendo un 7,03% el impacto total del ciclo, seguidos por los paneles fotovoltaicos que reducen el impacto del ciclo en un 3,05%. En tercer lugar se encuentra el cambio del material de cubierta del invernadero por policarbonato, que impacta un 1,24%. Cabe destacar que este cambio debería ser realizado cuando acabe la vida útil del plástico en uso. La última medida de las estudiadas que tiene un aporte sobre el 1% en la reducción de impacto ambiental es el cambio del mix de agroquímicos por uno con mejor categoría toxicológica, que mejora el ciclo en un 1,19%.

La utilización de biodiesel apenas mejora un 0,08% el desempeño ambiental de las lechugas, lo que se condice con lo pronosticado, ya que a pesar de generar menores emisiones, genera emisiones de todas formas y solo se puede utilizar hasta un 5% sin realizar cambios en los vehículos. Otra razón es que la empresa tiene poder de decisión en uno de los dos camiones que transportan las lechugas entre Hidropónicos La Cruz y el centro de distribución, o sea tiene incidencia sobre el 5,5% del impacto total del ciclo y reemplazando solo un 5% del combustible utilizado por uno con menores emisiones e impactos en utilización de combustibles fósiles.

La eficiencia energética tiene las mismas restricciones que el biodiesel en cuanto a los camiones, y lo difícil de la modelación es que aun si se hubiese realizado una buena auditoría de la eficiencia actual de los camiones utilizados por Hidropónicos La Cruz, siempre se habla de potencial de ahorro en combustible. Es por esto que se simuló un ahorro en distintos escenarios entre 5 y 20%, con resultados de reducción entre 0,12 y 0,46%.

Finalmente, el reemplazo de lana de roca por *Sure to Grow* mejora el ciclo en un 0,7%, que es 10 veces menor que lo que mejorare el utilizar fibra de coco.

4.2.2 Costos de las alternativas

Se analizan solo los costos de las dos mejores alternativas, puesto que las siguientes están muy cercanas a cero, y sin tener una validación empírica de los modelos de inventario se considera irresponsable recomendar como medidas a tomar por la empresa, a pesar de que pudieran ser convenientes en términos de costos.

Este análisis se realiza para que las propuestas, que apuntan a la sustentabilidad ambiental, no perjudiquen la sustentabilidad económica de la empresa. Por otra parte, si las medidas estudiadas hubiesen resultado muy convenientes en términos ambientales, se habría hecho un análisis que permitiera priorizar acciones. Al encontrarse los mayores impactos fuera de la etapa de producción, se recomienda realizar un análisis de costo eficiencia en aquellas medidas que no fueron estudiadas

por estar fuera del alcance de Hidropónicos La Cruz, como mejorar la eficiencia en la refrigeración en *retail*, de realizarse tal estudio.

4.2.2.1 Fibra de coco

El proveedor de sustrato de Hidropónicos La Cruz, *Hortiplan*, debido al volumen requerido por HLC, ofrece el mismo precio por lana de roca que por fibra de coco, ambas cumpliendo con los requerimientos de tamaño del sistema MGS de canaleta móvil.

Existe una diferencia de costo en el envío, pues la fibra de coco es más liviana que la lana de roca. Con el cambio actual, el precio final para la empresa de un cubo de lana de roca es de CLP \$28 por unidad, y el precio de un cubo de fibra de coco es de CLP \$23. De esta forma, se reduce en CLP \$5 por unidad de sustrato con esta alternativa.

4.2.2.2 Instalación de paneles solares

Los paneles solares tienen un costo de inversión, y un reducido costo de operación representado por la mantención de los paneles. De esta forma, se descuentan los costos del uso de electricidad de la red. Cabe destacar que al año 2014 la producción de Hidropónicos La Cruz, desde el mes de junio, es decir, después del levantamiento de información de consumo, casi duplicó su producción, y por lo tanto su consumo eléctrico. El diagnóstico energético, por parte de Inelsa Chile, consultora en energía solar, se realizó con la ampliación en funcionamiento, y para poder realizar un estudio de costos para el inventario de 2012, se adaptaron los valores de inversión, ahorro, etc.

La inversión es de 1,75 dólares/Wp, esto es por Watt instalado de capacidad. Al ser 27.000 Wp la capacidad a instalar para una realidad de autoconsumo, la inversión debe ser de US\$ 47.250, y existe un costo de mantención de US\$100 anuales. Se utiliza tipo de cambio 570 CLP/USD y tasa de descuento informada por la empresa, correspondiente a 8,7% anual y a la tasa que le entregan financiamiento las entidades bancarias.

Para estudiar la alternativa, se busca el VAUE (Valor Anual Uniforme Equivalente), considerando el ahorro en consumo de la red, con un precio de 99,4CLP/kWh con un IPC de 4% anual, cercano al promedio de los últimos meses del año 2014. El horizonte de evaluación es de 25 años y corresponde a la vida útil garantizada de la inversión. El escenario de subsidio es postular al Fondo de Inversión Agraria, pero la convocatoria para instalación de paneles fotovoltaicos del año 2014 cerró el día 30 de julio.

El cálculo del VAUE considera en primer lugar el cálculo del VAN, el que se obtiene con la construcción de un flujo de caja a 25 años, que se puede encontrar en Anexo 6, para cada escenario. Se utilizan las siguientes fórmulas:

Ecuación 4.1 Fórmula del VAN

$$VAN = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FNC_j}{(1+r)^j}$$

Ecuación 4.2 Fórmula del VAUE

$$VAUE = VAN \frac{(1+r)^n * r}{(1+r)^n - 1}$$

I_0 : Inversión inicial, n : 25, número de periodos, r : tasa de descuento

Tabla 4-2 VAN y VAUE

	Proyecto puro	Proyecto financiado	Proyecto con subsidio financiado	Sin proyecto
VAN (CLP)	-\$23.888.775	-\$21.810.518	-\$13.269.887	-\$43.238.742
VAUE (CLP)	-\$2.373.576	-\$2.167.081	-\$1.318.489	-\$4.296.178

Todos los escenarios con proyecto resultan más atractivos que no realizar el proyecto. Debido al monto de la inversión, no es posible para la empresa realizar el proyecto puro, pero sí el financiado.

4.3 Recomendación de medidas

En primera instancia el Análisis de Ciclo de Vida basal indica que los mayores impactos no corresponden a la producción dentro de Hidropónicos La Cruz. En segundo lugar, al evaluar las alternativas, solo dos de ellas logran reducir el impacto normalizado total del ciclo en porcentajes que superan el 2% del impacto. La recomendación entonces es a tomar estas dos alternativas, que son el cambio de sustrato por fibra de coco y la instalación de paneles fotovoltaicos para autoconsumo de energía, considerando que representan la mejor reducción de impacto ambiental, y que al mismo tiempo, son convenientes si se lleva a costos para la empresa.

Se debe tener cuidado al realizar el cambio de sustrato, puesto que puede tener algún efecto en la producción, por ejemplo, que las lechugas tomen más tiempo en alcanzar el tamaño deseado, por lo que se recomienda adoptar gradualmente la medida e ir evaluando los resultados. Actualmente la empresa se encuentra reuniendo los antecedentes necesarios para empezar a sustituir parte de la lana de roca por fibra de coco.

La recomendación de instalar paneles fotovoltaicos se sustenta con el análisis de costos con el VAUE y se recomienda realizar una propuesta para la próxima convocatoria de subsidios de Innovación Agraria.

Una recomendación más general apunta a reducir los insumos o mejorar la productividad de la empresa, por ejemplo utilizar menos fertilizante y agroquímicos por lechuga producida, evaluar la factibilidad de reutilizar el sustrato, aumentar la vida útil de la infraestructura, entre otras. También es importante involucrar a los trabajadores de la empresa, lo que se facilita a tener un número reducido de los mismos. Si los trabajadores no tienen conciencia de la importancia de reducir el uso de insumos, podrían ser más descuidados de lo deseable con el uso de bolsas plásticas, de sustratos, etc.

Como gran parte del impacto está fuera del control directo de la empresa, también se recomienda que Hidropónicos La Cruz trate de involucrar tanto a sus proveedores como al *retail* y los consumidores. El *retail* cobra mucha relevancia pues es tanto en el transporte que realizan ellos como en la refrigeración de las lechugas en la sala de ventas donde se concentra el impacto del ciclo, y por tanto lograr mejorar estos procesos es fundamental para mejorar la sustentabilidad de este producto y de otros que compartan inventarios en la etapa de distribución y almacenamiento, esto es, distribución a nivel nacional y refrigeración en la sala de ventas. Involucrar a los consumidores pasa por la comunicación de los atributos de la lechuga y la educación sobre un consumo responsable, donde se evite la pérdida de alimento y se refrigere y lave adecuadamente.

5 CONCLUSIONES

Las lechugas de Hidropónicos La Cruz, al ser evaluadas con la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida, presentan mayores impactos en etapas que son externas a la empresa, destacándose que en la etapa de producción el único *hotspot* es el uso de electricidad, situándose en una posición mucho mejor ambientalmente hablando que las lechugas de cultivo tradicional, que lideran el mercado en Chile, que tradicionalmente utilizan más agua (no recirculan), mayor superficie, transformándola (las lechugas no se mueven), y mayores emisiones al suelo tanto de fertilizantes como de agroquímicos, ya que aun utilizando fertirriego, en hidroponía todas las emisiones que irían al suelo se quedan en el agua, que en lugar de descartarse, se filtra.

De lo anterior, se pueden concluir dos formas de reducir el impacto. La primera está en elegir de manera informada tanto a sus proveedores como sus materias primas o insumos. La segunda es, tal como se observó que ocurría, trabajar para mejorar la productividad. Si en la misma superficie de invernadero en un mismo periodo de tiempo, se cosecha mayor número de lechugas, el impacto ambiental del plástico de la cubierta, por cada lechuga, disminuirá, ya que aumentar la producción no conlleva a que se reduzca la vida útil de ningún modo. Lograr eficiencias en todos los insumos al mismo tiempo, o en el mayor número de estos, significará mejorar el desempeño ambiental, al mismo tiempo que aumenta el margen de las lechugas.

Realizar un seguimiento de las medidas que se toman es fundamental, porque tal como ocurre con la selección de medidas en este trabajo, es fácil creer que un material funcionará mejor que otro porque se está considerando solamente un tipo de impacto, pero se pierde la perspectiva de ciclo de vida, y luego se reduce el impacto en alguna parte del ciclo para aumentarlo en otro. Es deseable entonces, realizar un ACV para los cambios que la empresa experimente, ya sea en sus procesos, eficiencia o uso de insumos.

En el sentido anterior, el desarrollo de herramientas *Open Source* para hacer análisis de inventario es fundamental. El software *SimaPro* utilizado en este trabajo tiene una licencia con un costo desde USD \$2.400 anuales y que no se justifica para los pequeños cambios en el inventario que se experimentan con el paso del tiempo. Al mismo tiempo, se debe procurar que estas herramientas apunten a una alta usabilidad, facilitando que aquellas empresas que busquen mejorar la sustentabilidad ambiental de sus productos, puedan tomar decisiones que puedan justificar cuantitativamente, ya que actualmente el uso de *SimaPro* u *Open LCA* (herramienta *Open Source*) están diseñadas para el uso de analistas experimentados. Cabe destacar que una siguiente etapa del PDP incluye la instalación y capacitación de trabajadores de las empresas participantes en el programa, de *Open LCA*.

Otro aspecto a destacar como conclusión, es que las predicciones que se pueden realizar sobre mejoras ambientales que suponen las alternativas y que sirven como apoyo a la toma de decisiones, son una orientación, pero no superan en términos de confiabilidad a los resultados que se pueden obtener con una evaluación *ex post* de las decisiones que se toman, porque no se debe olvidar que el Análisis de Ciclo de Vida tienen un espíritu iterativo, que apunta a la mejora continua, en particular cuando el desarrollo de tecnologías y conocimiento puede ser explosivo entre un periodo de evaluación y otro.

En términos de impactos ambientales, que la distribución y el almacenamiento sean los procesos con mayor impacto, superando el 50% del impacto total del ciclo, debe invitar a los actores involucrados a tomar acción. Este proyecto se enmarca en un Programa de Desarrollo de

Proveedores, que se alinea con la recomendación anterior de seleccionar inteligentemente a los proveedores, mucho mejor si las empresas pueden generar conocimiento en conjunto para mejorar el desempeño ambiental como es el caso, pero el *retail* no debería quedarse en eso, debe apuntar a medir sus impactos, generar inventarios que reflejen fielmente la realidad chilena, generando una línea base propia, para luego pasar a trabajar en la eficiencia; eficiencia en la distribución con gestión de carga y todas las modificaciones que supongan mejoras ambientales, pero también a realizar mejores pronósticos de demanda, a reducir cada vez más el tiempo que los productos que deben refrigerarse pasan en exhibición y además debe involucrarse con informar al consumidor, al ser el contacto más directo que existe con este.

Existe una relación importante entre gestión de costos monetarios con gestión ambiental, y en un largo plazo un escenario ideal logrará traspasar todos los costos al impacto ambiental, afectando las preferencias de los consumidores. La ley de responsabilidad extendida del productor avanza en ese sentido, lo que hace recordar la introducción del trabajo, en la que se exploran las dimensiones que tiene la sustentabilidad: consumidor, empresas y políticas públicas, y los ámbitos: ambiental, económico y social. Un escenario ideal logra desarrollar al máximo la sustentabilidad en todas sus dimensiones, con empresas sustentables, consumidores que toman decisiones de compra sustentables y políticas públicas que exigen esta sustentabilidad, al mismo tiempo que la sustentabilidad en un ámbito es positivamente dependiente la sustentabilidad en los otros dos, donde se vuelve imposible que una empresa sea sustentable económicamente si daña a la sociedad o al medio ambiente, ya sea porque las normas (políticas públicas) no lo permiten o lo castigan, o los consumidores dejan de hacer rentable el negocio al no elegir esos productos o servicios.

6 GLOSARIO

PDP: Programa de Desarrollo de Proveedores. Programa de CORFO que financia el 50% de un plan dirigido a proveedores de grandes empresas que busque el desarrollo de estos.

MGS: *Mobile Gutter System*. Sistema de canaletas móviles utilizado por la empresa para la plantación hidropónica.

NFT: *Nutrient Film Technique*. Técnica de hidroponía en la que los nutrientes se entregan a las plantas a través del agua.

HLC: Hidropónicos La Cruz

ACV: Análisis de Ciclo de Vida

LDPE: Polietileno de baja densidad (*Low Density Poli Ethilene*)

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Wal-Mart Stores, Inc., "Walmart Corporate - Environmental Sustainability," 2013. [Online]. Available: <http://corporate.walmart.com/global-responsibility/environmental-sustainability>. [Accessed 5 Diciembre 2013].
- [2] Walmart Chile, «Sustentabilidad. Productos. Walmart Chile,» 2013. [En línea]. Available: http://www.walmartchile.cl/wps/wcm/connect/dys/DyS/responsabilidad_corporativa/sustentabilidad/productos/. [Último acceso: 7 Diciembre 2013].
- [3] OECD, «The environmental policy context,» de *Household Behaviour: Overview from the 2011 Survey*, OECD Publishing, 2013, pp. 27-52.
- [4] MIT Sloan Management Review and The Boston Consulting Group, «Sustainability Nears a Tipping Point,» MIT Sloan Management Review, Massachusetts, 2012.
- [5] Instituto Nacional de Estadísticas: Subdirección de Operaciones, Subdepartamento de Estadísticas Agropecuarias, Departamento de Comunicaciones e Imagen Corporativa, «Agropecuarias, Informe anual 2012,» Santiago, 2012.
- [6] Fundación para la Innovación Agraria, «Resultados y Lecciones en Diagnóstico y prevención de enfermedades en la lechuga,» 2010.
- [7] Hortiplan, «Hotiplan- What is MGS?,» Netlash, [En línea]. Available: <http://www.hortiplan.com/site/index.php?menu=149>. [Último acceso: 11 Septiembre 2014].
- [8] RIVM; CML; PRé Consultants; Radboud Universiteit Nijmegen, «Methodology - ReCiPe,» [En línea]. Available: <http://www.lcia-recipe.net/project-definition>. [Último acceso: 17 Julio 2014].
- [9] International Organization for Normalization, "ISO 14.040-2006 Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Forward," ISO, Geneva, 2006.
- [10] GISMA, «Inventario de Emisiones GEI - Ciclo de Vida de un Producto,» 13 Junio 2014. [En línea]. Available: <http://huelladecarbono.minenergia.cl/ciclo-vida-producto>.
- [11] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, «NTC-ISO 14.040,» INCOTEC, Bogotá, 2007.
- [12] Edge Environment, «What are Ecopoints?,» [En línea]. Available: <http://edgeenvironment.com.au/docs/Australian%20Ecopoints.pdf>. [Último acceso: 10 October 2013].
- [13] PRé Consultants, «Software SimaPro,» PRé Consultants.
- [14] T. Nemecek y G. (. Gaillard, «Proceedings of the 6th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector – Towards a sustainable management of the Food chain. November 12–14, 2008, Zurich, Switzerland,» de *Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART*, 2009.
- [15] LCA Food Conference 2014, «LCA Food Conference 2014,» [En línea]. Available: <http://lcafood2014.org/>. [Último acceso: 04 April 2014].
- [16] A. Tukker, G. Huppes, J. Guinée, R. Heijungs, A. de Koning, L. van Oers, S. Suh, T. Geerken, M. van Holderbeke, B. Jansen y P. Nielsen, «Environmental Impact of Products,» 2006.
- [17] Wageningen UR, «Euphoros - Wageningen UR,» [En línea]. Available: <http://www.wageningenur.nl/en/Research-Results/Projects-and-programmes/Euphoros-1.htm>. [Último acceso: 10 March 2014].

- [18] A. Pardossi, G. Carmassi, C. Diara, L. Incrocci, R. Maggini y D. Massa, «Fertigation and Substrate Management in Closed Soiless Culture,» Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, Università di Pisa, Pisa, 2011.
- [19] J. I. Montero, A. Antón, M. Torrellas, M. Ruijs y P. Vermeulen, «Environmental and economic profile of present greenhouse production system in Europe,» 2011.
- [20] M. L. Tapia y J. M. Caro, «Production of lettuce seedlings (*Lactuca sativa*) in granular rockwool and expanded perlite for use in hydroponics,» de *Cien. Inv. Agr.*, 2009, pp. 401-410.
- [21] J. I. Montero, M. Torrellas, A. Antón y M. Ruijs, «Report on economic & environmental profile of new technology greenhouses at the three scenarios,» 2012.
- [22] Netafim, «Greenhouse structures - Netafim,» mantis, [En línea]. Available: http://www.netafim.com/Greenhouse_Structures/glass_greenhouse. [Último acceso: 2014 Septiembre 15].
- [23] Invernaderos Ferrer, «Invernaderos Ferrer - Multitunnel Greenhouse,» Indalweb, [En línea]. Available: http://www.invernaderosferrer.com/en/invernaderos_multitunnel.aspx. [Último acceso: 2014 Septiembre 15].
- [24] N. Ortuño, J. Velasco y G. Aguirre, «Humus líquido y microorganismos para favorecer la producción de lechuga (*Lactuca sativa* var. Crespa) en hidroponía,» Cochabamba, 2012.
- [25] Arizona State University; University of Arkansas, «Glosary | The Sustainability Consortium,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.sustainabilityconsortium.org/glossary/#s>. [Último acceso: 23 04 2014].
- [26] The Sustainability Consortium, «Category Sustainability Profile Category: Leafy Vegetables (Lettuce),» 2013.
- [27] M. Romero-Gámez, E. Audsley y E. M. Suárez-Rey, «Life Cycle Assessment of cultivating lettuce and escarole in Spain,» *Journal of Cleaner Production*, 2013.
- [28] L. Milà i Canals, "LCA Methodology and Modelling Considerations for Vegetable Production and Consumption," Centre for Environmental Strategy (CES), University of Surrey, UK, Guildford (Surrey), 2007.
- [29] Comisión Nacional de Energía, «Biodiesel,» [En línea]. Available: <http://www.cne.cl/energias/biocombustibles/tipos-de-energia/335-biodiesel>. [Último acceso: 16 Mayo 2014].
- [30] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, «Ahorro, Eficiencia Energética y Fertilización Nitrogenada,» Madrid, 2007.
- [31] Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, Tablas de distancias 4ta edición, Valparaíso, 2008.
- [32] T. Vermeulen, A. M. Van der Linden, E. A. Van Os, A. A. Cornelese y D. J. Ludeking, «Emissions of plant protection products to surface water from soiless greenhouse cropping systems,» Wageningen.
- [33] Oficina de Estudios y Políticas Agrícolas (ODEPA), «Hortalizas Frescas | ODEPA,» ODEPA, [En línea]. Available: <http://www.odepa.cl/rubro/hortalizas-frescas/>. [Último acceso: 14 Febrero 2014].
- [34] M. Corson y H. van der Werf, «Proceedings of the 8th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2012),» de *INRA*, Rennes, 2012.
- [35] UNEP, Towards a Life Cycle Sustainability Assessment, 2011.
- [36] Bioils, «Bioils,» [En línea]. Available: <http://www.bioils.cl/en/home.html>. [Último acceso: 26 05 2014].

- [37] S. Saffarian, «A LCA Study of Activated Carbon Adsorption and Incineration in Air Pollution Control,» University of Boras, Boras, 2009.
- [38] USEtox (r), «Frequently Asked Questions - How to use USEtox characterization factors,» DigitalConstruct, 2014. [En línea]. Available: <http://www.usetox.org/faq-page/23-0#t23n78>. [Último acceso: 11 Agosto 2014].
- [39] eurstat, «Glossary:Kilograms of oil equivalent (kgoe) - Statistics Explained,» 3 Julio 2013. [En línea]. Available: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Glossary:Kilograms_of_oil_equivalent_\(kgoe\)](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Glossary:Kilograms_of_oil_equivalent_(kgoe)). [Último acceso: 11 Agosto 2014].

9 ANEXOS

9.1 Anexo 1: Antecedentes

Tabla 9-1 Año y país de conferencias LCA *Food* [Elaboración propia]

Nº	Año	País
I	1996	Bélgica
II	1998	Bélgica
III	2001	Suecia
IV	2003	Dinamarca
V	2007	Suecia
VI	2008	Suiza
VII	2010	Italia
VIII	2012	Francia
IX	2014 ⁷	Estados Unidos

9.2 Anexo 2: Inventarios

9.2.1 Inventario línea base

Tabla 9-2 Inventario línea base

	Flujo	Cantidad	Unidad	Fuente	Datos
Siembra 2.400.000 semillas					
Inputs	Semillas	2.400.000	u	H. La Cruz	Dummy Semilla/CL
	Lana de roca	18.240	kg	H. La Cruz	Grodan (rockwool for horticulture)
	Transporte lana de roca	253.286	tkm	H. La Cruz	Transport, transoceanic freight ship/OCE U
	Agua	450	m3	H. La Cruz	Water, deionised, at plant/CH U
	Fertilizante	500	kg	H. La Cruz	Fertilizantes, H La Cruz/CL
	Transporte fertilizante	650	tkm	H. La Cruz	Transport, lorry 3.5-7.5t, EURO 3/RER U
Outputs	Plantas de rechazo	15.000	u	Supuesto	Process-specific burdens, sanitary landfill/CH U
	Residuo líquido	50	m3	H. La Cruz	Treatment, sewage, to wastewater treatment, class 5/CH U
Producción 2.385.000 plantines (Uso de suelo 1.4 ha Occupation, heterogeneous, agricultural)					
Inputs	Agua	711,5	m3	H. La Cruz	Water, deionised, at plant/CH U
	Fertilizante	12	ton	H. La Cruz	Fertilizantes, H La Cruz/CL
	Agroquímicos	1	p	H. La Cruz	Agroquímicos, H La Cruz/CL
	Transporte fertilizante	156.000	tkm	H. La Cruz	Transport, lorry 3.5-7.5t, EURO 3/RER U
Outputs	Salida de agua	17,5	m3	H. La Cruz	Treatment, sewage, to wastewater treatment, class 5/CH U
Cosecha y empaque 2.385.000 lechugas					

⁷ Se realizará en octubre de 2014

	Flujo	Cantidad	Unidad	Fuente	Datos
Inputs	Bolsas	11.250	kg	H. La Cruz	Packaging film, LDPE, at plant/RER U
	Etiquetas	71,253	kg	Supuesto	Polypropylene, granulate, at plant/RER U
	Pallets	100	u	H. La Cruz	EUR-flat pallet/RER U
	<i>Rentapack</i>	1.440	kg	H. La Cruz	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U
Outputs	Bolsas	50	kg	H. La Cruz	Disposal, polypropylene, 15,9% water, to sanitary landfill/CH U
	Etiquetas	0,06	kg	H. La Cruz	Disposal, polypropylene, 15,9% water, to sanitary landfill/CH U
	Pallets	2.500	kg	H. La Cruz	Disposal, wood untreated, 20% water, to sanitary landfill/CH U
	<i>Rentapack</i>	1.440	kg	H. La Cruz	Disposal, polyethylene, 0.4% water, to sanitary landfill/CH U
	Material vegetal	9.600	kg	H. La Cruz	Process-specific burdens, sanitary landfill/CH U
Servicios a la producción 2.223.000 lechugas					
Inputs	Electricidad	73.241	kWh	H. La Cruz	Electricity, low voltage, production SIC - CHILE, at grid/CL U
	Plástico invernadero	30.080	kg	H. La Cruz	Polyethylene, LDPE, granulate, at plant/RER U
	Carbón activado	1.794	kg	H. La Cruz	Activated carbon, at plant/RER Economic
	Arena	2	m3	H. La Cruz	Sand, at mine/CH U
	Canaletas de hidroponía	3.062	kg	H. La Cruz	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U
	Transporte de canaletas	42.185	tkm	H. La Cruz	Transport, transoceanic freight ship/OCE U
Outputs	Plástico invernadero	30.080	kg	H. La Cruz	Disposal, polypropylene, 15.9% water, to sanitary landfill/CH U
	Arena	3.200	kg	H. La Cruz	Process-specific burdens, sanitary landfill/CH U
	Carbón activado	1.794	kg	H. La Cruz	Process-specific burdens, sanitary landfill/CH U
	Canaletas de hidroponía	3.062	kg	H. La Cruz	Disposal, polyvinylchloride, 0.2% water, to sanitary landfill/CH U
Fertilizantes 1 mix					
Inputs	Nitrato de Calcio, N (15,5% pp)	1.058	kg	H. La Cruz	Calcium nitrate, as N, at regional storehouse/RER U
	Nitrato de Potasio, N (14% pp)	1.107	kg	H. La Cruz	Potassium nitrate, as N, at regional storehouse/RER U
	Sulfato de Magnesio	1.012	kg	H. La Cruz	Magnesium sulphate, at plant/RER U
	Nitrato de Magnesio	1.725	kg	H. La Cruz	Magnesium Nitrate, at plant/CL
	Ácido Nítrico (50% H2O)	6.814	kg	H. La Cruz	Nitric acid, 50% in H2O, at plant/RER U
Agroquímicos 1 mix					
Inputs	L-Cisteína	28	g	H. La Cruz	L-Lysina (Aminoácido), at plant/CL
	Pirimicarb	150	g	H. La Cruz	[thio]carbamate-compounds, at regional storehouse/RER U
	Tiametoxan	165	g	H. La Cruz	Benzo[thia]diazole-compounds, at regional storehouse/RER U
	Mandipropamid	98,3	g	H. La Cruz	Acetamide-anillide-compounds, at regional storehouse/RER U

Flujo		Cantidad	Unidad	Fuente	Datos
	Propamocarb	954	g	H. La Cruz	[thio]carbamate-compounds, at regional storehouse/RER U
	Fosetil	558	g	H. La Cruz	Fosetyl-Al, at regional storage/RER U
	Azoxystrobin	64	g	H. La Cruz	Fungicides, at regional storehouse/RER U
	Chlorothalonil	320	g	H. La Cruz	Chlorothalonil, at regional storage/RER U
	Nu Sulpho	1.100	g	H. La Cruz	Pyretroid-compounds, at regional storehouse/RER U
Outputs	Pirimicarb	16,5	g	Supuesto	Emisiones al agua
	Thiamethoxam	18,2	g	Supuesto	Emisiones al agua
	Propamocarb	104,9	g	Supuesto	Emisiones al agua
	Fosetyl-aluminium	61,4	g	Supuesto	Emisiones al agua
	Azoxystrobin	7,0	g	Supuesto	Emisiones al agua
	Chlorothalonil	35,2	g	Supuesto	Emisiones al agua
	Cypermethrin	0,7	g	Supuesto	Emisiones al agua
	Pirimicarb	133,5	g	Supuesto	Emisiones al suelo
	Thiamethoxam	146,9	g	Supuesto	Emisiones al suelo
	Propamocarb	849,1	g	Supuesto	Emisiones al suelo
	Fosetyl-aluminium	496,6	g	Supuesto	Emisiones al suelo
	Azoxystrobin	57,0	g	Supuesto	Emisiones al suelo
	Chlorothalonil	284,8	g	Supuesto	Emisiones al suelo
	Cypermethrin	5,3	g	Supuesto	Emisiones al suelo
Transporte 1 lechuga empacada					
Inputs	Transporte a centro de distribución (145 km)	48,33	kgkm	H. La Cruz	Transport, lorry 3.5-7.5t, EURO3/RER U
	Diésel refrigeración	0,01	MJ	H. La Cruz	Diesel, burned in diesel-electric generating set/GLO U
	Transporte a <i>retail</i> (242 km)	80,7	kgkm	Walmart	Transport, lorry 3.5-7.5t, EURO3/RER U
	Refrigeración centro de distribución (1,5 días)	0,0023458	kWh	Pto Azul	Electricity, low voltage, consumer mix, at grid/CH U Chile - SIC Grid
Retail y compra 1 lechuga empacada					
Inputs	Transporte consumidor (auto)	0,0518	personkm	Supuesto	Transport, passenger car, petrol, fleet average/CH U
	Transporte consumidor (bus)	0,000238	personkm	Supuesto	Transport, regular bus/CH U
	Refrigeración centro de distribución (0,5 días)	0,002346	kWh	Walmart	Electricity, low voltage, consumer mix, at grid/CH U Chile - SIC Grid
	Electricidad de refrigeración sala	0,064476	kWh	Walmart	Electricity, low voltage, consumer mix, at grid/CH U Chile - SIC Grid
Consumo 1 lechuga empacada					
Inputs	Agua de lavado	0,4	l	Supuesto	Tap water, at user/CH U
	Electricidad de refrigeración	0,00033	MJ	Supuesto	Electricity, low voltage, consumer mix, at grid/CH U CHILE - SIC Grid
Outputs	Salida de agua	0,4	l	Supuesto	Treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2
Fin 1 lechuga empacada					
O	Lana de roca	7,65	g	H. La Cruz	Process-specific burdens, sanitary landfill/CH U

Flujo		Cantidad	Unidad	Fuente	Datos
	Empaque	5,06	g	H. La Cruz	Disposal, polypropylene, 15.9% water, to sanitary landfill/CH U
	Etiqueta	0,0321	g	H. La Cruz	Disposal, polypropylene, 15.9% water, to sanitary landfill/CH U

9.2.2 Inventario Sure to Grow

En todos los inventarios de alternativas a la línea base, solo se incluyen aquellos procesos que presentan modificaciones con respecto a esta misma.

Tabla 9-3 Inventario Sure to Grow

Flujo		Cantidad	Unidad	Fuente	Datos
Siembra 2.400.000 semillas					
Inputs	Semillas	2.400.000	u	H. La Cruz	Dummy Semilla/CL
	Cubo STG	11.108	kg	Sure to Grow	Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant/RER U
	Transporte STG	86.899	tkm	H. La Cruz	Transport, transoceanic freight ship/ OCE U
	Agua	450	m3	H. La Cruz	Water, deionised, at plant/CH U
	Fertilizantes	500	kg	H. La Cruz	Fertilizantes, H La Cruz/CL
	Transporte fertilizante	650	tkm	H. La Cruz	Transport, lorry 3.5-7.5t, EURO 3/RER U
Outputs	Plantas de rechazo	15.000	u	Supuesto	Process-specific burdens, sanitary landfill/CH U
	Residuo líquido	50	m3	H. La Cruz	Treatment, sewage, to wastewater treatment, class 5/CH U
Fin del ciclo 1 lechuga empacada					
Outputs	Sure to Grow	4,63	g	Sure to Grow	Disposal, polyethylene terephthalate, 0.2% water, to sanitary landfill
	Empaque	5,06	g	H. La Cruz	Disposal, polypropylene, 15.9% water, to sanitary landfill/CH U
	Etiqueta	0,0321	g	H. La Cruz	Disposal, polypropylene, 15.9% water, to sanitary landfill/CH U

9.2.3 Inventario fibra de coco

Tabla 9-4 Inventario fibra de coco

Flujo		Cantidad	Unidad	Fuente	Datos
Siembra 2.400.000 semillas					
Inputs	Semillas	2.400.000	u	H. La Cruz	Dummy Semilla/CL
	Fibra de coco	5.398	kg	H. La Cruz	Coconut husk, from dehusking, at plant/ID Economic
	Transporte fibra de coco	165.209	tkm	H. La Cruz	Transport, transoceanic freight ship/ OCE U
	Agua	450	m3	H. La Cruz	Water, deionised, at plant/CH U
	Fertilizantes	500	kg	H. La Cruz	Fertilizantes, H La Cruz/CL
	Transporte fertilizante	650	tkm	H. La Cruz	Transport, lorry 3.5-7.5t, EURO 3/RER U

	Flujo	Cantidad	Unidad	Fuente	Datos
Outputs	Plantas de rechazo	15.000	u	Supuesto	Process-specific burdens, sanitary landfill/CH U
	Residuo líquido	50	m3	H. La Cruz	Treatment, sewage, to wastewater treatment, class 5/CH U
Fin del ciclo 1 lechuga empacada					
Outputs	Fibra de coco	2,25	g	Cocogro	Process-specific burdens, sanitary landfill/CH U
	Empaque	5,06	g	H. La Cruz	Disposal, polypropylene, 15.9% water, to sanitary landfill/CH U
	Etiqueta	0,0321	g	H. La Cruz	Disposal, polypropylene, 15.9% water, to sanitary landfill/CH U

9.2.4 Inventario paneles solares

Tabla 9-5 Inventario paneles solares

	Flujo	Cantidad	Unidad	Fuente	Datos
Servicios a la producción 2.223.000 lechugas					
Inputs	Electricidad red	36.491	kWh	H. La Cruz	Electricity, low voltage, production SIC - CHILE, at grid/CL U
	Instalación paneles	0,36	u	Astronergy	3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof/CH/I U
	Electricidad paneles	36.750	kWh	H. La Cruz	Electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, multi-Si, panel, mounted/CH U
	Plástico invernadero	30.080	kg	H. La Cruz	Polyethylene, LDPE, granulate, at plant/RER U
	Carbón activado	1.794	kg	H. La Cruz	Activated carbon, at plant/RER Economic
	Arena	2	m3	H. La Cruz	Sand, at mine/CH U
	Canaletas de hidroponía	3.062	kg	H. La Cruz	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U
	Transporte de canaletas	42.518	tkm	H. La Cruz	Transport, transoceanic freight ship/OCE U
Outputs	Plástico invernadero	30.080	kg	H. La Cruz	Disposal, polypropylene, 15.9% water, to sanitary landfill/CH U
	Arena	3.200	kg	H. La Cruz	Process-specific burdens, sanitary landfill/CH U
	Carbón activado	1.794	kg	H. La Cruz	Process-specific burdens, sanitary landfill/CH U
	Canaletas de hidroponía	3.062	kg	H. La Cruz	Disposal, polyvinylchloride, 0.2% water, to sanitary landfill/CH U

9.2.5 Inventario nuevos agroquímicos

Tabla 9-6 Inventario nuevos agroquímicos

Flujo		Cantidad	Unidad	Datos
Agroquímicos 1 mix				
Inputs	Imidacloprid	119,3	g	Cyclic N-compounds, at regional storehouse/CH U
	Metalaxyl	4,2	g	Benzoic-compounds, at regional storehouse/CH
	Tiametoxan	65,6	g	Benzo[thia]diazole-compounds, at regional storehouse/RER U
Outputs	Imidacloprid	0,6	g	Emisiones al agua
	Metalaxil	0,02	g	Emisiones al agua
	Thiamethoxam	0,3	g	Emisiones al agua
	Imidacloprid	113,3	g	Emisiones al suelo
	Metalaxil	4,0	g	Emisiones al suelo
	Thiamethoxam	62,3	g	Emisiones al suelo

9.2.6 Inventario policarbonato

Tabla 9-7 Inventario policarbonato

Flujo		Cantidad	Unidad	Fuente	Datos
Servicios a la producción 2.223.000 lechugas					
Inputs	Electricidad	73.241	kWh	H. La Cruz	Electricity, low voltage, production SIC - CHILE, at grid/CL U
	Policarbonato invernadero	8.718	kg	USGR	Polycarbonate, at plant/RER S
	Carbón activado	1.794	m3	H. La Cruz	Activated carbon, at plant/RER Economic
	Arena	2	m3	H. La Cruz	Sand, at mine/CH U
	Canaletas de hidroponía	3.062	kg	H. La Cruz	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U
	Transporte de canaletas	42.517	tkm	H. La Cruz	Transport, transoceanic freight ship/OCE U
Outputs	Policarbonato invernadero	8.718	kg	H. La Cruz	Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill/CH U
	Arena	3.200	kg	H. La Cruz	Process-specific burdens, sanitary landfill/CH U
	Carbón activado	1.794	kg	H. La Cruz	Process-specific burdens, sanitary landfill/CH U
	Canaletas de hidroponía	3.062	kg	H. La Cruz	Disposal, polyvinylchloride, 0.2% water, to sanitary landfill/CH U

9.2.7 Inventario ETFE

Tabla 9-8 Inventario ETFE

Flujo		Cantidad	Unidad	Fuente	Datos
Servicios a la producción 2.223.000 lechugas					
Inputs	Electricidad	73.241	kWh	H. La Cruz	Electricity, low voltage, production SIC - CHILE, at grid/CL U
	ETFE invernadero	824	kg	USGR	Tetrafluoroethylene, at plant/RER U
	Carbón activado	1.794	kg	H. La Cruz	Activated carbon, at plant/RER Economic
	Arena	2	m3	H. La Cruz	Sand, at mine/CH U
	Canaletas de hidroponía	3.062	kg	H. La Cruz	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U
	Transporte de canaletas	42.518	tkm	H. La Cruz	Transport, transoceanic freight ship/OCE U
Outputs	ETFE invernadero	824	kg	H. La Cruz	Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill/CH U
	Arena	3.200	kg	H. La Cruz	Process-specific burdens, sanitary landfill/CH U
	Carbón activado	1.794	kg	H. La Cruz	Process-specific burdens, sanitary landfill/CH U
	Canaletas de hidroponía	3.062	kg	H. La Cruz	Disposal, polyvinylchloride, 0.2% water, to sanitary landfill/CH U

9.2.8 Inventario biodiesel

Tabla 9-9 Inventario biodiesel

Flujo		Cantidad	Unidad	Fuente	Datos
Transporte 1 lechuga empacada					
Inputs	Transporte a CD (145km)	24,165	kgkm	H. La Cruz	Transport, lorry 3.5-7.5t, EURO3/RER U
	Transporte a CD (145km) 5% biodiesel	24,165	kgkm	H. La Cruz	Transport, lorry 3.5-7.5t, EURO3/RER U 5%biodiesel
	Diésel Refrigeración	0,01	MJ	H. La Cruz	Diesel, burned in diesel-electric generating set/GLO U
	Transporte a <i>retail</i> (242 km)	80,7	kgkm	Supuesto	Transport, lorry 3.5-7.5t, EURO3/RER U

9.3 Anexo 3: Resultados por etapa del ciclo de vida

Tabla 9-10 Resultados línea base por etapa de ciclo de vida

Categoría de impacto	Materias primas	Producción	Distribución	Consumo	Fin del ciclo de vida
Reducción de fósiles	1,28E-02	1,48E-03	7,99E-03	9,16E-04	5,41E-06
Calentamiento global	6,07E-03	1,16E-03	5,72E-03	6,22E-04	3,22E-05
Formación fotoquímica oxidante	2,46E-03	3,16E-04	3,87E-03	2,59E-04	6,81E-06
Eutrofización marina	1,87E-03	3,29E-04	4,11E-03	3,71E-04	8,70E-06
Reducción del ozono	1,36E-03	3,42E-04	2,83E-03	3,83E-04	2,05E-06

Categoría de impacto	Materias primas	Producción	Distribución	Consumo	Fin del ciclo de vida
Acidificación terrestre	2,07E-03	2,78E-04	1,99E-03	1,32E-04	2,48E-06
Formación de material particulado	1,57E-03	2,31E-04	2,20E-03	1,13E-04	3,31E-06
Toxicidad humana, cáncer	1,69E-03	3,92E-05	3,03E-04	6,54E-04	1,17E-07
Eutrofización de agua fresca	2,85E-04	2,24E-04	4,76E-04	1,86E-04	3,65E-08
Eco toxicidad	2,92E-05	8,29E-04	6,03E-06	1,13E-06	5,80E-09
Transformación de suelo natural	6,61E-05	-6,45E-06	2,56E-04	1,53E-06	0,00E+00
Estrés hídrico	2,72E-05	1,12E-04	1,47E-05	8,38E-05	1,98E-08
Ocupación de suelo urbano	5,54E-05	5,48E-05	6,35E-05	5,16E-07	1,43E-05
Ocupación de suelo agrícola	7,84E-05	1,03E-04	2,62E-08	1,42E-07	5,59E-08
Reducción de minerales	1,04E-04	6,83E-07	1,39E-06	2,41E-06	2,37E-08
Toxicidad humana, no cáncer	5,02E-05	1,02E-05	1,71E-05	2,48E-05	4,16E-08
Radiación ionizante	5,79E-06	3,88E-06	2,68E-06	4,31E-06	2,52E-07

9.4 Anexo 4: Cálculos y supuestos

9.4.1 Plantas de rechazo

Según lo observado en la planta de producción y la diferencia entre la siembra y la producción final, se asume un 7% de pérdida entre la siembra y el trasplante.

9.4.2 Distancias marítimas para materias primas

Todas las distancias marítimas fueron extraídas de la publicación Tablas de distancias del SHOA. [31]

Los cálculos son los siguientes:

Tabla 9-11 Distancia Rotterdam-Valparaíso

Rotterdam-Valparaíso		
Origen-destino	Millas náuticas	Kilómetros
Southampton-Rotterdam	261	483,37
Colón-Southampton	4.575	8.472,90
Valparaíso-Colón	2.662	4.930,02
Total	7.498	13.886,30

Tabla 9-12 Distancia Amberes-Valparaíso

Amberes-Valparaíso		
Origen-destino	Millas náuticas	Kilómetros
Southampton-Amberes	260	481,52
Colón-Southampton	4.575	8.472,90
Valparaíso-Colón	2.662	4.930,02
Total	7.497	3.884,44

Tabla 9-13 Distancia Charleston-Valparaíso

Charleston-Valparaíso	
Millas náuticas	Kilómetros
4.224	7.822,85

Tabla 9-14 Distancia Sri Lanka-Valparaíso

Sri Lanka-Valparaíso		
Origen-destino	Millas náuticas	Kilómetros
Buena Esperanza-Sri Lanka	4.457	8.254,36
Gibraltar-Buena Esperanza	5.082	9.411,86
Colón-Gibraltar	4.326	8.011,75
Valparaíso-Colón	2.662	4.930,02
Total	16.527	30.608,00

9.4.3 Emisiones de agroquímicos

Según [32] se calcula el 0,5% de las emisiones al agua debido a la limpieza de filtros, drenajes específicos, etc., y el resto se asume como suelo, ya que la masa crítica de agua no va al drenaje. Se asume que las emisiones que originalmente van al agua, luego quedan en el filtro de carbón y arena que al fin de su vida útil van a un relleno sanitario, tomando esto como suelo.

9.4.4 Transporte a *retail*

El peso utilizado por cada lechuga es el peso promedio, 280g. A esto se le suma el pallet en el que se transportan las lechugas. En cada pallet van entre 35 y 40 cajas de lechugas, y en cada caja 10 lechugas.

Las distancia entre el centro de distribución y *retail* se tomó de la metodología seguida en el trabajo “Análisis de Ciclo de Vida de la Industria de Detergente de Lavado Textil con Estudio de Caso Empresa Envatec”, en el que se pondera la distancia a las tiendas de *Walmart* a nivel nacional y la densidad poblacional de la región de cada una de estas, resultando en una distancia promedio de 242 km entre el centro de distribución de los productos y las tiendas de *retail*.

9.4.5 Transporte *retail* – lugar de consumo

Se sigue la metodología de *LCA Methodology and Modelling Considerations for Vegetable Production and Consumption* [28]. De aquí se obtiene que por kilogramo de alimento se recorre en bus 0,00085 km y en auto 0,185 km, utilizándose cada medio de transporte el 8 y 58% de las veces respectivamente. Las distancias mencionadas anteriormente se multiplican por 0,28 kg, que es el peso de las lechugas en estudio.

9.4.6 Uso de electricidad en *retail*

Se sigue nuevamente la metodología del punto anterior, en la que la refrigeración consume 0.06 MJ/L/día. El volumen específico de la lechuga es de 7,1 L/kg resultando en aproximadamente 2 litros por lechuga, y se utiliza la información entregada por *Walmart* de permanencia por 2 días en *retail*.

9.4.7 Uso de electricidad doméstica

Se sigue la metodología del punto anterior, en la que se considera volumen total de un refrigerador, el volumen de una lechuga y 5 días de almacenamiento.

9.4.8 Cambio de sustrato

Se tomó como base las medidas que deben tener los cubos para que sean compatibles con el sistema que tiene la empresa, que es un cubo de lado 4cm.

Luego se multiplicó por la densidad de cada material (PET y fibra de coco), y se obtuvo el peso de cada cubo, lo que se utilizó para el modelo.

9.4.9 Cambio de material del plástico del invernadero

Se trabajó con la superficie a cubrir de invernadero, el espesor y la densidad de cada material y se divide por la cantidad de años de vida útil para obtener una cantidad equivalente anual.

Policarbonato

m ²	vida útil (años)	m ² /vida útil	espesor(m)	volumen(cm ³)	densidad(g/cm ³)	masa(kg)
72.657	10	7.266	0,001	7.265.701	1,2	8.719

ETFE

m ²	vida útil (años)	m ² /vida útil	espesor(m)	volumen(cm ³)	densidad(g/cm ³)	masa(kg)
72.657	15	4.844	0,0001	484.380	1,7	824

9.4.10 Cambio de agroquímicos

La empresa utiliza agroquímicos contra pulgones, mosquita blanca y enfermedades.

Los pulgones que presenta Hidropónicos La Cruz son: *Macrosiphum solani*, *Myzus persicae* y *Nasonovia ribisnigri*. Para pulgones, los agroquímicos que no tiene categoría IV son Pirimor (II) que tiene por objetivo *Macrosiphum solani* y *Myzus persicae* y Gladiador (II) que ataca *Nasonovia ribisnigri*. En la siguiente tabla se sugieren alternativas para los insecticidas mencionados:

Tabla 9-15 Alternativas de insecticidas

	En uso		Alternativa
Nombre comercial	Pirimor	Actara 25 WG	Imidacloprid 20 SL Agrospec
Ingrediente activo	Primicarb	Tiametoxam	Imidacloprid
Plaga objetivo	<i>Macrosiphum solani</i> y <i>Myzus persicae</i>	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> , <i>Myzus persicae</i> , <i>Macrosiphum solani</i>	<i>Macrosiphum solani</i> y <i>Myzus persicae</i>
Categoría toxicológica	II amarilla	IV verde	IV verde
Concentración y formulación	50% p/p - Granulado dispersable	25 % p/p - Granulado dispersable	20% p/p – Concentrado soluble
Uso	300 g	660 g	112-124l

Como alternativas a Imidacloprid, se puede agregar alguno de los siguientes agroquímicos, que tienen el mismo ingrediente activo pero agrega *Nasonovia ribisnigri* como plaga objetivo, y tiene distinto país de origen. Adicionalmente, estos dos productos son la única alternativa autorizada por el SAG con categoría IV para aplicar en lechugas contra *Nasonovia ribisnigri*, es decir, es lo único que podría reemplazar a Gladiador cumpliendo con los objetivos del estudio.

Tabla 9-16 Alternativas de insecticidas

	En uso	Alternativas	
Nombre comercial	Gladiador	Absoluto 20% SL	Absoluto 70% WP
Ingrediente activo	Acetamiprid y Lambdacialotrina	Imidacloprid	Imidacloprid
Plaga objetivo HLC	<i>Nasonovia ribisnigri</i>	<i>Macrosiphum solani</i> , <i>Myzus persicae</i> y <i>Nasonovia ribisnigri</i>	<i>Macrosiphum solani</i> , <i>Myzus persicae</i> y <i>Nasonovia ribisnigri</i>
Categoría toxicológica	II amarillo	IV verde	IV verde
Concentración y formulación	100 - 150 g/ha – Polvo mojable	20% p/v – Concentrado soluble	70% p/p – Polvo mojable
Uso	6 g	0,28-3.36l	40-480g

De la plaga mosquita blanca, están presentes *Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaco*. Hidropónicos La Cruz usa Confidor Forte, agroquímico que no está en la lista de los autorizados por el SAG. El agroquímico ya en uso Actara, es la mejor opción para mosquita blanca que no contenga Imidacloprid, pero de todas formas se sugieren otros tres productos con categoría IV:

Tabla 9-17 Alternativas de insecticidas

	En uso	Alternativa
Nombre comercial	Confidor Forte	Naturalis L
Ingrediente activo	Imidacloprid	Beauveria bassiana Cepa ATCC 74039
Plaga objetivo HLC	Sin información	Trialeurodes vaporariorum y Myzus persicae
Categoría toxicológica	III azul	IV verde
Concentración y formulación	200 g/L Concentrado Soluble (SL)	7,16% p/p- Concentrado soluble
Uso	-	30-90l

Finalmente, las enfermedades presentes en Hidropónicos La Cruz son Phytophthora, Pythium, Aphanomyces, Botrytis y Bremia Lactucae. Los pesticidas que no cumplen con categoría IV son Amistar Opti y Previcur Energy.

Tabla 9-18 Alternativas de insecticidas

	En uso			Alternativas	
Nombre comercial	Amistar Opti	Previcur Energy	Revus 250 SC	Harztop	Metalaxil 25 DP
Ingrediente activo	Azoxistrobina y clorotalonilo	Propamocarb y fosetilo	Mandipropamida	Trichoderma harzianum Rifai cepa T21	Metalaxilo
Plaga objetivo HLC	Phytophthora, Botrytis y Bremia Lactucae	Phytophthora y Pythium	Bremia Lactucae	Pythium y Botrytis	Phytophthora, Pythium y Bremia Lactucae
Categoría toxicológica	II amarillo	II amarillo	IV verde	IV Verde	IV verde
Concentración y formulación	4,6% p/p / 45,98% p/p – Suspensión concentrada	53% p/v / 31% p/v - Concentrado soluble	25% p/v– Suspensión concentrada	1% p/v – Suspensión concentrada	25% p/p – Polvo seco
Uso	384 g	1.512 g	98,28 g	0,1 l/100l	16,8 g

De acuerdo a las alternativas presentadas, se simulan las siguientes modificaciones:

Tabla 9-6 Escenarios de sustitución de insecticidas

	Plaga	Agroquímico en uso	Escenario 1	Escenario 2
Pulgones	Macrosiphum solani	Pirimor y Actara	Actara	Imidacloprid, Absoluto 20 o Absoluto 70
	Myzus persicae	Pirimor y Actara	Actara	Imidacloprid, Absoluto 20 o Absoluto 70
	Nasonovia ribisnigri	Gladiador	-	Absoluto 20 o Absoluto 70
Mosquita blanca	Trialeurodes vaporariorum	Actara	Actara	Naturalis
Enfermedades	Phytophthora	Amistar Opti y Previcur	Metalaxil	Metalaxil
	Pythium	Previcur	Harztop	Harztop y Metalaxil
	Botrytis	Amistar Opti	Harztop	Harztop
	Bremia lactucae	Amistar Opti y Revus	Metalaxil	Metalaxil

Estos escenarios pasan a formar parte de un solo inventario en el que cada uno pondera 50%. El objetivo es considerar la alternancia de productos en los casos que sea posible, para evitar que las plagas se acostumbren a un solo ingrediente activo.

9.5 Anexo 5: Resultados modelación de alternativas

Tabla 9-19 Resultados modelación de alternativas

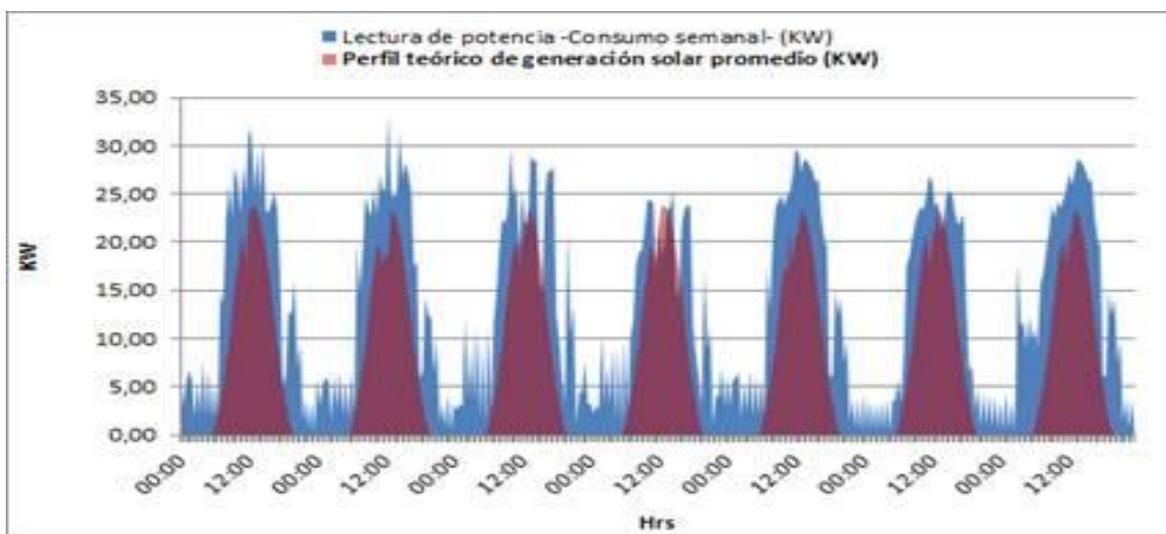
Categoría de impacto	Sustrat o fibra de coco	Paneles Fotovoltaicos	Policar bonato	Agroqu ímicos	<i>Sure to Grow</i>	Efficienc energet transpo	Biodiese l	Línea base	ETFE
Reducción de fósiles	2,2E-02	2,3E-02	1,9E-02	2,3E-02	2,4E-02	2,3E-02	2,3E-02	2,3E-02	1,7E-02
Calentamiento global	1,3E-02	1,3E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	2,1E-02
Formación fotoquímica oxidante	6,6E-03	6,8E-03	6,5E-03	6,9E-03	6,9E-03	6,9E-03	6,9E-03	6,9E-03	6,0E-03
Eutrofización marina	5,1E-03	6,5E-03	6,6E-03	6,7E-03	6,5E-03	6,7E-03	6,7E-03	6,7E-03	6,3E-03
Reducción del ozono	4,0E-03	4,8E-03	7,8E-03	4,9E-03	4,2E-03	4,8E-03	4,9E-03	4,9E-03	1,2E+00
Formación de material particulado	3,8E-03	4,0E-03	4,3E-03	4,1E-03	3,9E-03	4,1E-03	4,1E-03	4,1E-03	3,8E-03
Acidificación terrestre	3,7E-03	4,3E-03	4,4E-03	4,5E-03	4,0E-03	4,5E-03	4,5E-03	4,5E-03	4,2E-03
Toxicidad humana, cáncer	2,8E-03	2,7E-03	2,7E-03	2,7E-03	2,9E-03	2,7E-03	2,7E-03	2,7E-03	5,9E-02
Eutrofización de agua fresca	1,2E-03	1,1E-03	1,1E-03	1,1E-03	1,2E-03	1,2E-03	1,2E-03	1,4E-03	1,2E-03
Eco toxicidad	8,7E-04	8,7E-04	8,7E-04	8,9E-04	8,7E-04	3,7E-05	8,7E-04	8,9E-04	8,6E-04
Transformación de suelo natural	2,5E-04	2,8E-04	2,0E-04	1,0E-03	2,5E-04	2,5E-04	2,5E-04	3,0E-04	3,3E-04
Estrés hídrico	2,4E-04	2,4E-04	2,4E-04	2,3E-04	2,4E-04	2,4E-04	2,4E-04	2,4E-04	2,5E-04
Ocupación de suelo agrícola	1,9E-04	1,9E-04	1,9E-04	2,0E-04	1,9E-04	1,9E-04	1,9E-04	1,9E-04	1,9E-04
Ocupación de suelo urbano	1,9E-04	1,9E-04	1,7E-04	1,8E-04	1,9E-04	1,9E-04	1,9E-04	1,8E-04	1,8E-04
Agotamiento metálico	1,1E-04	8,1E-05	1,1E-04	7,9E-05	1,1E-04	1,1E-04	1,1E-04	8,8E-05	8,0E-05
Toxicidad humana, no cáncer	1,0E-04	1,0E-04	1,0E-04	3,8E-04	1,0E-04	9,5E-05	1,0E-04	1,1E-04	2,0E-02
Radiación ionizante	1,7E-05	1,2E-05	1,7E-05	1,2E-05	1,7E-05	1,7E-05	1,7E-05	1,7E-05	1,7E-05

9.6 Anexo 6: Estudio de instalación de paneles fotovoltaicos para autoconsumo

El perfil teórico de generación solar promedio fue desarrollado por Inelsa Chile, mientras la evaluación a través de flujo de caja, fue realizada como parte de este trabajo.

9.6.1 Lectura de potencia y perfil teórico de generación solar promedio semanal (kW)

Ilustración 9.1 Lectura de potencia-consumo semanal y perfil teórico de generación solar promedio



9.6.2 Flujos de caja proyecto puro

Este flujo de caja considera hasta el periodo 25, pero entre el periodo 1 y 10 y entre el periodo 11 y el 25 los flujos son los mismos, por lo que se incluyen en una sola columna en la tabla.

Tabla 20 Flujo de caja proyecto puro

Flujo\Año	0	1-10	11-25
Costos fijos		-57.000	-57.000
Depreciación	-	-2.693.250	-2.693.250
UAI	-	-2.750.250	-2.750.250
Impuestos	-	550.050	550.050
UDI	-	-2.200.200	-2.200.200
Depreciación	-	2.693.250	2.693.250
Flujo operacional	-	493.050	493.050
Inversión	-26.932.500	-	-
Flujo de caja	-26.932.500	493.050	493.050

Tasa de descuento	8,70%
VAN	-\$23.888.775
VAUE	-\$2.373.576

9.6.3 Flujo de caja proyecto financiado

Este flujo de caja considera hasta el periodo 25, pero entre el periodo 11 y el 25 los flujos son los mismos, por lo que se incluyen en una sola columna en la tabla.

Tabla 21 Flujo de caja proyecto financiado

Flujo\Año	0	1	2	3	4	5	6	7
Costos fijos		-57.000	-57.000	-57.000	-57.000	-57.000	-57.000	-57.000
Depreciación	-	-2.693.250	-2.693.250	-2.693.250	-2.693.250	-2.693.250	-2.693.250	-2.693.250
Pago de intereses	-	-2.343.693	-2.187.224	-2.017.138	-1.832.252	-1.631.276	-1.412.811	-1.175.336
UAI	-	-5.093.943	-4.937.474	-4.767.388	-4.582.502	-4.381.526	-4.163.061	-3.925.586
Impuestos	-	1.018.789	987.495	953.478	916.500	876.305	832.612	785.117
UDI	-	-4.075.154	-3.949.979	-3.813.910	-3.666.001	-3.505.221	-3.330.449	-3.140.469
Depreciación	-	2.693.250	2.693.250	2.693.250	2.693.250	2.693.250	2.693.250	2.693.250
Flujo operacional	-	-1.381.904	-1.256.729	-1.120.660	-972.751	-811.971	-637.199	-447.219
Inversión	-26.932.500	-	-	-	-	-	-	-
Préstamo	26.932.500	-	-	-	-	-	-	-
Amortización	-	-1.798.065	-1.954.534	-2.124.620	-2.309.506	-2.510.482	-2.728.947	-2.966.422
Flujo de caja	-	-3.179.969	-3.211.263	-3.245.280	-3.282.258	-3.322.453	-3.366.146	-3.413.641

Flujo\Año	8	9	10	11-25
Costos fijos		-57.000	-57.000	-57.000
Depreciación	-2.693.250	-2.693.250	-2.693.250	
Pago de intereses	-917.195	-636.590	-331.567	
UAI	-3.667.445	-3.386.840	-3.081.817	-57.000
Impuestos	733.489	677.368	616.363	11.400
UDI	-2.933.956	-2.709.472	-2.465.453	-45.600
Depreciación	2.693.250	2.693.250	2.693.250	
Flujo operacional	-240.706	-16.222	227.797	-45.600
Inversión	-	-	-	
Préstamo	-	-	-	
Amortización	-3.224.563	-3.505.168	-3.810.191	
Flujo de caja	-3.465.269	-3.521.390	-3.582.395	-45.600

Tasa de descuento	8,70%
VAN	-\$21.810.518
VAUE	-\$2.167.081

9.6.4 Flujo de caja proyecto con subvención financiado

Este flujo de caja considera hasta el periodo 25, pero entre el periodo 11 y el 25 los flujos son los mismos, por lo que se incluyen en una sola columna en la tabla.

Tabla 22 Flujo de caja proyecto con subvención financiado

Flujo\Año	0	1	2	3	4	5	6	7
Costos fijos		-57.000	-57.000	-57.000	-57.000	-57.000	-57.000	-57.000
Depreciación		-1.615.950	-1.615.950	-1.615.950	-1.615.950	-1.615.950	-1.615.950	-1.615.950
Pago de intereses		-1.406.216	-1.312.334	-1.210.283	-1.099.351	-978.766	-847.687	-705.201
UAI		-3.079.166	-2.985.284	-2.883.233	-2.772.301	-2.651.716	-2.520.637	-2.378.151
Impuestos		615.833	597.057	576.647	554.460	530.343	504.127	475.630
UDI		-2.463.333	-2.388.227	-2.306.586	-2.217.841	-2.121.372	-2.016.509	-1.902.521
Depreciación		1.615.950	1.615.950	1.615.950	1.615.950	1.615.950	1.615.950	1.615.950
Flujo operacional		-847.383	-772.277	-690.636	-601.891	-505.422	-400.559	-286.571
Inversión	-16.159.500							
Préstamo	16.159.500							
Amortización		-1.078.839	-1.172.721	-1.274.772	-1.385.704	-1.506.289	-1.637.368	-1.779.853
Flujo de caja		-1.926.222	-1.944.998	-1.965.408	-1.987.595	-2.011.712	-2.037.927	-2.066.425

Flujo\Año	8	9	10	11-25
Costos fijos	-57.000	-57.000	-57.000	-57.000
Depreciación	-1.615.950	-1.615.950	-1.615.950	
Pago de intereses	-550.317	-381.954	-198.940	
UAI	-2.223.267	-2.054.904	-1.871.890	-57.000
Impuestos	444.653	410.981	374.378	11.400
UDI	-1.778.613	-1.643.923	-1.497.512	-45.600
Depreciación	1.615.950	1.615.950	1.615.950	
Flujo operacional	-162.663	-27.973	118.438	-45.600
Inversión				
Préstamo				
Amortización	-1.934.738	-2.103.101	-2.286.115	
Flujo de caja	-2.097.401	-2.131.074	-2.167.677	-45.600

Tasa de descuento	8,70%
VAN	-\$13.269.887
VAUE	-\$1.318.489

9.6.5 Flujo de caja sin proyecto

En el flujo de caja sin proyecto, se considera como costo variable el consumo de electricidad de la red SIC, en el que año a año se varía el precio según un IPC del 4%.

Tabla 23 Flujo de caja sin proyecto

Flujo\Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Costos variables		-3.799.068	-3.951.031	-4.109.072	-4.273.435	-4.444.372	-4.622.147	-4.807.033	-4.999.314
UAI		-3.799.068	-3.951.031	-4.109.072	-4.273.435	-4.444.372	-4.622.147	-4.807.033	-4.999.314
Impuestos		759.814	790.206	821.814	854.687	888.874	924.429	961.407	999.863
UDI		-3.039.254	-3.160.825	-3.287.258	-3.418.748	-3.555.498	-3.697.718	-3.845.626	-3.999.451
Flujo de caja		-3.039.254	-3.160.825	-3.287.258	-3.418.748	-3.555.498	-3.697.718	-3.845.626	-3.999.451

Flujo\Año	9	10	11	12	13	14	15	16
Costos variables	-5.199.287	-5.407.258	-5.623.549	-5.848.491	-6.082.430	-6.325.727	-6.578.757	-6.841.907
UAI	-5.199.287	-5.407.258	-5.623.549	-5.848.491	-6.082.430	-6.325.727	-6.578.757	-6.841.907
Impuestos	1.039.857	1.081.452	1.124.710	1.169.698	1.216.486	1.265.145	1.315.751	1.368.381
UDI	-4.159.430	-4.325.807	-4.498.839	-4.678.793	-4.865.944	-5.060.582	-5.263.005	-5.473.525
Flujo de caja	-4.159.430	-4.325.807	-4.498.839	-4.678.793	-4.865.944	-5.060.582	-5.263.005	-5.473.525

Flujo\Año	17	18	19	20	21	22	23	24
Costos variables	-7.115.583	-7.400.206	-7.696.215	-8.004.063	-8.324.226	-8.657.195	-9.003.483	-9.363.622
UAI	-7.115.583	-7.400.206	-7.696.215	-8.004.063	-8.324.226	-8.657.195	-9.003.483	-9.363.622
Impuestos	1.423.117	1.480.041	1.539.243	1.600.813	1.664.845	1.731.439	1.800.697	1.872.724
UDI	-5.692.466	-5.920.165	-6.156.972	-6.403.251	-6.659.381	-6.925.756	-7.202.786	-7.490.898
Flujo de caja	-5.692.466	-5.920.165	-6.156.972	-6.403.251	-6.659.381	-6.925.756	-7.202.786	-7.490.898

Flujo\Año	25
Costos variables	-9.738.167
UAI	-9.738.167
Impuestos	1.947.633
UDI	-7.790.533
Flujo de caja	-7.790.533

Tasa de descuento	8,70%
VAN	-\$43.238.742
VAUE	-\$4.296.178