

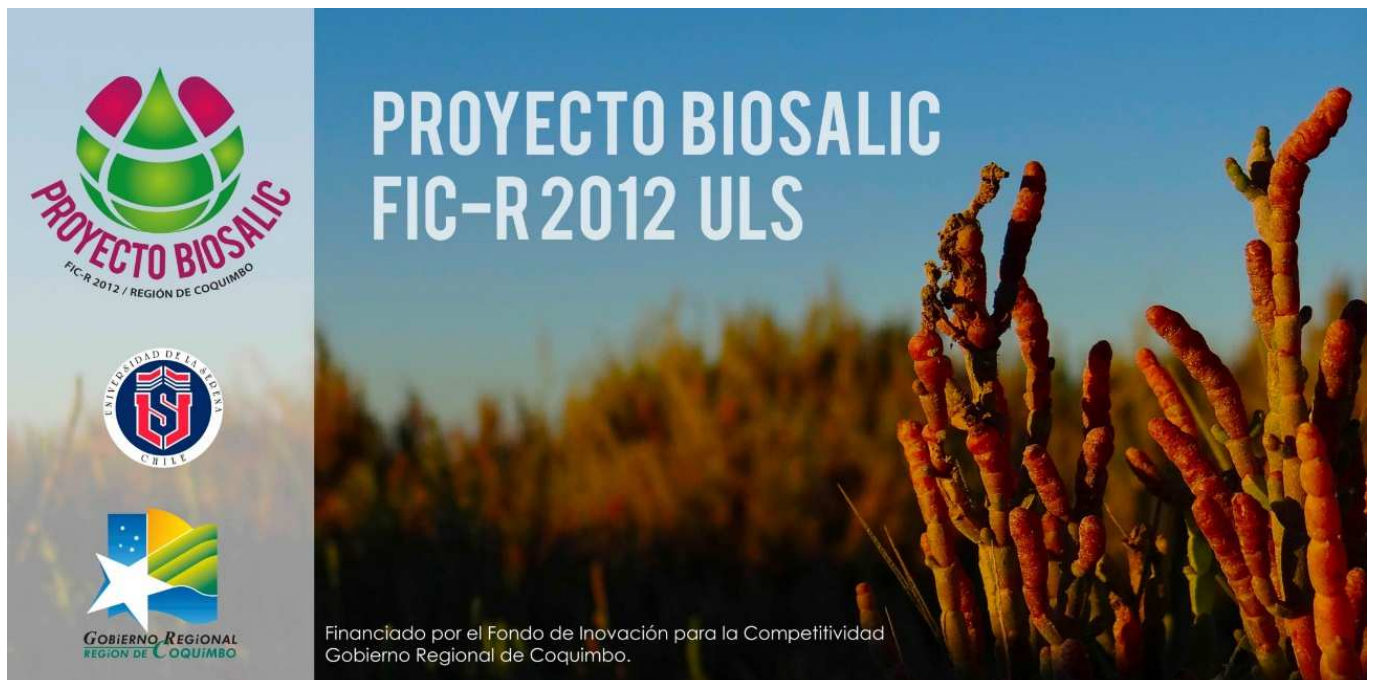


INFORME FINAL PROYECTO FIC-R 2012

GOBIERNO REGIONAL DE COQUIMBO

“FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL
A PARTIR DE SALICORNIA, EN LA REGIÓN DE COQUIMBO”

UNIVERSIDAD DE LA SERENA



La Serena, Agosto de 2014.-

Tabla de Contenidos	Página
1. Información general del Proyecto.	6
2. Resumen	7
3. Introducción	9
4. Descripción de Componentes, Actividades y Resultados.	10
4.1. Componente 8: Constitución del Equipo de trabajo del proyecto.....	10
4.1.2. Actividad 8.1: Realización de reuniones de organización y coordinación para el correcto funcionamiento del proyecto.....	10
4.2. Componente 7: Capacitación a técnicos e involucrados en el proyecto, en el manejo del cultivo de salicornia y producción de biodiesel.	10
4.2.1. Actividad 7.1: Capacitación de profesionales del proyecto, en el exterior, sobre cultivo y procesamiento de salicornia con fines de producción de biocombustibles.....	10
4.2.2. Actividad 7.2: Transferencia Tecnológica a la comunidad de Puerto Aldea en la temática del proyecto para actividades operativas posteriores.....	13
4.2.3. Actividad 7.3: Participación directa de cuatro personas de Puerto Aldea en actividades de campo del proyecto.....	15
4.2.4. Actividad 7.4: Traída de expertos en la producción de biodiesel a partir de salicornia.....	17
4.3. Componente 6: implementación de una zona para las pruebas de cultivo de salicornia nativa e introducida.	20
4.3.1. Actividad 6.1: Ingreso de solicitud y adjudicación de terreno experimental en bienes nacionales (sector costero Puerto Aldea).....	20
4.3.2. Actividad 6.2: Recolección, procesamiento y análisis de datos para generación de información respecto al cultivo de Salicornia Nativa e Internada.	21
4.3.3. Actividad 6.3: Trasplante y Cultivo de Salicornia Nativa (<i>Salicornia Fruticosa</i>).	28
4.3.4. Actividad 6.4: Compra (semillas), Siembra y Cultivo de Salicornia introducida (<i>Salicornia Bigelovii</i>).	29
4.3.5. Actividad 6.5: Adecuación y Preparación de Terreno e Infraestructura de soporte... ..	30
4.4. Componente 5: Contar con un volumen necesario de masa vegetal para la extracción de aceite.	31
4.4.1. Actividad 5.1: Envío de masa vegetal (nativa y/o internada) a la fase de extracción de aceite.	31
4.4.2. Actividad 5.2: Cosecha de un volumen determinado de la especie vegetal nativa (<i>Salicornia Fruticosa</i>), proveniente de un área de la Región ya identificada, para las pruebas de obtención de aceite.	32
4.4.3. Actividad 5.3: Extracción de un volumen determinado de material vegetal proveniente del área experimental y de la especie internada (<i>Salicornia Bigelovii</i>) para las pruebas de obtención de aceite.	33
4.5. Componente 4: generación y análisis un volumen necesario de aceite para producir biodiesel a nivel piloto.....	33
4.5.1. Actividad 4.1: Envío de aceite a planta proceso.	33

4.5.2.	Actividad 4.2: Análisis químico y caracterización del aceite producido..	34
4.5.3.	Actividad 4.3: Caracterización de subproductos obtenidos del proceso de producción de aceite.	35
4.5.4.	Actividad 4.4: Selección y aplicación de métodos físicos y químicos de extracción de aceite a partir de Salicornia.....	36
4.6.	Componente 3: implementación de una planta piloto para producción de biodiesel.....	38
4.6.1.	Actividad 3.1: Ensamblaje de planta de producción de biodiesel y pruebas de operación.	38
4.6.2.	Actividad 3.2: Especificación de los equipos y materiales que conforman la planta piloto y Diseño de la Planta.	41
4.7.	Componente 2: generación y análisis de un volumen de biodiesel para ser utilizado en pruebas de campo	41
4.7.1.	Actividad 2.1: Análisis químico y caracterización del biodiesel producido.	41
4.7.2.	Actividad 2.2: Balance de materia y energía involucradas en el proceso de producción de biodiesel.....	42
4.7.3.	Actividad 2.3: Caracterización de subproductos obtenidos del proceso de producción de biodiesel.....	45
4.7.4.	Actividad 2.4: Análisis de pruebas con biodiesel en máquinas y/o equipos.	46
4.8.	Componente 1: estudio técnico-económico de la producción de biodiesel determinando la factibilidad de desarrollo como actividad económica sustentable.	46
4.8.1.	Actividad 1.1: Generación del informe de factibilidad del proyecto.....	46
5.	Conclusiones, Oportunidades y Desafíos.	58

Índice de Fotografías

Página

Fotografía N° 1: Campos de Cultivo de Salicornia, Ensenada, México.....	12
Fotografía N° 2: Actividades de Transferencia a la Comunidad de Puerto Aldea, Tongoy.....	14
Fotografía N° 3: Actividades Operativas de la Comunidad de Puerto Aldea, Tongoy. .	16
Fotografía N° 4: Visita experto de la Universidad de Sonora, México.....	19
Fotografía N° 5: Ubicación Terreno experimental Cultivo Salicornia, Puerto Aldea, Tongoy.....	21
Fotografía N° 6: Medios de Propagación de Salicornia, (arriba hacia abajo), propagación por germinación, propagación por esquejes y propagación hidropónica.	23
Fotografía N° 7: Actividades de Adecuación de terreno experimental, Puerto Aldea, Tongoy.....	31
Fotografía N° 8: Extracción de Aceite de Salicornia.....	37
Fotografía N° 9: Construcción y ensamblaje de planta piloto de producción de biodiesel, Puerto Aldea, Tongoy.	39
Fotografía N° 10: Construcción de planta piloto de producción de Biodiesel, Puerto Aldea, Tongoy.	40

Índice de Gráficos

Página

Gráfico N° 1: Crecimiento de plantas con tasa de riego 250 cc./planta/semana.....	25
Gráfico N° 2: Crecimiento de plantas con tasa de riego 500 cc./planta/semana.....	26
Gráfico N° 3: Crecimiento de plantas con tasa de riego 750 cc./planta/semana.....	27
Gráfico N° 4: Comparativa de crecimiento de plantas bajo distintas tasas de riego. ...	28

Índice de Tablas

Página

Tabla N° 1: Composición de ácidos grasos Salicornia, Región de Coquimbo.	34
Tabla N° 2: Comparación de ácidos grasos Salicornia, Región de Coquimbo.....	35
Tabla N° 3: Balance Energía Producción Biodiesel de Salicornia, en la Región de Coquimbo.	44
Tabla N° 4: Inversiones en matriz principal para elevación de agua de mar.	47
Tabla N° 5: Costos de Movilización y Transporte para el cultivo de Salicornia.	48
Tabla N° 6: Costos de Propagación de Salicornia.	48
Tabla N° 7: Costos en Riego para el cultivo de Salicornia.....	49
Tabla N° 8: Costo Actividad de Cosecha Salicornia.	49
Tabla N° 9: Flujo de Caja Opción Producción y Venta de Biomasa de Salicornia.	50
Tabla N° 10: Inversión en Equipos para Extracción de Aceite de Salicornia.	51
Tabla N° 11: Costos Directos de Procesamiento Biomasa de Salicornia para Aceite.....	51
Tabla N° 12: Costos de Extracción de Aceite de Salicornia.....	51
Tabla N° 13: Flujo de Caja Opción Producción y Venta de Biomasa y Aceite de Salicornia.....	53
Tabla N° 14: Inversión en equipos para Producción de Biodiesel de Salicornia.....	54
Tabla N° 15: Costo de los Reactivos para Producción de Biodiesel.....	55
Tabla N° 16: Flujo de Caja Opción Producción y Venta de Biodiesel de Salicornia.....	56
Tabla N° 17: Resumen Opciones de Opciones de Producción para el Cultivo de Salicornia.....	57



Índice de Figuras

Página

Figura N° 1: Proceso Generación de Biodiesel. Fuente: biosfera.com. 2010..... 43

Anexos.....60

1. Información general del Proyecto.

Nombre del Proyecto	Factibilidad Técnico-Económica de la Producción de Biodiesel a partir de Salicornia, en la Región de Coquimbo.
Institución ejecutora	Universidad de la Serena
Rut de la institución	70.783.100-2
Representante legal	Nibaldo Avilés Pizarro
Responsable del proyecto	Oscar Contreras González
Instituciones asociadas al proyecto	No hay Instituciones asociadas
Monto solicitado al FIC	Monto solicitado FIC 2012: M\$ 90.747.- Monto solicitado FIC 2013: M\$ 27.432.-
Aporte de la institución	M\$ 15.061.-
Monto Total del proyecto	M\$ 133.240.-
Duración del proyecto (MESES)	21 meses (18 meses duración original, más 3 meses de extensión).
Beneficiario(s) (directos e indirectos)	Dentro de los beneficiarios directos están el sector industrial Minero y Agrícola por la utilización del biodiesel en sus actividades productivas e instituciones de investigación por las aplicaciones de la Salicornia y posibles subproductos.
Objetivo General	Evaluar la alternativa de producción de combustibles de segunda generación, para generar e incentivar actividades económicas regionales sustentables.
Propósito	Determinar la factibilidad técnico-económica de producción de Biodiesel a partir de Salicornia.
Resultados Esperados	Contar con un estudio del biodiesel generado, tanto en sus componentes técnicas como económicas; Contar con un análisis determinante del aceite extraído de la Salicornia; Contar con un análisis de las características de cultivo de Salicornia según condiciones específicas.

2. Resumen

El desarrollo de las Regiones de Chile y en particular la Región de Coquimbo, depende en gran medida, de la detección de oportunidades de desarrollo, que se enmarquen bajo sus lineamientos políticos y económicos, haciendo hincapié en las potencialidades y utilización sustentable de los recursos propios. Tomando en cuenta estos aspectos, como requerimientos mínimos para emprender un proyecto con impacto regional¹, es que se elaboró el proyecto Biosalíc, el cual tuvo como objetivo, evaluar la factibilidad de producir biodiesel, a partir del cultivo de una especie vegetal denominada *Salicornia*, la cual puede ser irrigada con agua de mar.

El presentar un proyecto, que fuera precursor del desarrollo de energías renovables con énfasis regional y en especial, supliendo el uso del recurso hídrico escaso por agua de mar, significó un reto importante, pero necesario, en la presentación y ejecución del mismo.

La iniciativa del proyecto, es una de las pocas realizadas tanto a nivel mundial como Nacional y la primera a nivel Regional, por lo que, los resultados de otros estudios, no necesariamente debían ser similares. El ecotipo de la especie vegetal de la Región de Coquimbo, está adaptado a las condiciones locales, es decir, el ecotipo ha tenido una evolución distinta a otros lugares.

Se debe destacar, que este fue un proyecto integral, en el que participaron, instituciones públicas, privadas y la sociedad civil y que cada uno de ellos, cumplió con parte de las actividades, que permitieron que la totalidad de ellas fueran realizadas.

El objetivo principal fue obtener biodiesel, el cual se logró, pero tanto la factibilidad técnica como económica, a escala semi industrial, no fueron las esperadas; esto debido principalmente a que los lípidos obtenidos de *Salicornia Fruticosa*, se solidifican a temperatura ambiente, esto significa, que durante el proceso de producción de biodiesel, las reacciones entre el aceite y reactivos no se daría de manera óptima, obteniendo un producto que no sería biodiesel, lo cual en sí, solo obedece a un obstáculo solucionable por la técnica. Otro elemento determinante, fue el costo de extracción de aceite, el cual se ve aumentado por el valor de mercado de los solventes químicos, utilizados para la extracción, lo que determina que el precio final del biodiesel sea mayor al diésel normal.

El poder concluir con estos resultados, detectados durante la ejecución del proyecto, no hace más, que incentivar la búsqueda de soluciones con desarrollo local, ya que son parte de la técnica, la cual puede mejorarse y lograr las metas propuestas; así mismo, se abren altas expectativas frente al cultivo se *Salicornia*, visualizando a la Región de Coquimbo, como importante actor a nivel nacional, en el desarrollo de cultivos con agua de mar; en este aspecto debemos mencionar las posibilidades de utilizar *Salicornia*, como cultivo extensivo para alimentación animal y/o humana, como parte de planes de reforestación y aforestación de zonas costeras y desérticas, como cultivos para el secuestro de CO₂ siendo complemento de otras actividades industriales, entre otros; estas opciones fueron validadas, por el experto Mexicano que visitó el campo experimental y conoció las distintas actividades del proyecto, ubicando este

¹ Se tomaron como lineamientos estratégicos los contenidos en la ERI, ERD, y CRDP.



tipo de iniciativas en similar posición a las realizadas por México, Argentina, Irán y Estados Unidos, entre otros.

Es importante destacar y agradecer las gestiones, por parte de la Seremi de Bienes Nacionales y del Gobierno Regional, para obtener la concesión del terreno experimental en Puerto Aldea, lo que permitió realizar el cultivo bajo condiciones reales; el compromiso de los privados en facilitar áreas, para extraer material vegetal de reproducción, sin afectar en lo absoluto las áreas protegidas; la participación y compromiso de la comunidad de Puerto Aldea, que acompañaron en las actividades de habilitación del terreno experimental, ensamblaje de la plata piloto de biodiesel y en las actividades de riego y mantenimiento del cultivo de *Salicornia*.

En el presente informe, expone todo lo mencionado anteriormente, por cada una de las 8 componentes que conformaron el proyecto, finalizando con el análisis de los resultados técnicos y económicos, las conclusiones y discusión de ellas.

3. Introducción

El proyecto Biosalic, apuntó a dos conceptos claves y complementarios entre sí, “energías renovables” y “sustentabilidad”, ambos dentro de las políticas de desarrollo a nivel regional y nacional.

El primer concepto, apunta a la creciente necesidad de utilizar energías renovables en la industria, en este caso el biodiesel, dado que provoca un menor impacto en el cambio climático, ya que el dióxido de carbono emitido durante la combustión es capturado por las plantas durante su crecimiento para realizar su fotosíntesis, el balance de CO₂ es prácticamente neutro; por otro lado en países como Chile, que no cuentan con grandes reservas de hidrocarburos, contar con una fuente energética basada en cultivos vegetales que no conforman la base alimenticia, resulta una alternativa atractiva, para alcanzar una mayor independencia energética; por último, genera alternativas al impulso de la agroindustria, dado que para producir aceite a partir de fuentes vegetales, se necesitan cultivar grandes extensiones de terreno, generando una fuente de trabajo importante en sectores rurales, como lo han demostrado iniciativas globales, como las realizadas en la Patagonia Argentina e Irán, donde se han cultivado grandes extensiones con *Salicornia Bigelovii* para alimentación de ganado.

El segundo concepto, se basa en que para la producción del biodiesel, se utilizó la especie vegetal denominada “*Salicornia*”, que crece de manera silvestre en la Región de Coquimbo. Esta especie presenta tres características que justifican su cultivo; no ha sido valorizada económicamente, no se destina como base para consumo humano y es una especie “halófila”, es decir, está adaptada para absorber agua a partir de soluciones concentradas en sales; por lo tanto, no compite por el uso del recurso agua dulce y representa la fuente para producción de biocombustibles denominados de segunda generación.

En su parte operativa, el proyecto buscó cumplir con tres componentes principales, la obtención de un volumen de masa vegetal, la extracción de aceite y la producción de biodiesel. De forma transversal se analizarán las componentes técnicas y económicas para determinar la factibilidad futura de su aplicación.

Por último, como es de interés el impacto social de ésta iniciativa, se contempló incluir dentro de las actividades operativas del proyecto, a un número de integrantes de la comunidad de Puerto Aldea, ya que pertenecen a un área geográfica aislada dentro de la Región de Coquimbo y son parte de las actividades que se desarrollan en el sector costero y el área de impacto del proyecto.

4. Descripción de Componentes, Actividades y Resultados.

4.1. Componente 8: Constitución del Equipo de trabajo del proyecto.

4.1.2. Actividad 8.1: Realización de reuniones de organización y coordinación para el correcto funcionamiento del proyecto.

Las actividades de coordinación, tanto del equipo director de las distintas unidades que participaron del proyecto y el equipo técnico executor de las operaciones, fueron realizadas en total normalidad y de acuerdo a la carta Gantt propuesta en un inicio.

Cabe destacar, la disposición para facilitar las dependencias donde se realizarían las pruebas, ensayos y análisis, tanto de la especie vegetal en estudio, como las máquinas y equipos utilizados en el transcurso del proyecto, por parte de los distintos departamentos involucrados. También es importante mencionar, que la necesidad de obtener respuestas a ciertas inquietudes, que se presentaron durante la ejecución del proyecto, fueron resueltas, a través, de diferentes gestiones, que permitieron contar con la colaboración del Ceaza y el Departamento de Biología de la misma casa de estudio, lo que permitió dar validez y respuestas a las mismas.

Las distintas coordinaciones y gestiones del equipo, permitieron sociabilizar correctamente la finalidad del proyecto, logrando contar con la participación de actores públicos, como la Seremi de Bienes Nacionales y actores sociales, como la comunidad de Puerto Aldea y sus representantes.

4.2. Componente 7: Capacitación a técnicos e involucrados en el proyecto, en el manejo del cultivo de salicornia y producción de biodiesel.

Descripción de la Componente: El objetivo principal, fue capacitar al equipo en las técnicas de cultivo y desarrollo de productos potenciales a partir de la Salicornia; para esto, previamente, se realizó una actividad de vigilancia tecnológica, de modo de identificar, los distintos actores, que estaban encabezando las investigaciones a nivel mundial, sobre el manejo de la especie vegetal y sus aplicaciones, para luego poder realizar una gira tecnológica. El segundo paso fue traspasar todo lo conocido, hacia la operación en el terreno experimental y las personas que estaban participando tanto en él, como en el proyecto.

4.2.1. Actividad 7.1: Capacitación de profesionales del proyecto, en el exterior, sobre cultivo y procesamiento de salicornia con fines de producción de biocombustibles.

La segunda quincena de Junio de 2013, se realizó la gira tecnológica agendada por el proyecto Biosalic. El propósito de la actividad fue, conocer de forma directa las experiencias internacionales de proyectos, en los cuáles se involucraba el cultivo de *Salicornia Bigelovii*, ya sea como cultivo bioenergético o con propósitos de alimentación.

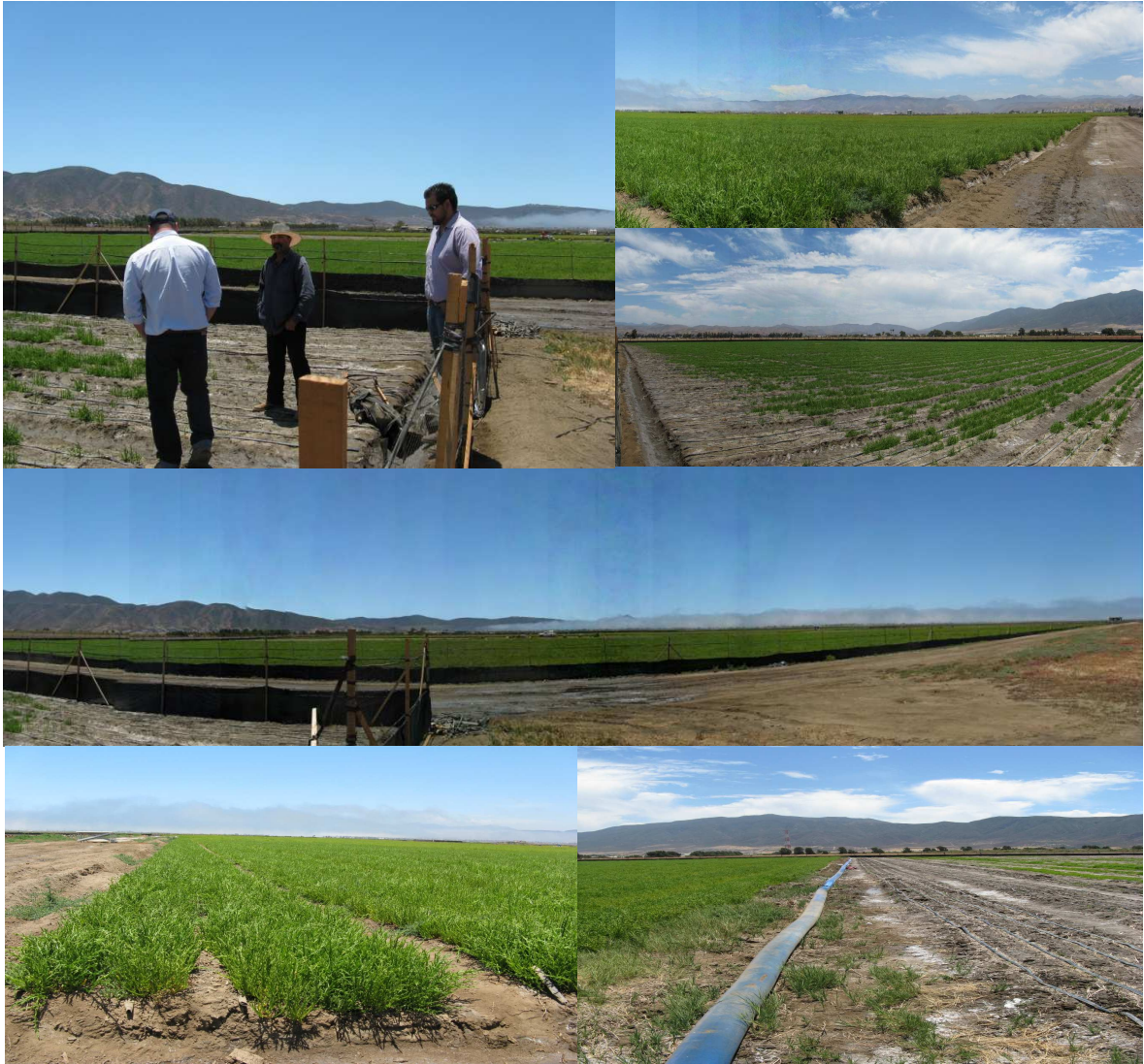
Como marco general, las visitas se realizaron a las localidades de Hermosillo y Ensenada en México y San Diego en California, todas estas zonas fueron seleccionadas, por ser las precursoras del uso y cultivo de la *Salicornia Bigelovii* a escalas industriales y en la realización de proyectos de mediana y gran escala; siendo estas áreas las que mantienen activos, proyectos de cultivo y aprovechamiento de Salicornia. (Ver Fotografía N°1).

En la ciudad de Hermosillo, se realizaron visitas a la Universidad de Sonora, y a la zona costera de Bahía Kino, con similares características geográficas, a la línea costera de la Región de Coquimbo (excepto por las temperaturas que exceden los 30° C) , donde se realizó el primer cultivo a gran escala de Salicornia, hace más de 10 años. En la localidad de Ensenada, se hicieron visitas a las plantaciones de Salicornia en las afueras de la ciudad, y en San Diego se visitaron empresas de comercialización y producción de Biodiesel. (Ver Anexo N° 1).

Las conclusiones y aportes de todos aquellos, con los que se realizaron contactos en esta gira, resultaron muy satisfactorios tanto para el proyecto Biosalic, como para transferencia tecnológica en el mediano y largo plazo.

Principales resultados de la Actividad:

- a) Se logró establecer el contacto y reunión con la Universidad de Sonora (México) quién ha llevado investigaciones en cuanto al cultivo de Salicornia en áreas costeras similares a la de la Región de Coquimbo.
- b) Se pudo conocer en terreno los cultivos extensivos de Salicornia (regados con agua de mar) y su manejo, así como, el formato de comercialización.
- c) Gracias al nexo que se pudo realizar con la Universidad de Sonora, se concretó un convenio en conjunto con la Universidad de La Serena, que tiene como pilar las actividades de Transferencia Tecnológica en el cultivo de *Salicornia* haciendo uso de agua de mar y el intercambio de conocimiento científico, predominando el área de las ERNC.
- d) Para hacer efectivo el convenio en el corto tiempo, se realizaron y concretaron las gestiones para la traída de expertos a la Región de Coquimbo, para analizar y asesorar en temas sobre cultivos de Salicornia, pero esta vez en el terreno experimental y en condiciones locales. Esta visita se realizó a finales del mes de Julio de 2014.



Fotografía N° 1: Campos de Cultivo de Salicornia, Ensenada, México.

4.2.2. **Actividad 7.2:** Transferencia Tecnológica a la comunidad de Puerto Aldea en la temática del proyecto para actividades operativas posteriores.

La visión de la Universidad de La Serena, así como de la unidad ejecutora del proyecto Biosalíc, ha sido siempre, transferir tecnología e involucrar a la comunidad, en la medida de lo posible, en todos los proyectos que se lleven a cabo. Por lo tanto, desde la sociabilización del proyecto, se involucró a la comunidad de Puerto Aldea, ya que pertenecen al área directamente impactada por el proyecto y además pertenecen a una zona aislada dentro de la comunidad de Tongoy y más aún, de los centros urbanos, por lo que cualquier iniciativa que tenga potencial de desarrollo es muy importante para su actividad.

Dada la premisa anterior, es que se involucró a los pescadores en todas las actividades referentes al ensamblaje de la planta piloto de producción de biodiesel, para que pudieran conocer su operación y todos los procesos que involucra. El mismo grupo, pudo conocer y practicar en terreno, como elaborar biodiesel, en una serie de talleres realizados en el galpón ubicado en el muelle de Puerto Aldea. Un trabajo muy gratificante, se realizó también, con los niños de la escuela local, los que pudieron conocer la Salicornia y aprender más sobre las energías renovables y sus beneficios. (Ver Fotografía N°2).

Otro grupo de personas, pudieron colaborar, en la implementación del sector experimental de cultivo y aprender a seleccionar, plantar, regar y cultivar la Salicornia con agua de mar, viendo su avance en todas las etapas.

Principales resultados de la Actividad:

- a) Se logró mantener un trabajo con la comunidad de Puerto Aldea, durante todo el proyecto, destacando el interés y colaboración demostrado por todos los que participaron. En este aspecto, se realizaron dos actividades con la escuela de Puerto Aldea, cinco talleres de producción de Biodiesel, además de las actividades de campo en la recolección de esquejes para reproducción de *Salicornia*.
- b) Se logró transferir los conocimientos de manera simple y efectiva, demostrando que la utilización de ciertas tecnologías, no están tan lejanas como a veces se piensa y que efectuando un trabajo responsable, se pueden realizar y emprender muchas iniciativas.
- c) Los participantes de la comunidad, pudieron aplicar los conocimientos adquiridos de forma práctica e inmediata, viendo los resultados, al mismo tiempo que se ejecutaban las actividades.
- d) El que una comunidad de pescadores, pudiera realizar una actividad completamente opuesta a sus operaciones normales, como es la agricultura, sugiere, que se pueden realizar actividades que impacten de forma distinta su quehacer diario y que de esta forma, se desarrollen sectores de la región como es el costero.



Fotografía N° 2: Actividades de Transferencia a la Comunidad de Puerto Aldea, Tongoy.

4.2.3. **Actividad 7.3:** Participación directa de cuatro personas de Puerto Aldea en actividades de campo del proyecto.

A medida que se realizaban las actividades de transferencia tecnológica hacia la comunidad, en los distintos ámbitos del proyecto, se contó con la participación activa de más de seis personas, en la implementación y operación de las actividades de campo, en las cuáles se mostró gran compromiso y dedicación. (Ver Anexo N° 2)

Dentro de las actividades en las cuáles participaron, se pueden mencionar:

- ✓ Habilitación del galpón principal de los pescadores, para la instalación de la planta piloto de producción de biodiesel.
- ✓ Colaboración en el ensamblaje de la planta de producción de biodiesel; en este aspecto, los participantes de la comunidad, tuvieron que conocer el funcionamiento y detalles de ensamblaje de la planta.
- ✓ Habilitación del terreno experimental en su fase cierre e instalación y disposición de equipos.
- ✓ Habilitación del terreno experimental, en su fase de adecuación para el cultivo, sistema de riego e instalación de línea de impulsión de agua de mar.
- ✓ Operación y control del riego, en el terreno experimental.

Principales resultados de la Actividad:

- a) Se contó con la participación de la comunidad de Puerto Aldea, con más de seis personas, en diferentes actividades durante la ejecución del proyecto, lo que fue desde un principio, el anhelo del equipo; esto, porque se lograba involucrar a los actores locales, en un proyecto de innovación con sentido regional y diametralmente opuesto a las actividades económicas normales que ellos desarrollan. (Ver Fotografía N°3).
- b) Los participantes de la comunidad, pudieron aplicar directa y casi inmediatamente, los conocimientos que habían adquirido, por lo que la transferencia se hizo más efectiva y práctica (los resultados se ven antes, durante y después de la operación).
- c) Dado que la comunidad está inserta dentro del subsistema costero y operacionalmente, fue factible realizar todas las actividades que involucraba el proyecto, indica que iniciativas de este tipo, representan reales alternativas, en el desarrollo de nuevas actividades económicas para la Región, con sus respectivos impactos y externalidades.



Fotografía N° 3: Actividades Operativas de la Comunidad de Puerto Aldea, Tongoy.

4.2.4. Actividad 7.4: Traída de expertos en la producción de biodiesel a partir de salicornia.

La semana del 21 de Julio de 2014, visitó la Región el Doctor en Ciencias de la Universidad de Sonora, México, el señor Edgar Rueda Puente; el señor rueda es experto en el cultivo de especies vegetales utilizando agua de mar, en especial la especie *Salicornia Bigelovii*, ecotipo del género *Salicornia*. En conjunto con el equipo técnico del proyecto Biosalic, visitó las instalaciones de la Universidad de La Serena, donde se realizaron las actividades del proyecto y también se realizaron una serie de visitas al área experimental de cultivo en Puerto Aldea; además dada la visita del Profesional, se realizó una charla magistral, en la cual se abordaron, las distintas aplicaciones de la *Salicornia* y los diversos proyectos que a nivel mundial se encuentran en ejecución. (Ver Fotografía N° 4).

Dada la visita del Doctor Ruedas, se pudo validar, las acciones que a nivel del proyecto se están realizando y concluir que dichas actividades se encuentran alineadas con los proyectos desarrollados actualmente a nivel mundial, en África, Argentina y Estados Unidos, entre otros.

Dentro de las cualidades del cultivo de la *Salicornia*, el doctor Ruedas, destacó el uso como forraje, para la alimentación de ganado caprino o bovino, para acciones de reforestación o aforestación de zonas costeras o desérticas, el uso para la fabricación de cosméticos y la producción de biocombustibles.

Al analizar los resultados obtenidos por el proyecto Biosalic y las características geográficas y ambientales de la Región de Coquimbo, el profesional, señaló que la Región está en buen pie, para iniciar un liderazgo en el desarrollo de cultivos vegetales, haciendo uso del agua de mar, sobre todo, potenciando el desarrollo del sector costero y sus comunidades, en el cual se podrían desarrollar actividades económicas complementarias, como lo son la acuicultura y el cultivo de halófitas.

También comentó, que el desarrollo de biocombustibles a partir de *Salicornia*, por parte de grandes conglomerados empresariales es una actividad relativamente reciente (10 años) y que en realidad no se tiene acceso a esa información, por lo que la comunidad científica y otras empresas, deben realizar sus propias investigaciones sin muchos puntos de referencia.

Al término de la visita del Doctor Rueda, se acordó firmar un convenio específico para el desarrollo y cooperación conjunta entre la Universidad de La Serena y la Universidad de Sonora, para impulsar e implementar acciones para el cultivo de especies vegetales, principalmente *Salicornia*, en la Región de Coquimbo.

La actividad fue exitosa, ya que se confirman los pasos que se están dando en la Región de Coquimbo y auspiciosas en el futuro, en cuanto al emprendimiento de iniciativas sustentables con impactos ambientales y económicos. (Ver Anexo N° 3 en formato digital).

Principales resultados de la Actividad:

- a) Dado el convenio firmado por la Universidad de La Serena y la Universidad de Sonora durante la gira tecnológica, se pudo contar con la visita del Doctor Edgar Rueda Puentes, experto en el cultivo de especies vegetales con agua de mar.
- b) Gracias a la visita del experto, se conocieron iniciativas a nivel mundial en el cultivo de *Salicornia*, así como, los detalles del cultivo y aplicaciones comerciales de la especie vegetal.
- c) Se realizó un convenio específico, para la continuación del trabajo conjunto en la transferencia tecnológica e investigación aplicada, en relación a cultivos con agua de mar y los beneficios económicos y sociales que se deriven de estos.
- d) El resultado principal de la visita del señor Rueda, fue que validó los trabajos ejecutados por el proyecto en la Región de Coquimbo, indicando que se estaba en el camino correcto con respecto al cultivo de la *Salicornia* y que no distaba mucho de las experiencias internacionales de las cuales participa, destacando el potencial de la región para desarrollar estos proyectos a nivel comercial.



Fotografía N° 4: Visita experto de la Universidad de Sonora, México.

4.3. Componente 6: implementación de una zona para las pruebas de cultivo de salicornia nativa e introducida.

Descripción de la Componente: Uno de los principales puntos dentro del proyecto, fue contar con datos, lo más cercanos a las condiciones reales donde se desarrolla la especie vegetal en estudio; dado esto, es que se gestionó con la Seremi de Bienes Nacionales, de la Región de Coquimbo, la cesión de un terreno en el área de Puerto Aldea, esto con fines de investigación. El terreno debió ser adecuado para las posteriores actividades de cultivo que se realizarían. Previo a la adecuación del terreno, se instruyó a los participantes de la comunidad de Puerto Aldea, en el cultivo de la *Salicornia* en conjunto con las otras actividades de producción de biodiesel.

En las siguientes actividades, se detallan las distintas acciones que se realizaron en esta etapa.

4.3.1. Actividad 6.1: Ingreso de solicitud y adjudicación de terreno experimental en bienes nacionales (sector costero Puerto Aldea).

En base a lo anterior, la Seremi de Bienes Nacionales, cedió el terreno ubicado aproximadamente a 3 kilómetros al Norte de la Caleta de Puerto Aldea.

Para realizar la solicitud se debieron especificar los puntos georeferenciados, del área que se estaba solicitando, incluyendo un análisis de éstos con los ejecutivos de Bienes Nacionales, para verificar que estuvieran dentro del área de intervención del organismo público. (Ver Fotografía N°5).

La concesión del terreno experimental fue por dos años, a contar de Julio de 2013, por lo que se contó con tiempo suficiente, para realizar las actividades en terreno, además de contar con un período de un año adicional, en caso de continuar con la iniciativa. (Ver Anexo N°4).

Principales resultados de la Actividad:

- a) La identificación, gestión, proceso y entrega de toda la información necesaria, para la adjudicación del terreno experimental, se hizo dentro de los tiempos estipulados y con la participación activa de todos los involucrados.
- b) Se concretó la adjudicación del terreno, dentro de los tiempos estipulados, éste punto significaba un hito crítico dentro del desarrollo del proyecto.

Ubicación Terreno experimental Puerto Aldea Tongoy



Fotografía N° 5: Ubicación Terreno experimental Cultivo Salicornia, Puerto Aldea, Tongoy.

4.3.2. Actividad 6.2: Recolección, procesamiento y análisis de datos para generación de información respecto al cultivo de Salicornia Nativa e Internada.

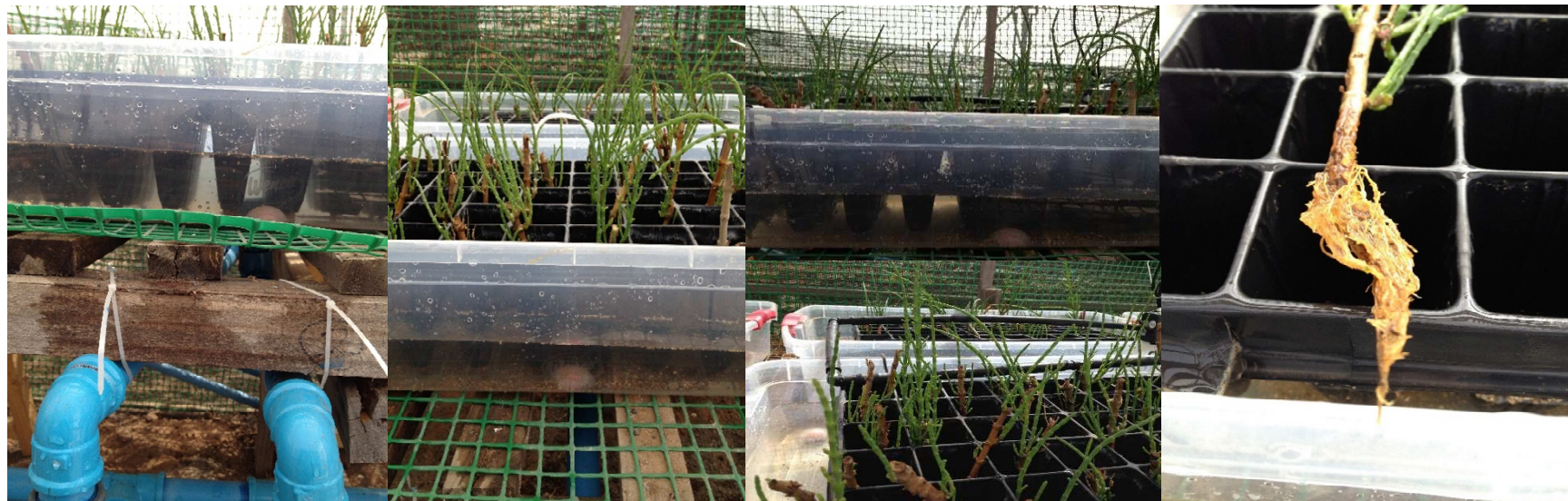
Una de las principales actividades a ejecutar, fue observar e identificar la forma de cultivar la Salicornia, en especial su desarrollo bajo condiciones locales y naturales.

Para lograr el propósito antes mencionado, se debieron realizar diferentes acciones, conducentes a obtener los datos necesarios, para luego, poder generar la información que permitiera tener una visión macro del comportamiento de la especie vegetal. Las acciones se detallan a continuación:

- ✓ Revisión del estado del arte, en cuanto a iniciativas de cultivo de Salicornia a nivel Mundial, para identificar las principales vertientes de investigación y actividades comerciales, considerando iniciativas que tuvieran similitud con áreas geográficas de la Región de Coquimbo, principalmente en la zona costera. (Ver Anexo N°5 en formato digital).
- ✓ Selección de los métodos más utilizados de propagación de la Salicornia, identificando la propagación por germinación de semillas y la propagación por esquejes, las vías a utilizar en este proyecto. Para ambos casos, se procedió a realizar las pruebas conducentes a determinar cuál era la mejor opción de reproducción. (Ver Fotografía N°6).
- ✓ Una vez identificada la mejor forma de reproducción, que en este caso fue por esquejes, estos fueron trasplantados al terreno experimental, para medir su evolución y crecimiento. Para tomar un ciclo completo de cultivo de cuatro estaciones, se tomaron los datos desde Agosto de 2013 a Julio de 2014. Tres sectores del terreno experimental se regaron con agua salada (el primero con 250

cc./planta/semana, el segundo con 500 cc./planta/semana y el tercero con 750 cc./planta/semana).(Ver Anexo N°6 en formato digital)

- ✓ El riego fue controlado usando goteros autocompensados y usando un sistema de regadío por redes de tuberías.
- ✓ Durante la operación de control, se debieron observar tanto en el terreno experimental como en el sector de recolección de esquejes, situaciones específicas, como el momento en que la Salicornia florece, ya que como se comentará en componentes posteriores, las semillas son el componente que tiene mayor cantidad de aceite en la planta.



Fotografía N° 6: Medios de Propagación de Salicornia, (arriba hacia abajo), propagación por germinación, propagación por esquejes y propagación hidropónica.

Principales resultados de la Actividad:

- a) El análisis del estado del arte, se puede revisar en el anexo correspondiente a esta actividad; se pueden destacar las iniciativas llevadas a cabo por Global Seawater Inc. en sus proyectos a gran escala en Bahía Kino (México) y en Eritrea (África), herencia para los posteriores proyectos de la Universidad de Sonora, la cual se visitó. También las distintas publicaciones científicas analizadas sobre propagación de Salicornia, así como, su composición y tratamientos específicos para el cultivo y la experiencia de la NASA en el desarrollo para combustibles para transporte aéreo mayor.
- b) Dentro del análisis del método de propagación, la germinación de semillas no tuvo buenos resultados ya que el tiempo de germinación fue muy prolongado y la tasa de germinación muy baja, bordeando el 10%, por lo que no es adecuada para la propagación; en cambio, la reproducción por esquejes dio excelentes resultados, teniendo tasas de crecimiento mayores que la germinación, permitiendo que los esquejes pudieran ser trasplantados al mes de su poda, con una mortalidad de solo 5%. Una cualidad apreciable es que el largo de las raíces fueron aproximadamente tres veces el tamaño de la parte aérea, lo que permite suponer, la alta capacidad de adaptabilidad de la especie, por poder captar la humedad del suelo, en áreas donde las temperaturas sobre todo en Verano bordean los 24°C. (Ver Fotografía N°6)
- c) Con respecto a las tasas de riego, establecidas en ensayo experimental, en Puerto Aldea, se obtuvo un mejor resultado con la tasa de riego igual a 750cc/planta/semana, donde se presentó una menor mortalidad de plantas (10%), ya que si este resultado es comparado con la tasa de riego igual a 500cc/planta/semana y 250cc/planta/semana, se obtuvo una tasa de mortalidad de 30% y 70%, respectivamente. Cabe destacar que todas las plantas fueron establecidas bajo las mismas condiciones edafoclimáticas. Sin embargo, se obtuvieron distintos crecimientos y mortalidades en las 3 tasas de riego establecidas en dicho terreno experimental.

A continuación se muestran las gráficas del crecimiento bajo las distintas tasas de riego, primero de forma individual y luego de forma consolidada.

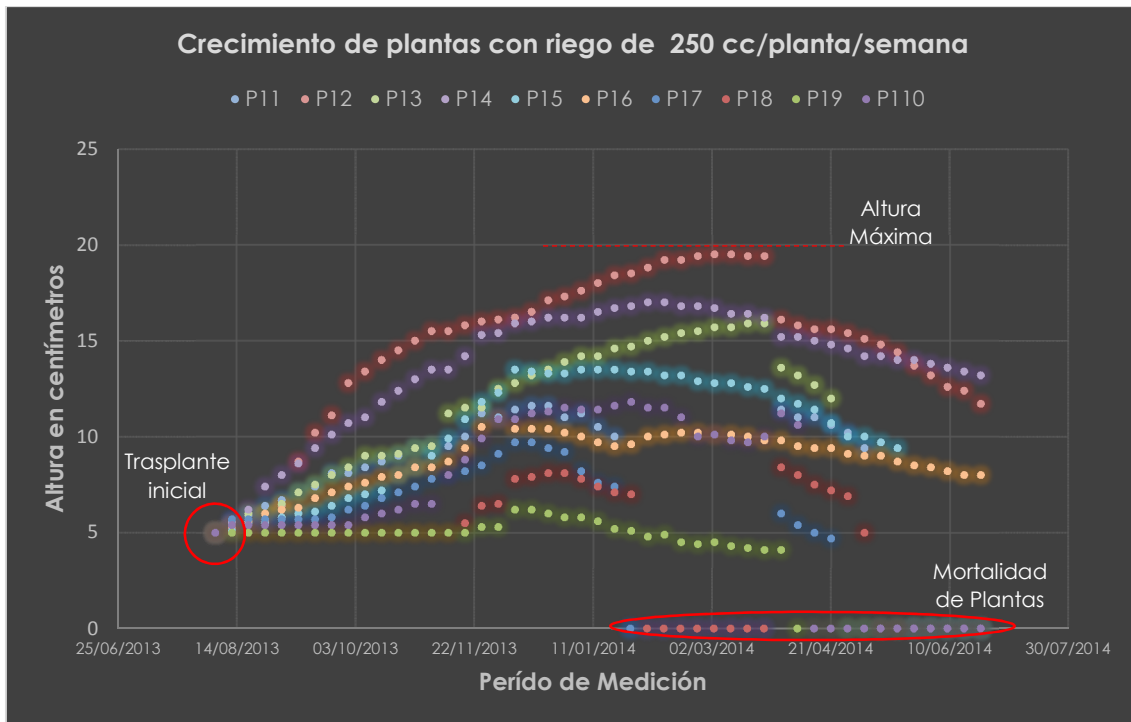


Gráfico N° 1: Crecimiento de plantas con tasa de riego 250 cc./planta/semana.

Como se puede apreciar en el gráfico (Gráfico N°1), la adaptación al trasplante en terreno (dado por el crecimiento inicial de todos los esquejes trasplantados) y el crecimiento inicial en la fecha cercana al 14 de Agosto de 2013, fueron positivos, pero aproximándose a la época estival, la tasa de crecimiento del 90% de las plantas comenzó a disminuir, aproximadamente a una tasa de 10% por mes, incluso terminando con una mortalidad del 70% a finales de Marzo y los meses posteriores hasta Junio de 2014.

Con respecto a la altura alcanzada por las plantas, es muy baja, (comparada a las alturas alcanzadas por los otros dos tratamientos con mayores tasas de riego) siendo la máxima altura los 20 cm. y en promedio solo 11 cm. por planta. Por nomenclatura las abreviaturas corresponden al número de tratamiento y al número de la planta analizada, por ejemplo, P11 corresponde a la planta 1 del tratamiento número 1.

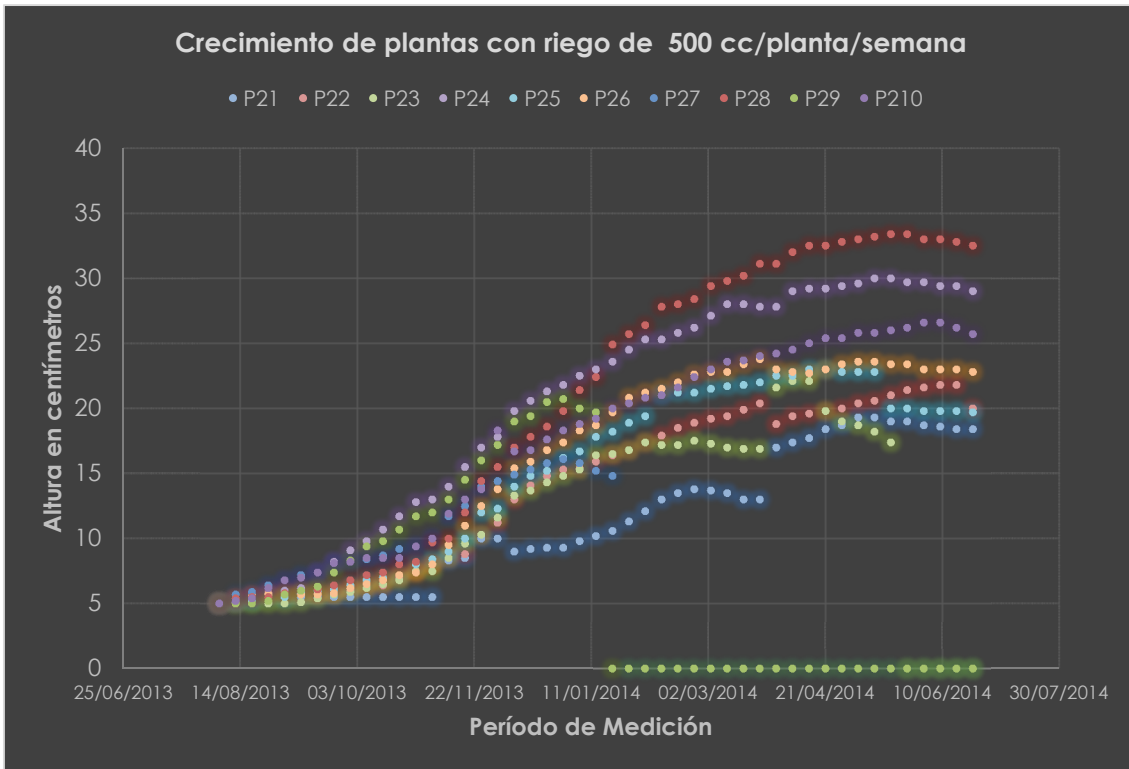


Gráfico N° 2: Crecimiento de plantas con tasa de riego 500 cc./planta/semana.

Al igual que en el área anterior (tasa riego 250 cc/planta/semana), la adaptación y crecimiento inicial fueron positivos (Gráfico N°2), pero en este caso, la adaptación hacia el final de la experiencia, fue mejor. Se puede observar, que la altura máxima alcanzada bordea los 35 cm., mayor en un 35% a la altura alcanzada con el riego de 250 cc. y la altura promedio llega a los 20 cm. aproximadamente, hacia finales de Junio de 2014.

La mortalidad de las plantas fue menor al caso anterior (tasa de riego de 250 cc/planta/semana), esta alcanza el 30% del total de las plantas, pero a diferencia del área anterior, el crecimiento se mantuvo durante la época estival. A inicios del Invierno del 2014, la mayor parte de las plantas presentaron una menor tasa de crecimiento, aproximadamente de un 2 cm/planta/mes.

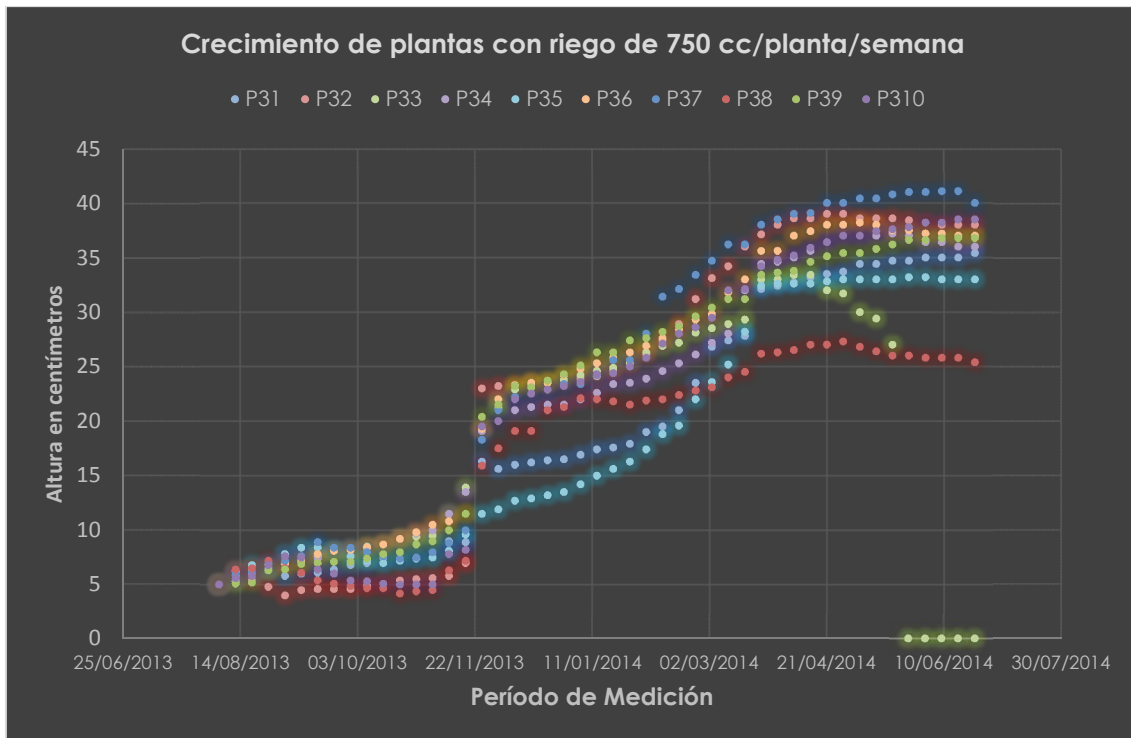


Gráfico N° 3: Crecimiento de plantas con tasa de riego 750 cc./planta/semana.

En esta tasa de riego, 750 cc/planta/semana (Gráfico N°3), se presentaron mejores resultados, que las anteriores, respecto al crecimiento y mortalidad de plantas.

Respecto al crecimiento, la altura máxima alcanzada observada, llegó a los 43 cm., 100% mayor a la altura máxima alcanzada en el área con tasa de riego de 250 cc. y 19% mayor al área con tasa de riego de 500 cc.

En cuanto al promedio de altura, este se sitúa en los 35 cm. y la mortalidad solo fue de 10%, la cual fue la menor, si se compara con las otras dos tasas de riego establecidas en este ensayo.

El siguiente gráfico, muestra el consolidado de los distintos crecimientos de las plantas, por tasa de riego. Como ya se mencionó, la tasa de riego que mejor dio resultado, fue de 750 cc./planta/semana; hay que indicar, que a inicios de Mayo de 2014, más del 90% de las plantas, en las tres tasas de riego, presentó una disminución en su crecimiento, algunas casi estancándose; a diferencia del período de Verano, donde su crecimiento era estable y en alza, solo para las tasas de riego de 500 y 750 cc.

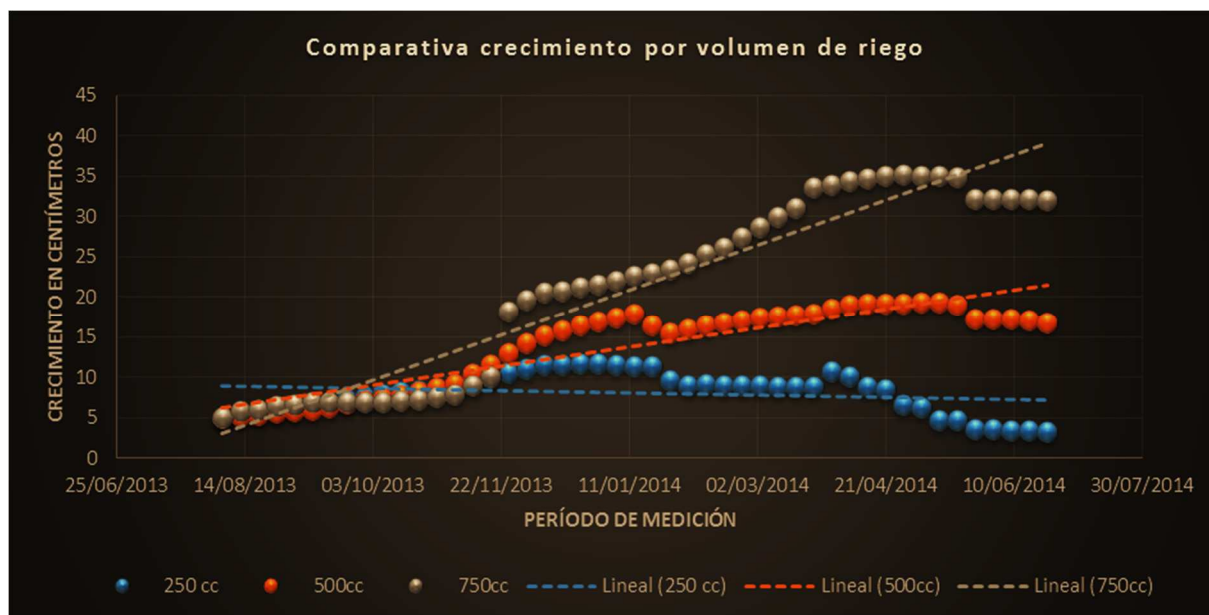


Gráfico N° 4: Comparativa de crecimiento de plantas bajo distintas tasas de riego.

Como se comentaba en párrafos anteriores, un punto importante, era observar, en qué momento, se producía el florecimiento de las plantas; ya que las semillas contienen la mayor cantidad de aceite. En el terreno de Lagunillas, los datos obtenidos indican que las plantas produjeron semillas en Octubre de 2013, a diferencia del sector experimental que se produjo en Abril de 2014, lo que significó que se pudieran realizar las respectivas pruebas con las plantas del área experimental. Ya que es la primera vez que se realiza un estudio de la especie vegetal de la Región de Coquimbo, las pruebas y toma de datos se realizaron condicionadas, al ciclo de vida de la especie vegetal, impidiendo adelantar ciertas pruebas, sin embargo, no influyó en las metas al final del proyecto.

4.3.3 Actividad 6.3: Trasplante y Cultivo de Salicornia Nativa (Salicornia Fruticosa).

Para la propagación de la Salicornia, se debía tomar material vegetal, de un área específica, que no fuera parte de la serie de humedales protegidos de la zona. Es por esto, que se contó con la participación de privados, que cedieron el paso para obtener muestras del sector de Lagunillas. (Ver Anexo N° 7).

Para obtener material vegetal representativo, se dividió la zona en grillas y se procedió a obtener muestras de cada una de ellas. Estas muestras (esquejes), fueron trasplantadas y establecidas en terreno experimental de Puerto Aldea.

Los esquejes que se recolectaron para propagación, se sometieron a distintos tratamientos, que fueron, adicionar enraizante y humedecer los esquejes, adicionar enraizante con rompimiento y sólo aplicar enraizante. El propósito, fue determinar, cuál era el más efectivo para lograr formar raíces en las plantas. Una vez identificado el tratamiento que dio mejores resultados (enraizante+humedecimiento), se procedió a extraer una cantidad de 1.200 esquejes, para ser trasplantados al terreno experimental en Puerto Aldea. Cabe mencionar, que para los tratamientos, riego y mantención de

los esquejes hasta el momento de enraizar, se mantuvieron en un sombreadero, en dependencias de la Universidad de La Serena y del Departamento de Biología.

Principales resultados de la Actividad:

- a) Los tratamientos realizados, determinaron que la mejor forma de propagar la *Salicornia*, es a través de esquejes. (Ver Anexo N° 8)
- b) El 90% de los esquejes que fueron tratados, generaron raíces y se estabilizaron, lo que permitió su adaptabilidad posterior, en el terreno experimental.
- c) La participación de privados fue primordial en este punto al dar acceso al área de Lagunillas, donde se pudieron tomar esquejes para la propagación; esto permitió, que no se tuviera que intervenir en las áreas costeras, donde se encuentran los humedales.
- d) Se logró trasplantar los esquejes, al terreno experimental en Puerto Aldea, en conjunto con personas de la comunidad. Las acciones posteriores de monitoreo y riego también fueron efectuadas por ellos. (Ver Anexo N°9)
- e) Las actividades de cultivo a lo largo del proyecto, se efectuaron con normalidad, permitiendo un buen desarrollo de las plantas de *Salicornia*, obteniendo los datos necesarios para el proyecto.

4.3.4. Actividad 6.4: Compra (semillas), Siembra y Cultivo de *Salicornia* introducida (*Salicornia Bigelovii*).

Uno de los puntos propuestos, era realizar las gestiones y operativa necesaria para poder importar semillas de *Salicornia*, en este caso de *Salicornia Bigelovii*, un ecotipo que presenta un mayor tamaño que la especie nativa identificada. El punto de esta actividad, era comparar el cultivo de ambas para analizar diferencias y poder establecer parámetros para futuros desarrollos.

Dentro de los requerimientos para poder importar material de propagación (semillas), el SAG exige un certificado fitosanitario de origen, o que el país de origen cuente con convenios con Chile con respecto a la internación de ciertas especies vegetales. Se contactaron a dos proveedores, uno ubicado en China y otro en Bélgica.

El proveedor, ubicado en China no poseía certificación fitosanitaria de origen y el de Bélgica sí, pero no reconocida por Chile; por lo que en ambos casos, no se pudo importar las semillas de *Salicornia Bigelovii*; para ambos casos, se debía seguir con una internación, la cual debía someterse a cuarentena y no se tenía certeza que podría pasar el proceso de aduanas, por lo que se prescindió de la actividad.

Para generar un trabajo conjunto y a futuro, poder internar semillas de *Salicornia Bigelovii* certificadas, se debe realizar una gestión interinstitucional, entre el SAG y su homólogo, dentro del país del cual se requiere importar.

4.3.5. Actividad 6.5: Adecuación y Preparación de Terreno e Infraestructura de soporte.

Para la fase de cultivo de Salicornia, se debió preparar e implementar el terreno experimental cedido por Bienes Nacionales en Puerto Aldea, para realizar la experiencia en un ambiente natural y sin ningún control de las variables del entorno, para así obtener resultados ajustados a la realidad.

Dentro de las actividades comprendidas, se encuentran, la limpieza, nivelación y cierre perimetral del terreno, como lo exige Bienes Nacionales ante la cesión de sus Bienes. El cierre se construyó con la ayuda de la comunidad de Puerto Aldea, lo que permitió cumplir con la tarea de forma óptima. Se instalaron los carteles indicativos de la iniciativa, tanto a nivel de camino, como a la entrada del área experimental, para dar conocimiento del proyecto. (Ver Anexo N°10).

El terreno fue implementado con un sistema de riego por goteo, esto debido a que se debía controlar la cantidad de agua que se inyectaba a cada planta; cada línea de irrigación estaba compuesta por goteros autocompensados para cada una de las plantas. (Ver fotografía N°7).

Se instalaron, tres estanques plásticos, dos de 600 lts. y uno de 1200 lts. para acumular el agua salada para el riego. En un inicio, el agua debió ser transportada en vehículos aljibes, pero posteriormente se pudo implementar una red de elevación, a través, del área de concesión de la acuícola anexa al terreno.

Principales resultados de la Actividad:

- a) Se ejecutó el cierre perimetral, se adecuó el terreno efectuando las labores de nivelación y limpieza; se instalaron los estanques acumuladores para el agua salada de riego, con su respectiva red de tuberías y bombas de impulsión y se implementó una red de elevación de agua salada desde el terreno de la acuícola colindante.
- b) El hacer partícipe a la comunidad, de ciertas actividades del proyecto, permitió que las áreas intervenidas, pudieran ser cuidadas y mantenidas en el tiempo.



Fotografía N° 7: Actividades de Adecuación de terreno experimental, Puerto Aldea, Tongoy.

4.4. Componente 5: Contar con un volumen necesario de masa vegetal para la extracción de aceite.

Descripción de la Componente: Para la fase de pruebas de extracción de aceite de Salicornia, se debía contar con un volumen de masa vegetal. Este volumen sería cosechado del área privada de Lagunillas y un segundo volumen del ensayo experimental, en Puerto Aldea. Ambos volúmenes de material vegetal, debieron ser extraídos en distintas estaciones, para evaluar la extracción de aceite en las diferentes etapas de crecimiento de las plantas.

Las actividades respectivas para esta componente, se muestran a continuación.

4.4.1. Actividad 5.1: Envío de masa vegetal (nativa y/o internada) a la fase de extracción de aceite.

Los volúmenes enviados a la fase de extracción de aceite, correspondieron a los planificados y con el mínimo impacto en las áreas de las cuáles fueron extraídos. Se extrajeron aproximadamente 600 kilos de material vegetal seco de la especie vegetal nativa, en un área de 20 m² (ver actividad 5.2); con respecto a la especie internada no se realizaron actividades, ya que no se logró internar material de propagación.

Esta etapa, contempló, la participación de tres personas de la comunidad de Puerto Aldea y también de la comunidad estudiantil de la Universidad, los que pudieron conocer en terreno el desarrollo de la especie vegetal. Todo el material vegetal, se

trasladó desde el sector de Lagunillas (Morrillos) y desde el área experimental en Puerto Aldea (Tongoy), tanto a dependencias del departamento de Química de la Universidad de La Serena, como dependencias del Laboratorio central de la misma casa de estudios, donde se realizaron las adecuaciones e instalaciones de equipos necesarias para poder realizar todas las experiencias programadas.

Principales resultados de la Actividad:

- a) Gracias a la participación de privados en el proyecto y a la correcta adecuación y operación del terreno experimental, se contó en todo momento y en todas las etapas de crecimiento, con material vegetal de *Salicornia*, para poder realizar las extracciones de aceite requeridas y para obtener los resultados necesarios del proyecto.

4.4.2. **Actividad 5.2:** Cosecha de un volumen determinado de la especie vegetal nativa (*Salicornia Fruticosa*), proveniente de un área de la Región ya identificada, para las pruebas de obtención de aceite.

Como se comentó en la introducción de la componente, el material vegetal necesario para las pruebas y análisis de extracción de aceite, fue recolectado del área de Lagunillas, donde se identificaron los sectores donde se cosecharía.

Para aprovechar la época estival, que es cuando se efectúan, las primeras cosechas; el material se dispuso en terreno, para secarse a temperatura ambiental y no tener que hacer uso de los hornos de laboratorio.

El primer volumen provino del área de Lagunillas, donde se obtuvieron aproximadamente 600 kilos de materia vegetal seca, la cual se envió al laboratorio de Química de la Universidad, para las primeras pruebas y sus correspondientes análisis. Los 600 kilos, fueron extraídos en tres temporadas distintas, las primeras dos contemplaban el estado de las plantas sin semillas y la última extracción con semillas. El segundo volumen de masa vegetal provino del área experimental, una vez que las plantas presentaron un avance considerable en su crecimiento y se mostrara la aparición de semillas. La extracción diferida por áreas y por estaciones, permitió que éstas se regeneraran de forma natural y no sufrieran ningún impacto negativo.

Principales resultados de la Actividad:

- a) Se logró contar con una cantidad de 600 kilos de material vegetal, del sector privado de Lagunillas y 50 kilos del Sector Experimental, para efectuar las cosechas respectivas, en las distintas estaciones y estados de las plantas (estado de madurez), por las cuales se mantuvo la ejecución del proyecto.
- b) Se realizó un manejo sustentable de la actividad, permitiendo la regeneración natural de las áreas intervenidas, lo que significa que un uso de este tipo, se puede realizar perfectamente, manteniendo las condiciones iniciales del entorno.

- c) Durante las cosechas participaron cuatro personas de Puerto Aldea, en conjunto con profesionales del equipo técnico del proyecto. El volumen de material vegetal del terreno experimental fue menor que el de Lagunillas, dado que es una experimentación no hay igual número de plantas por metro cuadrado ni tan desarrolladas.

4.4.3. **Actividad 5.3:** Extracción de un volumen determinado de material vegetal proveniente del área experimental y de la especie internada (*Salicornia Bigelovii*) para las pruebas de obtención de aceite.

Como se comentó en la actividad 6.4 (compra de semillas y cultivo de especie vegetal internada), no fue factible internar semillas de *Salicornia Bigelovii*; por lo tanto la presente actividad no pudo realizarse; esto sin implicancias para la ejecución normal del resto de las actividades no vinculadas.

4.5. **Componente 4:** generación y análisis un volumen necesario de aceite para producir biodiesel a nivel piloto.

Descripción de la Componente: Ya avanzadas y en ejecución todas las actividades previas, la etapa siguiente, consistió en obtener aceite de la masa vegetal extraída, de los dos sectores mencionados en la componente anterior. Para obtener biodiesel, se analizó el aceite extraído y se realizaron las experiencias posteriores, de modo de determinar la factibilidad primero técnica y luego económica de su utilización.

En las siguientes actividades se detallan los pasos respectivos de la componente.

4.5.1. **Actividad 4.1:** Envío de aceite a planta proceso.

Para el envío de aceite a la planta de proceso, las actividades previas se realizaron con normalidad, el volumen enviado fue aproximadamente de un litro de aceite, este no fue el inicialmente esperado, ya que gran parte del aceite o lípidos extraídos se solidificaba a temperatura ambiente. El proceso de extracción de aceite es la parte final del ciclo integral de cultivo de *Salicornia*, por lo que las extracciones se realizaron a medida que las plantas iban creciendo, en este sentido, las cantidades y análisis de aceite, se iban obteniendo a medida que las plantas crecían, permitiendo su regeneración natural.

4.5.2. Actividad 4.2: Análisis químico y caracterización del aceite producido.

Para realizar el análisis químico del aceite obtenido, durante las pruebas de extracción de aceite, se utilizó el procedimiento llamado cromatografía de gases, que es una técnica muy utilizada, para separar los diferentes compuestos volátiles de una muestra específica. La fase móvil es un gas inerte, (nitrógeno o helio) que transporta la muestra volatilizada en un inyector, a través, de una columna cromatográfica. La fase estacionaria, generalmente, está constituida por una columna de metil polisiloxano, o derivados de éste. Los diferentes compuestos se separan en función de su grado de volatilidad (punto de ebullición, peso molecular) y su afinidad por la fase estacionaria. Entre los detectores más utilizados caben mencionar el detector FID (ionización de llama) que por su alta versatilidad, hace posible la detección de un elevado tipo de compuestos y está indicada para la separación de compuestos orgánicos volátiles.

Dentro del análisis de ácidos grasos, se tomaron muestras de diferentes secciones de la planta, esto para determinar si existían variaciones en cuanto a los resultados finales; es así como se determinó los distintos compuestos del aceite, los cuáles se describen a continuación. (Ver Anexo N° 11)

Los datos que muestran los análisis indican la siguiente composición del aceite obtenido:

Ácido graso	Nomenclatura	%A.G.	Ácido graso	Nomenclatura	%A.G.
mirístico	C14:0	0,1	linolénico	C18:3	1,9
palmitico	C16:0	12,3	araquídico	C20:0	0,8
palmitoleico	C16:1	0,2	eicosenoico	C20:1	0,5
margárico	C17:0	0,1	behénico	C22:0	0,7
margaroleico	C17:1	0,1	docosapentanoico	C22:5	0,4
esteárico	C18:0	1,8	lignosénico	C24:0	1,5
oleico	C18:1	15,8	Otros		0,9
vecenico	C18:1	0,7			
linoleico	C18:2	62,3			

Tabla N° 1: Composición de ácidos grasos Salicornia, Región de Coquimbo.

Es importante destacar la cantidad de ácidos grasos polinsaturados², contenidos en las muestras, estos ácidos son el Linoleico (Omega 6) en un 62,3% y Linolénico (Omega 3) en un 1,9%, que suman en conjunto un 64,2%; esto indica que su utilización para aplicaciones en alimentación ya sea humana o animal son factibles.

Cabe recordar que estos aceites forman parte constitutiva de la masa vegetal de la Salicornia en estudio, por lo tanto no es necesario generar la extracción del aceite en sí, para contar con sus propiedades.

La siguiente tabla, indica una comparación con los contenidos de aceites de otros productos alimenticios, observando un perfil similar, lo que potencia el uso de la Salicornia como complemento alimenticio humano y animal, dado que utiliza el agua de mar como recurso hídrico, y no agua dulce que es un elemento actualmente escaso en la Región de Coquimbo.

Ácidos	Aceite de semilla de salicornia %	Aceite de pepita de uva %	Aceite de cártamo % ³
Ácido palmítico	12,3	6-10	5-10
Ácido oleico (omega 9)	15,8	15-20	10-25
Ácido linoleico (omega 6)	62,3	60-75	65-80
Ácido linolénico(omega 3)	1,9	< 2	<0,5

Tabla N° 2: Comparación de ácidos grasos Salicornia, Región de Coquimbo.

Cabe indicar que para tener certeza de los resultados, se enviaron muestras para análisis al laboratorio central de la Universidad de La Serena y también al CIDTA de la Universidad Católica, esto permitió contar con contramuestras que validaran los resultados.(Ver Anexo N°12).

4.5.3. **Actividad 4.3:** Caracterización de subproductos obtenidos del proceso de producción de aceite.

Como en toda actividad de separación de compuestos constitutivos de un material vegetal, se generan residuos que quedan producto de los procesos. En el proceso de producción de aceite, el residuo como tal, comprende la materia vegetal tamizada; este material en primera instancia podría ser utilizado en diferentes áreas; primero como alimento para animales, ya sea tamizado o en pellets, pero existe un punto en este aspecto, que es el que podrían existir trazas de hexano en el material vegetal que no se eliminaron, por lo tanto se debería descartar esta opción. La segunda aplicación es siendo parte de materiales para elementos decorativos en construcción, como son los aglomerados. Existe una tercera opción, que sería como material para

² Los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga omega-6; ácido araquidónico, y omega-3; ácido docosahexaenoico, son fundamentales en la formación de la estructura y en la funcionalidad del sistema nervioso y visual de los humanos. Fuente: sciELO.cl. Valenzuela, Nieto 2003.

³ El cártamo o alazor (*Carthamus tinctorius* L.) es una planta, de la familia de los cardos, originaria de la India. Fuente: www.oleaginoceas.org.2012.

combustión en la generación de energía, lo que debería ser analizado por los elementos contaminantes producidos durante el proceso.

4.5.4. Actividad 4.4: Selección y aplicación de métodos físicos y químicos de extracción de aceite a partir de Salicornia.

La etapa intermedia entre el procesamiento del material vegetal y la producción de biodiesel, consiste en extraer aceite del material antes mencionado. Un punto importante a tener en cuenta, es que el presente proyecto, es nuevo a nivel regional, inclusive si tuviera homólogos en otras regiones del país, no se tiene precedentes nacionales de cultivos como tal y menos de extracción de aceite; solo se conocen experiencias internacionales, a través, de publicaciones científicas o empresas de base tecnológica, que han sido precursoras de los beneficios de trabajar con halófitas⁴.

Para extraer el aceite de la especie Salicornia, se identificaron tres procesos enunciados en la literatura científica, en primer lugar el método físico, que consiste en triturar la masa vegetal (en especial la parte aérea que contiene las semillas) hasta que por extrusión, comience a liberar el aceite, este método se asemeja al mismo que se ocupa para extraer el aceite de maravilla. Las experiencias realizadas no respondieron de acuerdo a las investigaciones previas, ya que fue muy poco lo que se obtuvo de aceite; hay que contemplar que no se contó con el volumen suficiente de semillas para observar algún resultado positivo. (Ver Anexo N°13).

El segundo método más utilizado, es la extracción por solventes, donde mediante un equipo de vidrio, llamado extractor soxhlet, se hace pasar un solvente (en estado de vapor) a través, de la materia vegetal tamizada y seca, el cual arrastra los lípidos y luego al condensarse los va depositando en un balón inferior. Distintos solventes fueron utilizados, hasta que se seleccionó el de mayor arrastre y por ende mayor cantidad de lípidos como resultado. (Ver Fotografía N° 8)

En tercer lugar, se identificó la extracción por CO₂, pero no se pudo realizar la experiencia ya que las únicas máquinas y equipos en el mercado son utilizadas a nivel industrial y no se pudo hacer uso de una de ellas a modo de maquila por la disponibilidad y por la materia vegetal que se estaba tratando, y por costo y tiempo, no se pudo replicar una máquina en los tiempos adecuados para resultados según estándares.

Dentro de todos los métodos, el más utilizado dentro de la literatura y otras experiencias identificadas, es la extracción por solvente, en el cuál el Hexano resultó ser el solvente, con el que más lípidos se obtuvieron. Dado que todas las experiencias identificadas solo se habían hecho a nivel de laboratorio, se diseñó un extractor de mayor tamaño, con capacidad para 5 litros (los utilizados comúnmente solo son de 250 ml.) para escalar la experiencia y observar qué resultados se obtenían, con mayor cantidad de materia vegetal.

⁴ Halófitas es una planta que crece de manera natural en áreas afectadas por salinidad en las raíces o aerosoles.aguamarket.com.2013.

Las primeras extracciones, con los extractores pequeños en serie, dieron buenos resultados, obteniendo lípidos en un orden del 25% del total de volumen de material vegetal, lo que correspondía con lo encontrado en la literatura científica; incluso este porcentaje aumentó cuando se realizaron las extracciones con semilla. Esto quedó, contrastado una vez escalada la experiencia, cuando se utilizó el equipo de mayor capacidad, lo que implicó mayor tiempo en las extracciones y menor rendimiento contrariamente a lo que se esperaba; en el apartado de producción de biodiesel (componente 2) se detalla mayormente los resultados finales.



Fotografía N° 8: Extracción de Aceite de Salicornia.

Principales resultados de la Actividad:

- a) Se identificaron tres métodos más utilizados para la extracción de lípidos, el mecánico o molienda y compresión, la extracción por solventes utilizando un equipo llamado soxhlet y la extracción por CO₂; el método que dio mejores resultados fue el de extracción por solventes con 150 ml. por kilo de material vegetal seco.
- b) El mejor rendimiento de extracción, se obtuvo por el método de extracción por solventes y en especial utilizando Hexano, con rendimientos promedio cercanos al 20% de lípidos extraídos por gramo de material vegetal seco en base a pruebas de laboratorio menores; en este caso, por un kilo de material vegetal seco, se obtendrían 200 ml. de lípidos, manteniendo el rendimiento proyectado; esto considerando, que si se escala a una producción mayor, el porcentaje de rendimiento, baja a un rango entre 10% y 15% en el caso de extracciones con

semillas, esto es, de un kilo de material vegetal seco, se obtendrían entre 100 y 150 ml. de lípidos.

- c) Se diseñó y enviaron las especificaciones técnicas respectivas, de un extractor soxhlet de mayor capacidad que los normales, para realizar las pruebas a mayor escala. Este extractor debía ser fabricado en vidrio, con cualidades específicas y resistentes al calor, por lo que se envió a fabricar a la Universidad Católica de Chile, donde poseen un área específica de fabricación en vidrio.
- d) Finalmente en este punto, se realizaron todas las pruebas necesarias y factibles, con el fin de obtener lípidos de material vegetal de Salicornia.

4.6. **Componente 3:** implementación de una planta piloto para producción de biodiesel

Descripción de la Componente: Para realizar las pruebas de producción de biodiesel, al inicio del proyecto se debía diseñar una planta capaz de producirlo, esta decisión estuvo basada en primera instancia, en adquirir una planta en el mercado pero los modelos que se encontraron eran muy costos y sobredimensionados para la experiencia de este proyecto (se debe contemplar que la producción en una escala mayor a la de laboratorio, era una incógnita inicial por lo que un gasto alto podría representar un malgasto de los recursos).

Por lo tanto, en un compromiso de cumplir la tarea y también de transferir tecnología, el equipo del proyecto junto a estudiantes de la Universidad de La Serena, diseñaron y construyeron e implementaron una planta piloto, que funcionó de forma óptima. Esta planta, fue ubicada en el galpón industrial de los pescadores, donde ellos pudieron conocer y adquirir los conocimientos suficientes para producir biodiesel.

4.6.1. **Actividad 3.1:** Ensamblaje de planta de producción de biodiesel y pruebas de operación.

El ensamblaje de planta, se realizó en el galpón de la agrupación de pescadores de Puerto Aldea, con la participación de un grupo de ellos. Hacia el lugar se trasladaron todos los equipos y máquinas necesarios para operar la planta. (Ver Figuras N° 8 y N° 9).

Para verificar la operatividad de la planta, antes de la inauguración del proyecto, se calibró la planta, utilizando aceite residual de actividades comerciales; las pruebas resultaron satisfactorias y se utilizó el biodiesel generado hasta ese momento para operar la grúa de carga ubicada en el muelle de Puerto Aldea. (Ver Anexo N°14).



Fotografía N° 9: Construcción y ensamblaje de planta piloto de producción de biodiesel, Puerto Aldea, Tongoy.



Fotografía N° 10: Construcción de planta piloto de producción de Biodiesel, Puerto Aldea, Tongoy.

4.6.2. **Actividad 3.2:** Especificación de los equipos y materiales que conforman la planta piloto y Diseño de la Planta.

Como se comentó en el resumen de esta componente, se diseñó y construyó en forma íntegra la planta piloto, que permitiría hacer las pruebas de producción de biodiesel; ésta se diseñó para cumplir con un volumen mínimo de producción pero sin sobredimensionarse. Dado que esta actividad es netamente de diseño, se pueden consultar todas las especificaciones en el anexo respectivo. (Ver Anexo N°14).

4.7. **Componente 2:** generación y análisis de un volumen de biodiesel para ser utilizado en pruebas de campo

Descripción de la Componente: En esta componente, última etapa del proyecto, se consideró el análisis y factibilidad de producir biodiesel a partir de Salicornia, por lo que el detalle de las acciones y resultados se detallan a continuación.

4.7.1. **Actividad 2.1:** Análisis químico y caracterización del biodiesel producido.

El siguiente paso, luego de la obtención de aceite, fue la ejecución de las pruebas para producir biodiesel. El objetivo de producirlo fue logrado, pero se identificaron inconvenientes para la producción a mayor escala del biocombustible, estos inconvenientes se detallan a continuación.

En primer lugar, los lípidos obtenidos en la fase de extracción de aceite, a mayor escala, resultaron en un producto que a temperaturas normales se solidificaba, esto no permitió, que a mayor escala se pudiera producir biodiesel, ya que al entrar en la fase del reactor (planta piloto), donde el aceite y el metanol se mezclan, ambos elementos no reaccionaron, creando una masa semiacuosa, cuya composición final no correspondía a biodiesel.

Al no poder obtener el producto biodiesel de Salicornia a una escala que permitiera proyectar posibilidades de mercado, no fue factible realizar una caracterización química de este. Sin embargo, dentro de las pruebas iniciales se pudieron obtener los datos correspondientes a los balances de materia involucrados y la energía requerida para el ciclo de producción completo, los cuales servirían para el análisis económico del proyecto.

Sin duda que la imposibilidad de poder producir biodiesel a una escala mayor (es decir más de 5 litros), significó un lamentable resultado para el equipo, se debía ejecutar un segundo análisis a la planta para determinar la factibilidad de un segundo proceso, ahora para obtener bioetanol (alcohol) que es el similar a la bencina. El bioetanol se obtiene del proceso de fermentación de los azúcares contenidos en un volumen de biomasa, el proceso posterior a aplicar es la destilación como se conoce comúnmente, tal como se aplica a la uva para producir pisco.

Por lo tanto se debía conocer el contenido de azúcares en la planta de Salicornia; esto se llevó a cabo mediante espectrofotometría y se obtuvieron valores de 1,65% considerando las semillas lo que resultó muy bajo para realizar una fermentación.

Sólo una empresa norteamericana (Honeywell Inc.) se identificó como precursora de estudios para producción de bioetanol, utilizando dentro de su base biomasa de Salicornia, para la industria aeronáutica, pero dado que esto se encuentra en pruebas no se tiene acceso a la técnica.

Del volumen de biodiesel producido, solo se realizó una prueba visual de separación, que consiste en mezclar biodiesel con agua en idénticas proporciones y agitar, el biodiesel y el agua se separaron en fracción de un minuto, lo que indica que aún requiere mayor refinación; generalmente se demora entre 2 y 20 segundos.

4.7.2. Actividad 2.2: Balance de materia y energía involucradas en el proceso de producción de biodiesel.

Para comprender los resultados de la presente actividad, se comenzará definiendo las etapas en la producción de biodiesel y sus componentes, para luego continuar con los datos obtenidos en la experiencia, dado que no se obtuvo biodiesel en volumen suficiente, para determinar un balance de materia, que mostrara conclusiones relevantes, solo se analizó el balance de energía involucrado en el proceso.

El biodiesel es un biocombustible sintético líquido, que se obtiene a partir de lípidos naturales, como aceites vegetales o grasas animales, nuevos o usados, mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación, y que se aplica en la preparación de sustitutos totales o parciales del diésel obtenido del petróleo.

El biodiesel puede mezclarse con diésel en diferentes cantidades. Se utilizan notaciones abreviadas según el porcentaje por volumen de biodiesel en la mezcla: B100 en caso de utilizar sólo biodiesel, u otras notaciones como B5, B15, B30 o B50, donde la numeración indica el porcentaje por volumen de biodiesel en la mezcla.

Para generar biodiesel a partir de plantas, primero debe obtenerse el aceite contenido en sus semillas, ya sea por medio del prensado mecánico o mediante la extracción química empleando solventes.

Una vez que se tiene el aceite base limpio, se le somete al proceso principal, conocido como transesterificación, en el que se separan sus componentes para obtener biodiesel y glicerina. Este proceso se realiza mezclando el aceite con una pequeña parte de metanol y otra de algún catalizador base (como el hidróxido de sodio -NaOH-), mientras se calienta y se mueve. Al final de este proceso, la glicerina, que es más pesada, se va al fondo del contenedor, mientras que el diésel flota en la parte superior.

Para finalizar el proceso, el biodiesel es sometido a procesos de limpieza y refinación hasta que alcanza los estándares adecuados. (Ver Figura N° 1).



Figura N° 1: Proceso Generación de Biodiesel. Fuente: biosfera.com. 2010.

En lo que concierne a combustibles, el balance energético básicamente es la diferencia entre la energía disponible por unidad de combustible producido y la energía necesaria para su producción (extracción o cultivo de la materia prima), el transporte de ésta a la industria, la industrialización (transformación y destilado) y transporte hasta el uso final.

Para calcular los requerimientos energéticos para la producción de biodiesel de salicornia, se separó el ciclo de vida del proyecto en dos etapas: la etapa agrícola, que abarca desde las adecuaciones previas a la propagación, hasta el acopio del material vegetal; y la etapa industrial, que contempla la transformación del material vegetal a aceite y luego a biocombustible y su posterior traslado a centro de distribución. De estos procesos surge el balance energético propiamente tal, es decir, el valor que resulta de restar la energía de entrada en ambas etapas, a la energía de salida contenida en los litros de biocombustible producido. Estos cálculos son enunciados en la siguiente tabla.

Etapa	Detalle	Consumo MJ ⁵
Cultivo Salicornia	Consumo en base al gasto de combustible en la etapa. Consumo en la fase de propagación 16 lts. /ha. Fase de riego 50 lts. /ha. Adecuación y mantenimiento área cultivo 10 lts/ha. Consumo total etapa 76 lts/ha.	2541 MJ/ha
Transporte a zona de acopio	Se considera consumo de flete corto, de materia vegetal a planta de proceso. Dentro del cultivo de considera 0.5 kg. de material vegetal seco por m ² o 5 ton/ha. El consumo de flete corto se considera 2 lts/ton de material. Consumo total 10 lts. /ha.	334 MJ/ha
TOTAL ETAPA AGRICOLA	2875/5= 575 MJ/ton; 575/30 = 19 MJ/Lts.	19 MJ/Lts.
Extracción de Aceite.	Se considera extracción por solvente. 10 Kwh/Lts. aceite promedio	36 MJ/Lts.
Producción de Biodiesel	1,67 Kwh/Lts. biodiesel	6 MJ/Lts.
TOTAL ETAPA PRODUCCIÓN		42 MJ/Lts.
TOTAL ENERGÍA CONSUMIDA	Etapa Producción + Etapa Agrícola	61 MJ/lts
TOTAL ENERGÍA GENERADA	Se toma como base el poder calorífico inferior del biodiesel 35 MJ/Lts. y se debe adicionar el valor energético de referencia de la harina común en reemplazo de las harinas de salicornia obtenidas del proceso de extracción de aceite que es aprox. 70 MJ/Lts bio.	105 MJ/Lts.
BALANCE ENERGÍA	GENERADA - CONSUMIDA	44 MJ/lts.bio
<p>El balance de energía es positivo, producto del ciclo de vida de generación de biodiesel de Salicornia, y la actividad que mayor consumo tiene respecto al total es la actividad de cultivo, referida principalmente en que las zonas costeras se encuentran generalmente aisladas a los centros de acopio final. Aún el consumo de energía es alto en consideración a otros cultivos como la jatropha con balances cercanos a 80 MJ/Lts. pero no se toma la ventaja del cultivo con agua de mar.</p>		

Tabla N° 3: Balance Energía Producción Biodiesel de Salicornia, en la Región de Coquimbo.

⁵1 litro de petróleo diésel equivale a 8.000 kcal y que 1 caloría es igual a 4,18 joule; eumed.net.2014.

4.7.3. **Actividad 2.3:** Caracterización de subproductos obtenidos del proceso de producción de biodiesel.

Dentro de los subproductos reutilizables del proceso de producción de biodiesel, se encuentra la Glicerina o Gliserol. El glicerol está presente en todos los aceites y grasas animales y vegetales de la forma combinada, es decir, vinculadas a los ácidos grasos como el ácido esteárico, oleico, palmítico y ácido láurico para formar una molécula de triglicéridos. Los aceites de coco y de palma contienen una cantidad elevada (70 - 80%) de ácidos grasos de cadena de carbono 6 a 14 átomos de carbono.

Estos producen más moléculas de glicerol en los aceites que contienen ácidos grasos de 16 a 18 átomos de carbono, como las grasas, el aceite de semilla de algodón, el aceite de soja, el aceite de oliva y el aceite de palma. El glicerol combinado también está presente en todas las células animales y vegetales como parte de su membrana celular en forma de fosfolípidos.

Todo el glicerol producido en el mundo hasta 1949, provenía de la industria del jabón. Actualmente, el 70% de la producción de glicerol le pertenece a los Estados Unidos, y proviene de los glicéridos (grasas y aceites naturales), y el resto de la producción de glicerina sintética (subproducto del propileno), la producción de ácidos grasos y ésteres de ácido ácidos (biodiesel).

El glicerol se genera en grandes cantidades como co-producto del proceso de fabricación de biodiesel. Actualmente, una de las preocupaciones más importantes es como dar salida a este subproducto que está causando un gran impacto a nivel económico y medioambiental en la biorefinería industrial.

Se trata de un compuesto que no es tóxico ni irritante, es biodegradable y reciclable y presenta una serie de propiedades físicas y químicas que pueden convertirlo en un disolvente alternativo a los disolventes orgánicos convencionales. Se caracteriza por su alto punto de ebullición, escasa presión de vapor, elevada capacidad para disolver compuestos orgánicos e inorgánicos y estabilidad en condiciones normales de presión y temperatura.

Es poco miscible en agua y algunos éteres e hidrocarburos. Además, el glicerol puede ser convertido fácilmente en metanol, etanol, 1-propanol y propanodiol por medio de reacciones de hidrogenólisis, siendo entonces, una buena materia prima para la preparación de otros disolventes.

Por todas estas cualidades puede utilizarse como humectante, plastificante, emoliente, espesante, medio dispersor, lubricante, endulzante y anticongelante. También se puede utilizar como ingrediente en cosmética, artículos de aseo, medicamentos y productos alimenticios.

4.7.4. **Actividad 2.4:** Análisis de pruebas con biodiesel en máquinas y/o equipos.

Dado que el volumen extraído de biodiesel, no fue el suficiente y en segundo lugar, no contaba con la calidad de un producto estándar, las actividades de pruebas en maquinarias y equipos no fueron factibles de realizar.

4.8. **Componente 1:** estudio técnico-económico de la producción de biodiesel determinando la factibilidad de desarrollo como actividad económica sustentable.

4.8.1. **Actividad 1.1:** Generación del informe de factibilidad del proyecto.

Respecto al proyecto de producción de biodiesel a partir del cultivo de Salicornia en la Región de Coquimbo, se sintetizarán las variables técnicas manejadas y ya explicadas en las componentes anteriores, para luego, proceder a evaluar los ámbitos económicos y poder emitir las conclusiones respectivas.

Dentro de las componentes técnicas de la etapa de propagación y cultivo de Salicornia, no se encontraron mayores inconvenientes, dado que en un inicio se contó con un área dispuesta por un privado, de la cual, se pudieron obtener los esquejes para la propagación, una vez desarrollado el terreno experimental, estos se obtendrían de tales actividades.

Dado que el terreno experimental, estuvo cercano a centros urbanos, no hubo inconvenientes, en casos donde se requirió de partes y piezas, que por ejemplo, se necesitaban para la mantención de la planta piloto de producción de biodiesel. En este aspecto, todas las partes y piezas que forman la planta piloto, estaban en el mercado, así como, los equipos para su funcionamiento, por lo que esta componente no fue problema para el desarrollo del proyecto. En el apartado de la actividad de diseño de la planta se puede obtener acceso al diseño y especificaciones técnicas de todas las partes, piezas y equipos de la planta piloto.

Con respecto a la etapa de extracción de aceite, se contó con los equipos necesarios, para realizar todas las actividades identificadas; para escalar la extracción, se diseñó y construyó un extractor de mayor tamaño. El único inconveniente, que se expone en la actividad de extracción de aceite, es la solidificación de los lípidos (aceite) obtenidos a temperatura ambiente, lo que implicó, el no poder producir biodiesel a mayor escala.

Se puede comentar al final de este proyecto, que con los datos y experiencias realizadas, técnicamente, es factible poder realizar una actividad de producción de Biodiesel a partir de Salicornia, siempre y cuando, se pueda perfeccionar o internalizar una nueva técnica o tecnología, que permita que el aceite no se solidifique en el proceso de producción de biodiesel y que haga más económica la extracción; los demás materiales y equipos, para todas las otras actividades, que componen el ciclo de vida del producto, son totalmente accesibles y a precio de mercado y cumplen con las necesidades y especificaciones técnicas requeridas. En cada uno de los apartados

de cada actividad, se muestran y especifican los materiales, equipos y maquinas utilizadas dentro de la ejecución del proyecto.

Para realizar el análisis económico, se realizó un análisis de flujo de caja puro, identificando los costos e ingresos proyectados de la actividad de producción de biodiesel a partir de Salicornia, analizados en tres etapas, solamente la producción de Biomasa para alimentación de ganado, luego adicionado el efecto de la venta del aceite y por último adicionando el efecto de la producción de Biodiesel. Para definir la viabilidad se analizaron los resultados bajo los indicadores comúnmente utilizados como son el VAN y la TIR, finalmente se discuten los resultados y muestran las conclusiones.

Para iniciar en análisis, se tomó como base el cultivo de Salicornia en un área inicial de 10 Hectáreas (sólo en Puerto Aldea, Bienes Nacionales posee más de 28 Hectáreas), para luego aumentarla a 20 Hectáreas.

Por el estudio realizado, de una hectárea durante los dos primeros años de cultivo, se pueden obtener 10 toneladas de material vegetal (o Biomasa) en peso seco por hectárea (1 kg/m²), una vez adaptada la planta, aproximadamente en el tercer año, este rendimiento aumenta a 15 toneladas por hectárea.

Para el primer análisis, solo se contemplan aquellos costos y gastos proyectados para la producción de biomasa de *Salicornia* en peso seco y principalmente como alimento para ganado. Las tablas siguientes explican los cálculos hechos y las conclusiones preliminares del ciclo de vida.

Para las actividades de riego, se deben hacer inversiones (Tabla N°4), relacionadas con el sistema de elevación de agua salada, y la respectiva red de impulsión e irrigación para el cultivo, las inversiones calculadas se muestran a continuación.

Inversión para el Riego	Costo \$
Bomba Elevación agua	1.200.000
Encofrado área elevación agua	2.000.000
Red impulsión	1.200.000
Red distribución agua \$/Ha	220.000
Cierre área cultivo \$/Ha	600.000
Total Inversión de Riego	5.220.000

Tabla N° 4: Inversiones en matriz principal para elevación de agua de mar.

Para el proceso de elevación de agua se consideró una bomba sumergible para poso con una altura de elevación mayor a 15 metros, esto asegura el flujo de agua y la eficiencia en el bombeo; se considera la construcción de una estructura de encofrado en hormigón armado, donde se instalará la sala de bombas y las conexiones respectivas.

En cuanto a la red de impulsión, se considera una línea principal de 600 metros de longitud aproximadamente, esta línea alimenta a la red de irrigación secundaria o de terreno; esta línea principal tiene un costo fijo ya que no varía según aumenta el terreno para cultivo.

Los costos de la red de distribución interna de cultivo, así como, el cierre perimetral respectivo, varían conforme aumenta la producción de la especie vegetal en el tiempo.

Los costos de transporte y movilización (Tabla N°5), fueron calculados en base al consumo de combustible periódico para realizar actividades de control y movimiento de personal entre el área de cultivo y áreas urbanas (movilización) y el costo por transporte por tonelada de material vegetal producido, en un radio de 60 km., los costos de transporte en este caso se calcularon con precios de servicios externalizados. La siguiente tabla muestra el costo total para este ítem.

Costos Movilización y Transporte	Costo \$
Movilización Operación (\$/Ha)	60.000
Transporte Material Vegetal a Acopio (\$/ton)	10.000
Total Costos Movilización Anual	70.000

Tabla N° 5: Costos de Movilización y Transporte para el cultivo de Salicornia.

En las actividades iniciales, necesarias para el cultivo de Salicornia, se encuentran las actividades de propagación, que de acuerdo a lo mencionado en la respectiva actividad, se realizó mediante el corte de esquejes, los cuáles serían trasplantados posteriormente al terreno de cultivo. Dentro del flujo de caja estos costos (Tabla N°6) disminuyen después del tercer año, dado que el trasplante se ejecuta una sola vez, y luego sólo se efectúan actividades de poda de las plantas.

Costos Propagación	Costo \$
JH actividades recolección (\$/Ha)	240.000
Tratamiento esquejes (\$/Ha)	200.000
RRHH Actividades Plantación (\$/Ha)	144.000
Total Costos Propagación (\$/Ha)	584.000

Tabla N° 6: Costos de Propagación de Salicornia.

Para el cálculo de los costos de propagación, se tomaron en cuenta las jornadas hombre involucradas en la recolección de esquejes y actividades de plantación, las cuáles fueron estimadas en 20 jh/ha. y 12 jh/ha. respectivamente. Para el cálculo de costo de la jornada hombre (jh) se tomó el precio promedio de mercado (ODEPA 2013) de 12.000 \$/jh. Los costos calculados, para el tratamiento de los esquejes, corresponden a su almacenamiento y riego durante el enraizamiento.

Para determinar los costos del riego el terreno de cultivo (Tabla N°7), se tomaron principalmente los gastos en energía para el funcionamiento de las bombas y equipos periféricos y además el personal que se requiere para realizar dichas actividades.

Costos Riego (\$/Ha)	Costo \$
Costo Ha (705 Kwh/Ha)	84.600
Costo JH Riego (\$/Ha)	96.000
Costo Total Riego (\$/Ha)	180.600

Tabla N° 7: Costos en Riego para el cultivo de *Salicornia*.

Se estimó el uso de 8 jh/Ha. para las actividades de riego y mantención del cultivo a un precio de 12.000 \$/jh; en cuanto al consumo de energía de las bombas para mantener una hectárea se estimó en 705 Kwh/Ha., el precio de la energía, se estimó de acuerdo al valor de mercado presente en Chile.

Los costos en el proceso de cosecha (Tabla N°8), se calcularon sobre la base de los gastos en personal dedicado a ella, en base a pesos por hectárea. Los gastos de transporte no se incluyen dado que están considerados en el uso operacional normal a lo largo del año.

Costo Cosecha (\$/Ha)	Costo \$
JH Actividades de Cosecha \$/Ha	180.000

Tabla N° 8: Costo Actividad de Cosecha *Salicornia*.

Para determinar los costos en recursos humanos, para las actividades de cosecha, se estimó que la duración de la cosecha, de una hectárea era aproximadamente de 5 jh (jornadas hombres), ocupando tres hombres por jornada y a un costo de 12.000 \$/jh.

La suma de todos los costos asociados, para implementar, plantar, cultivar y mantener un cultivo de *Salicornia*, llega a un 1.074.600 \$/Ha, esto sin contar la inversión inicial. Para la estimación del precio de venta, de una tonelada de masa vegetal de *Salicornia* (pensando en alimentación de ganado), se tomó un valor de 140.000 \$/ton., precio inferior a la tonelada de la alfalfa, que se bordea los 160.000 \$/Ton (ODEPA Septiembre 2013); esto indica que los ingresos por venta de la masa vegetal de *Salicornia*, en peso seco, serían de 1.400.000 \$/Ha.

Para determinar si la actividad de cultivo de *Salicornia*, es interesante para su desarrollo, solamente considerando la venta o valor de su uso, como alimento para ganado, es que se analiza el siguiente flujo de caja, para una producción con horizonte de cinco años y con una tasa de descuento del 12%.

Como se puede observar en la siguiente tabla (Tabla N°9), con un ingreso por ventas de 1.400.000 \$/Ha y con costos totales por hectárea de 1.074.600 \$/Ha, el análisis del cultivo de *Salicornia* indica, que si sólo se comercializa la biomasa para alimentación de ganado y contemplando un horizonte de evaluación de 5 años, el proyecto presenta un VAN positivo (\$ 9.561.700) y además la tasa interna de retorno (33%) es mayor que la tasa a la cual se descontaron los flujos (12%), esto indica que el proyecto en la estructura que se propone es rentable.

Concepto	Ítem/Ha	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Número de Hectáreas Cultivadas	1		10	10	20	20	25
Producción Biomasa (Ton/Ha)	10		100	100	200	300	375
Ingresos Totales			14.000.000	14.000.000	28.000.000	28.000.000	35.000.000
Ingresos Venta Biomasa (\$/Ha)	1.400.000		14.000.000	14.000.000	28.000.000	28.000.000	35.000.000
Costos Totales			-11.646.000	-5.806.000	-17.452.000	-12.612.000	-18.685.000
Costos Procesamiento Masa Vegetal (\$/Ha)	60.000		-600.000	-600.000	-1.200.000	-1.200.000	-1.500.000
Costos de Cosecha (\$/Ha)	180.000		-1.800.000	-1.800.000	-3.600.000	-3.600.000	-4.500.000
Costos de Riego (\$/Ha)	180.600		-1.806.000	-1.806.000	-3.612.000	-3.612.000	-4.515.000
Costos Plantación (\$/Ha)	584.000		-5.840.000		-5.840.000		-2.920.000
Costos Movilización (\$/Ha)	60.000		-600.000	-600.000	-1.200.000	-1.200.000	-1.500.000
Transporte Material Vegetal a Acopio (\$/ton)	10.000		-1.000.000	-1.000.000	-2.000.000	-3.000.000	-3.750.000
Depreciación activo fijo			-2.520.000	-2.520.000	-2.520.000	-4.160.000	-4.160.000
Utilidad antes de impuesto			-166.000	5.674.000	8.028.000	11.228.000	12.155.000
Impuesto 20%			0	-1.134.800	-1.605.600	-2.245.600	-2.431.000
Utilidad después de impuesto			-166.000	4.539.200	6.422.400	8.982.400	9.724.000
Ajuste depreciación activo fijo			2.520.000	2.520.000	2.520.000	4.160.000	4.160.000
Inversiones		-12.600.000			-8.200.000		-4.100.000
Inversión Infraestructura riego Fija (\$/Ha)		-4.400.000					
Inversión Infraestructura riego Variable (\$/Ha)		-8.200.000			-8.200.000		-4.100.000
Flujo de caja puro.		-12.600.000	2.354.000	7.059.200	742.400	13.142.400	9.784.000
VAN		9.561.700					
TIR		33%					
Periodo de Recuperación de la Inversión		4 años	-10.246.000	-3.186.800	-2.444.400	10.698.000	20.482.000

Tabla N° 9: Flujo de Caja Opción Producción y Venta de Biomasa de *Salicornia*.

Tomando como base el análisis anterior, a continuación se agrega el efecto de la producción de aceite de *Salicornia* en el flujo de caja, de modo de poder concluir si este efecto es positivo o negativo.

Inversión Equipos extracción aceite (120 lts./día)	Costo \$
Extractor Soxhlet 120 litros industrial	3.500.000
Horno Secado Material Vegetal	1.000.000
Instrumentación Menor	1.000.000
Total Inversión Equipos Extracción Aceite	5.500.000

Tabla N° 10: Inversión en Equipos para Extracción de Aceite de *Salicornia*.

Para las inversiones en equipos de extracción de aceite (Tabla N°10), se consideró un extractor Soxhlet industrial con un promedio de producción de 120 lts. aceite/día con un valor aproximado de \$ 3.500.000, a la vez se necesita un horno industrial para el secado total de la biomasa con un valor de \$ 1.000.000 e inversión en instrumentación menor con una inversión estimada de \$ 1.000.000.

Para el análisis de los costos directos involucrados en la producción de aceite de *Salicornia*, se presenta la siguiente tabla.

Costos Procesamiento Biomasa \$/ton	Costo \$
Costos Energía Molienda 10 Kwh/ton	1.300
Costo Energía Secado 20 KWh/Ton	2.600
Costo Total Procesamiento Biomasa (\$/ton)	3.900

Tabla N° 11: Costos Directos de Procesamiento Biomasa de *Salicornia* para Aceite.

Los costos del procesamiento de la biomasa, para la fase de extracción de aceite, se traducen a la energía involucrada para secar y preparar la biomasa para la extracción; en este aspecto el costo total por tonelada estimado es de \$ 2.640; el costo del Kwh fue fijado en 130 \$/Kwh⁶.

Un segundo cálculo fue estimado y éste se refiere a los costos directos para la extracción de aceite de *Salicornia* (Tabla N°12); en estos costos se incluye, el gasto energético del proceso de producción y la compra de los solventes para la extracción. El costo de la energía se fijó nuevamente en 130 \$/Kwh como en el ítem anterior.

Costo Extracción Aceite (\$/Lts)	Costo \$
Costo Solvente (\$/Lts)	800
Gasto Energía (\$/Lts)	520
Costo Total Extracción Aceite	1.320

Tabla N° 12: Costos de Extracción de Aceite de *Salicornia*.

⁶ Eclipse.cl. 2014. Análisis costo energía Chile; 112 \$/Kwh con un factor de 1,16 para la Región de Coquimbo

El precio del solvente ocupado para extraer aceite (Hexano) en promedio alcanza los 800 \$/lts. Para el costo en uso de energía, se estimó el gasto por litro de aceite en 4 Kwh/lit., esto es 520 \$/lts.

Para la estimación del precio de venta del litro de aceite de *Salicornia*, se tomó como base el precio del aceite de oliva, considerando que su composición de lípidos son similares; éste precio se redujo en un 25%, dado que es un producto relativamente nuevo y no muy conocido a nivel mundial. El precio estimado es de 5.000 \$/lt, reducido en un 25% resulta en 3.750 \$/lt.

Es importante destacar, que debido a las trazas de solvente que puedan quedar en la biomasa residual producto de la extracción de aceite, solo se puede vender el 50% de la biomasa restante.

El flujo de caja resultante (Tabla N°13), producto de la adición de la extracción y comercialización del aceite de *Salicornia* se muestra a continuación.

Concepto	Cantidad	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Número de Hectáreas Cultivadas	1		10	10	20	20	25
Producción Biomasa (Ton/Ha)	10		100	100	200	300	375
Producción Aceite (Lts/Ha)	250		2500	2500	5000	5000	6250
Ingresos Totales			17.775.000	17.775.000	35.550.000	35.550.000	44.437.500
Ingresos Venta Aceite (\$/Lts)	3.750		9.375.000	9.375.000	18.750.000	18.750.000	23.437.500
Ingresos Ventas Biomasa (\$/Ha)	1.400.000		8.400.000	8.400.000	16.800.000	16.800.000	21.000.000
Costos Totales			-15.336.000	-9.496.000	-24.832.000	-20.382.000	-28.397.500
Costos Tratamiento Biomasa/Aceite \$/ton	3.900		-390.000	-390.000	-780.000	-1.170.000	-1.462.500
Costos Extracción Aceite (\$/lt)	1.320		-3.300.000	-3.300.000	-6.600.000	-6.600.000	-8.250.000
Costos Procesamiento Biomasa (\$/Ha)	60.000		-600.000	-600.000	-1.200.000	-1.200.000	-1.500.000
Costos de Cosecha (\$/Ha)	180.000		-1.800.000	-1.800.000	-3.600.000	-3.600.000	-4.500.000
Costos de Riego (\$/Ha)	180.600		-1.806.000	-1.806.000	-3.612.000	-3.612.000	-4.515.000
Costos Plantación (\$/Ha)	584.000		-5.840.000		-5.840.000		-2.920.000
Costos Movilización (\$/Ha)	60.000		-600.000	-600.000	-1.200.000	-1.200.000	-1.500.000
Transporte Material Vegetal a Acopio (\$/ton)	10.000		-1.000.000	-1.000.000	-2.000.000	-3.000.000	-3.750.000
Depreciación activo fijo			-3.620.000	-3.620.000	-3.620.000	-5.260.000	-5.260.000
Utilidad antes de impuesto			-1.181.000	4.659.000	7.098.000	9.908.000	10.780.000
Impuesto 20%			0	-931.800	-1.419.600	-1.981.600	-2.156.000
Utilidad después de impuesto			-1.181.000	3.727.200	5.678.400	7.926.400	8.624.000
Ajuste depreciación activo fijo			3.620.000	3.620.000	3.620.000	5.260.000	5.260.000
Inversiones		-18.100.000			-8.200.000		-4.100.000
Inversión Equipos extracción aceite		-5.500.000					
Inversión Infraestructura riego Fija		-4.400.000					
Inversión Infraestructura riego Variable (\$/Ha)		-8.200.000			-8.200.000		-4.100.000
Flujo de caja puro.		-18.100.000	2.439.000	7.347.200	1.098.400	13.186.400	9.784.000
VAN		4.648.541					
TIR		20%					
Periodo de Recuperación de la Inversión		4 años	-15.661.000	-8.313.800	-7.215.400	5.971.000	15.755.000

Tabla N° 13: Flujo de Caja Opción Producción y Venta de Biomasa y Aceite de Salicornia.

A diferencia del flujo de caja inicial, que contempla solamente, la venta de la biomasa de *Salicornia*, se puede observar, que el efecto de adicionar la producción de aceite y su venta, disminuye el VAN a \$ 4.648.541. En este caso, el valor del VAN es menor al obtenido por la venta de biomasa y el período de recuperación de la inversión igual es de cuatro años.

El aumento de \$1 en el precio de venta de la Biomasa, en la opción que incluye la venta de aceite, provoca un aumento del 6% (\$289.000.-) en el VAN del proyecto, a diferencia de la opción que sólo contempla la venta de Biomasa, en la cual un aumento de \$1 en el precio de venta provoca un aumento del 5% (\$482.000.-) en el VAN del Proyecto; dada esta estimación, aun cuando el rendimiento de la inversión en porcentaje es mayor en la opción de Biomasa+Aceite, en la opción de proyecto sólo con venta de Biomasa se generan mayores ingresos en pesos.

Como análisis final, se agrega el efecto de la producción de biodiesel, a partir del aceite producido; en este caso, la premisa inicial es que todo el aceite producido se convierte en biodiesel.

Para el cálculo final del flujo de caja contemplando la producción de Biodiesel, se tomaron los costos de los materiales y energía a utilizar para su elaboración, así como, la inversión requerida en planta y equipos (Tabla N°14); estos costos se muestran en las tablas siguientes.

Inversión en Equipos Planta Biodiesel (250 lts/día)	Costo \$
Estanques	3.500.000
Sistema tuberías	1.000.000
Calefactor	600.000
Bombas Periféricas	320.000
Red Húmeda	600.000
Sistema aireador reactor	700.000
Contenedores aceite y Metanol	500.000
Partes y Piezas Menores	400.000
TOTAL INVERSIÓN PLANTA BIODIESEL	7.620.000

Tabla N° 14: Inversión en equipos para Producción de Biodiesel de *Salicornia*.

La inversión total estimada, para una planta de producción de biodiesel con capacidad para producir 250 Lts/día fue de \$ 7.620.000, esta capacidad es suficiente para una pequeña producción, adaptable a necesidades de núcleos productivos regionales, la mayor inversión está en los estanques para las reacciones que producen biodiesel.

Contemplada la inversión inicial, la estructura de costos de los reactivos involucrados en la producción de biodiesel se muestra en la siguiente tabla.

Costo Producción Biodiesel	Costo \$
Costo Metanol (\$/Lt)	140
Costo Hidróxido de Sodio (\$/lt)	250
Gasto energía Proceso (\$/Lt)	130
Total Costo Producción Biodiesel (\$/lt)	520

Tabla N° 15: Costo de los Reactivos para Producción de Biodiesel.

Para la producción de biodiesel se utilizan dos reactivos, metanol y soda cáustica; el metanol provoca la separación de los lípidos y grasas y la soda actúa como catalizador, para estabilizar la reacción química.

En proporción, por cada litro de aceite vegetal, se utiliza aproximadamente un 20% de metanol y 3,5 gramos de soda cáustica, el precio del litro de metanol es aproximadamente de 700 \$/lt. y el de la soda es de 1000 \$/kg.

Los costos estimados para la producción de un litro de biodiesel se muestran en la siguiente tabla (Tabla N°16).

Concepto	Cantidad	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Número de Hectáreas Cultivadas	1		10	10	20	20	25
Producción Biomasa (Ton/Ha)	10		100	100	200	300	375
Producción Aceite (Lts/Ha)	250		2500	2500	5000	5000	6250
Producción Biodiesel (Lts/Ha)	240		2400	2400	4800	4800	6000
Ingresos Totales			8.440.000	8.440.000	16.880.000	16.880.000	21.100.000
Ingresos Ventas Biodiesel (\$/Lts)	600		1.440.000	1.440.000	2.880.000	2.880.000	3.600.000
Ingresos Ventas Biomasa (\$/Ha)	1.400.000		7.000.000	7.000.000	14.000.000	14.000.000	17.500.000
Costos Totales			-16.584.000	-10.744.000	-27.328.000	-22.878.000	-31.517.500
Costos Producción de Biodiesel (\$/lt)	520		-1.248.000	-1.248.000	-2.496.000	-2.496.000	-3.120.000
Costos Tratamiento Biomasa/Aceite (\$/ton)	3.900		-390.000	-390.000	-780.000	-1.170.000	-1.462.500
Costos Extracción Aceite (\$/lt)	1.320		-3.300.000	-3.300.000	-6.600.000	-6.600.000	-8.250.000
Costos Procesamiento Biomasa (\$/Ha)	60.000		-600.000	-600.000	-1.200.000	-1.200.000	-1.500.000
Costos de Cosecha (\$/Ha)	180.000		-1.800.000	-1.800.000	-3.600.000	-3.600.000	-4.500.000
Costos de Riego (\$/Ha)	180.600		-1.806.000	-1.806.000	-3.612.000	-3.612.000	-4.515.000
Costos Plantación (\$/Ha)	584.000		-5.840.000		-5.840.000		-2.920.000
Costos Movilización (\$/Ha)	60.000		-600.000	-600.000	-1.200.000	-1.200.000	-1.500.000
Transporte Material Vegetal a Acopio (\$/ton)	10.000		-1.000.000	-1.000.000	-2.000.000	-3.000.000	-3.750.000
Depreciación activo fijo			-5.144.000	-5.144.000	-5.144.000	-6.784.000	-6.784.000
Utilidad antes de impuesto			-13.288.000	-7.448.000	-15.592.000	-12.782.000	-17.201.500
Impuesto 20%			0	0	0	0	0
Utilidad después de impuesto			-13.288.000	-7.448.000	-15.592.000	-12.782.000	-17.201.500
Ajuste depreciación activo fijo			5.144.000	5.144.000	5.144.000	6.784.000	6.784.000
Inversión Inicial		-25.720.000			-8.200.000		-4.100.000
Inversión planta producción biodiesel		-7.620.000					
Inversión Equipos extracción aceite		-5.500.000					
Inversión Infraestructura riego Fija (\$/Ha)		-4.400.000					
Inversión Infraestructura riego Variable (\$/Ha)		-8.200.000			-8.200.000		-4.100.000
Flujo de caja puro.		-25.720.000	-8.144.000	-2.304.000	-18.648.000	-5.998.000	-14.517.500
VAN			-60.150.898				

Tabla N° 16: Flujo de Caja Opción Producción y Venta de Biodiesel de *Salicornia*.

Para el flujo de caja que contempla la producción y venta de biodiesel, se obtiene que el VAN termina siendo negativo, para un horizonte de planificación de 5 años, lo que indica que el proyecto en las condiciones en que fue estructurado y considerando el paso final, que es la venta del biodiesel no es económicamente viable, aun cuando se extienda el horizonte de operación del proyecto.

Hay que destacar que si se hace un análisis aislado de la producción de biodiesel, el resultado es positivo (600 \$/lt – 520 \$/lt), pero el efecto de los costos de producción de aceite, aumentan los costos finales, por lo que el efecto global en el flujo de caja es negativo.

Para cerrar la componente final, se puede concluir que con la información generada por el proyecto Biosalic y analizando las tres posibles estrategias de desarrollo para producir biodiesel de *Salicornia*, la mejor opción de proyecto del cual se obtienen mayores beneficios, es la opción de producción y venta de biomasa, es decir, la que presenta un mayor VAN (valor actual de flujos netos).

Tipo de Proyecto	VAN	Período de Recuperación de la Inversión
Producción y Venta Biomasa	\$ 9.561.700	4 años
Producción y Venta Biomasa+Aceite	\$ 4.648.541	4 años
Producción y Venta Biodiesel+Biomasa	-\$ 60.150.898	--

Tabla N° 17: Resumen Opciones de Opciones de Producción para el Cultivo de *Salicornia*.

A continuación se exponen las conclusiones del proyecto, en conjunto con las opciones que se proponen para la continuidad de las acciones del cultivo de *Salicornia* y otras especies vegetales con agua de mar.

5. Conclusiones, Oportunidades y Desafíos.

Las expectativas del cultivo de Salicornia y también de otras especies vegetales en la Región de Coquimbo, principalmente utilizando el agua de mar, son muy promisorias, sobre todo, para el desarrollo de núcleos productivos del sistema costero.

En este aspecto, el desarrollo de tecnologías para producir biocombustibles y/o para producir alimentos con valor agregado, representan alternativas de desarrollo que aportarán, sin duda, al desarrollo Regional.

En cuanto a la producción de Salicornia y su utilización como cultivo bioenergético, ésta se puede descomponer en tres opciones de negocio, identificadas por el proyecto Biosalíc; la primera, es solo cultivar Salicornia para producir y vender biomasa, en especial, para alimentación de ganado; la segunda opción, es producir aceite de Salicornia y también vender como subproducto la biomasa resultante, y la tercera es producir biodiesel y vender biomasa como subproducto.

De las tres opciones la alternativa que genera mayores beneficios bajo las condiciones analizadas, es la producción y venta de biomasa, seguido de la producción y venta de aceite; la opción con producción de biodiesel no genera beneficios.

La opción de producción de biodiesel no genera beneficios, dado que se ve afectada negativamente por el costo de la producción de aceite, como etapa previa; esto indica, que la disminución de costos ya sea por gestión de costos o mejoramiento de tecnología, permitirá hacer viable un proyecto integral, que contemple todo el ciclo de vida, desde el cultivo de Salicornia hasta la producción de Biodiesel.

Dadas las conclusiones anteriores, es necesario generar una línea de desarrollo para la producción de biocombustibles, utilizando otras técnicas y tecnologías, como es la producción de bioetanol y lo más reciente que es el Green Diésel, de esta forma, se iniciaría un polo de desarrollo en energías renovables desde la región de Coquimbo utilizando recursos naturales, como son los cultivos bioenergéticos y principalmente haciendo uso del agua de mar.

En cuanto al cultivo y adaptación de la Salicornia a una estructura tecnificada, se puede concluir, que los resultados del crecimiento y mortalidad fueron gratificantes, pensando que es la primera vez a nivel regional, que se desarrolla un cultivo de este tipo en condiciones ambientales reales; esto implica que ya se posee una base bastante avanzada, para duplicar el método de cultivo y para aumentar la cantidad de superficie ya cultivada; del análisis del crecimiento de las plantas en el terreno experimental, ubicado en Puerto Aldea, se puede concluir, que el mejor rendimiento se obtuvo cuando se aplicó una tasa de 750 cc/planta/semana, bajo ésta tasa de riego, se obtuvo el mayor crecimiento de las plantas y a la vez la menor tasa de mortalidad; tomando esta tasa de riego como base, se pueden realizar nuevos cultivos y desde ahí, ajustar la tasa según sea el escalamiento productivo.

De acuerdo a la experiencia desarrollada, se debe destacar que el aceite de *Salicornia* perteneciente a la Región de Coquimbo, posee una cantidad significativa de ácidos grasos, en especial omega 3 y omega 6, que tienen un impacto importante como elementos utilizados en nutrición, tanto para personas como para animales. Se debe mencionar también el uso del aceite como base para productos de la industria farmacéutica.

Dado el desarrollo del proyecto Biosalic y teniendo la oportunidad de conocer proyectos similares a nivel mundial, muestra que el cultivo de *Salicornia*, presenta alternativas económicas reales y factibles de realizar a nivel Regional, aprovechando las distintas alternativas de negocios que se podrían desarrollar; en este sentido se propone analizar las alternativas para la producción de biomasa como forraje, la utilización de la biomasa como componente de aglomerados de elementos para la construcción, la utilización del aceite como alimento o base para productos farmacéuticos, la exportación de *Salicornia* en formato fresco envasado como base de platos gourmet, la utilización del cultivo de *Salicornia* como elemento de reforestación y aforestación de sectores costeros y/o áridos, entre otros. Todos estos potenciales usos, son factibles de desarrollar en el corto plazo, esto fue corroborado en la visita del experto en el cultivo de *Salicornia* de la Universidad de Sonora, México.

Durante el desarrollo del proyecto, se logró hacer partícipe a la sociedad civil representada por la comunidad de Puerto Aldea, quienes pudieron conocer y comprender como se produce biodiesel y como en este caso, se cultiva *Salicornia* en la línea costera; también, se generaron dos tesis de grado una de las cuáles incluyó la construcción e implementación de la planta piloto de producción de biodiesel. Se están preparando dos publicaciones de orden científico con resultados del proyecto y se realizaron dos convenios uno marco y otro específico para la continuidad del desarrollo y transferencia tecnológica de cultivos en zonas áridas con agua de mar, con la Universidad de Sonora, México.

Para concluir, se debe hacer hincapié, en que la Región de Coquimbo afronta desafíos importantes para su desarrollo, el cual depende fundamentalmente de la gestión de sus recursos; esta premisa fue fundamental para formular y proponer el proyecto Biosalic y visualizar, cómo este impactaría la base productiva, al hacer uso del agua de mar como recurso de riego y además de utilizar una especie vegetal nativa no valorizada; complementando ésta idea, cabe mencionar que las tecnologías de producción y generación de biocombustibles no están lejanas a las capacidades regionales, por lo que su desarrollo futuro es factible y aplicable, con impactos sociales y económicos positivos. Es importante proponer la continuidad de la iniciativa, ya que se ha avanzado bastante en esta línea, como miras a generar un marco general y aplicable en el corto plazo, para la utilización del cultivo de la *Salicornia* como elemento de innovación en la Región de Coquimbo.



ANEXOS

