

Evaluación técnico-económica de una planta de producción de fertilizante a base de cianobacterias

AUTOR:

JOSEFINA ANGÉLICA CÁCERES SAAVEDRA

SCARLETH THAIS SALAZAR SEPÚLVEDA

**Trabajo de titulación para optar al Título de Ingeniera Civil
Ambiental**

PROFESORA GUÍA: Dra. ROMINA ÁLVAREZ ALARCÓN
PROFESORA CO-GUÍA: MARÍA PAZ VARELA DÍAZ

Valparaíso, Chile
2023

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, le agradezco a mis padres, Roberto e Inés, por el apoyo y cariño entregado a lo largo de la vida, me han impulsado a seguir mis sueños y cumplir mis metas, además de brindar el soporte material y económico para poder concentrarme en los estudios y nunca abandonarlos. A mis hermanas, amigos y pareja por el apoyo emocional a lo largo de este proceso, en especial a Benjamín, quien me acompañó en todo momento por sobre todo cuando sentía que no podía más, te agradezco donde sea que estés ahora.

Agradezco profundamente a mi profesora guía, Romina Álvarez, por su dedicación, paciencia y conocimiento entregado durante todos estos años de formación profesional. Al profesor Daniel Undurraga, profesora María Paz Varela y a todos los investigadores de Proyecto FONDEF por el apoyo constante en la elaboración del trabajo de título.

Son muchos los docentes que han sido parte de mi camino universitario, y a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí. En especial el profesor Fabio Carrera, quien me ha introducido a un nuevo mundo y ayudado a guiar mi camino profesional.

Por último, pero no menos importante, le agradezco a mis compañeros, en especial a Scarleth Salazar, a quien tuve la dicha de conocer profundamente y con quien compartí todo este proceso, su apoyo y acompañamiento emocional durante todos estos años fueron fundamentales para lograr este momento.

Josefina Cáceres Saavedra

Agradezco en primer lugar a mi madre Ximena Sayonara Sepúlveda Acevedo, por apoyarme durante toda la vida y en todas mis decisiones, por entregarme la fuerza y los valores necesarios para convertirme en la persona que soy hoy en día, estoy infinitamente agradecida de tener el privilegio de que seas mi madre.

A mi abuela por su presencia a lo largo de toda mi vida, por estar a mi lado diariamente en este proceso, por acompañarme y contenerme.

A mi bisabuela, por nunca dejarme sola a pesar de haber dejado este plano hace un par de años, fue un honor haber comenzado esta etapa a su lado.

A mi familia, mis tías, mi tío, mis primas y primos, por el amor entregado, a mi papá por su preocupación y cariño constante.

A mis amigos de la vida, por ser la familia que elegí, por estar presente independiente de la distancia, por consentirme y animarme cada vez que fue necesario.

A mis amigos de la universidad, quienes fueron fundamentales en este proceso, sobre todo a mi compañera Josefina Cáceres, de la cual estoy muy agradecida, por cada enseñanza entregada, cada momento el cual compartimos, por cada vez que me escucho y me aconsejo, fue un apoyo fundamental a lo largo de la carrera y sin ella esto no sería posible.

Le agradezco a una persona muy especial, que me acompañó durante la mayoría de mis años universitarios, que su compañía y su constante apoyo me motivó a seguir cuando menos quería. Sumó palabras de cariño a su familia, que siempre me hizo sentir una integrante más.

Agradezco a los docentes que han sido un apoyo a lo largo de este periodo universitario, tanto académica como emocionalmente, en especial a los que me brindaron palabras de contención en los momentos adecuados, admiro a cada uno de ustedes por su labor como profesional. En especial al profesor Javier Arancibia, por confiar en mí para ser su ayudante y tenerme confianza desde los inicios de la carrera, a la profesora Lorena Álvarez por demostrar su interés y preocupación constante, al profesor Jairo Valencia por sus consejos, a la profesora María Paz Varela por su paciencia y buenas energías, a la profesora Catalina Ponce por sus consejos y buena disposición y por último, pero no menos importante a nuestra Profesora Guía Romina Álvarez, quien nos acompañó y nos guio en este último periodo confiando en nuestras capacidades, con preocupación y cariño. Además, a cada integrante del proyecto FONDEF en el cual se enmarco este proyecto de título.

Finalmente le agradezco a la escuela en general por ser mi segunda casa, a todos los docentes no mencionados anteriormente, ya que cada uno aportó para mi formación como profesional mediante su dedicación y compromiso con mi educación, gracias a cada trabajador quien me ayudó en reiteradas ocasiones, a la tía de la puerta quien era la primera en darme los buenos días, a ambas secretarías Mayling Hurtado y Pamela Herrera, quien sin sus gestiones y su buena disposición todo se hubiese vuelto más complejo.

Gracias a la vida por permitirme culminar esta gran etapa.

Scarleth Salazar Sepúlveda

Resumen

Las problemáticas ambientales alrededor del mundo han crecido exponencialmente en las últimas décadas, y por consecuencia la humanidad se encuentra bajo la constante amenaza de fenómenos meteorológicos sin precedentes que pueden resultar en crisis sociales, económicas y pérdida de especies. Debido a esta razón, el foco de acción actualmente se centra en combatir el cambio climático desde distintas áreas, siendo una de las líneas de acción la restauración de bosques que fueron degradados producto de incendios forestales con la finalidad de incrementar la superficie planetaria que funcione como sumidero de CO₂, uno de los principales gases de efecto invernadero, así como también balancear el clima y promover el equilibrio en los ciclos ecosistémicos.

El presente trabajo, enmarcado en el proyecto de investigación FONDEF ID21110073, propone el diseño de una planta de producción de fertilizantes orgánicos elaborado con cianobacterias cultivadas en un medio preparado con cenizas de madera residuales provenientes de actividades agrícolas. Este enfoque propone un nuevo método de restauración a base de microorganismos, ya que, aunque algunos estudios han explorado la aplicación de estos en general, la investigación sobre las cianobacterias en particular sigue siendo limitada.

Se realizó un estudio técnico-económico de la planta de producción, en el cual inicialmente se estimó la capacidad de la planta a través de un balance de materia, implementando 5 fotobiorreactores tipo placa plana de 200 L, suficientes para producir la 4.000 L de cianobacterias a una concentración de 0,8 g L⁻¹ aplicable a 12.931 árboles en un año de funcionamiento, considerando una dosis de 8 g_{ms} m⁻² o de 0,25 g_{ms} árbol⁻¹. Por otro lado, el diseño consideró las variables costos, ubicación geográfica y condiciones ambientales que terminaron por limitar la producción entre los meses de abril y noviembre. El resultado de la viabilidad económica del proyecto fue realizado mediante una evaluación social y una evaluación privada, ajustando la totalidad de hectáreas posibles de restaurar en un año en función de la densidad arbórea, concluyendo que el proyecto solo es viable en caso de que se considere suficiente plantar 100 árboles en una hectárea.

En lo que respecta al estudio medioambiental, se priorizaron medidas de reutilización de los residuos disminuyendo el impacto del proyecto, añadiendo una implementación de paneles fotovoltaicos para disminuir la huella de carbono, lo cual resulta con valor negativa si se considera la capacidad de captación de CO₂ por parte de las cianobacterias.

Palabras claves: fotobiorreactor, cultivo, restauración, microorganismo.

Abstract

Environmental issues around the world have grown exponentially in recent decades, and as a consequence humanity is under constant threat of unprecedented meteorological phenomena that can result in social and economic crises and loss of species. Due to this reason, the current focus of action is centered on combating climate change from different areas, one of the lines of action being the restoration of forests that were degraded as a result of forest fires in order to increase the planetary surface that functions as a sink for CO₂, one of the main greenhouse gases, as well as to balance the climate and promote balance in the ecosystemic cycles.

The present work, framed in the research project FONDEF ID21110073, proposes the design of a plant for the production of organic fertilizers made with cyanobacteria cultivated in a medium prepared with residual wood ashes from agricultural activities. This approach proposes a new restoration method based on microorganisms, since, although some studies have explored their application in general, research on cyanobacteria in particular is still limited.

A technical-economic study of the production plant was carried out, in which the capacity of the plant was initially estimated through a balance of matter, implementing 5 photobioreactors of 200L flat plate type, sufficient to produce 4,000 L of cyanobacteria at a concentration of 0.8 g L⁻¹ applicable to 12,931 trees in one year of operation, considering a dose of 8 gms m⁻² or 0.25 gms tree⁻¹. On the other hand, the design considered the variables of cost, geographical location and environmental conditions that ended up limiting production between the months of April and November. The result of the economic feasibility of the project was carried out through a social evaluation and a private evaluation, adjusting the total number of hectares possible to restore in one year based on tree density, concluding that the project is only feasible if it is considered sufficient to plant 100 trees in one hectare.

With regard to the environmental study, priority was given to waste reuse measures to reduce the impact of the project, adding the implementation of photovoltaic panels to reduce the carbon footprint, which has a negative value considering the CO₂ capture capacity of the cyanobacteria.

Key words: photobioreactor, cultivation, restoration, microorganism.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Incendios forestales en Chile	1
1.2. Efecto de los incendios en los ecosistemas	4
1.3. Métodos de restauración ecológica	5
1.4. Aplicación de cianobacterias como fertilizantes.....	7
1.4.1. Medio de cultivo utilizados para cianobacterias.....	8
1.4.2. Fotobiorreactores usados para la producción de cianobacterias	10
1.4.3. Condiciones operacionales del cultivo en los fotobiorreactores	13
CAPÍTULO 2: OBJETIVOS.....	15
2.1. Objetivo general	15
2.2. Objetivos específicos	15
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE NORMATIVA APLICABLE Y VIGENTE	16
CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE MERCADO, CAPACIDAD Y UBICACIÓN DE LA PLANTA	24
4.1. Estudio de mercado.....	29
4.2. Capacidad de la planta.....	34
4.3. Ubicación de la planta	36
4.3.1. Climatología área de referencia (RN Lago Peñuelas)	37
CAPÍTULO 5: SÍNTESIS Y SELECCIÓN DE OPERACIONES UNITARIAS	40
5.1. Preparación del medio de cultivo	41
5.1.1. Agitadores	41
5.2. Propagación del inóculo	44
5.3. Cultivo de cianobacterias	45
5.3.1. Fotobiorreactor tubular.....	46
5.3.2. Fotobiorreactor de superficie plana	46
5.4. Almacenamiento del producto.....	47
CAPÍTULO 6: BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA	48
6.1. Balance de materia en la preparación de medio de cultivo	48
6.2. Productividad de los cultivos.....	56
6.3. Balance de energía	56
CAPÍTULO 7: DISEÑO, ESTIMACIÓN Y SELECCIÓN DE EQUIPOS.....	57

7.1. Diseño	57
7.2. Estimación de producción de la planta.....	58
7.3. Estimación de consumo energético.....	59
7.4. Selección de equipos.....	60
7.4.1. Selección de bombas	60
7.4.2. Selección de mezcladores.....	63
7.4.3. Selección de estanques	64
7.4.4. Selección de sopladores	69
7.4.5. Selección de fotobiorreactor	70
CAPÍTULO 8: ORGANIZACIÓN DE LA PLANTA	73
8.1. Organización administrativa.....	73
8.2. Distribución espacial de la planta	75
CAPÍTULO 9: EVALUACIÓN ECONÓMICA Y DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL.....	77
9.1. Evaluación económica	77
9.1.1. Evaluación económica mediante proyecto social	79
9.1.2. Evaluación económica mediante proyecto privado.....	83
9.2. Evaluación ambiental	88
9.2.1. Inventario de residuos generados	92
9.2.2. Huella de Carbono	95
CAPÍTULO 10: DISCUSIÓN.....	102
CAPÍTULO 11: CONCLUSIONES	107
BIBLIOGRAFÍA.....	109
ANEXOS.....	122
Anexo A: Capacidad de la planta en distintos casos	122
Anexo B: Procedimiento de laboratorio	123
Anexo C: Determinación altura de bomba de línea de agua	130
Anexo D: Determinación altura de bomba de línea de extracto acuoso	137
Anexo E: Determinación altura de bomba de línea de extracto ácido	141
Anexo F: Consumo energético mensual	144
Anexo G: Ficha técnica bomba centrífuga ACm75.....	145
Anexo H: Ficha técnica cabezal YZ1515x	146
Anexo I: Ficha técnica sistema de agitación IBC	147

Anexo J: Ficha técnica soplador.....	148
Anexo K: Flujos de cajas en distintos escenarios	149
Anexo L: Ficha técnica paneles fotovoltaicos CS6K-280P	158
Anexo M: Ficha técnica inversor	159
Anexo N: Detalle de costos en la planta	160

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Ocurrencia de incendios forestales según sus causas.	1
Tabla 1.2: Distribución de la cubierta vegetal bosque en el territorio nacional.	2
Tabla 1.3: Comparación en las dosis de aplicación del fertilizante.	8
Tabla 1.4: Composición de los medios de cultivos para cianobacterias.	8
Tabla 1.5: Productividad de microalgas (<i>Chlorella ellipsoidea</i>) en fotobiorreactores “open ponds”.	10
Tabla 1.6: Principales diferencias entre fotobiorreactores.	13
Tabla 3.1: Decreto 276/1980 del Reglamento sobre Roce a Fuego.	16
Tabla 3.2: Ley 20.283 sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal.	16
Tabla 3.3: Decreto 96/2009 que Reglamenta los Recursos Destinados a la Investigación del Bosque Nativo.	17
Tabla 3.4: Decreto 95/2009 Reglamento del Fondo de Conservación, Recuperación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.	18
Tabla 3.5: Ley 21.455 Marco de Cambio Climático.	19
Tabla 3.6: Ley 19.300 Sobre las Bases Generales del Medio Ambiente.	20
Tabla 3.7: Decreto 2/2016 Aprueba Normas Técnicas de la Ley N° 20.089, que Crea el Sistema Nacional de Certificación de Productos Orgánicos Agrícolas.	20
Tabla 3.8: Ley 21.349 que Establece Normas Sobre Composición, Etiquetado y Comercialización de los Fertilizantes y Bioestimulantes.	21
Tabla 3.9: Resolución 5.391 Exenta que Establece Disposiciones para Declarar Composición Físicoquímica de Fertilizantes que se Comercializan y Distribuyen en el País y Deroga Resolución que Indica.	23
Tabla 4.1: Bonificaciones forestales Ley 20.243.	28
Tabla 4.2: Importaciones y exportaciones periodo 2012-2018.	31
Tabla 4.3: Principales empresas comercializadoras de fertilizantes en Chile.	32
Tabla 4.4: Análisis FODA.	33
Tabla 4.5: Parámetros en la producción de cianobacterias.	34
Tabla 4.6: Determinación del área de aplicación de las plántulas para la reforestación en función a su densidad.	35
Tabla 4.7: Resultados parámetros.	36
Tabla 4.8: Condiciones meteorológicas adecuadas.	37
Tabla 5.1: Tipos de flujo en agitadores.	42
Tabla 6.1: Balance de masa para la operación a mínima capacidad.	54

Tabla 6.2: Balance de masa para capacidad máxima.	55
Tabla 6.3: Parámetros de control para el cultivo.	56
Tabla 7.1: Preparación anual de medio de cultivo.	59
Tabla 7.3: Pérdidas de energía	60
Tabla 7.4: Altura de la bomba.	60
Tabla 7.5: Características bomba centrífuga.	61
Tabla 7.6: Características filtro prensa.	62
Tabla 7.7: Características bomba peristáltica.	63
Tabla 7.8: Características bomba peristáltica.	63
Tabla 7.9: Características agitador estanque IBC.	64
Tabla 7.10: Especificaciones técnicas estanque IBC.	65
Tabla 7.11: Especificaciones técnicas estanque para extractos.	66
Tabla 7.12: Especificaciones técnicas estanque de almacenamiento de desechos.	67
Tabla 7.13: Especificaciones técnicas estanque de almacenamiento de medio de cultivo	68
Tabla 7.14: Especificaciones técnicas soplador	70
Tabla 8.1: Descripción de cargo Encargado de planta.	74
Tabla 8.2: Descripción de cargo Operario.	74
Tabla 8.3: Área necesaria para la parte de procesos dentro de la planta.	75
Tabla 8.4: Superficie total de la planta.	75
Tabla 9.1: Vida útil de los activos físicos.	79
Tabla 9.2: Inversión inicial del proyecto social.	80
Tabla 9.3: Ingresos anuales del proyecto social.	80
Tabla 9.4: Remuneraciones.	81
Tabla 9.5: Costos de operación.	81
Tabla 9.6: Indicadores económicos (CLP).	82
Tabla 9.7: Indicadores económicos (UF).	83
Tabla 9.8: Inversión inicial del proyecto.	83
Tabla 9.9: Ingresos anuales mediante ahorros.	84
Tabla 9.10: Remuneraciones.	84
Tabla 9.11: Costos de operación.	84
Tabla 9.12: Determinación del préstamo financiado parcialmente con subsidio.	85
Tabla 9.13.: Indicadores económicos (CLP).	86

Tabla 9.14: Indicadores económicos (UF).	87
Tabla 9.15: Criterio de evaluación en la matriz de impacto.	90
Tabla 9.16: Matriz de impacto del proyecto.	91
Tabla 9.17: Residuos generados.....	93
Tabla 9.18: Caracterización de las cenizas como materia prima y residuos del proceso.	94
Tabla 9.19: Factor de emisión por consumo energético durante el año 2022.	96
Tabla 9.20: Consumo total de energía mensual.	97
Tabla 9.21: Resultados calculo huella de carbono.	97
Tabla 9.22: Resultados módulos paneles fotovoltaicos.	99
Tabla 9.23: Energía obtenida con la aplicación de paneles fotovoltaicos.	100
Tabla 9.24: Energía obtenida con sistema fotovoltaico.	101
Tabla 10.1: Dosis máximas de fertilización en suelo pobres	103
Tabla A.1: Tiempos de producción en función a la cantidad de árboles por hectárea.....	122
Tabla B.1: Resultados muestras de ceniza.	124
Tabla B.2: Concentración de sólidos disueltos a distintos tiempos.....	125
Tabla B.3: Conductividad eléctrica y pH.....	125
Tabla B.4: Concentración de sólidos disueltos totales extracto básico.	126
Tabla B.5: Concentración de sólidos disueltos totales extracto ácido.	127
Tabla B.6: Densidad de la solución de HCL 2M.	128
Tabla B.7: Densidad de la solución de H3PO4 2M.	129
Tabla C.1: Condiciones de los puntos de referencia.....	131
Tabla C.2: Velocidad dentro de las tuberías.	131
Tabla C.3: N° de Reynolds tramo Almacenamiento de agua – Estanque de medio de cultivo 2.	132
Tabla C.4: Coeficiente de fricción.....	132
Tabla C.5: Coeficientes de pérdida por accesorio.	133
Tabla C.6: Pérdidas de carga por accesorio tramo Almacenamiento de agua–Estanque de medio de cultivo 2.....	133
Tabla C.7: Pérdidas de carga total en tramo Almacenamiento de agua – Estanque de medio de cultivo 2.	134
Tabla C.8: Condiciones de los puntos de referencia.....	135
Tabla C.9: Pérdidas de carga total en tramo Almacenamiento de agua – Estanque de extractos.....	136
Tabla D.1: Condiciones de los puntos de referencia.	137
Tabla D.2: Velocidad dentro de las tuberías	138

Tabla D.3: Coeficientes de pérdida para cada accesorio presente en el sistema de tuberías.	138
Tabla D.4: Pérdidas de carga por accesorio tramo Estanque de extractos – Estanque de medio de cultivo 2.	138
Tabla D.5: Pérdidas de carga total tramo Estanque de extractos – Estanque de medio de cultivo 2..	139
Tabla D.6: Condiciones de los puntos de referencia.	140
Tabla D.7: Pérdidas de carga total tramo Estanque de extractos – Estanque de desechos.	140
Tabla E.1: Condiciones de los puntos de referencia.	141
Tabla E.2: Velocidad dentro de las tuberías	142
Tabla E.3: Coeficientes de pérdida para cada accesorio presente en el sistema de tuberías.....	142
Tabla E.4: Pérdidas de carga por accesorio tramo Estanque de extractos – Estanque de medio de cultivo 2.	142
Tabla E.5: Pérdidas de carga total tramo Estanque de extractos – Estanque de medio de cultivo 2. .	142
Tabla K.1: Flujo de caja con fondos evaluación privado caso 660 árboles.	149
Tabla K.2: Amortización de la deuda para el caso de fondos con evaluación privado caso 660 árboles.	150
Tabla K.3: Flujo de caja con fondos evaluación privado caso 330 árboles.	150
Tabla K.4: Amortización de la deuda para el caso de fondos con evaluación privado caso 330 árboles	150
Tabla K.5: Flujo de caja con fondos evaluación privado caso 100 árboles	151
Tabla K.6: Amortización de la deuda para el caso de fondos con evaluación privado caso 100 árboles	151
Tabla K.7: Depreciación evaluación privado	151
Tabla K.8: Flujo de caja con fondos evaluación privado más subsidio caso 660 árboles.....	152
Tabla K.9: Amortización de la deuda para el caso de fondos con evaluación privado más subsidio caso 660 árboles.....	152
Tabla K.10: Flujo de caja con fondos evaluación privado más subsidio caso 330 árboles.....	153
Tabla K.11: Amortización de la deuda para el caso de fondos con evaluación privado más subsidio caso 330 árboles.....	153
Tabla K.12: Flujo de caja con fondos evaluación privado más subsidio caso 100 árboles.....	154
Tabla K.13: Flujo de caja con fondos evaluación inversionista caso 660 árboles.	154
Tabla K.14: Flujo de caja con fondos evaluación inversionista caso 330 árboles	154
Tabla K.15: Flujo de caja con fondos evaluación inversionista caso 100 árboles	155
Tabla K.16: Flujo de caja con fondos evaluación social caso 660 árboles	156
Tabla K.17: Flujo de caja con fondos evaluación social caso 330 árboles	156

Tabla K.18: Flujo de caja con fondos evaluación social caso 100 árboles	157
Tabla K.19: Depreciación evaluación social	157
Tabla N.1: Detalle de costos de Obra inicial.....	160
Tabla N.2: Detalle de costos de Sección elaboración de medio de cultivo.	160
Tabla N.3: Detalle de costos de Sección cultivo de cianobacterias.	162
Tabla N.4: Detalle de costos de Sección análisis bioquímico.	163
Tabla N.5: Detalle de costos de Sección almacenamiento.....	163

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Distribución cubierta vegetal bosque en el territorio nacional (CONAF, 2020).	3
Figura 1.2: Distribución porcentual de los tipos de cubierta vegetal respecto a la totalidad nacional (CONAF, 2020).....	3
Figura 1.3: Porcentaje de cubierta vegetal correspondiente a cada región (CONAF, 2020).	4
Figura 1.4: Fotobiorreactor abierto tipo open ponds (Pariente, 2016).	11
Figura 1.5: Fotobiorreactor abierto tipo raceways (Cerón, 2019).	11
Figura 1.6: Fotobiorreactor cerrado tipo columna (Pariente, 2016).	12
Figura 1.7: Fotobiorreactor cerrado tipo plano (Gegg <i>et al.</i> , 2017).	13
Figura 4.1: Ocurrencia de incendios y superficie afectada en la región de Valparaíso periodo 1985-2022 (CONAF, 2022d).....	24
Figura 4.2: Número total de incendios y área quemada acumulada por grilla de 5x5 km (Periodo 1985-2018) (González <i>et al.</i> , 2020).....	25
Figura 4.3: Extensión de la temporada de incendios para eventos de gran tamaño (> 200 ha), en los periodos 1985-2009 y 2010-2018. (González <i>et al.</i> , 2020).	26
Figura 4.4: Mapas de cambio de temperatura (°C, anual) para el periodo 2021-2050, con respecto al periodo 1976-2005 (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, 2018).	27
Figura 4.5: Mapas de cambio de precipitación (% anual) para el periodo 2021-2050, con respecto al periodo 1976-2005 (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, 2018).	27
Figura 4.6: Volumen del mercado de fertilizantes en Chile periodo 2007-2015 (INDEXBOX, 2022).	30
Figura 4.7: Volumen de la producción del mercado en millones de toneladas (INDEXBOX, 2022).	30
Figura 4.8: Volumen de producción por tipo de fertilizante en el mercado nacional (INDEXBOX, 2022).	31
Figura 4.9: Diagrama de los agentes de mercado.	32
Figura 4.10: Estrategia de masificación (FONDEF, 2021).....	34
Figura 4.11: Parámetros climatológicos año 2022. Explorador Solar (2023).....	37
Figura 5.1: Diagrama de bloques para la producción de cianobacterias (Elaboración propia).....	41
Figura 5.2: Pala tipo ancla (A); Pala tipo rejilla (B) (Castillo, 2013).....	42
Figura 5.3: Impulsor de hélice (Productos Químicos del Sur, 2023)	43
Figura 5.4: Mezcladora de turbina (Direct Industry, 2022b).	43
Figura 5.5: Mezcladora de turbina (Direct Industry, 2022c).....	44
Figura 5.6: Modelo tipo de etapa inicial de propagación de inóculo (CORDIS, 2022).	44

Figura 5.7: Fotobiorreactor para la propagación de inóculo (Braida <i>et al.</i> , 2014).....	45
Figura 5.8: Fotobiorreactor tubular horizontal (Ibiza Botánico Biotecnológico, 2022).	46
Figura 5.9: Fotobiorreactor de superficie plana (Observatorio I+D+i UPM, 2022).	47
Figura 7.1: Disposición de equipos de elaboración de medio de cultivo (Elaboración propia).	57
Figura 7.2: Disposición de equipos de cultivo de cianobacterias (Elaboración propia).	58
Tabla 7.2: Balance de energía por producción base.....	60
Figura 7.3: Bomba centrífuga (Koslan,2023)	61
Figura 7.4: Filtro prensa (Amazon, 2023)	62
Figura 7.5: Bomba peristáltica (Itech, 2023)	62
Figura 7.6: Cabezal YZ1515X (Drifton, 2023).....	63
Figura 7.7: Mezclador estanque IBC (Melper, 2023).....	64
Figura 7.8: Estanque IBC (Superbidón, 2023a).....	65
Figura 7.9: Estanque para la preparación de extractos (Beerwall, 2023).....	66
Figura 7.10: Soporte del estanque para la preparación de extractos (Brix304, 2023).	66
Figura 7.11: Estanque para el almacenamiento de extracto residual (Superbidón, 2023b).....	67
Figura 7.12: Estanque para el almacenamiento de medio de cultivo (Arirang plásticos, 2023).	68
Figura 7.13: Estanque para el almacenamiento de cultivo cosechado. (Superbidón, 2023e).	68
Figura 7.14: Soplador HIBLOW HP-120 (Ecoboutique, 2023)	69
Figura 7.15: Estructura metálica del fotobiorreactor (FONDEF, 2022).....	70
Figura 7.16: Bolsas de polietileno para la contención del cultivo (FONDEF, 2022).	71
Figura 7.17: Sistema de difusores (FONDEF, 2022).	71
Figura 7.18: Sistema de aireación dentro de los FB (FONDEF, 2022).	72
Figura 8.1: Organización de la planta.....	73
Figura 8.2: Distribución espacial de la planta.....	76
Figura 9.1: Criterios para la determinación de ingreso al SEIA (SEA, 2023).....	89
Figura 10.1: Bioinsumos según nombre de venta en Chile (Martínez, <i>et al.</i> , 2016).	104
Figura B.1: Conductividad eléctrica. (Elaboración propia).	126
Figura C.1: Dibujo del tramo Almacenamiento de agua – Estanque de medio de cultivo 2 (Elaboración propia).....	130
Figura C.2: Dibujo del tramo Almacenamiento de agua – Estanque de extractos. (Elaboración propia).	135
Figura D.1: Dibujo del tramo Estanque de extractos – Estanque de medio de cultivo 2. (Elaboración propia).....	137

Figura D.2: Dibujo del tramo Estanque de extractos – Estanque de desechos (Elaboración propia). .139

Figura E.1: Dibujo del tramo Estanque de extractos – Estanque de medio de cultivo 2. (Elaboración propia).....141

ACRÓNIMOS, ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

D_{Luz} : Tasa de dilución considerando solamente horas luz [d^{-1}].

F_{Luz} : Factor de hora luz.

V_{EA} : Volumen de extracto ácido [L].

[C]: Concentración de cianobacteria [$g L^{-1}$].

CB: Cianobacterias.

CONAF: Corporación Nacional Forestal.

C_r : Cantidad de reactores.

D: Tasa de dilución [d^{-1}].

D_a : Dosis de aplicación [$g_{ms} m^{-2}$].

DIA: Declaración de Impacto Ambiental.

DS: Decreto Supremo.

EA: Extracto ácido [L].

EAC: Extracto acuoso[L].

EIA: Estudio de Impacto Ambiental.

eq: Equivalente

FB: Fotobiorreactores.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

g_m : Gramos masa seca

H_2O : Agua [L].

$H_3 PO_4$: Ácido fosfórico[L].

ha: Hectárea.

k_t : Kilotoneladas.

LBGMA: Ley Bases Generales del Medio Ambiente.

M: Millones.

MC: Medio de Cultivo.

m_i : Masa correspondiente a cada flujo [kg].

PAS: Permiso Ambiental Sectorial.

Q_m : Caudal másico de producción [$g\ d^{-1}$].

Q_p : Caudal de producción [$L\ d^{-1}$].

RN: Reserva Nacional.

RSEIA: Reglamento del Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental.

SEIA: Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental.

T_p : Tiempo de producción [d].

TRH: Tiempo de residencia hidráulico [d].

V_p : Volumen total de producción [L].

V_r : Volumen del reactor [L].

Q : Productividad de biomasa [$g\ d^{-1}\ L^{-1}$].

SDT_{EA} : Sólidos disueltos totales en el extracto ácido [$kg\ L^{-1}$].

X : Concentración de biomasa [$g\ L^{-1}$].

μ : Velocidad de crecimiento [d^{-1}].

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales se han convertido en un problema mundial de gran relevancia y gravedad en las últimas décadas. Se estima que cada año se producen entre 60.000 y 80.000 incendios forestales de gran capacidad destructiva, y se contabilizan entre 3 y 10 millones de hectáreas afectadas dentro el mismo periodo (Bisbal, 2022). El pronóstico sobre los incendios forestales a nivel mundial tiende al incremento tanto en frecuencia como también severidad por causas vinculadas al cambio de uso del suelo, el fenómeno El Niño y el calentamiento global (Samaniego, 2013).

1.1. Incendios forestales en Chile

En el caso de Chile, según la Corporación Nacional Forestal (CONAF), y datos recopilados durante el periodo 2003-2022, las principales causas de los incendios forestales son aquellos ocasionados accidentalmente con un 47,4% respecto a la incidencia total, le siguen los incendios intencionales con un 33,3%, las causas desconocidas con un 18,5%, y finalmente, los incendios naturales con un 0,8%. Entre los años 2019-2022 en el país se han producido un total de 22.175 incendios forestales, afectando una superficie de 263.250 hectáreas. De acuerdo con análisis estadísticos, la superficie en promedio afectada por incendio durante el quinquenio 2016-2020 corresponde a 13,6 ha en la región de Valparaíso, dato que incrementó un 22,18% en el periodo 2020-2022 a 16,61 ha (CONAF, 2022d).

En la Tabla 1.1. se muestra el catastro de incendios realizado por CONAF en el cual se detallan causales de incendios forestales, donde los incendios accidentales ocasionado por transeúntes se lleva gran parte de total, solo superado por los incendios intencionales.

Tabla 1.1: Ocurrencia de incendios forestales según sus causas.

Causas Generales	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Faenas forestales	357	337	220	250	438	405	495	368
Faenas agrícolas y pecuarias	295	354	248	290	399	395	421	462
Confección y/o extracción productos secundarios del bosque	42	44	46	31	48	42	59	34
Actividades recreativas	352	307	229	193	180	171	185	129
Operaciones en vías férreas	27	19	13	18	15	14	17	8
Actividades extinción incendios forestales, incendios estructurales u otros	131	95	62	80	94	130	100	156
Tránsito de personas, vehículos o aeronaves	2.526	2.358	1.963	2.323	2.216	1.945	1.233	1.185
Quema de desechos	278	320	210	298	413	349	397	439
Accidentes eléctricos	172	176	208	224	316	246	218	210
Otras actividades	72	57	115	94	122	95	114	107
Incendios intencionales	3.273	2.463	1.689	1.924	2.499	3.533	2.976	3.340
Incendios naturales	58	19	16	21	56	23	56	25
Incendios causas desconocidas	465	235	255	335	423	779	830	484

Fuente: Elaboración propia adaptada de CONAF (2022d).

Según el Catastro de los Recursos vegetacionales y Uso de la Tierra (CONAF, 2020) la superficie cubierta por bosques en el territorio nacional representa un 23,4% del total, lo que se traduce en 18.030.735 hectáreas, de las cuales un 81,74% corresponde a bosque nativo, 17,27% a plantaciones forestales y un 0,99% a bosque mixto. Esta última clasificación incluye una mezcla de bosque nativo, adulto o renoval, con especies plantadas en proporciones que fluctúan entre el 33% y el 66%, además de bosque nativo con exóticas asilvestradas, donde estas se regeneran de forma natural en proporciones entre el 25% y el 75% respectivamente (CONAF, 2020).

Si bien la cobertura de bosque a nivel nacional es cercana al promedio mundial (FAO, 2020), es importante identificar la distribución de estos en el territorio tal como se refleja en la Tabla 1.2, donde se puede notar que la concentración de bosques se da en la zona extremo sur principalmente en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes y de la Antártica con una cobertura de bosque del orden de 16,3%, 24,6% y 15,3%, respectivamente. La cobertura de bosque nativo representa un 19,2% 29,8% y 18,7% de la superficie total de cada una de estas regiones junto con también presentar menores índices de ocurrencia de incendios superados solo por la zona norte del país, con la diferencia de que la presencia de este tipo de cubierta vegetal no abunda (CONAF, 2021).

Un factor importante a considerar durante el análisis del panorama forestal actual en el país es que alrededor del 75% de los bosques nativos son de propiedad privada, mientras que el remanente es manejado por organismos estatales bajo la categoría de parques nacionales y reservas (Langman, 2019; Lara *et al.*, 2009).

Tabla 1.2: Distribución de la cubierta vegetal bosque en el territorio nacional.

Región	Plantación Forestal [ha]	%	Bosque Nativo [ha]	%	Bosque Mixto [ha]	%	Total [ha]	%
Arica y Parinacota	20,8	0,0007	47.151,3	0,3199	0,0	0,0000	47.172,1	0,3
Tarapacá	29.264,2	0,9397	33.246,4	0,2256	0,0	0,0000	62.510,6	0,3
Antofagasta	3.049,9	0,0979	11.899,3	0,0807	0,0	0,0000	14.949,2	0,1
Atacama	276,4	0,0089	3.224,2	0,0219	0,0	0,0000	3.500,6	0,0
Coquimbo	12.285,1	0,3945	48.474,9	0,3289	886,4	0,4949	61.646,4	0,3
Valparaíso	68.757,9	2,2079	484.115,7	3,2849	724,6	0,4045	553.598,1	3,1
Metropolitana	9.181,0	0,2948	363.955,3	2,4696	218,0	0,1217	373.354,3	2,1
O'Higgins	130.536,4	4,1918	459.309,1	3,1166	545,7	0,3046	590.391,2	3,3
Maule	634.893,5	20,3875	581.515,3	3,9458	28.674,8	16,0083	1.245.083,6	6,9
Ñuble	380.714,9	12,2254	247.979,8	1,6826	17.051,8	9,5195	645.746,5	3,6
Biobío	875.178,4	28,1035	597.572,7	4,0548	51.635,9	28,8268	1.524.387,0	8,5
La Araucanía	632.289,0	20,3039	964.152,9	6,5422	47.639,5	26,5957	1.644.081,3	9,1
Los Ríos	208.775,2	6,7041	908.530,7	6,1648	17.866,0	9,9741	1.135.171,9	6,3
Los Lagos	96.598,8	3,1020	2.827.436,4	19,1853	12.799,3	7,1454	2.936.834,5	16,3
Aysén	32.017,3	1,0281	4.398.744,8	29,8473	1.083,0	0,6046	4.431.845,1	24,6
Magallanes y de La Antártica	286,2	0,0092	2.760.176,6	18,7290	0,0	0,0000	2.760.462,8	15,3

Fuente: Elaboración propia adaptada de CONAF (2020).

Los datos recopilados en la Tabla 1.2 son representados en las siguientes figuras, donde se puede notar la predominancia de bosques nativos en la zona sur del país, destacando la relación existente entre este tipo de cubierta vegetal por sobre la superficie total de terreno con la que cuenta cada uno de estos territorios, al comparar las Figura 1.1 y Figura 1.2.

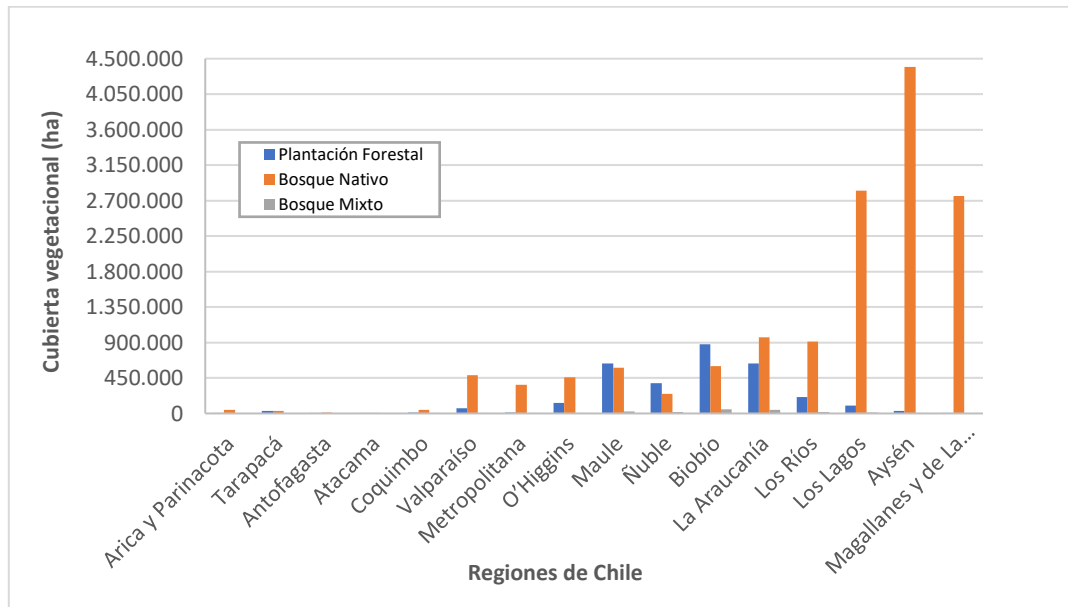


Figura 1.1: Distribución cubierta vegetal bosque en el territorio nacional (CONAF, 2020).

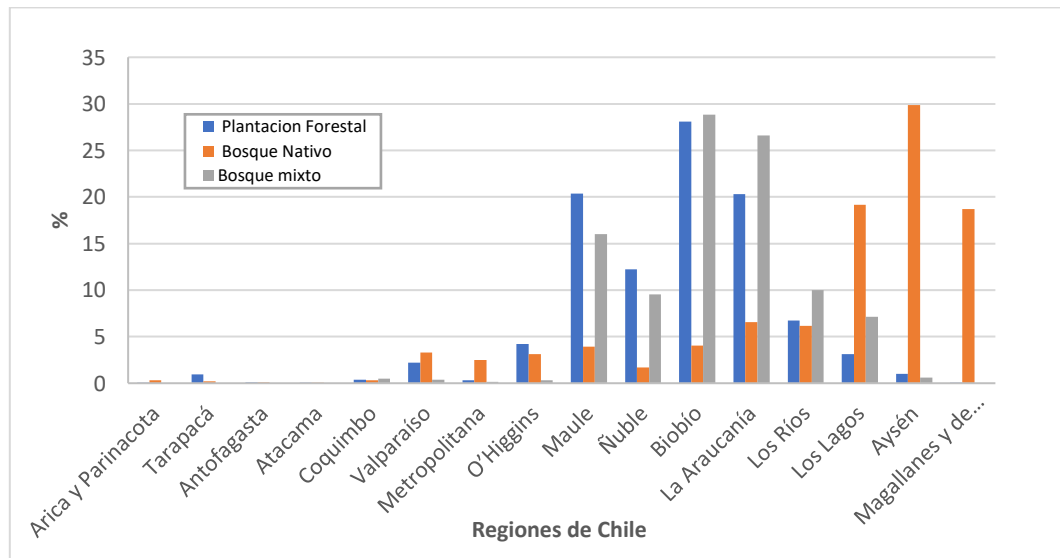


Figura 1.2: Distribución porcentual de los tipos de cubierta vegetal respecto a la totalidad nacional (CONAF, 2020).

En el caso de la Figura 1.3, se presenta el porcentaje de densidad que tiene cada región respecto a la totalidad de cubierta vegetal de bosque a nivel nacional.

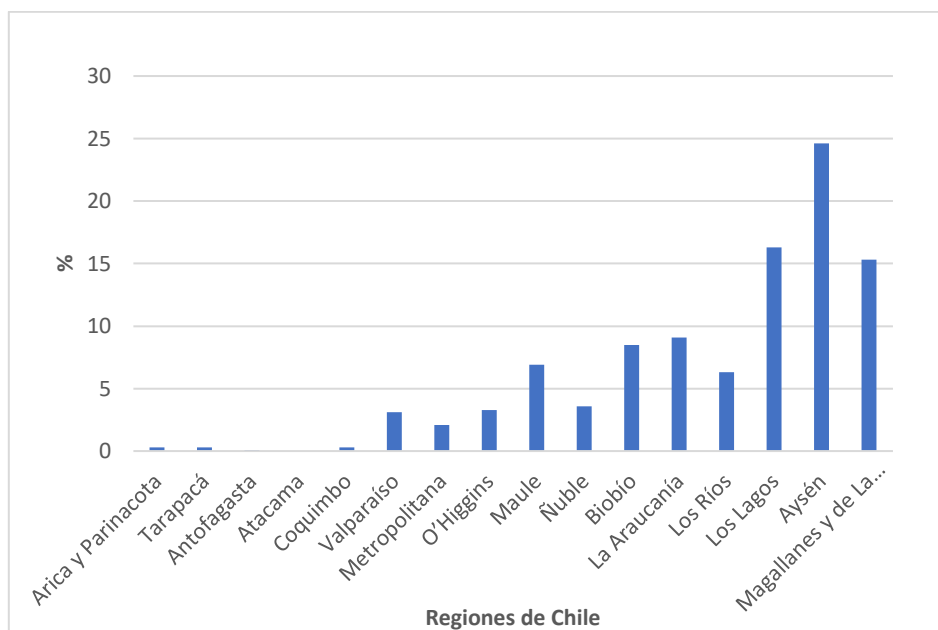


Figura 1.3: Porcentaje de cubierta vegetal correspondiente a cada región (CONAF, 2020).

Como consecuencia de la pérdida de bosque nativo y de la degradación del suelo, los principales beneficios ecosistémicos también se están viendo perjudicados, los cuales afectan directa o indirectamente a la sociedad y el desarrollo económico en tópicos como el abastecimiento y calidad del agua, conservación de la biodiversidad y turismo entre otros fines (Armesto *et al.*, 2003; Nahuelhual *et al.*, 2007).

1.2. Efecto de los incendios en los ecosistemas

Los bosques al ser quemados frecuentemente no pueden recuperarse y como resultado de la erosión post-incendio, los suelos se vuelven poco fértiles. Las prácticas de quemas controladas utilizadas en la apertura de terrenos para la agricultura modifican la composición original de especies, alterando las interacciones ecológicas, disminuyendo los recursos maderables y afectando el potencial de desarrollo de las comunidades locales (Sanhueza, 2001).

El fuego es uno de los mayores agentes generadores de disturbios a escala global, afectando los ciclos biogeoquímicos, contribuyendo al calentamiento global, modificando la composición atmosférica por sus contaminantes provenientes de la combustión de biomasa donde sus principales componentes son el material particulado y gases derivados de la combustión como el dióxido y el monóxido de carbono (CO_2 y CO), y en menor proporción dióxido de nitrógeno (NO_2) y de azufre (SO_2). En presencia de radiación ultravioleta, algunos de estos gases, como el NO_2 y los compuestos orgánicos volátiles (COV), son generadores del ozono (O_3), siendo uno de los efectos más directos la muerte de los organismos que conforman el ecosistema forestal, mientras que la problemática que afecta a las especies vegetacionales sobrevivientes es el aumento de la susceptibilidad a enfermedades y ataques de insectos y hongos (Maldonado, 2005). Los principales efectos indirectos de los incendios forestales sobre la vegetación son la pérdida de biodiversidad y de hábitat, deterioro de la calidad del aire, incremento en la frecuencia y magnitud de vientos en

zonas incendiadas dificultando así el establecimiento de la regeneración de la vegetación, alteración del ciclo de nutrientes, modificación del pH del suelo, la alteración del ciclo hidrológico y la pérdida de la cubierta vegetal del suelo que lleva a la erosión y desertificación.

Los regímenes de fuego pueden ser un factor determinante en la composición de la vegetación de un ecosistema determinado (Thonicke *et al.*, 2001), ya que la afectación a la vegetación por causa de incendios radica principalmente en la modificación en su estructura, composición y servicios ecosistémicos que estas ofrecen, como también en el tipo de especie que está siendo afectada. La dependencia entre el tipo de especie y la severidad del incendio radica en características como; la tolerancia al fuego, tiempo para alcanzar la madurez, estrategias reproductivas y la combustibilidad de la corteza. Estas diferencias provocan que las cubiertas vegetacionales respondan de distinta manera frente a episodios de fuego (Chang, 1996).

La restauración ecológica es una actividad intencional que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema vegetativo con la toma de acciones para mejorar temáticas respecto a su salud, integridad y sustentabilidad. Para estas tareas, aplicándose a un ecosistema afectado por un incendio, son consideradas dos fases para su recuperación; la primera etapa corresponde a medidas de corto plazo, denominada rehabilitación, que debe ser ejecutada tan pronto como sea posible luego del siniestro (Vega, 2007), mientras que la segunda, de mediano y largo plazo, es denominada como restauración. En primera instancia, la rehabilitación busca contrarrestar los efectos negativos inmediatos de escorrentía superficial y erosión, enfatizando la reparación de los procesos, productividad y servicios de un ecosistema, para esto se usan diversas estrategias, las cuales incluyen siembra, fertilización, entre otras. En la segunda instancia, de restauración ecológica, se busca recuperar la estructura y funcionalidad de los ecosistemas, así como también su resiliencia al fuego mediante la plantación o la siembra (Dorner & Brown, 2000; Robichaud *et al.*, 2003; SER, 2004; Vega, 2007). Aunque la rehabilitación comparte con la restauración un enfoque fundamental en los ecosistemas históricos o preexistentes como modelos o referencias, las dos actividades difieren en sus metas y estrategias (SER, 2004).

1.3. Métodos de restauración ecológica

La restauración ecológica corresponde a las actividades que ayudan al restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido (SER 2004). Las metodologías para la restauración ecológica están en función al ecosistema a tratar y los objetivos específicos de la restauración. Existen diversas metodologías, como la restauración pasiva, que consiste en eliminar o modificar las intervenciones antropogénicas en un ecosistema (Aguirre, *et al.*, 2013), por lo que se permite la sucesión ecológica de manera normal y natural. Así mismo, también existe la restauración activa, que, dado los niveles de degradación del ecosistema, es necesaria la alteración del ambiente físico y/o químico resultante de un incendio para recuperar el ecosistema dañado, modificando las barreras abióticas como la hidrología, el suelo o dinámica de nutrientes (Aguirre, *et al.*, 2013), y así poder acelerar el proceso de recuperación. Otro tipo de metodologías de restauración menos implementadas son las del tipo adaptativa, a gran escala, la asistida por tecnologías, entre otras.

Parte de la restauración ecológica realizada por el uso de tecnologías es la adición de fertilizantes, ya sean químicos u orgánicos. En cuanto a la opción de utilizar fertilizantes químicos para la recuperación de suelos degradados por incendios forestales tiene dos aspectos negativos. Por una parte, la mayoría de ellos presentan en su composición metales pesados o compuestos altamente resistentes y acumulativos, además de otros contaminantes que, sin ser acumulativos (como es el caso de los nitratos), se lixivian fácilmente y contaminan otros medios más sensibles e indefensos como el acuático (Gallardo, 2007). Estos tampoco aportan compuestos orgánicos para el crecimiento de bacterias benéficas del suelo, lo que se traduce en una dependencia permanente de la planta y el aporte de minerales provenientes del fertilizante químico.

Por otra parte, los fertilizantes orgánicos, en base a microorganismos benéficos, son una alternativa competente en cuanto a eficacia y efectividad, que además es amigable con el medio ambiente. Estos microorganismos con potencial fertilizante representan una interesante alternativa para limitar el uso de abonos químicos. El término fertilizante orgánico se define como todo producto cuyo principio activo sea en base a microorganismos no patógenos, que favorecen la nutrición y/o el desarrollo de plantas. Sin embargo, en la normativa nacional vigente, este término ha sido considerado reconociendo su existencia individual en la Ley 21.349 que establece normas sobre composición, etiquetado y comercialización de los fertilizantes y bioestimulantes, definiendo a los bioestimulantes como “sustancia o mezcla de sustancias o microorganismos, aplicables a semillas, plantas o rizósfera, que estimulan los procesos naturales de nutrición de las plantas”, y a los fertilizantes como “material orgánico o inorgánico, de origen natural o sintético que facilita el crecimiento de las plantas (...), o que, por su acción específica, modifica la fertilidad del suelo”. Una vez conocidos estos términos legales, el producto ofrecido en el presente proyecto corresponde a la elaboración de un fertilizante para mejorar la calidad del suelo después de un incendio forestal. Es importante mencionar que el producto final puede ser un potencial bioestimulante, por lo que las plantas obtienen un doble beneficio, sin embargo, esta categorización aun no será considerada puesto que su evaluación aún se encuentra en desarrollo.

Por el lado de los fertilizantes, uno de los más utilizados es el compost; un mejorador de suelo a base de residuos orgánicos degradados, aunque también se incorpora perlita al sustrato para mejorar la retención de agua, o mulch, que puede cumplir las dos tareas ya mencionadas, así como también nuevos tipos de bolsas compostables que contienen a las plántulas y esto permite que sean plantadas con su envase y de la misma degradación de este se suple una fracción de los nutrientes requeridos. Si bien estas alternativas permiten incrementar la supervivencia de las especies plantadas, es importante recalcar que se necesitan en grandes cantidades, factor que se vuelve cada vez más relevante debido a la extensión de áreas afectadas que deben ser tratadas.

Los fertilizantes químicos también son una opción como método de recuperación de suelos, destacan los nitrogenados que son utilizados en la tierra, principalmente para la agricultura, donde sus elementos fundamentales son, fósforo, nitrógeno y potasio. Estos generan emisiones a la atmósfera, tanto en su proceso de producción como en el proceso de aplicación, emisiones que se pueden cuantificar mediante la Huella de Carbono.

Producir un kilogramo de nitrógeno para fertilizantes emite aproximadamente 7 kg de CO₂ eq a la atmósfera (Alchimia Grow Shop, 2022). Entre los fertilizantes nitrogenados más comunes está la urea, que tiene una emisión 469.813 g de CO₂ eq anuales.

Según la comparación realizada en función a aplicación de fertilizantes químicos en una hectárea de cultivo caña de azúcar, la cantidad de urea anual aplicada corresponde a 0,3 ton urea/año, generando una emisión 3.645,53 Kg CO₂ eq anuales, mientras que según un estudio realizado por Zuñiga (2013) la huella de carbono del proceso de descomposición de residuos orgánicos para la producción de compost es de 38,4 kg de CO₂ eq por tonelada de desecho tratado de acuerdo a los análisis realizados en la planta de compostaje de la municipalidad de la Pintana.

Buscando nuevas tecnologías para disminuir las problemáticas ocasionadas por la degradación del suelo después de los incendios forestales, sean estas la erosión del suelo, disminución de la impermeabilidad, modificación en su composición y aporte de nutrientes a las plantas, como también la reducción de la capacidad de captación de CO₂ de un bosque (González, 2017), es que se propone la aplicación de cianobacterias como fertilizante para suelos degradados, por lo que permite ser utilizado en un sistema de restauración independiente o complementado junto a otra metodología o producto mencionados anteriormente.

1.4. Aplicación de cianobacterias como fertilizantes

Las cianobacterias son uno de los grupos biológicos más antiguos del planeta, su origen se conoce desde la época precámbrica y se les reconoce como los primeros organismos fotosintéticos en colonizar nuestro planeta y originadoras de la atmósfera oxidante que hoy conocemos (Bekker *et al.*, 2004; Komárek, 2008). En su mayoría son formadoras de heterocistos células especializadas en fijar el nitrógeno en la tierra (Guerrero, 2014), siendo capaces de realizar la fotosíntesis oxigénica (Whitton, 1992), y fijar el nitrógeno atmosférico. Estos microorganismos presentan una riqueza de un 60-70% de proteína vegetal, que, al ser incorporadas al suelo o cultivo, se rompe en aminoácidos, que es el motor inicial del metabolismo para sintetizar distintos compuestos, entre ellos principalmente las proteínas, además de sintetizar fitohormonas promotoras de la división celular, proceso indispensable para el crecimiento de los órganos de la planta, tales como las raíces, tallo, hojas, flores y frutos. Estas bacterias además intervienen en los mecanismos de regulación hídrica de las plantas, contribuyendo al aumento de clorofila en las hojas y retrasan su envejecimiento (Novasys, 2015). Pueden desarrollarse en forma unicelular, colonial o filamentosa (Vaishampayan *et al.*, 2001). Éstas presentan una gran distribución ecológica, abarcando desde sistemas acuáticos hasta terrestres, incluyendo ambientes extremos como desiertos áridos, hiperáridos, tropicales y fuentes termales. (Boyer *et al.*, 2002).

El uso de estos microorganismos como fertilizantes ha sido comprobado y junto a sus propiedades metabólicas, principalmente la fijación de nitrógeno y carbono, solubilización de fosfatos y aporte de materia orgánica del suelo. Por otra parte, la acción de bioestimulante atribuible a estos microorganismos es a causa de la capacidad de producir sustancias fisiológicas activas como fitohormonas, aminoácidos y vitaminas, el objetivo de estas acciones es mejorar el proceso de nutrición de las plantas de tal forma que aumente la cantidad de nutrientes que pueden ser

asimilados por estas, o acelerar los procesos fisiológicos que influyen sobre el desarrollo de los cultivos (Dibut *et al.*, 2004).

La inoculación de cianobacterias a suelos degradados y su proliferación promueve el desarrollo de la capa microbiana superficial entre los rangos de profundidad de 0,8 a 1 cm (Acea *et al.*, 2003), está cubierta permite mantener la estabilidad del suelo y normalizar los ciclos de agua y nutrientes a niveles previos a la quema de estos.

Diversas investigaciones respecto al tema han resultado eficientes para distintas dosis de aplicación en el suelo tal como se muestra en la Tabla 1.3. A pesar de ello, al finalizar la incubación los niveles en la proliferación de cianobacterias tienden a estabilizarse independiente de la aplicación inicial de acuerdo con la metodología propuesta por Acea *et al.* (2003), el cual se basa en la aplicación de 1,5 y 3,0 g de clorofila por g de suelo a tratar.

Tabla 1.3: Comparación en las dosis de aplicación del fertilizante.

Dosis de aplicación [g _{ms} m ⁻²]	Referencia
6	Roncero-Ramos <i>et al.</i> (2022).
1,2	Mishra <i>et al.</i> (2004).
1	Mishra <i>et al.</i> (2004).
4	FONDEF (2021).
8	FONDEF (2021).

1.4.1. Medio de cultivo utilizados para cianobacterias

El medio de cultivo es una disolución acuosa que contiene los nutrientes necesarios para que los microorganismos se desarrollen. Este debe mantenerse estable según el requerimiento de cada microorganismo en particular, con tal que su insuficiencia de nutrientes en el sustrato no limite su crecimiento (Intriago, 2022). Los microorganismos tienen distintos requerimientos nutricionales, por lo que el medio de cultivo es específico para cada uno de ellos. Dentro los medios de cultivos más utilizados para el crecimiento de las cianobacterias se encuentran los medio BG11-F, MM-F y el medio Allen y Arnon, con una composición de nutrientes como se detalla en la Tabla 1.4 a continuación. En el caso particular de fertilizantes del tipo Welgro, estos se refieren a una solución de micronutrientes de boro, manganeso, zinc, molibdeno, hierro y cobre (Roncero-Ramos *et al.*, 2022).

Tabla 1.4: Composición de los medios de cultivos para cianobacterias.

Fertilizantes [g L ⁻¹]	BG11-F	MM-F	Allen y Arnon
Ca(NO ₃) ₂	0,0125	0,640	-
NaNO ₃	0,3500	0,260	-
MgSO ₄	0,0370	0,180	1
KH ₂ PO ₄	0,0290	0,140	0,2675
Welgro	0,045	0,045	-
Fe	0,0110	0,011	-
CaCl ₂	-	-	0,3
NaCl	-	-	1
MnCl ₂ ·4H ₂ O	-	-	0,0072
H ₃ BO ₃	-	-	0,01144
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	-	-	0,00088

Fuente: Roncero-Ramos *et al.* (2022); Allen *et al.* (1955).

Los medios especificados en la tabla son los más utilizados debido a su alta concentración de compuestos nitrogenados en los medios BG11-F y MMF. Sin embargo, cabe mencionar que las cianobacterias son fijadoras de nitrógeno, por lo que no requieren de medios con compuestos nitrogenados cuando exista otro método de obtención de este, como, por ejemplo, el nitrógeno atmosférico. Es por esta razón que el medio de Allen y Arnon es utilizado pese a la ausencia de fuentes nitrogenadas, no obstante, estos no son los únicos medios de cultivo implementados para la producción de cianobacterias. De acuerdo con Intriago (2022), también es posible encontrar medios como:

- ASN-III: Medio estimulante de crecimiento para cianobacterias que contiene principalmente: NaCl, MgCl₂·6H₂O, KCl, NaNO₃.
- Medio Allen: medio para algas verdeazuladas, adecuado para cultivos axénicos y xénicos compuesto por NaNO₃, K₂HPO₄, MgSO₄·7H₂O, Na₂CO₃, CaCl₂·2H₂O.
- Guillard F/2: medio de agua de mar enriquecido ampliamente utilizado para el cultivo de algas marinas costeras. Contiene principalmente NaNO₃, NaH₂PO₄ y vitaminas B1, H y B12.

Si bien la utilización de los medios anteriormente mencionados está comprobada y ya parametrizada, los altos costos para adquirir estos compuestos pueden limitar la realización de proyectos de mayor envergadura. Es por esto que en los últimos años se han estudiado los residuos agroindustriales como una alternativa más económica a los medios de cultivo convencionales y que se denominan como medios complejos o naturales. Estos medios, de origen natural o vegetal, se caracterizan por desconocer su composición química total y comúnmente son complementados con la adición de minerales para obtener un medio que cumpla con la composición necesaria para el cultivo de microorganismos en específico.

El medio de cultivo requerido para el crecimiento de las cianobacterias será proporcionado por las cenizas de madera (subproducto de industrias agrícolas), con lo cual se reincorporarán al sistema ecológico los elementos químicos que fueron extraídos de estas durante el crecimiento de la biomasa forestal-leñosa usada como fuente de energía. Esto se debe a que se ha comprobado que, debido a su composición química, las cenizas pueden ser utilizadas en cultivos, principalmente como fuente de fósforo, magnesio y azufre, al presentar componentes como óxido de magnesio (MgO), óxido de fósforo (P₂O₅) y sulfato (SO₄⁻²) (Corredor & Pérez, 2018). Esto, más las características mencionadas anteriormente sobre las cianobacterias, y su contenido de células especializadas en fijar el nitrógeno atmosférico, se convierten en una alternativa prometedora para mejorar el suelo, centrado en el presente trabajo en la restauración de suelos degradados por incendios forestales en bosques nativos.

El cultivo de cianobacterias se realiza en un fotobiorreactor (FB), equipo capaz de generar la fotosíntesis de las clorofilas existentes en los microorganismos, estos ofrecen un microambiente adecuado para que el cultivo pueda generar cantidades importantes de biomasa una vez que alcancen las proporciones adecuadas del medio de cultivo y los parámetros fisicoquímicos requeridos, el mezclado en ellos deberá permitir condiciones homogéneas, favorecer la transferencia de nutrientes, la dispersión uniforme de cianobacterias entre las zonas oscuras e iluminadas, la transferencia de energía, romper gradientes de difusión en la superficie celular,

retirar el oxígeno fotosintético generado, y también considerando que un buen mezclado puede aumentar la productividad hasta 40% (Torrado, 2016).

1.4.2. Fotobiorreactores usados para la producción de cianobacterias

Los fotobiorreactores (FB) se clasifican principalmente como sistemas abiertos y sistemas cerrados. Los FB con sistemas abiertos son los con contacto directo a la atmósfera. Estos son instalaciones que tienen un bajo costo considerando grandes volúmenes, incluso cientos de metros cúbicos, pero a su vez cuentan con una baja productividad debido a tener un bajo control de parámetros que se mencionarán más adelante. Estos a su vez son susceptibles a la invasión por otros microorganismos por su exposición al aire libre.

Los ejemplos más comunes de estos tipos de FB son los “open ponds” (Figura 1.4) y “raceways” (Figura 1.5), donde el primero son simples balsas con profundidad adecuada que se llenan del medio con los nutrientes adecuados y se dejan crecer, mientras que el segundo facilita el intercambio de gases y permite controlar el pH en cierta medida, son equipos más sofisticados ya que se proveen de agitación y mezcla, además se puede suministrar CO₂ al cultivo de forma relativamente eficiente y con pocas pérdidas, cuenta con un dispositivo de impulsión y consigue mantener el cultivo en suspensión y mezclado con un bajo consumo de potencia por metro cúbico. Estos sistemas son más económicos en comparación a los que mantienen el cultivo totalmente aislado, principalmente por el costo energético, considerando su simplicidad en términos operacionales, constructivos y de diseño, pero su gran desventaja es la alta sensibilidad a la contaminación debido a su exposición atmosférica. Tiene una eficacia fotosintética alrededor del 5% y eso genera que la productividad no se encuentre en rangos elevados (Tabla 1.5), y la densidad sea baja entre 0,1 y 0,5 [g*L⁻¹] (Torrado, 2016; Borowitzka et al., 2013).

Tabla 1.5: Productividad de microalgas (*Chlorella ellipsoidea*) en fotobiorreactores “open ponds”.

Radiación [kcal d ⁻¹]	Concentración celular [mg L ⁻¹]	Eficiencia fotosintética [%]	Razón de crecimiento específico [d ⁻¹]
15,2	71	4,5	1,76
14,0	104	5,1	1,26
14,4	155	5,3	0,90
14,1	175	4,5	0,66
14,1	202	4,5	0,57
14,1	226	3,9	0,44
14,5	390	3,2	0,22

Fuente: Fuente: Borowitzka et al. (2013).



Figura 1.4: Fotobiorreactor abierto tipo open ponds (Pariente, 2016).



Figura 1.5: Fotobiorreactor abierto tipo raceways (Cerón, 2019).

Los FB con sistemas cerrados son los que mantienen al cultivo totalmente aislado del ambiente externo, son los que más pueden asemejarse a la fase fotosintética que se dan en las hojas de las plantas, pero no a las condiciones que tienen los microorganismos en un medio exterior. Típicamente están equipados con sistemas de agitación, aireación, control del pH, intercambio del calor, adición de medio y CO₂. Son sistemas que, principalmente, cuentan con un mejor aprovechamiento de la radiación solar, los nutrientes y del dióxido de carbono. Estos reducen la contaminación ambiental frente a núcleos de población cercanos al cultivo evitando la aparición de malos olores de los procesos de depuración y la volatilización de compuestos contaminantes, presentan una mayor eficiencia fotosintética y mayores rendimientos de depuración, minimizan la pérdida de evaporación de agua que se da sobre todo en cultivos asentados en climas cálidos, permiten una gran flexibilidad y adaptación en cuanto a los diseños de los reactores para los propósitos deseados, tienen una gran productividad de la biomasa, pero sus costes operacionales energéticos son altos debido a los procesos de aireación, extracción y manipulación (Torrado, 2016).

Algunos FB de sistemas cerrados se presentan a continuación:

- Fotobiorreactor de columna: consisten en una columna de burbujeo de material transparente, con una capacidad de 20 litros como mínimo, con geometría cilíndrica de las columnas permitiendo su fácil construcción, además, ayuda a distribuir la luz y soporta bien la presión en la base. Son dispositivos sencillos ya que el burbujeo proporciona la mezcla del sistema, la

retirada del O_2 y el aporte de CO_2 . Durante los años, se han utilizado columnas con recirculación interna con el objeto de mejorar el flujo y prolongar el contacto de los gases, mejorando así la transferencia de materia. Se complica su construcción cuando se habla de grandes volúmenes ya que, al aumentar el diámetro, se aumenta muy deprisa la proporción de volumen oscuro, disminuyendo la productividad. Un estudio de cianobacterias en tubulares helicoidales con 3 [cm] lograron resultados del crecimiento de *Spirulina platensis* con una productividad de $0,40 [g L^{-1} d^{-1}]$ (Mérida *et al.*, 2013). El exceso de altura causa estrés hidrodinámico por la presión en la base dificultando el burbujeo, además que, dada por su posición vertical, es un equipo con mala captación de luz, especialmente a mediodía, que es precisamente cuando la radiación solar es máxima (Figura 1.6).



Figura 1.6: Fotobiorreactor cerrado tipo columna (Pariente, 2016).

- Fotobiorreactor plano: estos equipos realizan la agitación e intercambio de materia en el mismo espacio en el que se capta la luz. La estructura del paso óptico es delgada, se puede construir de manera sencilla y económica ya que es suficiente un bastidor y un recubrimiento plástico. Como ventaja principal se considera su posible construcción de forma inclinada y se pueden orientar hacia el sol para maximizar la captación de luz y con ello la productividad, pero no es fácil construirlos de manera muy larga por la dificultad que tienen para soportar la presión hidrostática. (Figura 1.7).



Figura 1.7: Fotobiorreactor cerrado tipo plano (Gegg *et al.*, 2017).

En la Tabla 1.6 se presentan las principales diferencias entre ambos sistemas.

Tabla 1.6: Principales diferencias entre fotobiorreactores.

Parámetro	Sistema abierto	Sistema cerrado
Inversión económica	Bajo costo de inversión con flexibilidad de materiales	Alta inversión y altos costos energéticos
Mantenimiento	Facilidad en la operación y en el mantenimiento	Necesidad de un seguimiento controlado
Parámetro	Sistema abierto	Sistema cerrado
Actividad fotosintética	Baja debido a poca penetración de la luz	Alta debido a que están diseñados para que este sea un parámetro diferencial
Eficiencia de tratamiento de los procesos	Bajo	Alto
Concentración de la Biomasa durante el funcionamiento	0,1-0,5 [g L ⁻¹]	0,5-5 [g L ⁻¹]
Control de proceso	Bajo	Alto
Dependencia del clima	Alto	Bajo
Periodo de puesta en marcha	De 6 a 8 semanas	De 2 a 3 semanas
Espacio requerido	Alto	Bajo
Riesgo de contaminación del medio y exterior	Alto	Bajo

Fuente: Mérida *et al.* (2013).

1.4.3. Condiciones operacionales del cultivo en los fotobiorreactores

Las variables por considerar en los FB que mantienen aislados el cultivo y que, por tanto, permiten un mayor control de su estado y crecimiento de los microorganismos, se presentan a continuación:

Incidencia de Luz: independientemente del sistema, ya sea abierto o cerrado, el origen del suministro de luz, su longitud de onda y la intensidad de la energía son los factores más determinantes para el crecimiento del cultivo (Maynés, 2018) que afectan al crecimiento y desarrollo del cultivo de cianobacterias. Esta condición operacional es una de las principales variables para un cultivo productivo siendo una fuente de energía indispensable para el proceso de

la fotosíntesis, pero si recibe luz en exceso, producirá un deterioro de los fotosistemas del microorganismo y evitará los procesos de transporte celular.

En la zona iluminada, las células son expuestas a la luz necesaria para producir fotosíntesis, mientras que en la zona oscura las células reciben poca o casi nada de luz para su metabolismo (Janssen *et al.*, 2000). Un estudio sobre los ciclos luz/oscuridad determinó que los ciclos de 12:12 horas (luz/oscuridad) e iluminación continua son los más favorables para el crecimiento del cultivo teniendo en consideración una repartición uniforme de esta dentro del fotobiorreactor para que todos los microorganismos obtengan esta energía. La producción de biomasa y la absorción de CO₂ se ve alterada por la duración de los fotoperiodos (Jacob-Lopez *et al.*, 2009).

Temperatura: los FB que se encuentran en zonas de bajas temperaturas suelen bajar su eficacia. Si la temperatura exterior aumenta hasta 20-30°C repercute positivamente en el rendimiento de depuración del agua residual. La temperatura óptima varía según el cultivo usado, pero generalmente se encuentra entre 20-24 °C. Toleran temperaturas hasta 16°C, pero a la que son inferiores, la tasa de crecimiento disminuye, por el contrario, cuando la temperatura es superior a 35°C, la mayoría de las cepas no lo soportan y mueren (Mehlitz, 2009). Con altas temperaturas, 40°C en adelante, se observa que la solubilidad de CO₂ disminuye dejando menos cantidad para la fotosíntesis (Maynés, 2018).

pH: el pH se ve incrementado por el consumo de CO₂ en la fotosíntesis. La eliminación de este presente en el medio significa la disminución de ácido carbónico, y esto conduce a un aumento de pH. Por eso, el pH tiende a aumentar durante el día y disminuir durante la noche.

Aireación o agitación: la homogeneidad del cultivo es un aspecto básico para favorecer la transferencia de nutrientes y energía. El mezclado permite obtener condiciones homogéneas, pero también retira el oxígeno generado por la fotosíntesis de los microorganismos y evita las diferencias térmicas de la parte inferior respecto a la superior. Ya sea mediante agitación o aireación por bombeo de aire, el mezclado favorece el intercambio gaseoso que además evita la sedimentación de las células, la formación de gradientes y la concentración de nutrientes (Ugwu *et al.*, 2002).

CAPÍTULO 2: OBJETIVOS

De acuerdo con los antecedentes señalados, a continuación, se presenta el objetivo general y los objetivos específicos que tiene el proyecto de ingeniería propuesto.

2.1. Objetivo general

Evaluar técnico-económicamente una planta de producción *in situ* de fertilizante para suelos degradados por incendios forestales a base de cianobacterias fijadoras de nitrógeno cultivadas con un medio de cultivo diseñado a partir de extractos acuosos de cenizas de madera.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar normativa aplicable para la implementación de la planta de producción.
- Realizar un estudio de mercado de los productos usados como fertilizantes forestales.
- Diseñar una planta de producción de cianobacterias en función a la cantidad de árboles a reforestar.
- Evaluar económicamente la planta de producción propuesta.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE NORMATIVA APLICABLE Y VIGENTE

En el presente capítulo es analizada la legislación aplicable a la propuesta del Proyecto, principalmente aquella que justifica su realización y parámetros de calidad que el Proyecto debe considerar para su desarrollo.

Dentro de la legislación aplicable en la cual se enmarca el presente documento se puede identificar como la normativa más longeva el Reglamento sobre Roce a Fuego, el cual nace como una forma de sancionar el manejo impertinente de las quemas controladas dentro de la agricultura, además de determinar a los responsables de dichos actos.

El artículo con el que específicamente se encuentra afecto el Proyecto corresponde al contenido en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Decreto 276/1980 del Reglamento sobre Roce a Fuego.

Tipo y número	Decreto 276
Título	Reglamento Sobre Roce a Fuego
Generador	Ministerio de Agricultura
Fecha de publicación	4 de noviembre de 1980
Última modificación	13 de mayo del 2016
Artículo 10º.- El empleo del fuego, en conformidad a este decreto, no exime al usuario de su obligación y responsabilidad de mantener el fuego bajo control, evitar incendios y responder civil y penalmente por los daños que pudiere ocasionar.	

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la protección del bosque nativo como tal se puede identificar la Ley 20.283, el D.S. 96/2009, y DS95/2009 contenidos en las Tablas 3.2 y 3.3 respectivamente, donde la primera normativa mencionada tiene por objetivo la recuperación de este en casos de afectaciones, como por ejemplo los incendios forestales, junto también con iniciar el trabajo de identificación del tipo de bosque que cubre el territorio nacional y los métodos de regeneración que pueden ser aplicados.

Tabla 3.2: Ley 20.283 sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal.

Tipo y número	Ley 20.283
Título	Sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal
Generador	Ministerio de Agricultura
Fecha de publicación	30 de julio del 2008

Continuación **Tabla 3.2:** Ley 20.283 sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal.

Última modificación	18 de marzo del 2015
<p>Artículo 1º.- Esta ley tiene como objetivos la protección, la recuperación y el mejoramiento de los bosques nativos, con el fin de asegurar la sustentabilidad forestal y la política ambiental.</p> <p>Artículo 3º.- Mediante decreto supremo expedido por intermedio del Ministerio de Agricultura, se establecerán los tipos forestales a que pertenecen los bosques nativos del país y los métodos de regeneración aplicables a ellos. El procedimiento para establecer los tipos forestales y los métodos de regeneración considerará, a lo menos, las siguientes etapas: desarrollo de estudios científicos y técnicos que fundamenten la tipología establecida, sus métodos de regeneración y consulta a los organismos públicos y privados con competencia en la materia</p> <p>Artículo 17º.- Prohíbese la corta, destrucción, eliminación o menoscabo de árboles y arbustos nativos en una distancia de 500 metros de los glaciares, medidas en proyección horizontal en el plano. El Reglamento normará la protección de suelos, cuerpos y cursos naturales de agua, teniendo, a lo menos, los siguientes criterios centrales: la pendiente, la pluviometría, la fragilidad y erodabilidad de los suelos; el nivel de saturación de los mismos y la flotación de los equipos de maderero. En el caso de protección de los cursos naturales de agua considerará además el tamaño de la cuenca, el caudal y su temporalidad.</p>	

Fuente: Elaboración propia.

La segunda normativa que hace alusión al bosque nativo corresponde a los fondos estatales que se encuentran destinados para la incentivar la investigación, y dentro de otras, la transferencia de tecnologías en áreas rurales determinadas en el artículo 2º del texto. Punto para considerar al momento de financiar la implementación de la tecnología propuesta en el Proyecto para el mejoramiento de suelo forestal siniestrado.

Tabla 3.3: Decreto 96/2009 que Reglamenta los Recursos Destinados a la Investigación del Bosque Nativo.

Tipo y número	Decreto 96
Título	Reglamenta los Recursos Destinados a la Investigación del Bosque Nativo
Generador	Ministerio de Agricultura; Subsecretaría de Agricultura
Fecha de publicación	5 de octubre del 2009
Última modificación	19 de octubre del 2013
<p>Artículo 2º.- Los fondos estarán destinados especialmente a incentivar y apoyar:</p> <p>a) La investigación científica y tecnológica relacionada con el bosque nativo y la protección de su biodiversidad;</p> <p>b) La investigación y los proyectos de desarrollo tecnológico que propendan a la protección del suelo, de los recursos hídricos, de flora y fauna, y de los ecosistemas asociados al bosque nativo;</p> <p>c) La creación y establecimiento de programas de capacitación, educación y transferencia tecnológica en áreas rurales, dedicados a la instrucción y perfeccionamiento de las personas y comunidades rurales cuyo medio de vida es el bosque nativo;</p> <p>d) La evaluación de los efectos de las intervenciones en el bosque nativo de acuerdo a la Ley 20.283, en adelante la Ley,</p> <p>e) El desarrollo de iniciativas complementarias a las indicadas, que permitan aportar antecedentes, información, difusión, conocimiento o recursos tendientes al cumplimiento del objetivo de la Ley.</p>	

Fuente: Elaboración propia.

Los fondos concursables para la conservación, recuperación y manejo sustentable del bosque nativo dispuestos actualmente corresponden a dos instancias postulables destinada a actividades de; preservación, no madereras y madereras. En primer lugar, la postulación se encuentra dirigida a pequeños propietarios forestales, mientras que el segundo llamado se encuentra dirigido a medianos y grandes propietarios forestales. La especificación de las actividades y personas beneficiadas por este fondo están dispuestas en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4: Decreto 95/2009 Reglamento del Fondo de Conservación, Recuperación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.

Tipo y número	Decreto 95
Título	Reglamento del Fondo de Conservación, Recuperación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.
Generador	Ministerio de Agricultura; Subsecretaría de Agricultura
Fecha de publicación	5 de octubre del 2009
Última modificación	18 de agosto del 2011
<p>Artículo 2º.- Se considerarán bonificables las siguientes actividades que favorezcan la regeneración, protección o recuperación de formaciones xerofíticas de alto valor ecológico o de bosques nativos de preservación:</p> <p>a. Revegetación.</p> <p>b. Enriquecimiento ecológico, entre otras.</p> <p>Artículo 8º.- Anualmente deberán efectuarse, a lo menos, dos concursos públicos, uno para pequeños propietarios forestales y otro para los demás interesados, sin perjuicio de lo establecido en el artículo 30 de la ley Nº 20.283.</p> <p>Para efectos de la realización de los concursos señalados en el inciso anterior, la Corporación deberá confeccionar cada año y en cada ocasión, las bases de postulación sobre las cuales se procederá a seleccionar a los beneficiarios de las bonificaciones contenidas en la ley.</p> <p>Artículo 11 º.- La priorización de los proyectos, en lo que se refiere a los terrenos, se establecerá de acuerdo a las siguientes variables:</p> <p>a) Tipo forestal.</p> <p>b) Estado de desarrollo del bosque.</p> <p>c) Estatus de Área Silvestre Protegida Privada.</p> <p>d) Aporte a la conservación de la diversidad biológica del país.</p> <p>e) Tipo de producción no maderera</p> <p>Artículo 12 º.- La priorización de los proyectos, en lo que se refiere a los interesados, se establecerá de acuerdo a las siguientes variables:</p> <p>a) Tamaño del predio, considerando los otros inmuebles de carácter silvoagropecuario que le pertenezcan. En el caso de las comunidades o sociedades, el tamaño del predio se considerará dividiendo la superficie total del predio por el número de integrantes que participan de ellas.</p> <p>b) Pertenencia a pueblos indígenas, en caso de tratarse de una persona natural o ser el interesado una comunidad indígena.</p> <p>Artículo 16 º.- Los interesados deberán postular a los concursos presentando una solicitud de bonificación acompañada de un proyecto de plan de manejo de preservación.</p>	

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las bases presentadas para la postulación descritas en el portal de Ley Fácil (2018), aquellas actividades de preservación que favorezcan la regeneración, recuperación o protección de formaciones adaptadas a la aridez de alto valor ecológico o de bosques nativos de preservación. La bonificación alcanzará hasta 5 Unidades Tributarias Mensuales (UTM) por hectárea.

Por otro lado, quienes sean considerados como pequeños propietarios forestales, deben cumplir las siguientes condiciones:

- Tener título de dominio de uno o más predios de una superficie no superior a 200 hectáreas o de 500 hectáreas cuando éstos se ubiquen entre las Regiones I y IV, incluida la XV; o de 800 hectáreas para predios en la comuna de Lonquimay, en la IX Región; en la provincia de Palena, en la X Región; o en la XI y XII Regiones.
- Su equipamiento e infraestructura no supere las 3.500 Unidades de Fomento (UF).
- Su ingreso debe provenir principalmente de la explotación agrícola o forestal de su predio o de otra propiedad de terceros.

La transferencia de tecnología con el fin de incrementar la conservación, restauración y manejo sostenible de la biodiversidad y de los ecosistemas naturales como sumideros de carbono es un tema que se abarca en la recientemente publicada Ley Marco de Cambio Climático contenida en la Tabla 3.5.

Como ya es mencionado en el capítulo introductorio, los bosques brindan servicios ecosistémicos fundamentales para el desarrollo de la vida, siendo una de estas, la capacidad que tienen de aprovechar el dióxido de carbono presente en la atmosfera para su desarrollo. Es por esto que son considerados como sumideros de carbono, principalmente aquellos bosques de mayor cantidad de años, por lo que la rapidez de la recuperación de suelo juega un rol fundamental para poder recuperar esta característica lo antes posible.

Tabla 3.5: Ley 21.455 Marco de Cambio Climático.

Tipo y número	Ley 21.455
Título	Marco de Cambio Climático
Generador	Ministerio del Medio Ambiente
Fecha de publicación	13 de junio del 2022
Última modificación	13 de junio del 2022
<p>Artículo 6º.- Medios de implementación de la Estrategia Climática de Largo Plazo. La Estrategia Climática de Largo Plazo contemplará, especialmente, los siguientes medios de implementación:</p> <p>1) Desarrollo y Transferencia de Tecnología. La Estrategia Climática de Largo Plazo deberá establecer objetivos, metas e indicadores para el fomento e intensificación del traspaso de conocimientos, habilidades, técnicas o equipamientos, con el fin de incrementar la conservación, restauración y manejo sostenible de la biodiversidad y de los ecosistemas naturales como sumideros de carbono, la resiliencia climática, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y apoyar el cumplimiento de las metas establecidas en el artículo 5º.</p>	

Fuente: Elaboración propia.

Otra de las razones por la cual el Proyecto es compatible con la legislación aplicable es los mencionado específicamente en los artículos 1° y 39° en la LBGMA contenida en la Tabla 3.6, donde establece la protección al medio ambiente, preservación de la naturaleza y conservación del patrimonio ambiental, puntos alineados con el objetivo central de la implementación de fertilizante en los suelos siniestrados, como también evitar la pérdida del suelo y remediar su degradación.

Tabla 3.6: Ley 19.300 Sobre las Bases Generales del Medio Ambiente.

Tipo y número	Ley 19.300
Título	Sobre las Bases Generales del Medio Ambiente
Generador	Ministerio Secretaría General de la Presidencia
Fecha de publicación	9 de marzo de 1994
Última modificación	13 de junio del 2022
<p>Artículo 1º.- El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental se regularán por las disposiciones de esta ley, sin perjuicio de lo que otras normas legales establezcan sobre la materia.</p> <p>Artículo 39º.- La ley velará porque el uso del suelo se haga en forma racional, a fin de evitar su pérdida y degradación.</p>	

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las normas que regulan la implementación de productos orgánicos es posible encontrar el Decreto 2/2016 contenido en la Tabla 3.7, el cual nace desde el Sistema Nacional de Certificación de Productos Orgánicos Agrícolas como forma de regular este tipo de productos en el mercado y los requisitos que debe cumplir la producción de estos para poder contar con la validez legal de un producto orgánico.

Tabla 3.7: Decreto 2/2016 Aprueba Normas Técnicas de la Ley N° 20.089, que Crea el Sistema Nacional de Certificación de Productos Orgánicos Agrícolas.

Tipo y número	Decreto 2
Título	Normas Técnicas de la Ley N° 20.089, que Crea el Sistema Nacional de Certificación de Productos Orgánicos Agrícolas
Generador	Ministerio de Agricultura
Fecha de publicación	9 de abril del 2016
Última modificación	10 de enero del 2019

Continuación **Tabla 3.7:** Decreto 2/2016 Aprueba Normas Técnicas de la Ley N° 20.089, que Crea el Sistema Nacional de Certificación de Productos Orgánicos Agrícolas.

<p>Artículo 1º.- Los crecientes niveles de deterioro de los ecosistemas determinan la necesidad de buscar alternativas de producción más amigables con el medio ambiente. La producción silvoagropecuaria, que no es ajena a este problema global, ha generado alternativas sustentables y ecológicas de producción, destacando en este ámbito la Agricultura Orgánica con un creciente desarrollo, tanto en el ámbito nacional como mundial. Entre los elementos en los cuales se basa la Agricultura Orgánica</p> <p>Artículo 2º.- Esta Norma tiene por objeto establecer los requisitos para la producción, elaboración, etiquetado y comercialización de los productos orgánicos, ecológicos o biológicos. La presente norma aplica a:</p> <p>a) vegetales no procesados; b) animales y productos pecuarios no procesados; c) productos apícolas no procesados; d) productos fúngicos no procesados, e) productos vegetales, pecuarios, apícolas, vinícolas y fúngicos procesados.</p> <p>Artículo 17º.- Manejo de la fertilidad del suelo. Tanto la fertilidad como la actividad biológica del suelo deben ser mantenidas o incrementadas mediante los siguientes procedimientos, según corresponda:</p> <p>f) Uso de microorganismos apropiados o preparados de origen vegetal, animal, y/o mineral (tales como preparados biodinámicos, homeopáticos y ayurvédicos), bajo los criterios y condiciones establecidos en la presente Norma, para la activación del compost y del suelo. Con este propósito se autoriza también el uso de compuestos nitrogenados permitidos;</p> <p>g) Incorporación de fertilizantes y/o acondicionadores de suelo, contenidos en la Lista 1 del Anexo A de esta Norma, sólo cuando la nutrición adecuada de los vegetales no sea posible a través de la rotación de cultivos o el acondicionamiento del suelo;</p>

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso específico de la comercialización de fertilizantes y bioestimulantes dentro del territorio nacional el Proyecto se encuentra afecto bajo la Ley 21.349 contenida en la Tabla 3.8, la cual dispone los parámetros de calidad que el producto debe cumplir para su fabricación, comercialización y aplicación. Esta Ley entró en vigor el 27 de septiembre de 2022.

Las definiciones indicadas en el segundo artículo de la Ley especifican el concepto en el cual entraría el producto a masificar luego de su producción, este correspondería a un fertilizante orgánicos con propiedades que también cumplen la función de bioestimulante.

Como también se menciona en el artículo 4° de la Ley, aquellas personas que en el ejercicio de su actividad los utilicen para fines distintos al uso agrícola, deberán inscribirse en el Registro Único Nacional, no más allá de 30 días desde la fecha de presentación de la declaración jurada de iniciación de actividades ante el Servicio de Impuestos Internos.

Tabla 3.8: Ley 21.349 que Establece Normas Sobre Composición, Etiquetado y Comercialización de los Fertilizantes y Bioestimulantes.

Tipo y número	Ley 21.349
Título	Establece Normas Sobre Composición, Etiquetado y Comercialización de los Fertilizantes y Bioestimulantes
Generador	Ministerio de Agricultura

Continuación **Tabla 3.8:** Ley 21.349 que Establece Normas Sobre Composición, Etiquetado y Comercialización de los Fertilizantes y Bioestimulantes.

Fecha de publicación	26 de junio del 2021
Última modificación	27 de septiembre del 2022
<p>Artículo 1º.- Esta ley tiene por objeto establecer disposiciones sobre parámetros de calidad, composición, clasificación, envasado, declaración, etiquetado y trazabilidades aplicables a la fabricación, formulación, producción, comercialización, tenencia, importación y exportación de fertilizantes y bioestimulantes, sin perjuicio de las demás normas que les resulten aplicables. Las disposiciones y definiciones técnicas necesarias para la implementación de esta ley serán establecidas por un reglamento dictado por el Ministerio de Agricultura, el que además contemplará disposiciones relativas a la clasificación y a los requisitos que deberán cumplir los fabricantes, formuladores, productores, comercializadores, envasadores, tenedores, importadores y exportadores de fertilizantes y bioestimulantes.</p> <p>Artículo 2º Para efectos de esta ley, se aplicarán las siguientes definiciones:</p> <p>a) Bioestimulante: sustancia o mezcla de sustancias o microorganismos, aplicables a semillas, plantas o rizósfera, que estimulan los procesos naturales de nutrición de las plantas, con el objeto de mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico, los atributos de calidad, o la disponibilidad de nutrientes inmovilizados en el suelo o en la rizósfera.</p> <p>j) Fertilizante: material orgánico o inorgánico, de origen natural o sintético, que, en razón de su contenido en nutrientes, facilita el crecimiento de las plantas, aumenta su rendimiento y mejora la calidad de las cosechas o que, por su acción específica, modifica la fertilidad del suelo o sus características físicas, químicas o biológicas, o la nutrición de las plantas al aplicarlos al follaje. Este concepto incluye las enmiendas y los abonos.</p> <p>Artículo 4º.- Los productores, fabricantes, formuladores, comercializadores, envasadores, importadores y exportadores de fertilizantes y bioestimulantes, y aquellas personas que en el ejercicio de su actividad los utilicen para fines distintos al uso agrícola, deberán inscribirse en el Registro Único Nacional establecido en el artículo 12. Esta inscripción deberá efectuarse en un plazo no superior a treinta días, contado desde la fecha de presentación de la declaración jurada de iniciación de actividades ante el Servicio de Impuestos Internos, y se practicará de acuerdo con las condiciones y requisitos establecidos en el reglamento. Las personas naturales o jurídicas que por ley no estén obligadas a efectuar la mencionada declaración podrán solicitar directamente al Servicio su inscripción en los registros, para lo cual deberán indicar el destino que le darán al producto.</p>	

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo con esta normativa es que a finales del mes de abril del presente año se inaugura el primer Centro Nacional de Bioinsumos (CeNBI) coordinado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), el cual cuenta con investigadores, infraestructura y equipamiento para el pilotaje a escala industrial y masificación de bioinsumos basados en microorganismos nativos que han sido colectados y conservados en el Banco de Recursos Microbianos de la misma institución (Mundo Agropecuario, 2023). Este centro tiene como objetivo final disminuir el uso de productos agroquímicos en las plantaciones del país como medida de protección al medio ambiente y también buscar la viabilidad económica de estos productos biológicos a causa del aumento de los precios y demanda mundial de productos que controlen plagas y enfermedades agrícolas, como también sobrellevar el estrés de los cultivos ante los efectos del cambio climático (Induambiente, 2023).

El 22 de noviembre de 2022 la resolución Exenta 5.391 fue derogada, pero está estipulaba la determinación de la composición fisicoquímica de los fertilizantes se debe hacer bajo los dispuesto

en la Resolución contenida en la Tabla 3.9, indicando su composición centesimal en mg kg⁻¹ o ppm además de la viabilidad de los microorganismos que la componen en Unidades Formadoras de Colonias.

Tabla 3.9: Resolución 5.391 Exenta que Establece Disposiciones para Declarar Composición Físicoquímica de Fertilizantes que se Comercializan y Distribuyen en el País y Deroga Resolución que Indica.

Tipo y número	Resolución 5.391 Exenta
Título	Establece Disposiciones para Declarar Composición Físicoquímica de Fertilizantes que se Comercializan y Distribuyen en el País y Deroga Resolución que Indica
Generador	Ministerio de Agricultura; Subsecretaría de Agricultura; Servicio Agrícola y Ganadero; Dirección Nacional
Fecha de publicación	13 de septiembre del 2018
Última modificación	13 de septiembre del 2018
<p>Que para los efectos de la presente resolución se entenderá por:</p> <p>Biofertilizantes: Son aquellos preparados que contengan células vivas o latentes de cepas microbianas, fijadoras de nitrógeno, hongos micorrízicos, hongos solubilizadores de fósforo, y en general microorganismos potenciadores de diversos nutrientes o productores de sustancias activas, que se utilizan para aplicar a las semillas o al suelo con el objetivo de incrementar el número de estos microorganismos en el medio y acelerar los procesos microbianos de tal forma que se aumenten las cantidades de nutrientes que pueden ser asimiladas por las plantas o se hagan más rápidos los procesos fisiológicos que influyen sobre el desarrollo y el rendimiento de los cultivos.</p> <p>Que los fabricantes, importadores, envasadores y reenvasadores de fertilizantes que se comercialicen y distribuyan en el país, además de indicar en forma indeleble la composición centesimal del producto que contienen, tanto para elementos fertilizantes, y elementos acompañantes expresados en mg/kg o ppm, deberán declarar los siguientes parámetros fisicoquímicos para biofertilizantes:</p> <p>Viabilidad de los microorganismos que lo componen (expresada en Unidades Formadoras de Colonias, UFC o propágulos).</p>	

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE MERCADO, CAPACIDAD Y UBICACIÓN DE LA PLANTA

Los resultados preliminares respecto a la producción de cianobacterias mediante el uso de cenizas de madera como medio de cultivo, obtenidos en el marco del proyecto FONDEF (2021), se encuentran relacionados estrechamente con las condiciones climáticas del entorno donde fueron realizados los estudios experimentales y la producción piloto. Es esta la razón por la que el estudio de mercado se enfoca en el análisis al mercado de fertilizantes existentes en la región de Valparaíso, identificando las alternativas actualmente disponibles y la potencial demanda en función de la ocurrencia de incendios forestales proyectadas para la zona.

Los registros históricos de incendios forestales para la región de Valparaíso la posicionan dentro de las tres regiones con mayor ocurrencia con 34.146 incendios entre los años 1985- 2022 y un promedio anual de 899 siniestros (CONAF, 2022a). De los cuales es importante destacar la predominancia de incendios normales, o de áreas afectadas inferiores a las 200 hectáreas, siendo estas un 99,19% de los casos registrados.

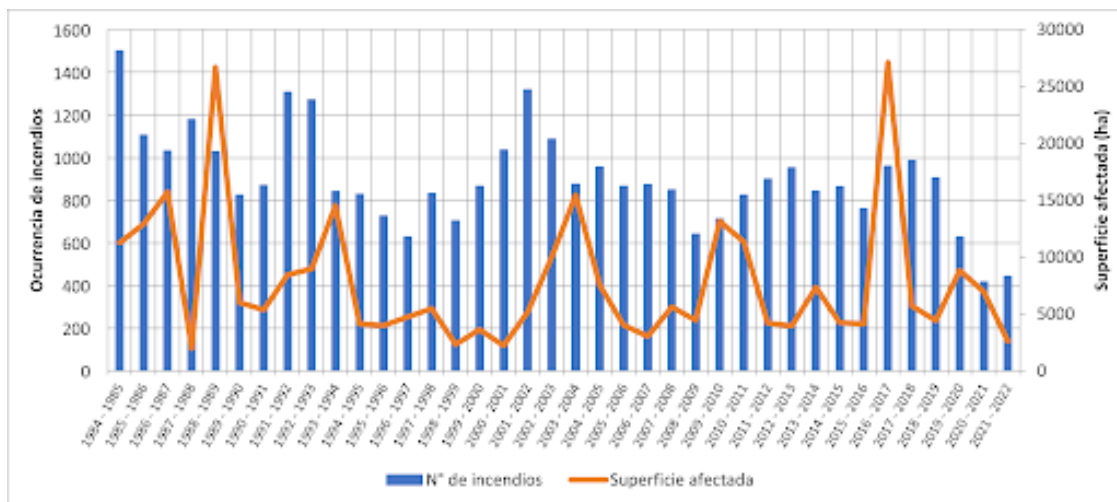


Figura 4.1: Ocurrencia de incendios y superficie afectada en la región de Valparaíso periodo 1985-2022 (CONAF, 2022d).

Un estudio realizado por Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)² el año 2020 analizó los registros históricos de incendios que afectaron a la zona centro durante los periodos 1985-2018 para determinar los patrones espaciales y temporales de los incendios, donde ha sido posible concluir que estos han sido cada vez más extremos y extensos entre las regiones de Valparaíso y La Araucanía (Figura 4.2).

Como es posible notar, la mayor ocurrencia de incendios que afectan a la región se concentra en el núcleo urbano, llegando a sectores que han sufrido más de 50 siniestros dentro de este periodo de estudio. Sin embargo, el motivo de análisis del presente documento se centra en la problemática desde la perspectiva forestal, donde si bien no se concentran los valores máximos de ocurrencia, si es posible notar una predominancia considerable de 10 a 50 incendios en sectores boscosos de la región.

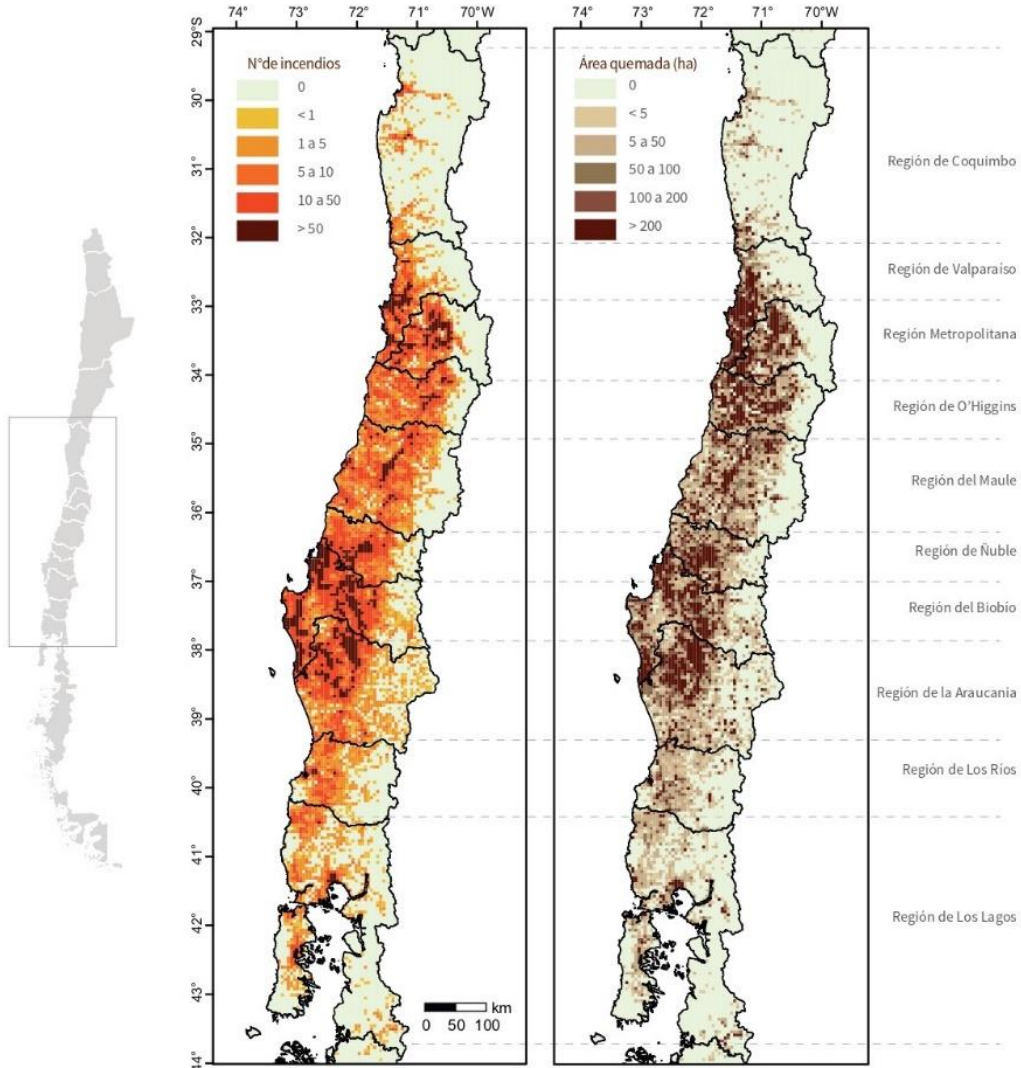


Figura 4.2: Número total de incendios y área quemada acumulada por grilla de 5x5 km (Periodo 1985-2018) (González *et al.*, 2020).

Junto con lo mencionado anteriormente, la temporada de incendios de gran tamaño (≥ 200 ha) se ha ampliado durante la última década, abarcando actualmente 8 meses del año, comenzando en promedio durante los meses de octubre y finalizando a mediados del mes de mayo del año siguiente. Esto significa un incremento de un 43% en la temporada de incendios en comparación a los registros de los periodos anteriores al año 2009 (Figura 4.3) (González *et al.*, 2020).

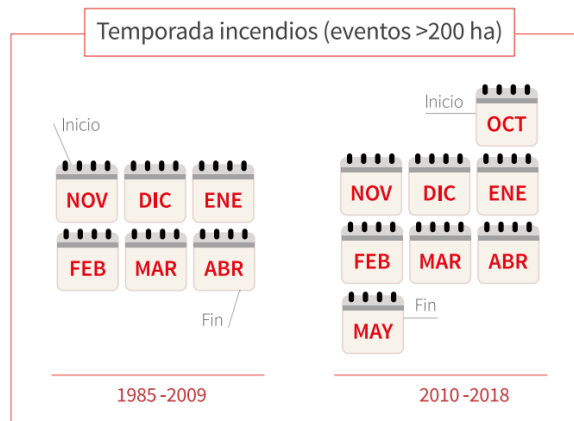


Figura 4.3: Extensión de la temporada de incendios para eventos de gran tamaño (> 200 ha), en los periodos 1985-2009 y 2010-2018. (González *et al.*, 2020).

Actualmente los programas de restauración impartidos por CONAF se basan en el mes de ocurrencia y recursos disponibles de acuerdo con relato de funcionarios, donde se priorizan aquellos ocurridos durante los meses de plantación para actuar lo antes posible. Estos meses habitualmente son los de lluvia, denominados coloquialmente “meses sin r”, aludiendo a mayo, junio, julio y agosto (Clarín, 2017). Sin embargo, expertos han tenido que adaptar esta medida a la situación actual, donde las temporadas no son acentuadas, y por consiguiente, el comportamiento en el crecimiento de la vegetación también se ve afectado (DKV, 2022).

Según un estudio realizado por Altamirano *et al.* (2013) sobre la influencia de la heterogeneidad del paisaje en la ocurrencia de incendios forestales en Chile, fue posible llegar a la conclusión que, para proyectar la ocurrencia de incendios, las variables que más influyen en este cálculo son la variación en la temperatura mínima del mes más frío, estacionalidad de la precipitación y la distancia a las ciudades. Esto justificado por el desecamiento de la biomasa facilitando la ignición, menor precipitación durante el periodo estival y la actividad humana que se genera por cada una de las causas mencionadas respectivamente (Altamirano *et al.*, 2013).

En lo que respecta a la variación en la temperatura promedio esperada para los próximos años, de acuerdo con un estudio realizado por el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia el año 2018, se pudo detectar dos escenarios. El primero responde a que para el año 2100 el aumento de temperatura promedio en la Tierra es inferior a los 2°C (RCP2.6), y el segundo caso que establece que para el año 2100 la temperatura promedio de la Tierra puede resultar en un incremento de hasta 5°C (RCP8.5). En función de estos casos fue modelado el escenario esperado para el año 2050 en la Figura 4.4, donde se confirma un incremento de la temperatura promedio anual en hasta 1,2°C en la región de Valparaíso, y se asume que también se incrementa la temperatura mínima del mes más frío, cumpliéndose así, una de las condiciones principales que promueven la ocurrencia de incendios forestales.

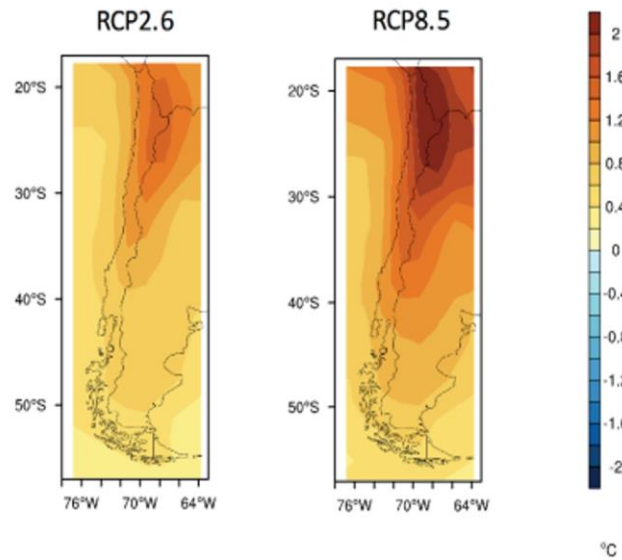


Figura 4.4: Mapas de cambio de temperatura (°C, anual) para el periodo 2021-2050, con respecto al periodo 1976-2005 (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, 2018).

Otra información recopilada por el informe del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia responde a la variación anual de las precipitaciones (Figura 4.5).

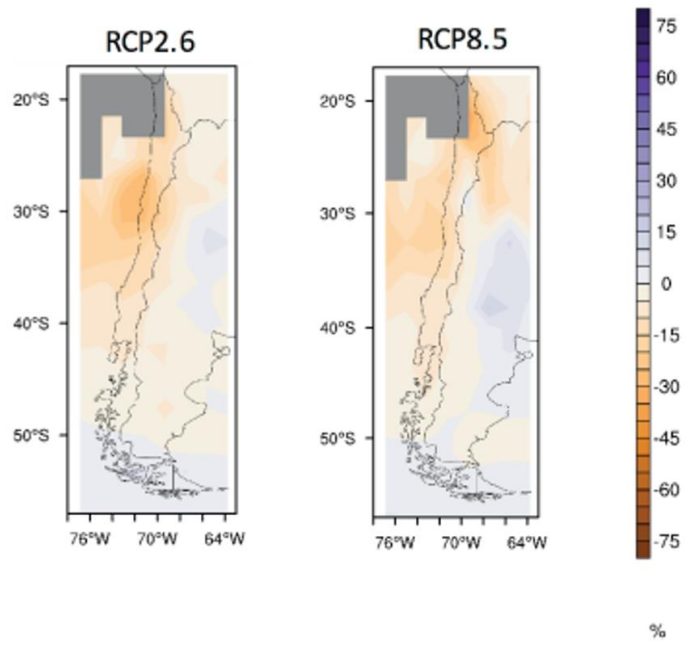


Figura 4.5: Mapas de cambio de precipitación (% anual) para el periodo 2021-2050, con respecto al periodo 1976-2005 (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, 2018).

El incremento de la población y esparcimiento de la urbanización es algo que ocurre permanentemente. Por lo que se puede determinar que el incremento en la ocurrencia y afectación de incendios forestales es un problema latente del cual es importante establecer planes de gestión eficientes y diversas alternativas para la posterior recuperación del suelo.

La forestación y reforestación de superficies quemadas en Chile es un tema que no hace muchos años se aborda, y es por esto la escasez de políticas que lo regulen como también fondos destinados para este caso. Los proyectos son llevados principalmente por la sociedad civil o por instituciones privadas mientras que los organismos públicos cumplen el rol de gestores y articulación de contactos (Bustos, 2019). Dado esto, la información disponible sobre los suelos recuperados no abunda y el registro de CONAF se centra en lo aludido en la Ley 20.243 sobre la recuperación de bosque nativo y fomento forestal.

De acuerdo con estos datos, en la región de Valparaíso se han forestado y restaurado 522,6 hectáreas de bosque nativo, ya sea para fines productivos y preservación de la vegetación, entre los periodos 2010-2021 (Tabla 4.1), esto sin considerar las actividades en paralelo a CONAF para la recuperación de suelos.

Tabla 4.1: Bonificaciones forestales Ley 20.243.

Año	Producción maderera (ha)	Producción no maderera (ha)	Preservación (ha)
2010			
2011			
2012	6,9		
2013	42,6		
2014	77,0	2,2	
2015	72,5		
2016	73,4		
2017	63,3		21,1
2018	36,6		
2019	22,8		
2020	39,2		20,4
2021	23,5		21,1
TOTAL	457,8	2,2	62,6

Fuente: CONAF (2022b).

En el marco de los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU y de la COP26, el país se ha comprometido a restaurar un millón de hectáreas para el año 2030 con énfasis en la recuperación de suelos degradados por incendios mediante la implementación de herramientas que ayuden a “promover la restauración, apuntando a reforzar las economías locales basadas en la restauración y los encadenamientos virtuosos que se desarrollen en torno a ella, apoyado por las Soluciones Basadas en la Naturaleza, y en el mecanismo de Impuesto Verde” (Diario Sustentable, 2022).

Durante los últimos 10 años los incendios forestales sufridos en la región de Valparaíso promedian un 6% de las hectáreas quemadas a nivel nacional. Por lo que, suponiendo que la distribución de las acciones de recuperación será proporcional al daño y ocurrencia de incendio en cada región, la proyección de suelos que deben ser rehabilitados y reforestados al año 2030 suman un total de 60.000 hectáreas.

En cuanto a los fondos estatales, de acuerdo con la Ley de Presupuestos 2023, lo que corresponde a la Partida 13 del Ministerio de Agricultura (MINAGRI) es un monto de \$854.619.529 miles de pesos

de los cuales la CONAF tiene un 19,9% de la distribución, lo que corresponde a \$169.283.139 miles de pesos, que se ven reflejados en distintas áreas de la entidad CONAF

Según la Ley de Presupuestos 2021+reajuste+leyes especiales se financia la continuidad de acciones iniciadas en 2021, como el programa de reactivación para pequeños y medianos propietarios forestales por \$4.563.072 miles, los que permitirán forestar y recuperar 25.000 hectáreas de bosques en las regiones de Valparaíso, O'Higgins, Maule, Ñuble, Biobío, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos, Aysén y Magallanes. La distribución del presupuesto se calculó según las hectáreas totales a nivel nacional, siendo Valparaíso un 2% de la totalidad de áreas quemadas (SIDCO, 2023)

A continuación, se presenta la información recopilada de acuerdo con el mercado de los fertilizantes, tanto su tendencia en los últimos años como también la proyección de la demanda que se espera de esto. Para así, de esta manera, determinar la capacidad de producción de cianobacterias en la planta propuesta.

4.1. Estudio de mercado

La estrategia realizada esta en función de la segmentación de mercados, con la finalidad de orientar los productos de la empresa hacia un determinado grupo de clientes, considerando el tipo de cliente es reducido para cada empresa, puesto que no logran satisfacer todo el mercado de manera efectiva.

Kotler y Armstrong (2017) señalan que la segmentación de mercado es una estrategia que consiste dividir el mercado en grupos de diferentes compradores, con distintas necesidades, características o comportamientos, que les permitan orientar los productos hacia dichos clientes. Teniendo claridad de la segmentación adecuada, podrán enfocarse en incrementar sus ventas, siendo una segmentación de mercados perteneciente a la estrategia de negocio.

Existen cuatro bases de segmentación de mercado, la segmentación geográfica, la segmentación demográfica, la segmentación psicográfica y la segmentación conductual. En el presente caso, esta estrategia estará enfocada en el marketing de la segmentación geográfica, dado las condiciones requeridas para la instalación de la planta propuesta, como los ingresos posibles para la puesta en marcha y la ocupación de los clientes, el interés común de ellos.

La segmentación geográfica trata de buscar diferencias entre países, regiones, etc.

El primer supuesto que se considera para estudiar el mercado a nivel global de los fertilizantes es que se toma el término fertilizantes como su sustituto. Según datos recopilados por INDEXBOX (2022) durante los periodos 2007-2015 el mercado chileno de los fertilizantes se incrementó a un valor de ingreso de 605M USD a finales de este periodo aumentando un 18% en comparación a los años anteriores, todo esto considerando los ingresos de los productores nacionales e importadores excluyendo los costos de logística.

En el año 2015 incrementó por segundo año consecutivo el consumo de fertilizantes a 1,7M de toneladas luego de haber estado en declive durante 6 años, esta información se presenta en el gráfico de la Figura 4.6.

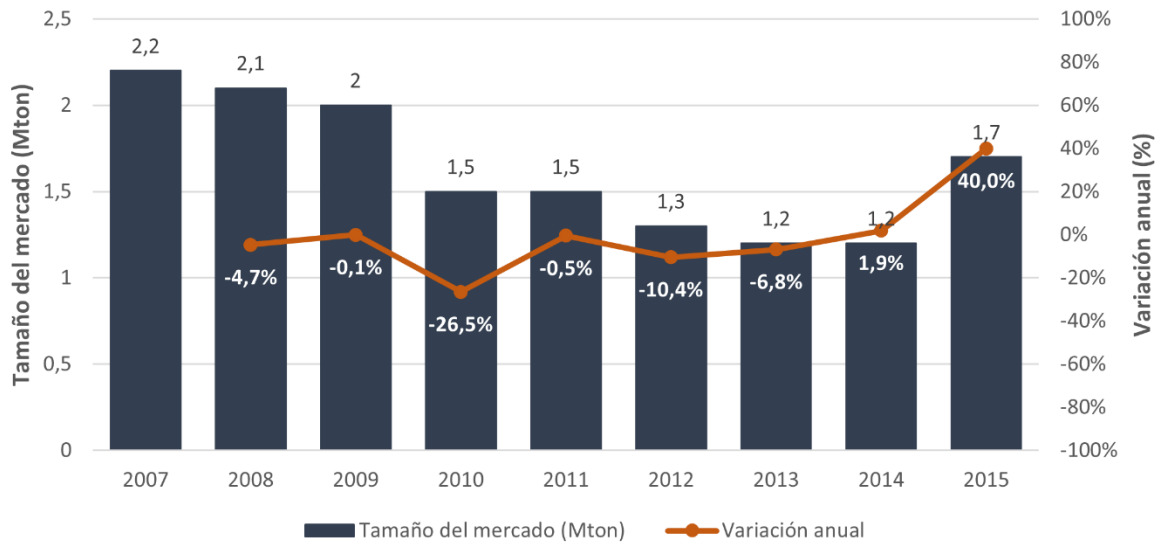


Figura 4.6: Volumen del mercado de fertilizantes en Chile periodo 2007-2015 (INDEXBOX, 2022).

El consumo por tipo de fertilizante en este periodo de tiempo fue principalmente en tres productos, abarcando el 68% del mercado siendo estos la Urea con un 623,5 kt representando un 35,7%, seguido por el Cloruro de Potasio con un 397,6 kt representando un 22,8% y en tercer lugar el Nitrato de Sodio 159,2 kt representando un 9,1% (INDEXBOX, 2022).

Los datos disponibles en el análisis del mercado de la producción de fertilizantes en Chile establecen que la producción de fertilizantes durante el año 2015 disminuyó un 4,5% en comparación al año anterior a 2.3 Mt sin embargo la tendencia global de la variación de la producción de fertilizantes mantiene una tendencia cercana al 0% (Figura 4.7) (INDEXBOX, 2022).

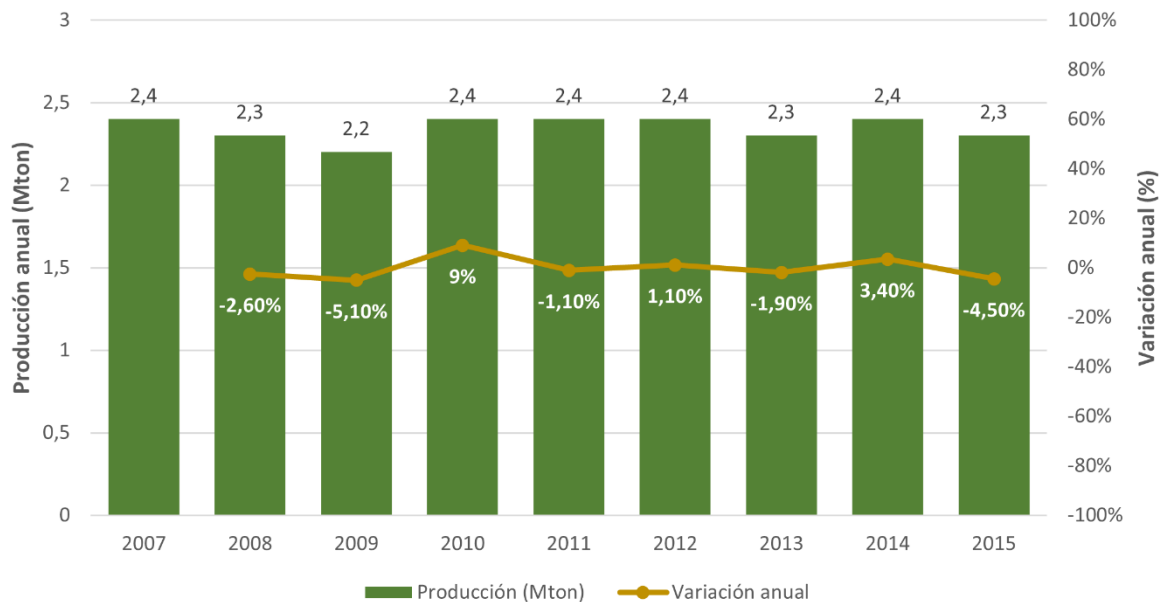


Figura 4.7: Volumen de la producción del mercado en millones de toneladas (INDEXBOX, 2022).

La mayor producción de fertilizantes en territorio nacional es la de Cloruro de potasio con 1,5 Mt abarcando un 62,8% del mercado nacional, seguido por el Nitrato de Potasio con 309 kt representando un 13,4% y en tercer lugar está el Nitrato de Sodio con 284 kt representando el 12,3% de la producción nacional (Figura 4.8) (INDEXBOX, 2022).

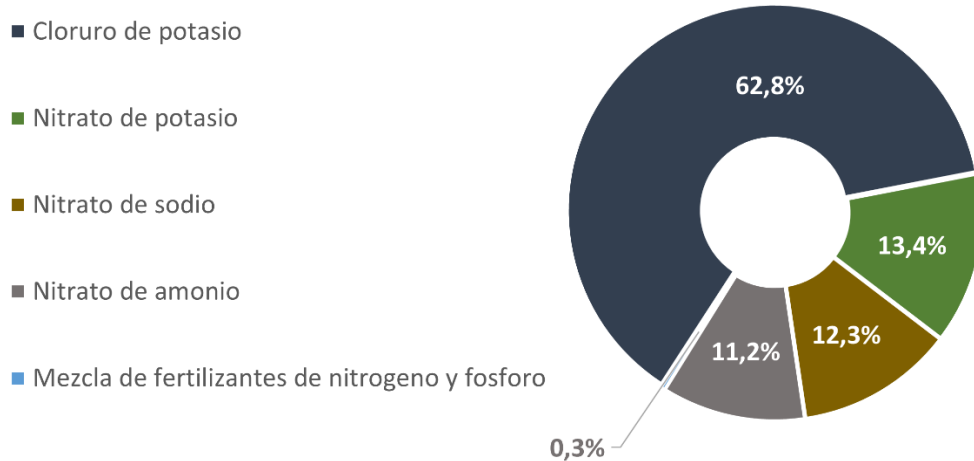


Figura 4.8: Volumen de producción por tipo de fertilizante en el mercado nacional (INDEXBOX, 2022).

En términos de ingresos los fertilizantes se registran que los que obtienen un mayor valor son el Nitrato de Potasio, Nitrato de Sodio y Cloruro de Potasio con ingresos de 243M USD, 162M USD y 126M USD respectivamente, representando el 82% del ingreso económico dado por los fertilizantes producidos en Chile (INDEXBOX, 2022).

En cuanto a la exportación e importación de los fertilizantes, según los datos recopilados por la ODEPA (2019) la producción y exportación de estos productos sobrepasa en un 87,3% a las importaciones tal como se muestra en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Importaciones y exportaciones periodo 2012-2018.

Año	Importaciones [t]	Exportaciones [t]
2012	67.566,0	75.391,5
2013	73.234,3	92.152,5
2014	54.720,6	76.979,3
2015	59.051,9	163.953,2
2016	166.376,6	171.989,7
2017	54.155,2	177.320,0
2018	64.378,3	252.469,4

Fuente: Molina (2018).

Las principales empresas comercializadoras de fertilizantes en Chile son las presentadas en la Tabla 4.3, donde destaca que la empresa Soquimich importa y exporta sus productos (Molina, 2018). Sin embargo, la principal empresa comercializadora es Agrogestión Vitra con un ingreso de 68.817.200 USD en los periodos 2012-2018, representando un 19,1% total del mercado, aunque cabe mencionar que la empresa que más produce en términos de volumen es Anagra S.A con un 22,91% del volumen total del mercado.

Tabla 4.3: Principales empresas comercializadoras de fertilizantes en Chile.

Descripción	Volumen (kg)	% del Total	Cif en USD	% Total
AGROGESTION VITRA LTDA	231.033.411	21,54	68.817.200	19,1
ANAGRA S.A.	245.785.309	22,91	68.359.653	18,97
CNA CHILE SPA	211.507.163	19,72	62.317.270	17,3
SOQUIMICH COMERCIAL S.A.	104.511.362	9,74	32.527.230	9,03
COMPANIA AGROPECUARIA COPEVAL	67.157.333	6,26	20.868.555	5,79
IANAGRO S.A.	43.602.895	4,06	13.653.606	3,79
MAXAM CHILE S.A.	25.080.500	2,34	7.766.073	2,16
FAMESA EXPLOSIVOS CHILE S.A.	17.216.400	1,61	5.150.230	1,43
INVERSIONES RAMAJA LTDA.	18.816.160	1,75	4.594.582	1,28
YARA CHILE FERTILIZANTES LTDA	15.139.753	1,41	4.143.801	1,15

Fuente: Molina (2018).

Puesto a lo mencionado anteriormente se realiza un diagrama de los agentes de mercado (Figura 4.9) donde se identifican los principales intermediarios en el proceso productivo del fertilizante de cianobacterias. Con la finalidad de esquematizar el mercado y realizar el análisis FODA (Tabla 4.4) para el planteamiento de la estrategia de masificación presentado en la Figura 4.10.

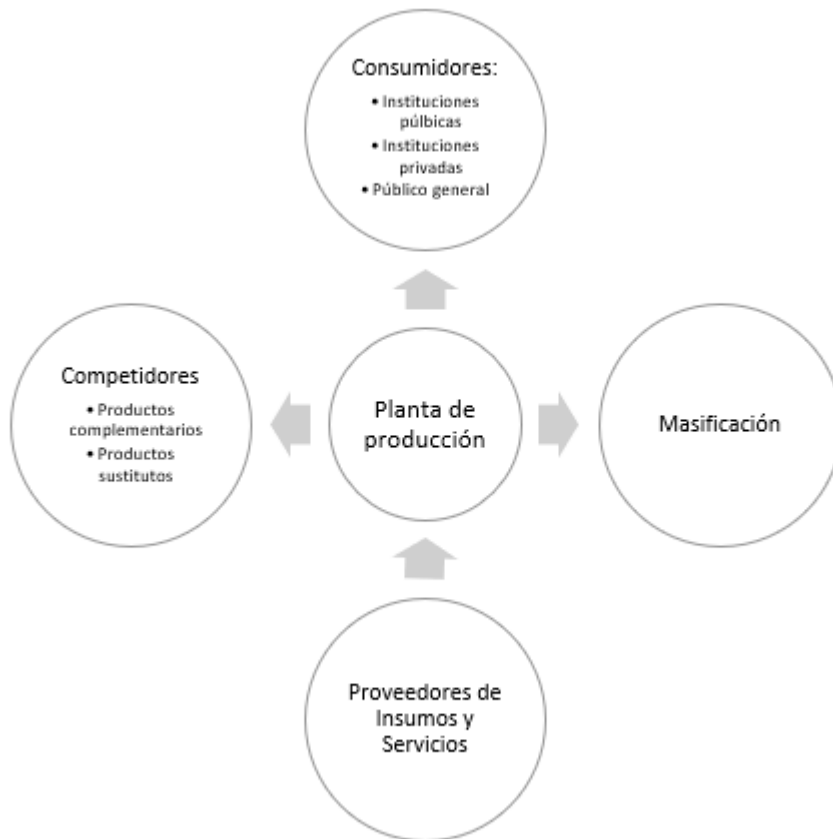


Figura 4.9: Diagrama de los agentes de mercado.

Tabla 4.4: Análisis FODA.

FACTORES INTERNOS	FACTORES EXTERNOS
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Es un producto completo, ya que abarca tanto al mercado de fertilizantes y de bioestimulante, además de ser un producto orgánico por lo que es un biofertilizante. • Se han presentado resultados favorables en su aplicación en el sector agroindustrial. 	<ul style="list-style-type: none"> • Escasa presencia de proveedores de este producto en la región. • Producto nuevo en el mercado. • Estrategia nacional dirigida al incremento de superficie de bosque nativo.
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • No hay suficiente experiencia en esta tecnología. • Niveles de producción depende en gran parte de variables incontrolables como el clima. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingreso de nuevos competidores. • Cambio del marco regulatorio de los usos de suelo.

Fuente: Elaboración propia.

La estrategia de masificación considera el desarrollo de un paquete tecnológico, el cual la Universidad de Valparaíso es propietaria de los derechos de propiedad intelectual de los resultados y sus usos. Dicho paquete incorpora un sistema de fotobiorreactores como sistema de cultivo escalable de cianobacterias fijadoras de nitrógeno cultivadas en ceniza de madera, para que por medio de su aplicación a suelos degradados por incendios sea posible el desarrollo de una cubierta fértil.

La transferencia de dicha tecnología se realizará por medio de cesión de derechos de autor a las empresas u organismos interesados que dispongan de terrenos forestales o centros de producción de plántulas y semillas por medio de los recursos provenientes de las bonificaciones que entrega la Ley N° 20.283 sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal administrado por CONAF.

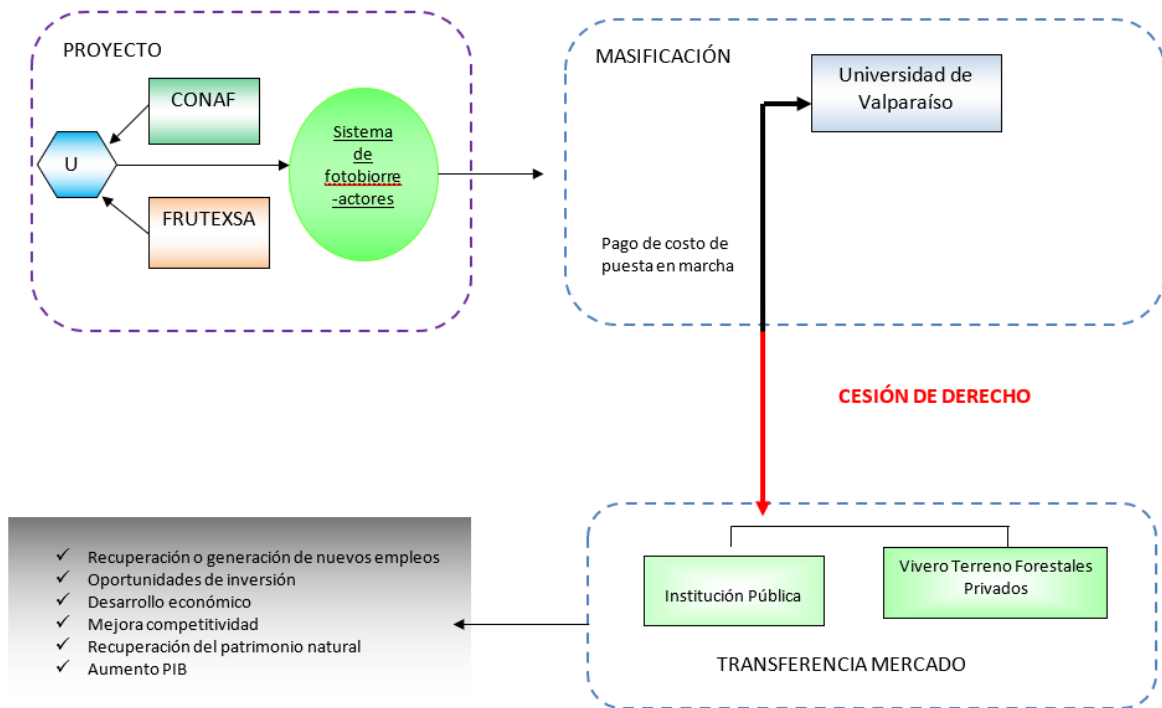


Figura 4.10: Estrategia de masificación (FONDEF, 2021).

4.2. Capacidad de la planta

Para estimar la capacidad de la planta se realizaron distintos cálculos, con la finalidad de encontrar una proporción adecuada de tiempo de producción respecto a la cantidad de reactores necesarios, por lo que se consideraron los siguientes datos obtenidos de la investigación realizada en la Reserva Nacional Lago Peñuelas presentados en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5: Parámetros en la producción de cianobacterias.

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Concentración de biomasa (X)	$g L^{-1}$	0,8
Dosis de aplicación (1)	$g_{ms} m^{-2}$	4
Volumen de reactor (V_r)	L	200
Tasa de dilución (D_{luz})	d_{luz}^{-1}	0,03
Factor de luz (F_{luz})	$d * d_{luz}^{-1}$	0,53
Área a tratar por ha (A)	m^2	10,37

Fuente: FONDEF (2021).

Puesto que los tiempos de producción eran muy elevados si se trataba de aplicar las cianobacterias a toda la superficie de una hectárea, se consideró aplicar el cultivo de cianobacteria solo en la superficie donde serán plantados los árboles considerando una superficie de $0,0314 m^2$ por cada plántula. Los resultados de este análisis se encuentran presentados en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6: Determinación del área de aplicación de las plántulas para la reforestación en función a su densidad.

Casos	1	2	3
Cantidad de árboles plantados en 1 ha de reforestación bosque esclerófilo	100	330	660
Superficie cubierta por la reforestación [m ²]	1,767	5,832	11,663

Fuente: Elaboración propia

La tasa de dilución se obtuvo con su factor de luz diaria que representa las horas de luz consideradas en un día, donde se mantiene el 0,03 d⁻¹ por el factor de hora luz * horas del día⁻¹ representado en la Ecuación 4.1.

$$D = D_{Luz} * F_{luz} \quad (Ec. 4.1)$$

El caudal másico por reactor es determinado mediante la Ecuación 4.2, resultante del balance de biomasa en un cultivo de sistema abierto tipo quimiostato (Panikov, 1995, p. 32).

$$Q_m = D * X * V_r \quad (Ec. 4.2)$$

Posterior, se requiere conocer la cantidad de reactores que se necesitaran para el volumen de la producción total a considerar, resultado que se obtiene de la Ecuación 4.3.

$$C_r = \frac{V_p}{V_r} \quad (Ec. 4.3)$$

El tiempo de producción está en función de la dosis aplicar evaluando el peor caso, es decir, la dosis más alta necesaria, también está en función del caudal másico y la cantidad de reactores. Este cálculo considera el tiempo de trabajo diario que son 12,8 horas de luz al día, dicho resultado se obtiene de la Ecuación 4.4.

$$t_p = \frac{D_a * A}{Q_m * C_r} \quad (Ec. 4.4)$$

El tiempo de producción total sería el tiempo de producción en el factor de luz presentado en la Ecuación 4.5.

$$t_{p_{total}} = \frac{t_p}{F_{luz}} \quad (Ec. 4.5)$$

El caudal de producción por fotobiorreactor está en función del volumen del reactor y su tasa de dilución, presentado en la Ecuación 4.6.

$$Q_p = \frac{V_r}{D} \quad (Ec. 4.6)$$

Los resultados de las ecuaciones anteriores se presentan en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7: Resultados parámetros

Parámetro	Valor	Unidad de medida
Caudal másico (Q_m)	2,5	$g\ d^{-1}$
Volumen total de producción (V_p)	1000	L
Cantidad de reactores (C_r)	5	--
Tiempo de producción (T_p)	6,5	d_{luz}
Tiempo producción real (T_r)	12,3	d
Tiempo de residencia hidráulico (TRH)	63	d
Caudal de producción por fotobiorreactor (Q_p)	3,2	$L\ d^{-1}$
Tasa de dilución en horas luz (D_{Luz})	0,03	d^{-1}
Factor de hora luz	0,58	--
Tasa de dilución (D)	0,013	d^{-1}
Volumen del reactor (V_r)	200	L
Caudal másico máximo de producción (Q_m)	12,72	$g\ d^{-1}$
Concentración de biomasa [X]	0,8	$g\ L^{-1}$
Dosis de aplicación (D_a)	8	$g_{ms}\ m^{-2}$

Al considerar el área de la plántula para la aplicación del cultivo de cianobacterias los tiempos de producción son menores que al considerar el suelo completo de una hectárea, pero los casos son hipotéticos ya que, según Jessica Melgarejo¹ profesional de la Corporación Nacional Forestal afirmó que la cantidad de árboles a reforestar depende de la cantidad de árboles que había previo al incendio. Los cálculos relacionados a cada caso son presentados en el Anexo A.

4.3. Ubicación de la planta

La ubicación de la planta se debe considerar en la región de Valparaíso puesto que las condiciones meteorológicas son acordes a las del lugar de investigación de la planta de producción en la Reserva Nacional Lago Peñuelas.

La instalación debe ser posterior a la estabilización del suelo, por lo que se debe instalar previo o paralelamente a la rehabilitación del suelo del lugar en una zona provista de luz solar, mientras mayor sea la irradiación, mayor será la producción. Sin embargo, es necesario mantener el control frente a periodos de exceso, ya que este puede generar fotoinhibición. También se debe evitar la instalación de los fotobiorreactores cercana a zonas donde existan elementos que obstruyan la luz solar por la imposibilidad que tendrían los microorganismos de realizar la fotosíntesis. Este cuidado también debe ser considerado en el momento de la instalación de los fotobiorreactores, que de acuerdo a sugerencias realizadas en la elaboración del Proyecto FONDEF, estos deben tener una distancia mínima de 2,5 m entre sí para evitar la obstrucción de luz entre ellos mismos. Idealmente el suelo debe estar nivelado, para evitar desniveles en los reactores.

La planta debe encontrarse a una distancia menor a 10 km del lugar de aplicación, para una mejor logística de transporte de los cultivos de cianobacterias (Valencia, 2022)

¹ Entrevista personal con Jessica Melgarejo, jefa Bosque Nativo, Departamento de Bosque y Cambio Climático CONAF. (14/10/2022)

Es importante que el lugar de aplicación tenga características similares con la Reserva Nacional Lago Peñuelas, en cuanto a los distintos parámetros mencionados en el presente capítulo.

4.3.1. Climatología área de referencia (RN Lago Peñuelas)

Geográficamente esta unidad se distribuye entre las coordenadas 33° 06 ' y 33° 13 ' latitud sur y los 71° 24 ' y 71° 34 ' longitud oeste. (CONAF, 1999)

Se estudiaron las condiciones meteorológicas de la Reserva Nacional Lago Peñuelas mediante la herramienta “Explorador solar” con las siguientes coordenadas Latitud -33,1473; Longitud -71,4760, ubicada a 454 msnm. Datos del año 2022 se presentan en la Tabla 4.8 y en la Figura 4.11

Tabla 4.8: Condiciones meteorológicas adecuadas

	Mínimo	Máximo
Insolación mensual [kWh m ⁻² d]	3,6	7,42
Ciclo diario de radiación [W m ⁻²]	2,5	811,67
Temperatura media [°C]	8,31	16,56
Velocidad del viento [m s ⁻¹]	3,18	4,29

Fuente: Explorador Solar (2023).

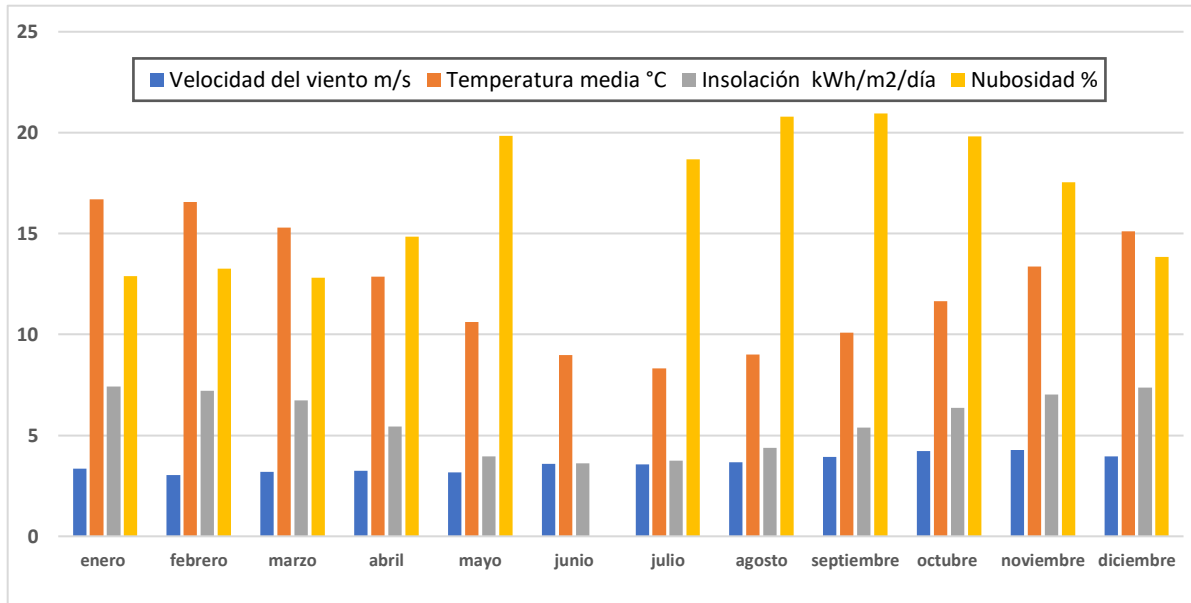


Figura 4.11: Parámetros climatológicos año 2022. Explorador Solar (2023).

Para los parámetros de radiación mensual se consideró el rango entre el mes con menor radiación al mayor en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio y el valor considerado es el global, que incluye la radiación directa, difusa y del suelo.

Para la obtención de datos respectivos a la precipitación en la zona fueron revisadas las estaciones meteorológicas dispuestas en la Dirección Meteorológica de Chile, de esta manera fue posible

determinar que la estación Rodelillo (código 330007), ubicada en las coordenadas $-33,065277^{\circ}$, $-71,556388$ y con una altitud de 330 m, es la más cercana a la Reserva Nacional de Lago Peñuelas por lo que la información presente en la Figura 4.12 corresponde a la precipitación medida en esta.

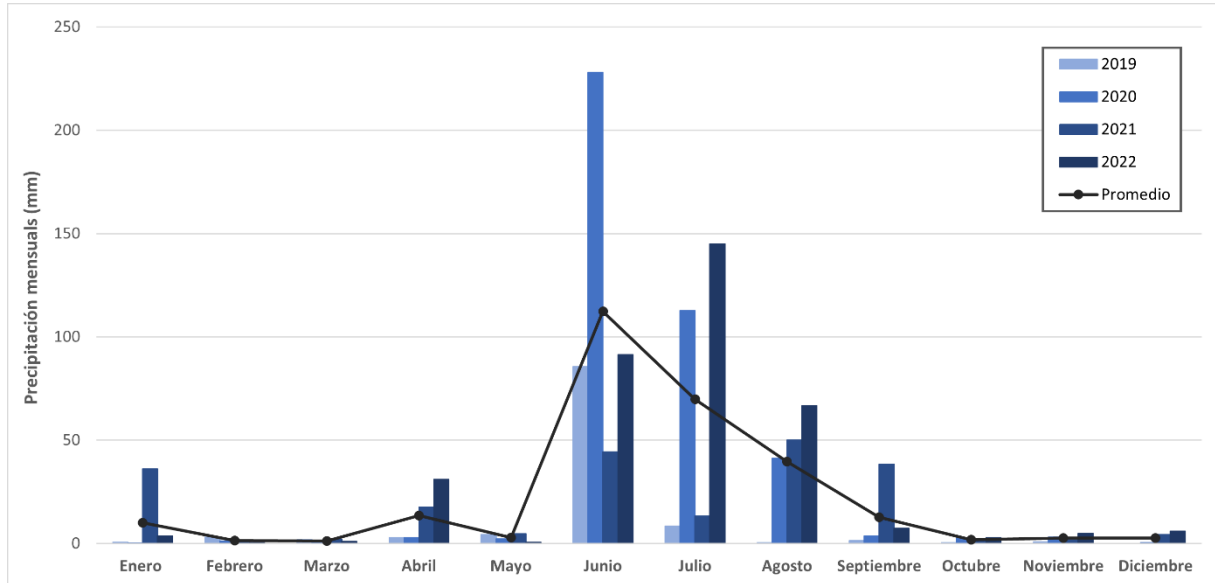


Figura 4.12: Comparación precipitación mensual distintos años. (Elaboración propia en base a datos de la dirección meteorológica de Chile, 2023).

Como se puede observar en la Figura 4.12, la mayor cantidad de precipitaciones se concentra en los meses de junio y julio, las cuales representan un 67,3% del total anual en promedio considerando los cuatro años analizados, por lo otro lado, si analizamos la recurrencia mensual de las precipitaciones, que se puede determinar que la tendencia promedio de las curvas es útil para predecir el comportamiento de las precipitaciones mensuales a años futuros.

Esta información es utilizada para establecer los tiempos de trabajo en las actividades de reforestación, siendo estas concentradas en los periodos más lluviosos para así poder aprovechar este recurso para abastecer a las plantas con agua. Es por esto por lo que los meses recomendados de trabajo son principalmente junio y julio. Sin embargo, las tareas de reforestación realizadas por CONAF se extienden entre los meses de abril a noviembre, donde se concentran el 94,3% de las lluvias, dejando completamente descartada la temporada de verano para estas tareas por la insuficiencia de precipitaciones y considerando que no se cuenta con un sistema de riego automatizado (Reforestación, 2022).

Analizando los datos de precipitación y límites máximos de irradiación, se establece un período de funcionamiento de la planta entre los meses de marzo a noviembre justificado en que entre estos, los niveles de irradiación son altos por lo que se produce fotoinhibición en los cultivos, como también la imposibilidad de reforestar lo que significaría que los cultivos cosechados deben ser almacenados por largos periodos de tiempo, cultivos que hasta el momento solo han sido posible mantener vivos durante siete días posteriores a la cosecha (FONDEF, 2021). Cabe destacar que el primer mes de funcionamiento todas las labores estarán concentradas en la puesta en marcha de la planta y propagación del inoculo hasta que los cultivos dispuestos en los fotobiorreactores, que se operan en

modalidad continua alcancen el estado estacionario (concentración de biomasa de 8 g L^{-1}), periodo que tarda aproximadamente 30 días de acuerdo con resultados preliminares en la investigación dada la biomasa inicial que se está utilizando, es por esto que el tiempo que tarda en llegar al estado estacionario es indirectamente proporcional a la cantidad de biomasa inicial, puesto que con menor cantidad de biomasa inicial, mayor tiempo de estado estacionario.

CAPÍTULO 5: SÍNTESIS Y SELECCIÓN DE OPERACIONES UNITARIAS

Las cianobacterias como producto final se presentan en estado líquido, siendo un caldo de cianobacterias vivas. Para la producción de este fertilizante, en primer lugar, es importante la obtención de cenizas de madera, la cual será obtenida desde la agroindustria en la región. La ceniza es utilizada para preparar el medio de cultivo mediante dos etapas, proceso descrito más adelante en este capítulo.

Una vez obtenidas las cenizas, es importante determinar el lugar de almacenamiento cercano al sitio de producción. Según Omil (2007), se debe evitar el exceso de humedad y cuando esté siendo manipulada debe ser en condiciones de velocidad de viento bajas con tal de evitar su esparcimiento por el lugar. Es recomendado que las cenizas se encuentren confinadas completamente en contenedores de plástico para evitar contaminación de la capa freática, siendo estos materiales los más utilizados en la agroindustria (Direct Industry, 2022a).

Es necesario mantener la mezcla constantemente en movimiento dentro del contenedor que las almacene para evitar la decantación de las partículas e impedir la penetración de la luz solar, otra causante de su muerte.

En síntesis, el proceso descrito consiste en preparar el inóculo con cenizas de madera mediante extracción sólido líquido en la etapa I y etapa II, añadiendo agua y ácido clorhídrico (HCl) 2M respectivamente, con la finalidad de tener dos corrientes de salida, un extracto acuoso y uno ácido, que pasan por un proceso de mezclado en distintas proporciones, para obtener el medio de cultivo adecuado.

Paralelamente se debe realizar la propagación de inóculo, donde se debe ir incrementando el volumen desde 1 litro hasta los 200 litros, este se obtiene mezclando el medio de cultivo mencionado anteriormente junto a una proporción de caldo de cianobacterias vivas, que mediante luz solar y aireación van creciendo y permitiendo la propagación de este inóculo.

El medio de cultivo junto con el inóculo ingresan al fotobiorreactor, el que recibe luz solar y aireación para mantener a las cianobacterias vivas y con sus parámetros adecuados, para luego almacenarlas y aplicar el caldo a los suelos degradados. La función principal de la luz dentro de un cultivo de cianobacterias es el aporte de energía lumínica para la realización de la fotosíntesis en estos microorganismos, de tal manera que estos puedan desarrollarse en el medio. Por otro lado, la aireación puede cumplir dos funciones dentro del cultivo, siendo una de estas la agitación del cultivo dentro de los fotobiorreactores, lo que permite que la penetración de luz a través de este sea homogénea y evita que la biomasa decante y se produzcan zonas oscuras (Ramírez *et al.*, 2013). Otra funcionalidad de la aireación dentro de los estanques es la inyección de CO₂ y nitrógeno, minerales cruciales para el desarrollo de las cianobacterias (Ramírez *et al.*, 2013).

Como síntesis de los procesos descritos, en la Figura 5.1, se presenta el diagrama de bloques que considera las operaciones unitarias para la producción de cianobacterias.

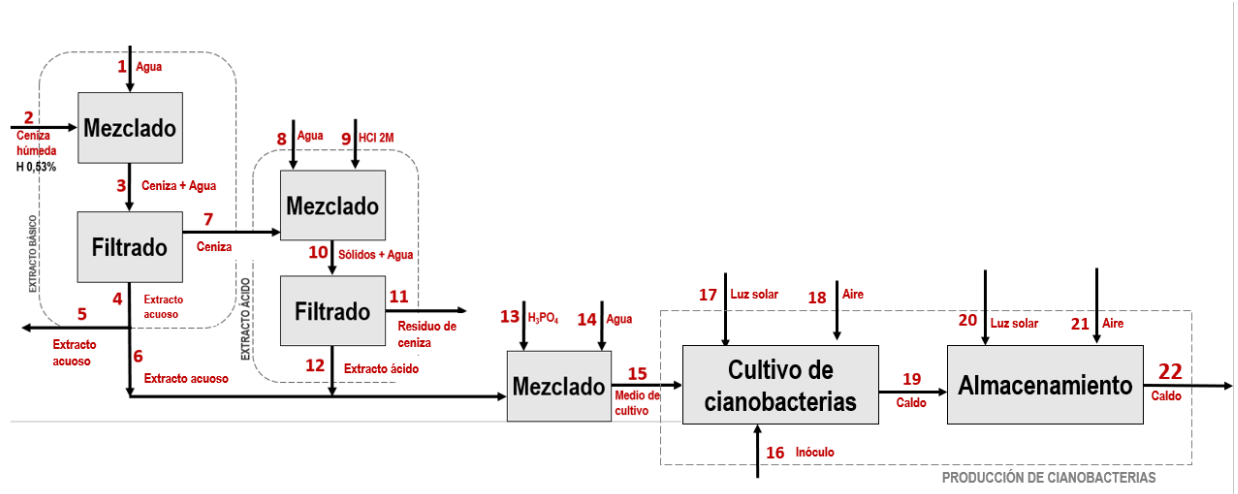


Figura 5.1: Diagrama de bloques para la producción de cianobacterias (Elaboración propia).

5.1. Preparación del medio de cultivo

Durante la primera etapa del proceso productivo, se utiliza un estanque en función a la capacidad requerida para la preparación del medio de cultivo (cálculos presentados en el capítulo 6), utilizando ceniza de madera con agua, para esta etapa se requiere de un mezclador, luego se separa en dos corrientes, donde la primera es extracto acuoso con un pH de 11,6 que es utilizada como tal y la segunda corriente se mantiene en el estanque con los sólidos sedimentados, dando inicio a la segunda etapa, que consiste en añadir ácido clorhídrico (HCl) 2M produciendo extracto ácido (FONDEF, 2021).

Una vez listo el extracto ácido es mezclado con el extracto líquido producido en la primera etapa para terminar la elaboración del medio de cultivo para las cianobacterias. Para que haya crecimiento se le añade ácido fosfórico o fosfato a granel a la mezcla de extracto líquido y extracto ácido obtenidos de la etapa I y II respectivamente (FONDEF, 2021).

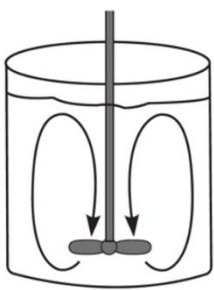
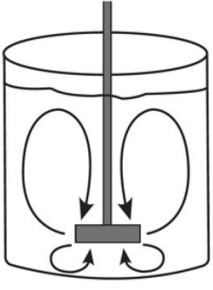
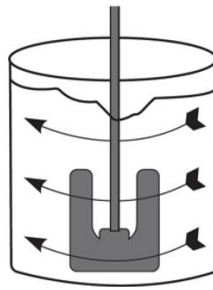
Para la preparación de medio de cultivo el principal equipo que se utiliza son mezcladores o agitadores, ya sea para la etapa I como para la II. Este debe cumplir la característica de mezclar líquidos ya sea de manera continua o por lote.

5.1.1. Agitadores

Los agitadores están compuestos por un motor el cual permite el movimiento de sus partes, un eje sobre el cual se agita el fluido y las propelas que permiten el movimiento del fluido contenido dentro del estanque. Para la selección de estos equipos es importante considerar el tipo de fluido que

debemos trabajar como también los patrones de flujos en este. En la Tabla 5.1 se describe la diferencia de los flujos dentro de los agitadores.

Tabla 5.1: Tipos de flujo en agitadores

Flujo axial	Flujo radial	Flujo tangencial
		
<p>El fluido se bombea hacia abajo o hacia arriba, ideal para la mezcla de líquido-sólido, suspensión de sólidos. Mejor adecuado para baja viscosidad y alta velocidad de mezcla</p>	<p>El fluido fluye desde la parte superior e inferior con mayor turbulencia y menor bombeo. Ideal para la dispersión de líquidos. Mas adecuado para fluidos de viscosidad media y alta</p>	<p>El fluido se mueve en un remolino a menudo con un vórtice de superficie. Ideal para fluidos de alta viscosidad y baja velocidad. El diámetro del vaso puede ser cercano al diámetro del estanque por lo que permite la remoción de sólidos en las paredes.</p>

Fuente: Productos Químicos del Sur (2023).

Las propelas o impulsores más utilizados son de pala, hélice y turbina, siendo la solución más del 95% de los casos (Castillo, 2013). En el caso de los impulsores de pala, los más utilizados general un campo de flujo tangencial y trabajan con fluidos de alta viscosidad y baja velocidad. Uno de los ejemplos de este tipo de accesorios son los impulsores tipo pala y ancla, mostrados en la Figura 5.2.

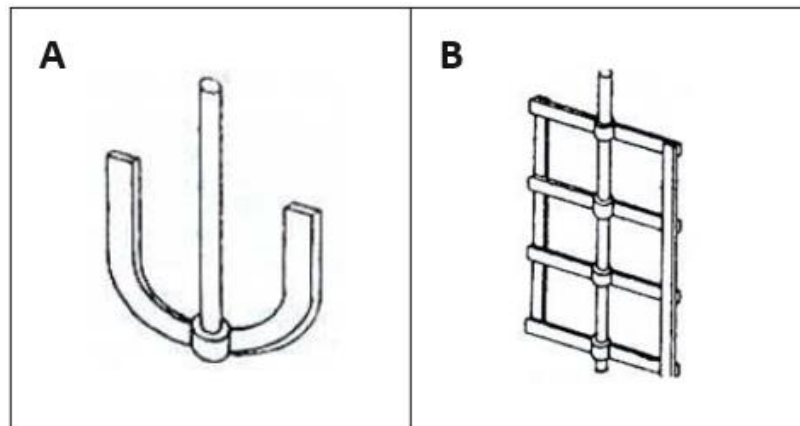


Figura 5.2: Pala tipo ancla (A); Pala tipo rejilla (B) (Castillo, 2013).

Los impulsores de hélice (Figura 5.3) propician un flujo axial y es utilizado cuando se debe trabajar a altas velocidades el fluido de baja viscosidad ($< 8 \text{ Pa s}^{-1}$). La columna de fluido axial es altamente

turbulenta lo que permite homogeneizar fluidos, suspender sólidos o favorecer el intercambio de calor.



Figura 5.3: Impulsor de hélice (Productos Químicos del Sur, 2023)

En la Figura 5.4 se muestra una primera alternativa en el mercado, la cual consiste en una mezcladora de turbina cuyo proceso de producción es por lotes y hecha de acero inoxidable. Está compuesta por un armazón por lo que no es necesario el trabajo manual para lograr una buena agitación, además de contar con un cabezal de altura ajustable por lo que el recipiente de mezclado es intercambiable.



Figura 5.4: Mezcladora de turbina (Direct Industry, 2022b).

Este tipo de mezcladores es utilizado principalmente en la industria química como también en la cosmética y alimentaria para la mezcla y agitación de líquidos.

Si bien en la Figura 5.5 también se muestra una mezcladora de turbina para líquidos, esta cuenta con la diferenciación de que es portátil de mano por lo que es más ligera con un peso de 4,5 kg. Trabaja a caudales entre 40 L min^{-1} hasta 210 L min^{-1} y con un motor de potencia de 19 W a 100 W.



Figura 5.5: Mezcladora de turbina (Direct Industry, 2022c).

5.2. Propagación del inóculo

A partir del cultivo stock de cianobacterias obtenidas es necesario hacer la propagación de estas, y es que el escalado para llegar al tamaño de los fotobiorreactores es una parte crucial del proceso al tener en cuenta la distribución de la intensidad de luz dentro del reactor, factores como la geometría del reactor y el nivel de mezclado pueden generar zonas con niveles diferentes de iluminación, algunas, incluso, por debajo del punto de compensación para la fotosíntesis (Fernández *et al.*, 2017), lo cual afecta en la dispersión de la biomasa y la absorción de luz por parte de los pigmentos celulares.

Mencionado lo anterior, se realizará la propagación del inóculo desde 1 L como nivel de preinóculo hasta llegar al nivel de producción definido de 200 L con niveles de escalamiento intermedio de 6 L y 30 L, debiendo mantenerse aireado con la finalidad promover el crecimiento microbiano.

Esta propagación iniciará en fotobiorreactores de menor escala como se muestra en la Figura 5.6, donde será alimentado el inóculo de cianobacterias con el medio de cultivo preparado previamente.



Figura 5.6: Modelo tipo de etapa inicial de propagación de inóculo (CORDIS, 2022).

Otro modelo de fotobiorreactor que se puede implementar durante la propagación del inóculo puede ser de superficie plana, como se muestra en la Figura 5.7, o tubular por la sencillez que implica escalar la producción manteniendo controlada la alimentación continua de medio de cultivo, oxígeno, pH, entre otros parámetros, tal como se detalla en el siguiente punto.

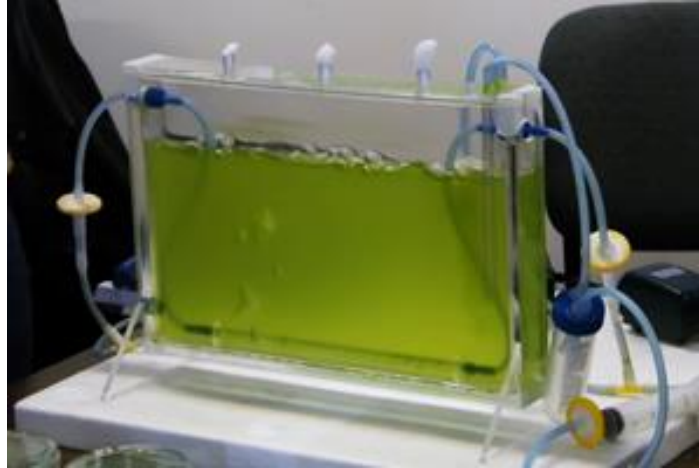


Figura 5.7: Fotobiorreactor para la propagación de inóculo (Braida *et al.*, 2014).

5.3. Cultivo de cianobacterias

Los parámetros por considerar en la elección o diseño de un fotobiorreactor (FB) son principalmente el suministro de luz, provisión y transferencia de masa CO_2 y N_2 , acumulación de oxígeno y el mezclado.

En cuanto a la provisión de energía solar, lo que se busca es que todas las células tengan la misma exposición de luz por lo que mayor sea la relación área superficial/volumen, mejor será la eficiencia del FB (Mérida *et al.*, 2013). En aquellos casos donde se aplican sistemas sin luz solar suficiente para el crecimiento microbiano es necesario utilizar fuentes luminosas como lámparas de tungsteno o halógeno, diodos emisores de luz. Sin embargo, estos sistemas encarecen el diseño por lo que son recomendados los sistemas con luz solar dentro de lo posible (Janssen *et al.*, 2000).

Por otro lado, la fuente usual de carbono para el crecimiento de las cianobacterias es el CO_2 ya que suministrar CO_2 puro aumenta la productividad, aunque por más bien mezclado que esté el cultivo, la simple difusión del CO_2 del aire en el medio no es suficiente para cubrir las necesidades de estos microorganismos por lo que, si se quiere incrementar el crecimiento de la biomasa, la adición de bicarbonato (HCO_3^-) en el medio ayuda a esto, pero no en todas las cianobacterias (Mérida *et al.*, 2013). A pesar de ello, de igual manera se deben controlar otros parámetros como la velocidad de difusión del CO_2 en el medio líquido, pH, turbulencia, temperaturas y densidades celulares dentro del reactor para estimular el crecimiento (Jaiswal & Kashyap, 2002).

Otro parámetro que limita el crecimiento celular es la acumulación de oxígeno producto de la fotosíntesis, y es que este componente produce la inhibición del crecimiento microbiano cuando se

encuentra en altas concentraciones dentro del reactor, por lo que es necesario un sistema de desgasificación para removerlo y evitar esta situación (Mérida *et al.*, 2013).

5.3.1. Fotobiorreactor tubular

Los FB tubulares (Figura 5.8) son los más fáciles de escalar incrementando la longitud, el número de tubos y uniendo múltiples unidades por medio de colectores (Mérida *et al.*, 2013). Están fabricados principalmente con un set de tubos de polietileno de 3 cm de diámetro interno acoplados a una torre de intercambio de gas y de calor (Carvalho *et al.*, 2006).



Figura 5.8: Fotobiorreactor tubular horizontal (Ibiza Botánico Biotecnológico, 2022).

5.3.2. Fotobiorreactor de superficie plana

Los FB de superficie plana (Figura 5.9) están diseñados en función de la relación superficie/volumen para así aprovechar de mejor manera la luz solar y se recomienda que estén orientados hacia el lugar con mayor exposición de sol considerando placas traslúcidas, que permiten la iluminación por ambos lados (Ramírez., 2017).

Además de considerar que su fabricación sea con material transparente como vidrio, plexiglass o policarbonato mejora la penetración de la luz por lo que en crecimiento de la biomasa se ve beneficiado ya que cuenta con una mayor disponibilidad lumínica constante, por su mayor área superficial, pero de igual manera que se mencionó anteriormente, la decantación de la biomasa puede impedir el traspaso de la luz por lo que es importante que el cultivo se mantenga homogeneizado constantemente y cuidando la concentración de biomasa del medio. La mezcla puede realizarse a través de inyección de burbujas de aire (Mérida *et al.*, 2013).

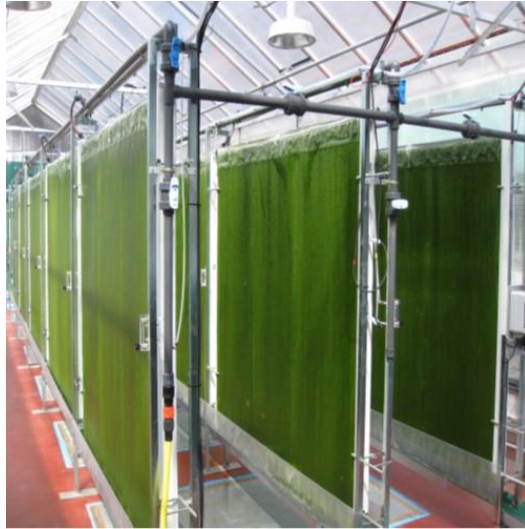


Figura 5.9: Fotobiorreactor de superficie plana (Observatorio I+D+i UPM, 2022).

Este tipo de fotobiorreactores puede escalarse organizando varias placas de superficie para ganar área, aunque estudios recomiendan que esto se haga modificando la altura de líquido y no alargar la placa (Zhang *et al.*, 2002).

Una de las ventajas de esta configuración por sobre la tubular es la facilidad de montaje y traslado de estos, sin embargo el área necesaria para su instalación puede aumentar considerablemente si se desea incrementar la producción a través de modificar la trayectoria de luz, estudios realizados que consideraban solo la trayectoria, concluyeron que con una trayectoria de 10,4 cm produce tan solo un 6% de lo producido en un fotobiorreactor con trayectoria de luz de 1,3 cm, esto quiere decir que es más eficiente, pero desprecia las otras variables (Mérida *et al.*, 2013; Flores *et al.*, 2003).

5.4. Almacenamiento del producto

Una vez obtenido el producto desde los fotobiorreactores es necesario que se mantenga aireado, expuesto a la luz solar y mezclado para evitar la muerte celular por los motivos ahondados anteriormente. Esta parte es necesaria y fundamental si el producto no se llega a aplicar inmediatamente al suelo para que puedan preservar sus características bioestimulantes.

Para esto serán necesarios equipos de características similares a los utilizados en la propagación del inóculo mencionados en el punto 5.2 del presente capítulo.

CAPÍTULO 6: BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

En este capítulo se presentan los balances de masa y energía dentro de la planta de producción de cianobacterias. Para poder lograr esto, fueron realizadas pruebas en laboratorio para determinar la composición de los extractos acuoso y ácido, como también la densidad del ácido clorhídrico y ácido fosfórico usado para la elaboración del medio de cultivo. Estos procedimientos de laboratorio se encuentran en el Anexo B.

6.1. Balance de materia en la preparación de medio de cultivo

Para poder determinar la cantidad de medio de cultivo que necesitamos se utiliza la Ecuación 6.1

$$MC = V_B * (1 - I) + Q * t \quad [L] \quad (Ec. 6.1)$$

Donde:

- V_B : Volumen del biorreactor [L]
- I : Razón inóculo/volumen biorreactor
- Q : Caudal de biomasa [$L \cdot d^{-1}$]
- t : Tiempo de producción [d]

Sabiendo el volumen necesario de medio de cultivo podemos calcular el volumen de cada uno de sus componentes, el cual tiene una proporción volumétrica de 0,05 de *Extracto acuoso*: 0,1 de *Extracto ácido*: 0,002 de *ácido fosfórico*: 0,848 de *Agua*.

Por lo que para la preparación del medio de cultivo se necesita:

$$EAC = 0,05 * MC \quad [L] \quad (Ec. 6.2)$$

$$EA = 0,1 * MC \quad [L] \quad (Ec. 6.3)$$

$$H_3PO_4 = 0,002 * MC \quad [L] \quad (Ec. 6.4)$$

$$H_2O = 0,848 * MC \quad [L] \quad (Ec. 6.5)$$

Donde:

- EAC : Volumen de extracto acuoso [L]
- EA : Volumen de extracto ácido [L]
- H_3PO_4 : Volumen de ácido fosfórico [L]
- H_2O : Volumen de agua [L]

En primera instancia, se determinará el balance de materia con una base de por 1 L de agua en la corriente 1: 16 g de ceniza por la corriente 2, basándose en los resultados obtenidos en el Anexo A.

Se sabe por los resultados obtenidos que, usando esta base de cálculo, se producen 0,925 [L] de Extracto acuoso y 0,462 [L] de Extracto ácido. Y conociendo que, por las proporciones para la preparación del medio de cultivo, se necesita más E. ácido que E. acuoso, es por esta razón que la determinación de volumen de cada uno de sus componentes se realizara en función de este último usando la Ecuación 6.3.

$$0,462 L = 0,1 * MC$$

$$MC = \frac{0,462 L}{0,1} = 4,62 [L]$$

Debido a esto, la cantidad de medio de cultivo producida con la base de cálculo considerada es de 4,62 [L].

Usando las ecuaciones: Ecuación 6.2, Ecuación 6.3, Ecuación 6.4 y Ecuación 6.5 se obtiene los litros de extracto acuoso, extracto ácido, ácido clorhídrico y ácido fosfórico que se necesitan respectivamente. Resultando en:

$$\begin{aligned} EAC &= 0,05 * 4,62 L = 0,23 [L] \\ EA &= 0,1 * 4,62 L = 0,46 [L] \\ H_3PO_4 &= 0,002 * 4,62 L = 0,009 [L] \\ H_2O &= 0,848 * 4,62 L = 3,92 [L] \end{aligned}$$

La corriente 1 está compuesta solo por agua filtrada y esterilizada mediante luz UV, por lo que la masa se calcula con:

$$m_1 = \rho_{agua} * V_1 \quad (Ec. 6.6)$$

$$m_1 = 0,998 \frac{kg}{L} * 1L = 0,998 [kg]$$

La corriente 2 está compuesta por ceniza con un 0,53% de humedad, por lo que

$$m_2 = 0,016 [kg]$$

$$m_2 = m_{2\text{agua}} + m_{2\text{sólidos}} \quad (Ec. 6.7)$$

De las cuales

$$m_{2\text{agua}} = m_2 * \text{humedad} \quad (Ec. 6.8)$$

$$m_{2\text{agua}} = 0,016kg * 0,00527 \frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ ceniza}} = 0,000084 [kg]$$

$$m_{2\text{sólidos}} = m_2 * (1 - \text{humedad}) \quad (Ec. 6.9)$$

$$m_{2\text{sólidos}} = 0,016 * (1 - 0,00527) = 0,016 [kg]$$

La corriente 3 es la unión de las dos anteriores, por ende:

$$m_3 = m_1 + m_2 \quad (Ec. 6.10)$$

$$m_3 = 0,998 \text{ kg} + 0,016 \text{ kg} = 1,01 \text{ [kg]}$$

$$m_{3\text{agua}} = m_{1\text{agua}} + m_{2\text{agua}} \quad (Ec. 6.11)$$

$$m_{3\text{agua}} = 0,998 \text{ kg} + 0,000084 \text{ kg} = 0,99808 \text{ [kg]}$$

$$m_{3\text{sólidos}} = m_{2\text{sólidos}} \quad (Ec. 6.12)$$

$$m_{3\text{sólidos}} = 0,016 \text{ [kg]}$$

La masa de sólidos de las corrientes 4 y corriente 7 está determinada por la Ecuación 6.13:

$$m_{7\text{sólidos}} = m_{3\text{sólidos}} - m_{4\text{sólidos}} \quad (Ec. 6.13)$$

Los sólidos en la corriente 4 están compuestos por los sólidos disueltos en el extracto acuoso, cuya formula es de:

$$m_{4\text{sólidos}} = SDT_{EAC} * V_{EAC} \quad (Ec. 6.14)$$

Donde;

SDT_{EAC} : Sólidos disueltos totales en el extracto acuoso [kg/L]

V_{EAC} : Volumen de extracto acuoso [L]

$$m_{4\text{sólidos}} = 0,0031 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * 0,925 \text{ L} = 0,0029 \text{ [kg]}$$

Por lo que:

$$m_{7\text{sólidos}} = 0,01592 \text{ kg} - 0,00287 \text{ kg} = 0,014 \text{ [kg]}$$

Para determinar la masa de agua en ambas corrientes se utiliza la proporción volumétrica de estas (Ecuación 6.15), ya que se asume que son el mismo fluido.

$$\frac{V_4}{V_3} = \frac{0,925 \text{ L}}{1 \text{ L}} = 0,925 \quad (Ec. 6.15)$$

$$\frac{V_4}{V_3} = \frac{\rho_{EAC} * m_4}{\rho_{EAC} * m_3} = 0,925$$

$$\frac{m_4}{m_3} = 0,925$$

$$m_{4\text{agua}} = 0,925 * m_{3\text{agua}} \quad (Ec. 6.16)$$

$$m_{4\text{agua}} = 0,925 * 0,99808 \text{ kg} = 0,92 \text{ [kg]}$$

$$m_{7\text{agua}} = m_{3\text{agua}} - m_{4\text{agua}} \quad (\text{Ec. 6.17})$$

$$m_{7\text{agua}} = 0,99808 \text{ kg} - 0,92323 \text{ kg} = 0,075 \text{ [kg]}$$

Por lo que:

$$m_4 = m_{4\text{agua}} + m_{4\text{sólidos}} \quad (\text{Ec. 6.18})$$

$$m_4 = 0,92323 \text{ kg} + 0,00287 \text{ kg} = 0,93 \text{ [kg]}$$

$$m_7 = m_{7\text{agua}} + m_{7\text{sólidos}} \quad (\text{Ec. 6.19})$$

$$m_7 = 0,07486 \text{ kg} + 0,01376 \text{ kg} = 0,089 \text{ [kg]}$$

Se sabe que con la base de cálculo utilizada se produce 0,925 [L] de extracto acuso. Sin embargo, por la Ecuación 6.2, se sabe que solo se utilizan 0,231 [L], lo que corresponde a un 24,97%, mientras que un 75,03% se desecha por la corriente 5. Entonces:

$$m_5 = m_4 * 0,7503 \quad (\text{Ec. 6.20})$$

$$m_5 = 0,92610 \text{ kg} * 0,7503 = 0,69 \text{ [kg]}$$

$$m_{5\text{sólidos}} = m_{4\text{sólidos}} * 0,7503 \quad (\text{Ec. 6.21})$$

$$m_{5\text{sólidos}} = 0,00287 \text{ kg} * 0,7503 = 0,0022 \text{ [kg]}$$

$$m_{5\text{agua}} = m_{4\text{agua}} * 0,7503 \quad (\text{Ec. 6.22})$$

$$m_{5\text{agua}} = 0,92323 \text{ kg} * 0,7503 = 0,69 \text{ [kg]}$$

La corriente 6 es la diferencia que existe entre las corrientes 4 y 5, por lo que:

$$m_6 = m_4 - m_5 \quad (\text{Ec. 6.23})$$

$$m_6 = 0,92610 \text{ kg} - 0,69485 \text{ kg} = 0,23 \text{ [kg]}$$

$$m_{6\text{sólidos}} = m_{4\text{sólidos}} - m_{5\text{sólidos}} \quad (\text{Ec. 6.24})$$

$$m_{6\text{sólidos}} = 0,00287 \text{ kg} - 0,002151 \text{ kg} = 0,00072 \text{ [kg]}$$

$$m_{6\text{agua}} = m_{4\text{agua}} - m_{5\text{agua}} \quad (\text{Ec. 6.25})$$

$$m_{6\text{agua}} = 0,92323 \text{ kg} - 0,69270 \text{ kg} = 0,23 \text{ [kg]}$$

La corriente 8 está compuesta solo por agua destilada, lo que resulta en:

$$m_8 = \rho_{\text{agua}} * V_8 \quad (\text{Ec. 6.26})$$

$$m_8 = 0,998 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * 0,4 \text{ L} = 0,40 \text{ [kg]}$$

La corriente 9 es una solución de 20 mL de HCl 2M, dando un balance de:

$$m_9 = \rho_{HCl} * V_9 \quad (Ec. 6.27)$$

$$m_9 = 1,0198 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * 0,02 \text{ L} = 0,020 \text{ [kg]}$$

$$m_{9sólidos} = M * PM * V_9 \quad (Ec. 6.28)$$

$$m_{9sólidos} = 2 \frac{\text{mol}}{\text{L}} * 36,458 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 0,02 \text{ L} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 0,0015 \text{ [kg]}$$

$$m_{9agua} = m_9 - m_{9sólidos} \quad (Ec. 6.29)$$

$$m_{9agua} = 0,020396 \text{ kg} - 0,001458 \text{ kg} = 0,019 \text{ [kg]}$$

La corriente 10 es la suma de las anteriores, por lo que:

$$m_{10} = m_9 + m_8 + m_7 \quad (Ec. 6.30)$$

$$m_{10} = 0,020396 \text{ kg} + 0,3992 \text{ kg} + 0,08862 \text{ kg} = 0,51 \text{ [kg]}$$

$$m_{10sólidos} = m_{9sólidos} + m_{8sólidos} + m_{7sólidos} \quad (Ec. 6.31)$$

$$m_{10sólidos} = 0,001458 \text{ kg} + 0,01376 \text{ kg} = 0,015 \text{ [kg]}$$

$$m_{10agua} = m_{9agua} + m_{8agua} + m_{7agua} \quad (Ec. 6.32)$$

$$m_{10agua} = 0,018938 \text{ kg} + 0,3992 \text{ kg} + 0,07486 \text{ kg} = 0,49 \text{ [kg]}$$

Los sólidos en la corriente 12 están compuestos por los sólidos disueltos en el extracto ácido, cuya formula es de:

$$m_{12sólidos} = SDT_{EA} * V_{EA} \quad (Ec. 6.33)$$

Donde;

SDT_{EA} : Sólidos disueltos totales en el extracto ácido [$\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$]

V_{EA} : Volumen de extracto ácido [L]

$$m_{12sólidos} = 0,0059 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * 0,462 \text{ L} = 0,0027 \text{ [kg]}$$

Los sólidos que salen como residuos en la corriente 11 corresponden a la diferencia que hay entre los sólidos de la corriente 10 y 12, como se muestra en la Ecuación 6.34:

$$m_{11sólidos} = m_{10sólidos} - m_{12sólidos} \quad (Ec. 6.34)$$

$$m_{11\text{sólidos}} = 0,01522 \text{ kg} - 0,002726 \text{ kg} = 0,012 \text{ [kg]}$$

Para determinar el agua en cada una de estas corrientes, se supone que la cantidad de sólidos es con 65% de humedad, en función del equipo de filtrado seleccionado en el capítulo 7. Por lo que:

$$m_{11\text{agua}} = \frac{m_{11\text{sólidos}}}{0,35} \quad (\text{Ec. 6.35})$$

$$m_{11\text{agua}} = \frac{0,012497 \text{ kg}}{0,35} = 0,036 \text{ [kg]}$$

$$m_{12\text{agua}} = m_{10\text{agua}} - m_{11\text{agua}} \quad (\text{Ec. 6.36})$$

$$m_{12\text{agua}} = 0,49299 \text{ kg} - 0,035705 \text{ kg} = 0,46 \text{ [kg]}$$

Por consiguiente:

$$m_{12} = m_{12\text{agua}} + m_{12\text{sólidos}} \quad (\text{Ec. 6.37})$$

$$m_{12} = 0,45729 \text{ kg} + 0,002726 \text{ kg} = 0,46 \text{ [kg]}$$

$$m_{11} = m_{11\text{agua}} + m_{11\text{sólidos}} \quad (\text{Ec. 6.38})$$

$$m_{11} = 0,02191057 \text{ kg} + 0,011798 \text{ kg} = 0,033 \text{ [kg]}$$

La corriente 13 corresponde a los 0,00924 L ácido fosfórico 2 M que se agrega para elaborar el medio de cultivo:

$$m_{13} = \rho_{\text{H}_3\text{PO}_4} * V_{13} \quad (\text{Ec. 6.39})$$

$$m_{13} = 0,9951 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * 0,00924 \text{ L} = 0,0091 \text{ [kg]}$$

$$m_{13\text{sólidos}} = M * PM * V_{13} \quad (\text{Ec. 6.40})$$

$$m_{13\text{sólidos}} = 2 \frac{\text{mol}}{\text{L}} * 97,995 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 0,00924 \text{ L} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 0,0018 \text{ [kg]}$$

$$m_{13\text{agua}} = m_{13} - m_{13\text{sólidos}} \quad (\text{Ec. 6.41})$$

$$m_{13\text{agua}} = 0,009105 \text{ kg} - 0,001811 \text{ kg} = 0,0074 \text{ [kg]}$$

La corriente 14 corresponde a los 3,918 [L] de agua que se agregan al medio de cultivo, debido a esto:

$$m_{14} = \rho_{\text{agua}} * V_{14} \quad (\text{Ec. 6.42})$$

$$m_{14} = 0,998 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * 3,918 \text{ L} = 3,91 \text{ [kg]}$$

La corriente 15 es la suma de todos los componentes que se usan para hacer el medio de cultivo, entonces:

$$m_{15} = m_{14} + m_{13} + m_{12} + m_6 \quad (\text{Ec. 6.43})$$

$$m_{15} = 3,90992 \text{ kg} + 0,009105 \text{ kg} + 0,460015 \text{ kg} + 0,23125 \text{ kg} = 4,61 \text{ [kg]}$$

$$m_{15\text{sólidos}} = m_{14\text{sólidos}} + m_{13\text{sólidos}} + m_{12\text{sólidos}} + m_{6\text{sólidos}} \quad (\text{Ec. 6.44})$$

$$m_{15\text{sólidos}} = 0,001811 \text{ kg} + 0,002726 \text{ kg} + 0,00072 \text{ kg} = 0,0053 \text{ [kg]}$$

$$m_{15\text{agua}} = m_{14\text{agua}} + m_{13\text{agua}} + m_{12\text{agua}} + m_{6\text{agua}} \quad (\text{Ec. 6.45})$$

$$m_{15\text{agua}} = 3,90992 \text{ kg} + 0,007384 \text{ kg} + 0,45729 \text{ kg} + 0,23053 \text{ kg} = 4,61 \text{ [kg]}$$

De acuerdo con la Ecuación 6.1, y los parámetros de operación, se necesitan 160,15 [L] para la operación a mínima capacidad de la plata (1 Fotobiorreactor). Esta cantidad corresponde a 34,6 veces más de medio de cultivo que la que se obtiene con la base de cálculo. Es por esto que el balance de masa nuevo se calcula aumentando proporcionalmente cada una de las corrientes, tal como se muestra en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1: Balance de masa para la operación a mínima capacidad.

Corriente 1			Corriente 6			Corriente 12		
m1	34,60	kg	m6	8,02	kg	m12	15,95	kg
m1. Sólidos	0,00	kg	m6 sólidos	0,02	kg	m12 sólidos	0,09	kg
m1 agua	34,60	kg	m6 agua	7,99	kg	m12 agua	15,85	kg
Corriente 2			Corriente 7			Corriente 11		
m2	0,55	kg	m7	3,07	kg	m11	1,67	kg
m2 sólidos	0,55	kg	m7 sólidos	0,48	kg	m11 sólidos	0,43	kg
m2 agua	0,00	kg	m7 agua	2,59	kg	m11 agua	1,24	kg
Corriente 3			Corriente 8			Corriente 13		
m3	35,15	kg	m8	13,84	kg	m13	0,32	kg
m3 sólidos	0,55	kg	m8 sólidos	0,00	kg	m13 sólidos	0,06	kg
m3 agua	34,60	kg	m8 agua	13,84	kg	m13 agua	0,26	kg
Corriente 4			Corriente 9			Corriente 14		
m4	32,10	kg	m9	0,71	kg	m14	135,54	kg
m4 sólidos	0,10	kg	m9 sólidos	0,05	kg	m14 sólidos	0,00	kg
m4 agua	32,00	kg	m9 agua	0,66	kg	m14 agua	135,54	kg

Continuación **Tabla 6.1:** Balance de masa para la operación a mínima capacidad.

Corriente 5			Corriente 10			Corriente 15		
m5	24,09	kg	m10	17,62	kg	m15	159,82	kg
m5 sólidos	0,07	kg	m10 sólidos	0,53	kg	m15 sólidos	0,18	kg
m5 agua	24,01	kg	m10 agua	17,09	kg	m15 agua	159,63	kg

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la Ecuación 6.1, y los parámetros de operación, se necesitan 800,75 [L] para la operación a máxima capacidad de la plata (5 Fotobiorreactores). Esta cantidad corresponde a 173,3 veces más de medio de cultivo que la que se obtiene con la base de cálculo. Por lo que el balance de masa nuevo se calcula aumentando proporcionalmente cada una de las corrientes, tal como se muestra en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2: Balance de masa para capacidad máxima.

Corriente 1			Corriente 6			Corriente 12		
m1	172,98	kg	m6	40,08	Kg	m12	79,73	kg
m1 sólidos	0,00	kg	m6 sólidos	0,12	Kg	m12 sólidos	0,47	kg
m1 agua	172,98	kg	m6 agua	39,96	Kg	m12 agua	79,26	kg
Corriente 2			Corriente 7			Corriente 11		
m2	2,77	kg	m7	15,36	Kg	m11	8,35	kg
m2 sólidos	2,76	kg	m7 sólidos	2,39	Kg	m11 sólidos	2,17	kg
m2 agua	0,01	kg	m7 agua	12,97	Kg	m11 agua	6,19	kg
Corriente 3			Corriente 8			Corriente 13		
m3	175,75	kg	m8	69,19	Kg	m13	1,59	kg
m3 sólidos	2,76	kg	m8 sólidos	0,00	Kg	m13 sólidos	0,31	kg
m3 agua	172,99	kg	m8 agua	69,19	Kg	m13 agua	1,28	kg
Corriente 4			Corriente 9			Corriente 14		
m4	160,51	kg	m9	3,54	Kg	m14	677,68	kg
m4 sólidos	0,50	kg	m9 sólidos	0,25	Kg	m14 sólidos	0,00	kg
m4 agua	160,02	kg	m9 agua	3,28	Kg	m14 agua	677,68	kg
Corriente 5			Corriente 10			Corriente 15		
m5	120,43	kg	m10	88,09	Kg	m15	799,08	kg
m5 sólidos	0,37	kg	m10 sólidos	2,64	Kg	m15 sólidos	0,91	kg
m5 agua	120,06	kg	m10 agua	85,45	Kg	m15 agua	798,17	kg

Fuente: Elaboración propia.

6.2. Productividad de los cultivos

El crecimiento del cultivo de cianobacterias depende directamente de los parámetros especificados en la Tabla 6.3, por lo que se debe procurar el control de estos como la calidad del inóculo entregado.

Tabla 6.3: Parámetros de control para el cultivo.

Parámetro	Valor
Ratio inóculo/medio de cultivo	0,3
Concentración del inóculo	0,8 [g L ⁻¹]
Intensidad de luz sometido	0,1 – 934,7 [μmol m ⁻² s ⁻¹ PPFd]
Aireación	0,5 [vvm]
Tasa de dilución	0,002 [d ⁻¹]

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con resultados del Proyecto FONDEF, el período de adaptación de las cianobacterias es de alrededor de 30 días, que con una concentración inicial dentro del fotobiorreactor de 0,24 g L⁻¹ de biomasa es posible llegar a 0,8 g L⁻¹. Por lo que después de este tiempo, se asume un estado estacionario en el cultivo para la estimación de producción de biomasa modelado por la Ecuación 6.46 (Arne Vesillind et al., 2010, p. 362).

$$Q = \mu * X \quad (\text{Ec. 6.46})$$

Donde:

Q : Productividad volumétrica de biomasa [g d⁻¹ L⁻¹]

μ : Velocidad específica de crecimiento [d⁻¹]

X : Concentración de biomasa [g L⁻¹]

En estado estacionario la velocidad de crecimiento se iguala a la tasa de dilución, entonces:

$$Q = D * X$$

Donde:

D : Tasa de dilución [d⁻¹]

Por lo que la productividad corresponde a 0,0127 [g *d⁻¹ L⁻¹], que en capacidad mínima de la planta se estará produciendo 2,54 g d⁻¹ de cianobacterias, mientras que a máxima capacidad la producción diaria es de 12,72 g.

6.3. Balance de energía

Dentro del proceso productivo no hay equipos de intercambio de energía por lo que el balance energético corresponderá únicamente a la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de los equipos.

Dichos cálculos se encuentran presentes en el Título 7.3 sobre la estimación de consumo dentro de la planta.

CAPÍTULO 7: DISEÑO, ESTIMACIÓN Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

7.1. Diseño

El diseño de la planta se establece priorizando la facilidad de desmontaje y traslado de sus partes. Es por esto que predominan los estanques de fácil movilidad, así como un sistema de mangueras que permita su uso solo cuando sea necesario.

Adosado a los estanques se encontrarán unos soportes de tuberías hidráulicas los cuales cuentan con uniones fáciles para la conexión y desconexión rápida de mangueras evitando el desgaste del material. En estos mismos soportes estarán ubicadas válvulas antirretorno que eviten posibles problemas de cavitación con las bombas. Los soportes se muestran en las Figuras C.1, Figura D.1 y Figura E.1 dispuestas en los anexos respectivos.

La disposición de los equipos de la sección de preparación de medio de cultivo se muestra en la Figura 7.1, donde las líneas discontinuas describen las distintas conexiones realizadas por las mangueras para cada una de las líneas de producción, acoplándose a los soportes de los estanques solo cuando sea necesario y de manera particular.

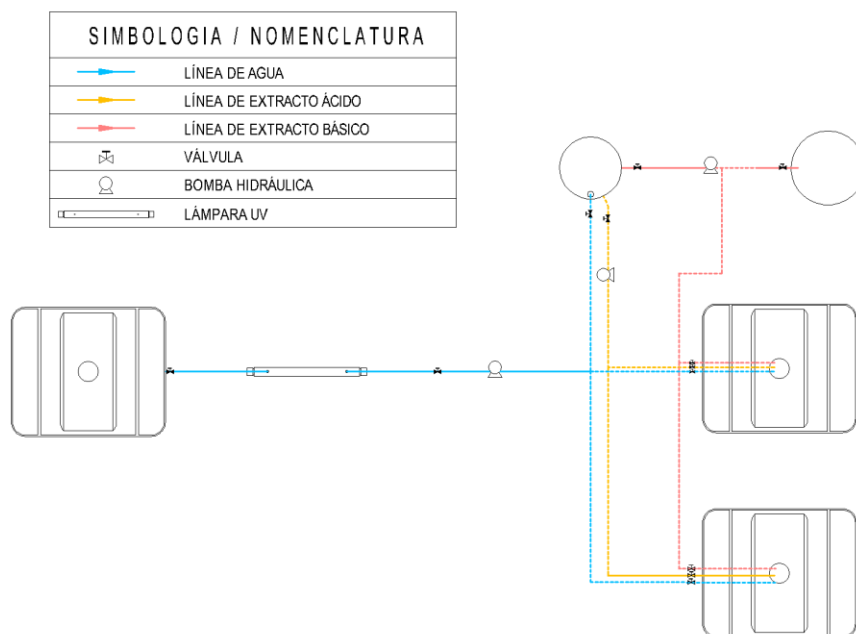







Figura 7.1: Disposición de equipos de elaboración de medio de cultivo (Elaboración propia).

La disposición de los equipos de la sección de cultivo de cianobacterias se muestra en la Figura 7.2. Junto a cada fotobiorreactor se encuentra un recipiente de almacenamiento de medio de cultivo, recipiente de almacenamiento del cultivo cosechado, una bomba peristáltica encargada de

alimentar al fotobiorreactor con medio de cultivo y retirar cultivo de este y un soplador para la aireación del cultivo y cosecha.

Para disminuir la cantidad de equipos y accesorios dentro de la planta se decidió el traslado manual de medio de cultivo hasta los fotobiorreactores, justificado en la cantidad necesaria al día de 3,2 L por cada fotobiorreactor.

SIMBOLOGIA / NOMENCLATURA	
	LÍNEA DE CIANOBACTERIAS
	LÍNEA DE MEDIO DE CULTIVO
	LÍNEA DE AIRE
	BOMBA HIDRÁULICA
	SOPLADOR

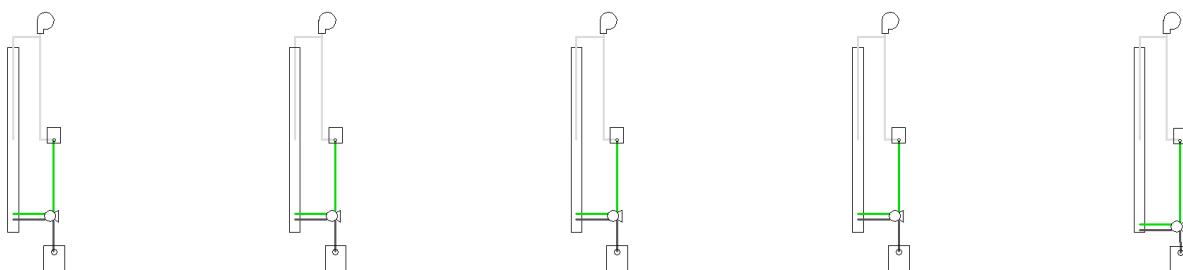


Figura 7.2: Disposición de equipos de cultivo de cianobacterias (Elaboración propia).

7.2. Estimación de producción de la planta

La producción anual de la planta está limitada por los meses de abril y noviembre, mientras que durante el mes de marzo se prevé la instalación y puesta en marcha de los cultivos. Para esto es necesario determinar la demanda de medio de cultivo esperada para estas etapas.

Para la determinación de este valor se implementa la Ecuación 6.1 presentada en el capítulo anterior y que, para esta instancia, se considera el tiempo total de producción de 243 días contados desde el 1 de abril hasta el 30 de noviembre. Por lo que:

$$MC = 200 * (1 - 0,3) * 5 + 3,2 * 243 \quad [L]$$

$$MC = 4588 \quad [L]$$

Se necesita producir anualmente 4588 L de medio de cultivo con 229 L de extracto acuoso, 458 L de extracto ácido, 9,2 L de ácido fosfórico 2M y 3891 L de agua, aplicando las Ecuaciones 6.2, 6.3, 6.4 y 6.5 respectivamente.

Sin embargo, la preparación de medio de cultivo implementada actualmente para el cultivo de cianobacterias se encuentra limitada por la demanda de extracto ácido, por lo que se debe producir extracto acuoso en exceso que es utilizado para la mezcla final del medio, incorporación de una porción a la preparación del extracto ácido y el remanente es un residuo líquido del proceso.

Considerando la preparación base de medio de cultivo a máxima capacidad utilizada para hacer el balance de materia de este proceso, en todo el año se debe repetir 5,7 veces en las proporciones especificadas en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1: Preparación anual de medio de cultivo.

	Por preparación	Total anual
Medio de cultivo	804 L	4588 L
Extracto acuoso	174 L	992 L
<i>Ceniza</i>	2,8 kg	16 kg
<i>Agua</i>	174 L	991,8 L
<i>Desecho</i>	116 L	661,2 L
Extracto ácido	80,4 L	458 L
<i>HCl 2M</i>	3,5 L	19,9 L
<i>Agua</i>	69,6 L	396,7 L
<i>Extracto acuoso + cenizas agotadas</i>	17 L	96,9 L
Ácido fosfórico 2M	1,6 L	9,2 L
Agua	681,8 L	3881 L

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la distribución temporal de la preparación del medio de cultivo, esta debe ser preparada una vez durante el mes de marzo para los inóculos dentro de los fotobiorreactores, los cuales necesitaran un total de 700 L, mientras que las preparaciones restantes de deben realizar cada 50 días.

7.3. Estimación de consumo energético

Para el balance energético se consideran los equipos energéticos utilizados para la producción de dentro de la planta especificados en el Título 7.4 del presente documento. Cabe considerar que se descarta el traslado de equipos por la dependencia de este con la ubicación final de la planta, por lo que el consumo de combustible será despreciado.

La determinación de la energía requerida por cada uno de los equipos es realizada con Ecuación 7.1, considerando el tiempo de uso para cada uno de los equipos necesarios para la preparación de medio de cultivo y cultivo de cianobacterias suficiente para la aplicación de estas en una hectárea.

$$E = P * t \quad (Ec. 7.1) \quad (Caser, 2023)$$

Donde:

E: Energía requerida [Wh]

P: Potencia del equipo [W]

t: Tiempo de uso [h]

En la Tabla 7.2 se presenta el listado de equipos utilizados junto a la energía requerida por cada uno, sin embargo, varía el tiempo de uso de los equipos según corresponda el mes en el cual se requieran sus usos, dicha información se encuentra presente en el Anexo F.

Tabla 7.2: Balance de energía por producción base.

Equipo	Cantidad	Potencia [kW]	Tiempo de uso [h]	Consumo total [kWh]
Lampara UV	1	0,03	0,51	0,02
Mezclador IBC	1	1,34	0,5	0,67
Mezclador estanque cónico	5	0,4	1,7	0,68
Bomba agua	1	0,75	0,51	0,39
Bomba extracto acuoso	5	0,75	0,09	0,07
Filtro prensa	1	0,37	0,04	0,02
Soplador	1	0,115	24	13,8
Bomba peristáltica	1	0,75	12,8	48
Selladora	1	0,6	0,5	0,30

Fuente: Elaboración propia.

7.4. Selección de equipos

La selección de equipos se realizó en función de las necesidades de la planta descrita en la síntesis de operación unitarias teniendo como prioridad la implementación de equipos de bajo costo y que también permitan brindarle mayor movilidad a la planta en caso de esta deba ser trasladadas a otro lugar de tratamiento.

7.4.1. Selección de bombas

Para conocer la potencia que necesita la bomba se calcularon las pérdidas de energía de las líneas de proceso que incluyen a cada una de las bombas, información presentada en la Tabla 7.3 y la base de cálculos está dispuesto en el Anexo C, D y E para cada línea de proceso.

Tabla 7.3: Pérdidas de energía

Línea de proceso	Destino	Hf [m]
Línea de agua	Estanque de extractos	4,56
	Estanque de medio de cultivo 2	4,86
Línea de extracto acuoso	Estanque de desecho	2,79
	Estanque de medio de cultivo 2	3,79
Línea de extracto ácido	Estanque de medio de cultivo 2	3,41

Fuente: Elaboración propia.

Las líneas de procesos de agua y de extracto acuoso cuentan con dos líneas de fluido, por lo que se calculó la altura de la bomba para la mayor exigencia de las líneas mencionadas, esta información está presente en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4: Altura de la bomba.

Línea de proceso	Caudal [L min-1]	Altura máxima [m]	Altura mínima [m]
Línea de agua	30	5,25	5,14

Continuación **Tabla 7.4:** Altura de la bomba

Línea de proceso	Caudal [L min ⁻¹]	Altura máxima [m]	Altura mínima [m]
Línea de extracto acuoso	30	3,69	3,48
Línea de extracto ácido	30	3,31	-

Fuente: Elaboración propia.

Para la línea de agua y de extracto acuoso se seleccionó la bomba centrífuga presentada en la Figura 7.3 con las características mencionadas en la Tabla 7.5 y su ficha técnica en el Anexo G.



Figura 7.3: Bomba centrífuga (Koslan,2023)

Tabla 7.5: Características bomba centrífuga.

Marca / Modelo	LEO/ ACm75
Potencia	0,75 [kW]
Caudal	30 [L min ⁻¹]
Altura máxima	33 [m]
Dimensiones	Largo: 29,8 [cm] / Ancho: 19 [cm] / Alto: 24 [cm]
Peso total aproximado	13,4 [kg]
Diámetro succión/descarga	1" / 1"

Fuente: Koslan (2023).

Para la línea de extracto ácido se seleccionó un filtro prensa que tiene incluida la bomba, es eléctrica y el sistema de filtrado se le denomina “sistema líquido con hojas prensadas”, se presenta en la Figura 7.4 junto a sus características en la Tabla 7.6.



Figura 7.4: Filtro prensa (Amazon, 2023)

Tabla 7.6: Características filtro prensa.

Marca / Modelo	Fermtech Ltd./ Colombo 6
Potencia	0,37 [kW]
Caudal	150-200 [L h ⁻¹]
Dimensiones	Largo: 29,8 [cm] / Ancho: 19 [cm] / Alto: 24 [cm].
Tamaño de las placas	20 x20 [cm]
Tamaño de la malla	0,85-8 [μm]

Fuente: Amazon (2023).

La bomba utilizada en la alimentación y descarga de los fotobiorreactores es una bomba peristáltica (Figura 7.5) y el cabezal mostrado en la Figura 7.6, que permite dosificar la alimentación y trabajar a distintos rangos ya que es regulable, característica necesaria para un llenado más rápido durante la puesta en marcha y permitir dosificar durante la etapa de producción a una alimentación de 3,2 L día⁻¹. Las especificaciones técnicas de este equipo se encuentran detalladas en la Tabla 7.7 y en el Anexo H.



Figura 7.5: Bomba peristáltica (Itech, 2023)

Tabla 7.7: Características bomba peristáltica.

Marca / Modelo	Longer Pump / bt100-2j
Consumo energético	30 [W]
Caudal	Máx: 0,38 [L min ⁻¹] / mín: 0,0002 [mL min ⁻¹]
Dimensiones	Largo: 23,2 [cm] / Ancho: 14,2 [cm] / Alto: 14,9 [cm]
Peso total aproximado	2,3 [kg]
Cabezales aplicables	YZ1515X, YZ2515X, YZ1115, YZ1125, DG-1, DG-2

Fuente: Itech, 2023.



Figura 7.6: Cabezal YZ1515X (Drifton, 2023)

Tabla 7.8: Características bomba peristáltica.

Marca / Modelo	Shenchen YZ1515x
Caudal	Máx: 2,28 [L min ⁻¹]/ mín: 0,07 [mL min ⁻¹]
Tubo (#)	13,14,19, 16, 25, 17, 18.
Peso total aproximado	0,4 [kg]
Velocidad (rpm)	<= 600

Fuente: Drifton, 2023.

7.4.2. Selección de mezcladores

Para la tarea de mezclar los extractos y mantener en suspensión los sólidos en estos, será utilizado un agitador de pala con inclinación que permite la agitación a altas velocidades en fluidos de baja viscosidad, los extractos al estar altamente diluidos, se asume una viscosidad similar a la del agua ya mencionada anteriormente.

Este tipo de agitadores permiten la predominancia de corrientes axiales que permiten mantener en suspensión los sólidos dentro de la mezcla. Para evitar remolinos, el eje será instalado inclinado con relación al eje longitudinal ya que el estanque no cuenta con placas deflectoras para evitar los vórtices.

En el caso del agitador implementado para los estanques IBC con medio de cultivo, los impulsores serán de paleta ya que no es necesaria la predominancia de corrientes longitudinales para mantener

sólidos en suspensión. Esto permite disminuir el costo del equipo utilizado. El diseño y especificación de este equipo se encuentra especificados en la Figura 7.7 y Tabla 7.9.



Figura 7.7: Mezclador estanque IBC (Melper, 2023)

Tabla 7.9: Características agitador estanque IBC.

Marca / Modelo	AG1-FAST_OPEN
Potencia	1,34 [kW] / 220 [V]
Diámetro	Eje: 38 [mm] / Total: 500 [mm]
Largo eje	2500 [mm]
Tipo impulsor	Fast open de paleta (3)
Velocidad (rpm)	93

Fuente: Drifton, 2023.

En el caso del agitador del estanque de extractos, fue recomendado por proveedores que sea de características similares al utilizado para el IBC, pero con un menor diámetro de paletas y potencia de 0,5 hp.

7.4.3. Selección de estanques

Para el almacenamiento de agua será utilizado un estanque IBC con capacidad nominal de 1000 L (Figura 7.8) ya que para la producción base será necesario 926 L de este recurso. El diseño de este tipo de estanque permite la posibilidad de trasladarlo en caso de ser necesario, además de contar con barras que evita que se deforme de manera acelerada en el tiempo. Es por estas mismas razones que el medio de cultivo será preparado también en este tipo de estanque. Las especificaciones técnicas de este equipo se encuentran detalladas en la Tabla 7.10.



Figura 7.8: Estanque IBC (Superbidón, 2023a)

Tabla 7.10: Especificaciones técnicas estanque IBC.

Capacidad nominal	1000 [L]
Capacidad de rebalse	1060 [L]
Apertura de llenado	150 [mm]
Apertura de descarga	50 [mm]
Dimensiones	Largo: 120 [cm] / Ancho: 100 [cm] / Alto: 116 [cm]
Peso total aproximado	56 [kg]

Fuente: Superbidón (2023a).

El estanque utilizado para la preparación de los extractos será un estanque cónico de 200 L (Figura 7.9). De acuerdo con la información proporcionada por el fabricante, el material que lo compone permite su aplicación para la agitación de sustancias químicas de pH entre 0 a 14. Cabe destacar que, gracias a la geometría de este, es posible acelerar el proceso de sedimentación de los sólidos en el medio, permitiendo también la obtención de cualquiera de sus fases al contar con dos válvulas en distintas alturas del estanque. Las especificaciones técnicas de este equipo se encuentran detalladas en la Tabla 7.11.

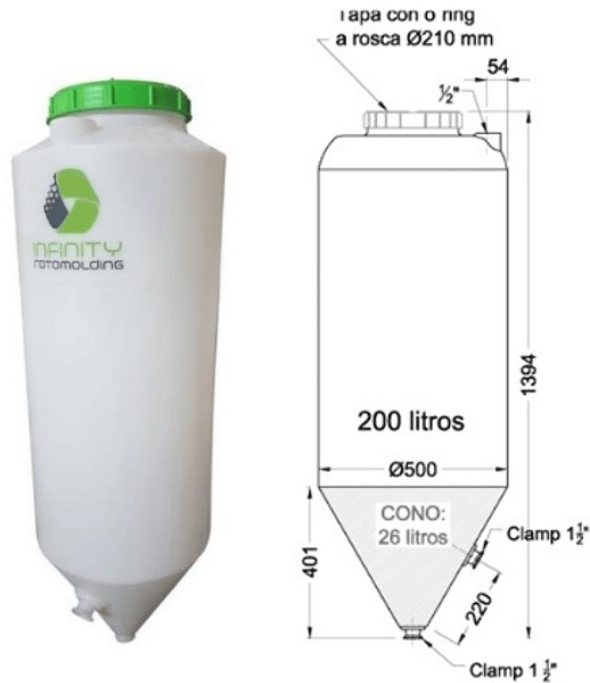


Figura 7.9: Estando para la preparación de extractos (Beerwall, 2023)

Tabla 7.11: Especificaciones técnicas estanco para extractos.

Marca / Modelo	Infinity / Rotomolding
Capacidad nominal	200 [L]
Llenado sugerido	150 – 160 [L]
Cantidad de salidas	2
Tamaño de salidas	3/4"
Dimensiones	Alto: 139,4 [cm] / Diámetro: 50 [cm]

Fuente: Beerwall (2023).

Para la estabilización del equipo será utilizada una base de acero reforzado que se ajusta al cono del estanco (Figura 7.10). Este cuenta con superficies suaves y redondeadas para evitar la deformación o perforación del estanco. La base eleva el estanco 30 cm del suelo.



Figura 7.10: Soporte del estanco para la preparación de extractos (Brix304, 2023).

Para la disposición del extracto acuoso sobrante serán utilizados barriles plásticos de 120 L, lo cuales resisten las características fisicoquímicas de este fluido (Figura 7.11). Como por cada producción base se producen 116 L de extracto acuoso sobrante, es necesario incrementar el número de barriles en función de la producción total de la planta. Las especificaciones técnicas de este equipo se encuentran detalladas en la Tabla 7.12.



Figura 7.11: Estanque para el almacenamiento de extracto residual (Superbidón, 2023b).

Tabla 7.12: Especificaciones técnicas estanque de almacenamiento de desechos.

Capacidad nominal	120 L.
Capacidad de rebalse	126 L.
Apertura de llenado	2" / 3/4", rosca interna
Dimensiones	Diámetro: 47 cm / Altura: 83 cm
Peso total aproximado	4,8 kg

Fuente: Superbidón (2023b).

Una vez preparado el medio de cultivo, este debe ser dispuesto diariamente en bidones de 25 L que serán instalados a un costado de los fotobiorreactores (Figura 7.12). Estos están compuestos por polietilenos de alta densidad, alto peso molecular y grado alimenticio, lo que proporciona una mayor resistencia en el tiempo. Se recomienda almacenar bajo techo y evitar temperaturas extremas (menor a -20°C o mayor a 40°C). Las especificaciones técnicas de este equipo se encuentran detalladas en la Tabla 7.13.



Figura 7.12: Estanque para el almacenamiento de medio de cultivo (Arirang plásticos, 2023).

Tabla 7.13: Especificaciones técnicas estanque de almacenamiento de medio de cultivo

Capacidad nominal	25 L.
Estructura	Polietileno de Alta densidad PE-HD.
Apertura de llenado	Boca superior de 12 cm.
Dimensiones	Diámetro: 13 cm. / Alto: 44 cm.
Peso total aproximado	1,4 kg.

Fuente: Arirang plásticos (2023).

El almacenamiento del cultivo cosechado diariamente será realizado también en bidones de 5 L (Figura 7.13), los cuales también deben mantenerse aireados para mantener vivas a las cianobacterias como también para evitar la sedimentación de estas dentro del recipiente. Un requerimiento necesario para este equipo es que sean transparentes para mantener su viabilidad.



Figura 7.13: Estanque para el almacenamiento de cultivo cosechado. (Superbidón, 2023e).

7.4.4. Selección de sopladores

De acuerdo con resultados obtenidos en el proyecto FONDEF, se recomienda una aireación de 0,5 vvm dentro de los fotobiorreactores y en los recipientes de almacenamiento del cultivo cosechado. Para determinar el flujo total de aire se aplicará la Ecuación 7.2 para el volumen total de cultivo dentro de los fotobiorreactores y dentro del almacenamiento de la cosecha.

$$\text{Aireación} = V * F_A \quad (\text{Ec. 7.2})$$

Donde:

V : Cantidad de líquido [L]

F_A : Flujo de aire [vvm]

El volumen de cultivo dentro de cada fotobiorreactor es de 200 L, mientras que el volumen máximo que almacenarán los bidones son 5 L. Por lo que la aireación para cada sistema de fotobiorreactores corresponde a:

$$\text{Aireación} = 205 \text{ L} * 0,5 \frac{\text{L aire}}{\text{L} * \text{min}}$$

$$\text{Aireación} = 102,5 \frac{\text{L aire}}{\text{min}}$$

Para la aireación de los cultivos se utilizará un soplador de aire (Figura 7.14), especial para el tratamiento aerobio de aguas residuales, mover líquidos, inyección de aire en baño de burbujas y oxigenación de estanques entre otros. Cuenta con carcasa de metal lo que brinda una larga vida útil como también bajo consumo energético y ruido. Las especificaciones técnicas de este equipo se encuentran detalladas en la Tabla 7.14 y en el Anexo J.



Figura 7.14: Soplador HIBLOW HP-120 (Ecoboutique, 2023)

Tabla 7.14: Especificaciones técnicas soplador

Marca / Modelo	HIBLOW HP-120
Tensión nominal	AC 230V
Frecuencia	50 / 60 Hz
Presión	17,7, kPa
Flujo de aire	120 L/min
Potencia	115 W
Nivel acústico	40 dBA

Fuente: Ecoboutique (2023).

7.4.5. Selección de fotobiorreactor

Los fotobiorreactores implementados están compuestos por una estructura metálica de malla ACMA que brida soporte al sistema (Figura 7.15). Tienen un ancho de 10 cm para permitir la penetración de la luz en el cultivo mientras que la superficie útil conserva una proporción sobre el volumen que llega hasta los 0,25. Ambos rangos dentro de lo óptimo recomendado para este tipo de fotobiorreactor de placa plana.

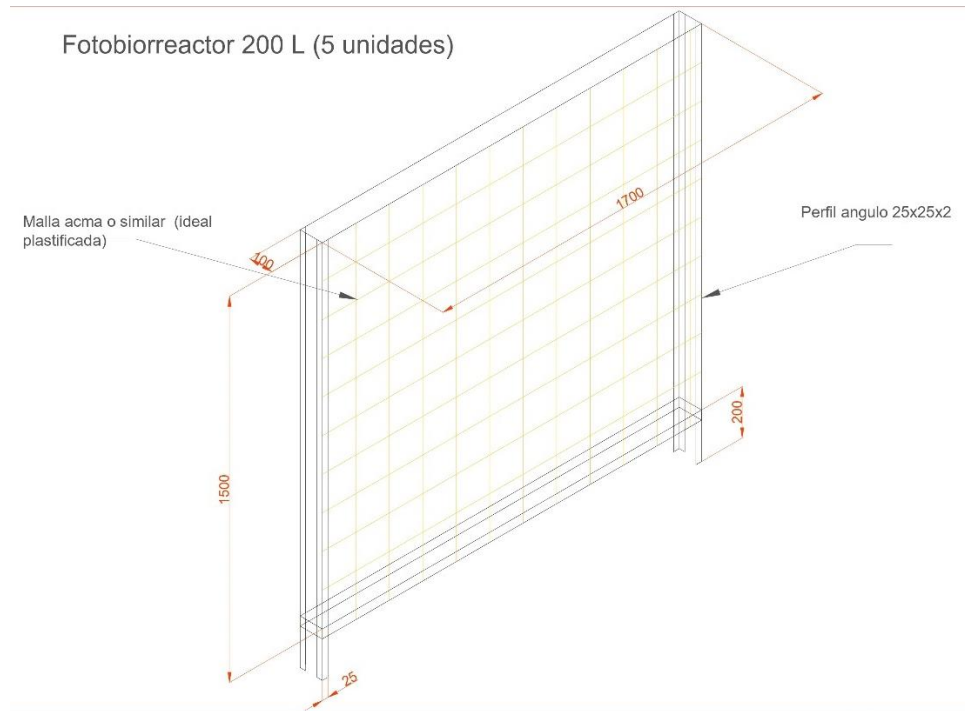


Figura 7.15: Estructura metálica del fotobiorreactor (FONDEF, 2022).

El cultivo se encuentra contenido en bolsas transparentes de polietileno de 200 µm de espesor (Figura 7.16), estas son fabricadas dentro de la planta recortando trozos de polietileno de tamaño de 2x4 metros posteriormente sellados con una selladora térmica.



Figura 7.16: Bolsas de polietileno para la contención del cultivo (FONDEF, 2022).

El sistema de agitación en los fotobiorreactores está compuesto por la conexión de tuberías y mangueras entre el soplador hacia los 6 difusores instalados en la base (Figura 7.17). Es sistema es alimentado desde la parte superior de los FB para no perforar las bolsas (Figura 7.18).



Figura 7.17: Sistema de difusores (FONDEF, 2022).



Figura 7.18: Sistema de aireación dentro de los FB (FONDEF, 2022).

CAPÍTULO 8: ORGANIZACIÓN DE LA PLANTA

La distribución de cargos de una empresa cuenta con una departamentalización correspondiente que los identifique, la cual consiste en agrupar las funciones principales dentro de distintas unidades dentro de la organización. Para este caso en específico no se entrará en detalle, ya que esta propuesta estará inserta dentro de alguna área ya definida y decidida por la organización que optará por esta nueva tecnología. Sin embargo, dentro de la planta de producción se necesitarán trabajadores fundamentales para su correcto funcionamiento. Se designará un supervisor de la planta de producción, el que actuará como enlace directo con el área encargada de la aplicación del cultivo, y, además, se requerirán dos operarios cuya función principal será llevar a cabo la producción y realizar las mediciones correspondientes en el cultivo.

8.1. Organización administrativa

De los cargos a solicitar se requerirá: un supervisor de planta de tiempo completo, junto a dos operarios que correspondientes a la misma plaza, uno de ellos trabajará en jornada full time (45 h semanales) y el otro de part time (20 h semanales).

A continuación, se presenta el organigrama dentro de la planta de producción (Figura 8.1) junto a la descripción de cargos correspondientes (Tabla 8.1 y Tabla 8.2).

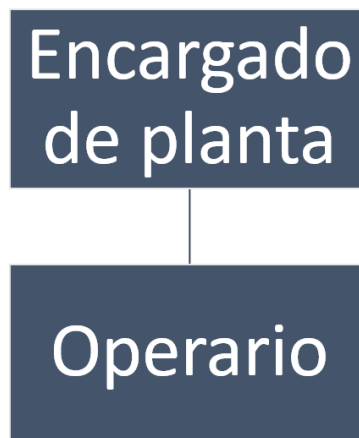


Figura 8.1: Organización de la planta.

Tabla 8.1: Descripción de cargo Encargado de planta.

DESCRIPCIÓN DEL PUESTO	
TITULO DEL PUESTO	Supervisor de planta.
DESCRIPCIÓN GENÉRICA	Encargado de la administración de la planta de producción y control de los cultivos de cianobacterias.
DESCRIPCIÓN ESPECÍFICA	Encargado del control y supervisión de las operaciones y cultivos de cianobacterias, quien deberá reportar los progresos correspondientes a la producción. Generará informes semanales del estado de la planta de producción en todas sus aristas. Trabajo presencial en la planta de producción. Horario de 08:00 a 18:00 horas, de lunes a viernes con 1 hora de colación.
REQUISITOS DEL CARGO	<ul style="list-style-type: none"> - Profesional con conocimiento de cultivos con microorganismos fotosintéticos y técnicas de laboratorio. - Estudios técnicos o superior en microbiología o áreas afines. - Deseable experiencia en administración de proyectos. - Habilidades de liderazgo. - Conocimientos de Excel intermedio.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8.2: Descripción de cargo Operario.

DESCRIPCIÓN DEL PUESTO	
TITULO DEL PUESTO	Operario.
DESCRIPCIÓN GENÉRICA	Encargado del mantenimiento de la planta de producción.
DESCRIPCIÓN ESPECÍFICA	Encargado del control y supervisión de las operaciones dentro de la planta de producción. Trabajo presencial en la planta de producción. Full time (45 horas): Horario de 08:00 a 18:00 horas, de lunes a viernes con 1 hora de colación. Part time (20 horas): Horario de 08:00 a 19:00 horas, de sábado a domingo con 1 hora de colación.
REQUISITOS DEL CARGO	<ul style="list-style-type: none"> - Profesional con experiencia en plantas de producción de microorganismos. - Conocimiento de cultivos con microorganismos. - Experiencia con maquinaria pesada. - Conocimiento en el mantenimiento de equipos.

Fuente: Elaboración propia.

8.2. Distribución espacial de la planta

En la Tabla 8.3 se presenta la superficie necesaria para cada uno de los equipos de la planta junto al área dispuesta para el desplazamiento de los operarios. Cabe mencionar que la gran superficie de desenvolvimiento para el área de cultivo de cianobacterias se debe a que cada fotobiorreactor debe tener una distancia de 2,5 m entre cada uno, sin permitir la instalación de equipos o algún otro objeto que pueda obstruir el paso de la luz. Debido a esto se descartó aprovechar parte de esta para la instalación de alguna otra área de la planta.

Tabla 8.3: Área necesaria para la parte de procesos dentro de la planta.

Sección	Maquina/Equipo	Superficie utilizada [m ²]	Área de desenvolvimiento [m ²]	Superficie total [m ²]
Preparación de medio de cultivo	IBC Almacenamiento de agua	1,2	20,04	26,7
	Lámpara Filtro UV	0,07		
	Estanque extractos	0,20		
	Estanque desechos	0,17		
	IBC medio de cultivo 1	1,2		
	IBC medio de cultivo 2	1,2		
	Tuberías/Mangueras/Accesorios	2,62		
Cultivo de cianobacterias	Fotobiorreactor (5)	0,85	36,73	39,6
	Tuberías/Mangueras/Accesorios	1,70		
	Almacenamiento medio de cultivo / cultivo cosechado (5)	0,32		

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 8.4 se presentan las dimensiones de todas las secciones dentro de la planta, considerando el espacio que usan los equipos, accesorios, movimiento de los operarios y paso de grúas en caso de que sea necesario.

Tabla 8.4: Superficie total de la planta.

Sección	Superficie [m ²]
Preparación de medio de cultivo	26,7
Cultivo de cianobacterias	39,6
Zona de almacenamiento	12,3
Área de análisis bioquímico	15,3
Total	93,91

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la Figura 8.2 se presenta la distribución espacial de las secciones dentro de la planta, donde se sugiere que se encuentre orientada hacia el norte para un mejor aprovechamiento de la radiación solar en los FB.

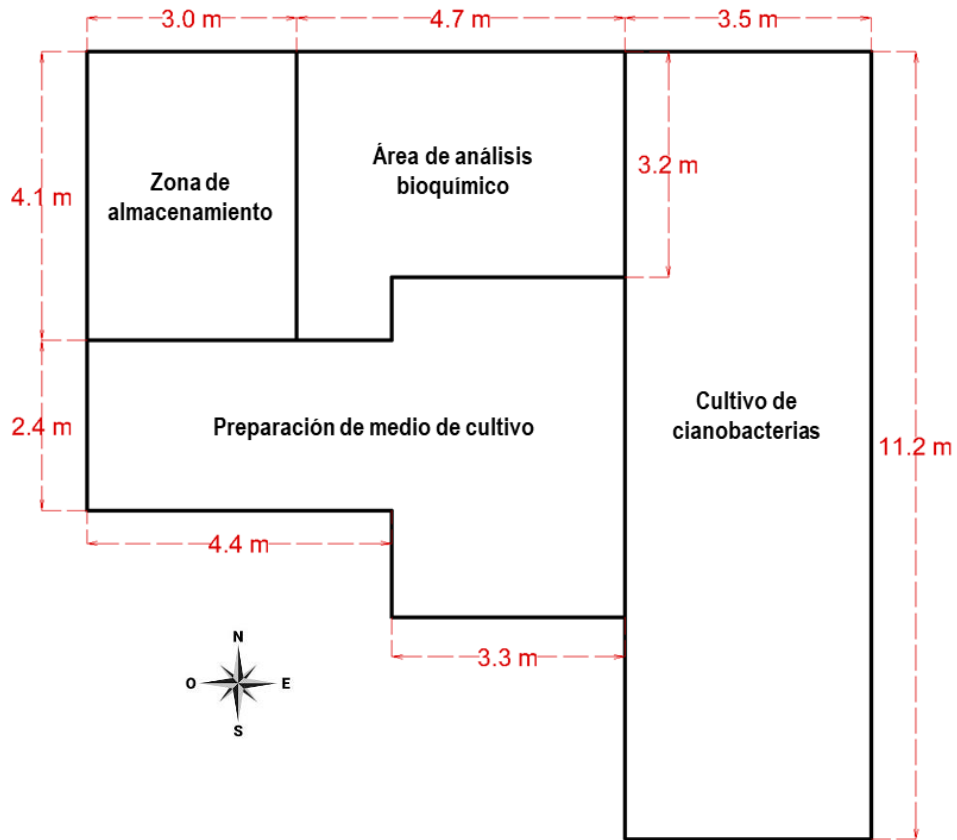


Figura 8.2: Distribución espacial de la planta.

La planta al estar diseñada como una extensión de un lugar de operación ya instalado, no considera las áreas comunes que estipula el Decreto Supremo N°594 del Ministerio de Salud que aprueba, en el año 2000, el Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Ambientales Básicas en los lugares de trabajo. Por lo que es importante mencionar que en caso de que no se cuente con los servicios básicos, estos también deben ser incorporados en el diseño de quien adquiera la tecnología.

CAPÍTULO 9: EVALUACIÓN ECONÓMICA Y DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

En el presente capítulo se realizan los estudios económicos y ambientales respectivamente, con la finalidad de evaluar la rentabilidad del proyecto y su sostenibilidad en el tiempo, considerando los beneficios económicos que se pueden presentar.

9.1. Evaluación económica

Para realizar la evaluación económica se presentarán 12 flujos de caja dividido en dos grandes grupos, siendo pensados en un proyecto social o un proyecto privado con un horizonte de 8 años, dando inicio al comienzo del 2023 y finalizando en el año 2030 por el compromiso nacional de restauración de bosques nativos, el detalle de los cálculos se encuentra en el Anexo K. Ya que se considera un periodo de tiempo de mediano a largo plazo, los datos presentados son en UF dado a la variación económica que pueda surgir durante el periodo de tiempo considerado, siendo este valor de \$36.026 de acuerdo con su valor al día 30 de mayo del 2023.

En el caso de los proyectos privados, estarán en función del financiamiento inicial, siendo 100% cubierto con un crédito de consumo, 100% mediante beneficios estatales y la diferencia mediante un crédito de consumo, y por último 100% de capital propio del inversionista. El horizonte de evaluación estará en función al retorno de la inversión que será netamente por el ahorro asociado a la compra de fertilizantes comunes.

Los criterios para llevar a cabo la evaluación económica son el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) descritos a continuación.

El Valor Actual Neto (VAN) es un criterio implementado para saber si al final de la inversión se obtienen beneficios o pérdidas con la realización de un proyecto. Por lo que generalmente se suele elegir un proyecto con mayor VAN que por sobre otro cuando se tiene más de una oportunidad de inversión. Este criterio es la diferencia entre todos los ingresos y egresos del proyecto, el cual plantea que, si el proyecto tiene un VAN igual o superior a cero, debe aceptarse (Sapag, 2008). Se calcula mediante la Ecuación 9.1.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (Ec. 9.1) \quad (Sapag et al., 2014)$$

Donde:

$VAN =$ Valor actual neto
 $I_0 =$ Inversión inicial
 $F_t =$ Fijos de caja futuros
 $k =$ Tasa de descuento
 $t =$ Número de periodos

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es un criterio implementado para determinar la rentabilidad de la inversión a través del porcentaje de pérdida o ganancia, que evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo. La totalidad de los beneficios actualizados son iguales a los desembolsos generados (Sapag, 2008). Se encuentra estrechamente relacionado con el VAN puesto que se determina cuando este se hace cero y se calcula mediante la Ecuación 9.2.

La tasa calculada se compara con la tasa de descuento del proyecto, si la TIR es igual o mayor que ésta, el proyecto debe aceptarse, y si es menor debe rechazarse.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0 = 0 \quad (\text{Ec. 9.2}) \quad (\text{Sapag et al., 2014})$$

Donde:

$VAN =$ Valor actual neto
 $I_0 =$ Inversión inicial
 $F_t =$ Fijos de caja futuros
 $k =$ Tasa de descuento
 $t =$ Número de periodos

Para realizar este estudio económico se deben considerar los parámetros de: valor de desecho, depreciación y valor residual, de los equipos a utilizar, que serán explicados a continuación.

- El valor de desecho obtenido mediante el método comercial, refleja el valor que el proyecto tendría al final de su evaluación y se calcula mediante la Ecuación 9.3 (Sapag et al., 2014).

$$\text{Valor de desecho} = \frac{\text{Beneficio neto de año} - \text{Depreciación del año}}{\text{Tasa de descuento}} + \text{Capital de Trabajo} \quad (\text{Ec. 9.3})$$

- En cuanto a la depreciación, es la reducción del valor de un activo perteneciente a la empresa, asigna el coste de un bien de capital a lo largo de su periodo de vida. En el cual se utilizará la depreciación lineal determinada mediante la Ecuación 9.4 (Sapag et al., 2014).

$$\text{Depreciación} = \frac{\text{Costo inicial} - \text{Valor residual}}{\text{Vida útil}} \quad (\text{Ec. 9.4})$$

- El valor residual de un activo es una parte de su costo que no se deprecia, porque es el precio que se recibiría en la actualidad si el activo estuviera en la edad y condiciones que se esperan al final de su vida útil.

En función a los equipos utilizados en la planta de producción, fue determinada en su categoría según el servicio de impuestos internos y solo considerando los equipos principales en la planta de producción que sean depreciables, esta información se presenta en la Tabla 9.1.

Tabla 9.1: Vida útil de los activos físicos.

Maquinaria y equipos	Vida útil	Categoría SII
Filtro Lámpara UV	9000 horas	No aplica
Mezclador IBC	15 años	15) Maquinarias y equipos en general.
Mezclador estanque cónico	15 años	15) Maquinarias y equipos en general.
Bomba agua	10 años	b) Instalaciones anexas al tranque. Bombas extractoras de agua, estanques e instalaciones similares en general.
Bomba extracto acuoso	10 años	b) Instalaciones anexas al tranque. Bombas extractoras de agua, estanques e instalaciones similares en general.
Filtro prensa manual	10 años	b) Instalaciones anexas al tranque. Bombas extractoras de agua, estanques e instalaciones similares en general.
Soplador	10 años	17) Equipos de aire y cámaras de refrigeración.
Estructura Fotobiorreactor	80 años	1) Construcciones con estructuras de acero, cubierta y entresijos de perfiles acero o losas hormigón armado.
Bomba peristáltica	10 años	b) Instalaciones anexas al tranque. Bombas extractoras de agua, estanques e instalaciones similares en general.
Obra inicial	10 años	7) Construcciones provisorias.

Fuente: Elaboración propia (Base de datos SII, 2003).

9.1.1. Evaluación económica mediante proyecto social

En cuanto a la inversión inicial del proyecto se presentan en la Tabla 9.2 los costos de las maquinarias y equipos, detallado en el Anexo N. Cabe mencionar que el valor de infraestructura incluye el terreno y la obra física se deben considerar en este apartado, pero dada la modalidad del proyecto presentado son valores desconocidos que el encargado de la adquisición de esta nueva tecnología debiese considerar. Además, el presente trabajo ingresa al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental como una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), se deben considerar los costos asociados, que rondan los \$50.000.000 en el año 2012 (González, R., 2012), pero según los ajustes de inflación, hoy en día ronda entre los \$72.000.000 el valor de una DIA y este varía según la envergadura del proyecto.

Tabla 9.2: Inversión inicial del proyecto social.

Inversión	Costo (CLP)
Cubierta	\$288.857
Estudios ambientales	
Declaración de impacto ambiental	\$60.504.202
Maquinaria, equipos y accesorios	
Sección preparación del medio de cultivo	\$4.403.947
Sección cultivo de cianobacterias	\$7.624.939
Sección análisis bioquímico	\$2.494.276
Sección almacenamiento	\$269.613
TOTAL (CLP)	\$75.585.833

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los ingresos obtenidos, estos son asociados al ahorro generado por el reemplazo de las metodologías de restauración convencionales, considerando la aplicada por la Fundación Reforestemos (2019). Para determinar la cantidad de hidrogel, compost, turba y urea ahorrada al año, fue considerada la dosis recomendada de aplicación por árbol y la totalidad de árboles que se pretenden plantar al año con la inoculación de cianobacterias (12.931 árbol año⁻¹).

De acuerdo a los resultados obtenidos, el ahorro anual en la compra de otros mejoradores de suelo, puesto la aplicación de fertilizantes nitrogenados para la totalidad de árboles a tratar, tienen un valor anual aproximado de \$802.363 sin considerar IVA, información presentada en la Tabla 9.3.

El segundo ingreso considerado para la evaluación económica corresponde al valor ambiental que se pretende recuperar por las medidas de reforestación de bosque nativo. Dicha valoración económica fue realizada por Figueroa & Pasten el año 2008 donde se representa el valor ambiental considerando el aporte de este al turismo como también el valor que brindan los bosques nativos al abastecimiento de agua dulce. Los valores resultantes corresponden a 937,9 USD ha⁻¹ año⁻¹ durante la temporada de verano, mientras el resto del año tiene un valor de 355,3 USD ha⁻¹ año⁻¹. Para determinar la totalidad de hectáreas a reforestar en cada uno de los casos de 100, 330 y 660 árboles por hectáreas, se consideró la base de cálculo de que independiente del caso que se implemente, se van a plantar 12.931 árboles.

Para la evaluación del presente capítulo se utiliza el valor de 355,3 USD año⁻¹ corregido a \$284.713 CLP ha⁻¹ año⁻¹ de acuerdo con el valor de la divisa al día 22 de mayo del 2023 y corregido por el factor de corrección de divisa para precios sociales (1).

Tabla 9.3: Ingresos anuales del proyecto social.

AHORRO			
	Cantidad anual	Precios fertilizantes (CLP)	Total ahorrado (CLP/año)
Hidrogel	64,7 kg	\$2.513 CLP/kg	\$162.455
Compost	38,8 m ³	\$109 CLP/L	\$4.238
Turba	25,9 m ³	\$419 CLP/L	\$10.845
Urea	323,3 kg	\$1.933 CLP/kg	\$624.826
TOTAL			\$802.363

Continuación **Tabla 9.3:** Ingresos anuales del proyecto social.

RECUPERACION DE VALOR AMBIENTAL			
Densidad de árboles plantados	Superficie recuperada (ha)	Valoración (CLP/ha)	Total ahorrado (CLP/año)
100 árboles por hectárea	129	\$284.713	\$36.816.692
330 árboles por hectárea	39	\$284.713	\$11.156.573
660 árboles por hectárea	20	\$284.713	\$5.578.287

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de los egresos se considerarán las remuneraciones al personal de la planta de producción presentada en la Tabla 9.4, y los costos de operación que incluyen los consumos asociados a la planta de producción presentados en la Tabla 9.5. En este apartado se incluirían los costos de traslado, sin embargo, el alcance del proyecto presentado es hasta la producción del fertilizante orgánico, por lo que no se considera traslado ni aplicación de este. Los valores presentados en la Tabla 9.4 y en la Tabla 9.5 son considerando los factores de corrección pertinentes y eliminación de impuestos por estar evaluando en el escenario de un proyecto social.

Tabla 9.4: Remuneraciones.

Cargo	Costo Mensual (CLP)	Factor de corrección Social de Mano de obra	Precio social	Costo Anual (CLP)
Encargado de la planta	\$1.380.000	Calificada: 0,97	\$1.338.600	\$12.420.000
Operario full time	\$606.960	Semi-Calificada: 0,95	\$576.612	\$5.462.640
Operario part-time	\$269.760	Semi-Calificada: 0,95	\$256.272	\$2.427.840

Fuente: Elaboración propia basada en datos de Talent Chile (2023).

La estimación de la energía eléctrica requerida en la planta se encuentra detallada en el anexo F y considerando un precio promedio de \$132 CLP kWh (Global Petrol Prices, 2023). Por otro lado, la estimación de agua consumida durante el proceso productivo corresponde a la detallada en el Título 7.2 del presente documento, considerando un precio de \$987 CLP por cada metro cúbico (Esval, 2023).

Tabla 9.5: Costos de operación.

ELECTRICIDAD		
Mes	Consumo anual [kWh]	Costo anual (CLP)
Enero	0	\$0
Febrero	0	\$0
Marzo	1955,43	\$257.986
Abril	1893,63	\$249.832
Mayo	1955,73	\$258.025
Junio	1891,80	\$249.590
Julio	1955,43	\$257.986
Agosto	1955,43	\$257.985
Septiembre	1891,80	\$249.590
Octubre	1955,43	\$257.986
Noviembre	1891,80	\$249.590
Diciembre	0	\$0

Continuación **Tabla 9.5:** Costos de operación.

TOTAL (CLP)		\$2.288.572
AGUA		
	Consumo anual [m3]	Costo anual (CLP)
Preparación del medio de cultivo	5,28	\$5.212
TOTAL (CLP)		\$5.212

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al financiamiento de la inversión inicial, al ser un proyecto social impulsado por un organismo estatal, se recurre al presupuesto destinado para el programa de restauración de bosques nativos a gran escala, el cual considera las acciones para iniciar procesos de restauración en bosques nativos a gran escala, priorizando zonas de conservación y protección de suelos, incluyendo desarrollo de actividades para iniciar procesos de restauración *in situ* (CONAF, 2022c). Cuyo presupuesto es de 6.000 millones para tratar 6.000 hectáreas entre las regiones de Coquimbo y Magallanes, por lo que se asume que toda la inversión inicial proviene de este fondo.

Para el flujo de caja correspondiente a este tipo de evaluación se consideraron 3 casos, en función a la densidad de los árboles supuestas en el Anexo A, esto condiciona los ingresos recibidos por el proyecto ya que mientras mayor densidad de árboles por hectárea que se consideren, la superficie objetivo del proyecto disminuirá.

El flujo de caja resultante para cada uno de los casos, considerando la plantación de 660, 330 y 100 árboles en una hectárea, se encuentra adjunto en la Tabla K.16, Tabla K.17, Tabla K.18 del Anexo K. Para determinar el valor de desecho, se consideró el método contable aplicando la Ecuación 9.3. Mientras que, para determinar el valor de depreciación, se utilizó la Ecuación 9.4 y sus resultados se encuentran presentes en la Tabla K.19 del Anexo K.

A continuación, en la Tabla 9.6. se presentan los resultados de los distintos casos, mediante indicadores económicos aplicando las Ecuaciones 9.1 y 9.2 respectivamente, y en la Tabla 9.7 se presentan los valores en UF.

Tabla 9.6: Indicadores económicos (CLP).

Financiamiento	Caso	Indicador económico	
Inversión proveniente de presupuesto de Restauración de Bosques Nativo a Gran Escala	1	VAN	\$-71.303.218
		TIR	--
	2	VAN	\$-72.898.642
		TIR	--
	3	VAN	\$-71.296.887
		TIR	-30%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.7: Indicadores económicos (UF).

Financiamiento	Caso	Indicador económico	
Inversión proveniente de presupuesto de Restauración de Bosques Nativo a Gran Escala	1	VAN	-5411,6 UF
		TIR	--
	2	VAN	-3952,1 UF
		TIR	--
	3	VAN	919,3 UF
		TIR	7%

Fuente: Elaboración propia.

9.1.2. Evaluación económica mediante proyecto privado

En cuanto a la inversión inicial del proyecto, al tratarse de una evaluación privada, debe ser considerado junto con el IVA, por lo que los precios ajustados se presentan en la Tabla 9.8, junto con los costos de las maquinarias y equipos, los detalles se encuentran dispuestos en el Anexo N. Cabe mencionar que el valor de infraestructura incluye el terreno por lo que se debiese considerar en este apartado, pero dada la modalidad del proyecto presentado son valores desconocidos que el encargado de la adquisición de esta nueva tecnología debiese considerar.

Tabla 9.8: Inversión inicial del proyecto.

Inversión	Costo (CLP)
Cubierta	\$343.740
Estudios ambientales	
Declaración de impacto ambiental	\$72.000.000
Maquinaria, equipos y accesorios	
Sección preparación del medio de cultivo	\$5.240.696
Sección cultivo de cianobacterias	\$9.073.677
Sección análisis bioquímico	\$2.968.188
Sección almacenamiento	\$320.840
TOTAL (CLP)	\$89.947.141

Fuente: Elaboración propia.

Los ingresos obtenidos son asociados al ahorro proveniente de los métodos de restauración convencionales, puesto que para la aplicación de fertilizantes nitrogenados por hectárea a tratar tienen un valor anual aproximado de \$954.812 considerando el IVA, información presentada en la Tabla 9.9.

Tabla 9.9: Ingresos anuales mediante ahorros.

AHORRO			
	Cantidad anual	Precios fertilizantes (CLP)	Total ahorrado (CLP/año)
Hidrogel	64,7 kg	2990 CLP/kg	\$193.321
Compost	38,8 m3	130 CLP/kg	\$5.043
Turba	25,9 m3	499 CLP/kg	\$12.905
Urea	323,3 kg	2300 CLP/kg	\$743.543
TOTAL			\$954.812
RECUPERACION DE VALOR AMBIENTAL			
Densidad de árboles plantados	Superficie recuperada (ha)	Valoración (CLP/ha)	Total ahorrado (CLP/año)
100 árboles por hectárea	129	\$284.713	\$36.816.692
330 árboles por hectárea	39	\$284.713	\$11.156.573
660 árboles por hectárea	20	\$284.713	\$5.578.287

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de los egresos, se considerarán las remuneraciones al personal de la planta de producción presentada en la Tabla 9.10 y los costos de operación que incluyen los consumos asociados a la planta de producción, presentados en la Tabla 9.11. Sin embargo, en este apartado se incluirían los costos de traslado, pero dado que la planta de producción está estipulada que sea *in situ* y el alcance de este estudio es considerado hasta la producción, se descarta la variable de traslado al lugar de aplicación.

Tabla 9.10: Remuneraciones.

Cargo	Costo Mensual (CLP)	Costo Anual (CLP)
Encargado de la planta	\$1.380.000	\$12.420.000
Operario full time	\$606.960	\$5.462.640
Operario part-time	\$269.760	\$2.427.840

Fuente: Elaboración propia basada en datos de Talent Chile (2023).

La estimación de la energía eléctrica requerida en la planta se encuentra detallada en el Anexo F y considerando un precio promedio de \$157 CLP kWh (Global Petrol Prices, 2023). Por otro lado, la estimación de agua consumida durante el proceso productivo corresponde a la detallada en el Título 7.2 del presente documento, considerando un precio de \$1.175 CLP por cada metro cúbico (Esva, 2023).

Tabla 9.11: Costos de operación.

ELECTRICIDAD		
Mes	Consumo anual [kWh]	Costo anual (CLP)
Enero	0	\$0
Febrero	0	\$0
Marzo	1955,43	\$307.003

Continuación **Tabla 9.11:** Costos de operación.

Abril	1893,63	\$297.301
Mayo	1955,73	\$307.050
Junio	1891,80	\$297.013
Julio	1955,43	\$307.003
Agosto	1955,43	\$307.003
Septiembre	1891,80	\$297.013
Octubre	1955,43	\$307.003
Noviembre	1891,80	\$297.013
Diciembre	0	\$0
TOTAL (CLP)		\$2.723.401
AGUA		
	Consumo anual [m3]	Costo anual (CLP)
Preparación del medio de cultivo	5,28	\$6.202
TOTAL (CLP)		\$6.202

Fuente: Elaboración propia.

El financiamiento de la inversión inicial para poner en marcha la planta de producción, dentro de uno de los escenarios evaluados, será realizado mediante la adjudicación de los fondos dispuestos por el DS 95/2009. Este subsidio es entregado en función a la totalidad de hectáreas que se pretenden reforestar, cuyo monto máximo de adjudicación según el reglamento es de 5 UTM ha⁻¹. Para la evaluación del presente capítulo se utiliza el valor de 1 UTM corregido a \$63.074 de acuerdo con su valor al día 29 de mayo del 2023.

Simulando la solicitud de este fondo para cada uno de los casos, donde se distinguen por la superficie total de influencia, es que para cada uno de estos el monto adquirido difiere de acuerdo con lo detallado en la Tabla 9.12. Por lo que se sugiere la solicitud de un préstamo bancario para financiar la diferencia existente entre lo asignado por el subsidio y la inversión inicial para los casos 1 y 2, mientras que para el caso 3 no se considera pertinente por el bajo monto.

Tabla 9.12: Determinación del préstamo financiado parcialmente con subsidio.

Casos	Subsidio	Préstamo
3	\$40.781.062	\$47.192
2	\$12.357.898	\$28.470.356
1	\$6.178.949	\$34.649.305

Fuente: Elaboración propia.

El flujo de caja resultante para el escenario de financiamiento realizado con un 100% de crédito de consumo en el Banco Estado a 60 meses, con una tasa de interés del 1,56% se encuentra adjunto en la Tabla K.1, Tabla K.3, Tabla K.5, del Anexo K para cada caso. En las Tablas K.2, K.4, K.6, se encuentra la amortización de cada una de las deudas.

El flujo de caja resultante para el escenario de financiamiento realizado parcialmente con el subsidio del Decreto 95, detallado en la Tabla 9.4 y, su diferencia resultante costado con un crédito de consumo en el Banco Estado, también a 60 meses y con una tasa de interés de 1,71%. Resultados

que se encuentran detallados en las Tablas K.8, K.10 y K.12, mientras que sus tablas de amortización se encuentran detalladas en las Tablas K.9 y K.11 para el caso 1 y 2 respectivamente, ubicadas en el Anexo K.

Por último, el flujo de caja para el escenario donde es financiado por inversionista en su totalidad se presenta en la Tabla K.13, K.14 y K.15 del Anexo K.

Para determinar el valor de desecho de los 3 escenarios de la evaluación privada, se consideró el método contable aplicando la Ecuación 9.3. Mientras que, para determinar el valor de depreciación, se utilizó la Ecuación 9.4 y sus resultados se encuentran presentes en la Tabla K.7 del Anexo K.

A continuación, en la Tabla 9.13 se presentan los resultados de los distintos escenarios, mediante indicadores económicos y en la Tabla 9.14 se presentan los valores en UF.

Tabla 9.13.: Indicadores económicos (CLP).

Financiamiento	Caso	Indicador económico	
Financiamiento total a través de crédito de consumo	1	VAN	\$ -89.948.919
		TIR	--
	2	VAN	\$ -89.949.064
		TIR	--
	3	VAN	\$ -89.945.867
		TIR	--
Financiamiento con fondos del DS 95/2009 + crédito de consumo	1	VAN	\$ -89.949.488
		TIR	--
	2	VAN	\$ -89.948.608
		TIR	--
	3	VAN	\$ -89.944.559
		TIR	--
Financiamiento total a través de un inversionista	1	VAN	\$ -89.949.582
		TIR	--
	2	VAN	\$ -89.948.887
		TIR	--
	3	VAN	\$ -89.945.691
		TIR	--

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.14: Indicadores económicos (UF).

Financiamiento	Caso	Indicador económico	
Financiamiento total a través de crédito de consumo	1	VAN	-4274,6
		TIR	--
	2	VAN	-4418,9
		TIR	--
	3	VAN	-1222,7
		TIR	--
Financiamiento con fondos del DS 95/2009 + crédito de consumo	1	VAN	-4843,2
		TIR	--
	2	VAN	-3963,0
		TIR	--
	3	VAN	86,0
		TIR	--
Financiamiento total a través de un inversionista	1	VAN	-4937,1
		TIR	--
	2	VAN	-4242,3
		TIR	--
	3	VAN	-1046,0
		TIR	--

Fuente: Elaboración propia.

9.2. Evaluación ambiental

De acuerdo con lo estipulado en el título II de la Ley 19.300 sobre las Bases Generales del Medio Ambiente (LBGMA), los instrumentos de gestión ambiental son herramientas que permiten contribuir a la protección del medio ambiente y, prevenir, atenuar o mejorar problemas ambientales. Dentro de este contexto surge el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, que de acuerdo con el artículo 8 de la LBGMA, “Los proyectos o actividades señalados en el artículo 10 sólo podrán ejecutarse o modificarse previa evaluación de su impacto ambiental, de acuerdo con lo establecido en la presente ley”.

Por su parte, el artículo 10 de la LBGMA y el artículo 3 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA), DS 40/2012 del Ministerio del Medio Ambiente, establece el listado de “proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualquiera de sus fases, que deberán someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental”.

De acuerdo con lo establecido anteriormente, quien adquiera el proyecto de esta nueva tecnología, debe ingresar al SEIA en consideración a lo señalado en el siguiente literal del artículo 10 de la LBGMA y artículo 3 del RSEIA:

- p) Ejecución de obras, programas o actividades en parques nacionales, reservas nacionales, monumentos naturales, reservas de zonas vírgenes, santuarios de la naturaleza, parques marinos, reservas marinas, humedales urbanos o en cualesquiera otras áreas colocadas bajo protección oficial, en los casos en que la legislación respectiva lo permita.

Se entiende por áreas protegidas cualesquiera porciones de territorio, delimitadas geográficamente y establecidas mediante un acto administrativo de autoridad competente, colocadas bajo protección oficial con la finalidad de asegurar la diversidad biológica, tutelar la preservación de la naturaleza o conservar el patrimonio ambiental.

La localización del proyecto dentro de áreas bajo protección oficial se justifica bajo los siguientes criterios:

- i) Ubicación de las áreas afectadas por incendios forestales que se desean restaurar.
- ii) Agilizar la producción y entrega de los recursos biológicos para la inoculación de plantines en la reforestación, todo esto desde una mirada desde la logística de mantenimiento y cultivos de estas. Adicional, se sugiere priorizar la selección de locación de la planta de producción en lugares que cuentan con accesos previos preexistentes, y escogiendo áreas de baja vegetación.

De acuerdo con lo estipulado en el artículo 18 de la LBGMA, el método de evaluación corresponderá a una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) siempre cuando no se cumplan las condiciones señaladas en el artículo 11 de la Ley, donde se indica que se requeriría de la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) si se generan o presentan a los menos uno de los efectos, características o circunstancias, que se señalan a continuación:

- a) Riesgo para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de efluentes, emisiones o residuos.

- b) Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire.
- c) Reasentamiento de comunidades humanas, o alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de grupos humanos.
- d) Localización en o próxima a poblaciones, recursos y áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación, humedales protegidos, glaciares y áreas con valor para la observación astronómica con fines de investigación científica, susceptibles de ser afectados, así como el valor ambiental del territorio en que se pretende emplazar.
- e) Alteración significativa, en términos de magnitud o duración, del valor paisajístico o turístico de una zona.
- f) Alteración de monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural. Para los efectos de evaluar el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b), se considerará lo establecido en las normas de calidad ambiental y de emisión vigentes. A falta de tales normas, se utilizarán como referencia las vigentes en los Estados que señale el reglamento.

Por lo que se debe llevar a cabo un estudio de las variables mencionadas anteriormente para descartar el cumplimiento de alguno de los incisos contenidos en el artículo 11 (Figura 9.1).

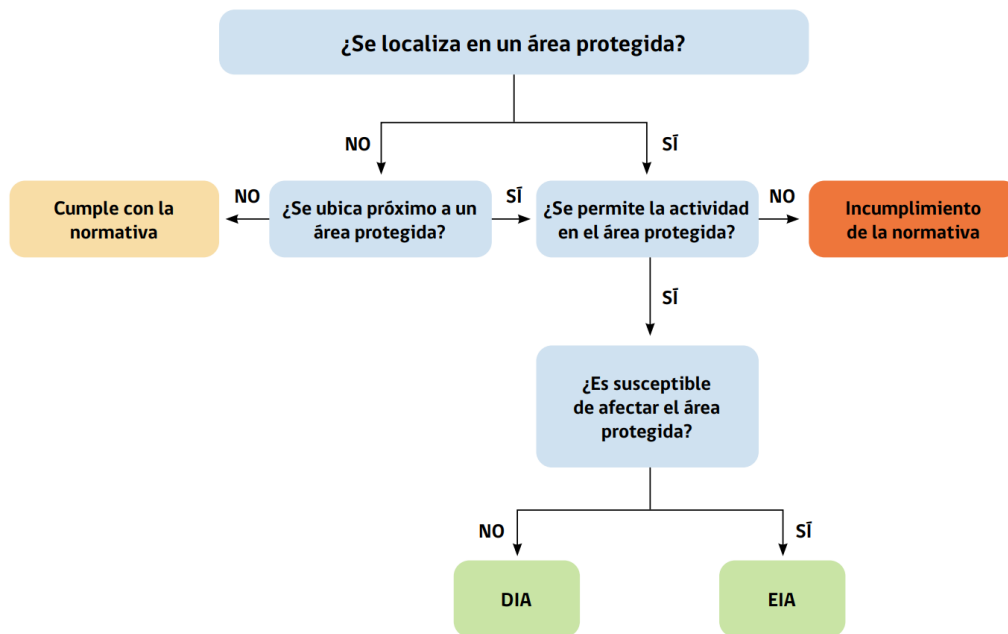


Figura 9.1: Criterios para la determinación de ingreso al SEIA (SEA, 2023)

En el caso particular de este proyecto, lo contenido en el inciso d, detallado en el artículo 8 del RSEIA, es el factor potencial por el que el proyecto deba ingresar como EIA. Por lo que se menciona que “a objeto de evaluar si el proyecto o actividad es susceptible de afectar recursos y áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación, humedales protegidos, glaciares o territorios con valor ambiental, se considerará la extensión, magnitud o duración de la intervención de sus partes, obras o acciones, así como de los impactos generados por el proyecto o actividad, teniendo en especial consideración los objetos de protección que se pretenden resguardar”.

Para determinar si la actividad es susceptible de afectar el área de emplazamiento, y de ser así, debe someterse a evaluación al SEIA como Estudio de Impacto Ambiental (EIA) se realiza un análisis crítico comparando los conceptos de evaluación y sus criterios de valoración, de acuerdo con sus propias definiciones y forma de expresión. Esto permite identificar las coincidencias y predominancia de criterios de valoración, así como establecer aquellos aspectos que se considera aportan elementos de menor utilidad al análisis. En base a esto se realiza la selección de los criterios de valoración, que son los recomendados por la legislación permitente, con tal de establecer la pertinencia del proyecto de acuerdo a lo propuesto por De La Maza en el año 2007 (Tabla 9.15).

Tabla 9.15: Criterio de evaluación en la matriz de impacto.

CRITERIO	Carácter	Duración	Reversibilidad	Probabilidad	Plazo	Área
EXPRESIÓN DE MANIFESTACIÓN	- Beneficioso - Adverso	- Permanente - Temporal	- Irreversible - Reversible	- Alta - Media - Baja	- Corto - Mediano - Largo	- Trasciende Área del Proyecto - Generalizada en Área del Proyecto - Inmediata a Intervención

Fuente: Elaboración propia basada en De la Maza (2007).

Donde:

Carácter

- Beneficioso: El resultado del proyecto presenta atributos positivos en el entorno.
- Adverso: El resultado del proyecto presenta atributos negativos en el entorno.

Duración

- Temporal: La manifestación de la alteración ocurre en un período limitado de tiempo.
- Permanente: La manifestación de la alteración ocurre en forma incesante en el tiempo.

Reversibilidad

- Reversible: La manifestación de la alteración es revocable ya sea como resultado de una evolución de procesos naturales o de una intervención antrópica.
- Irreversible: La manifestación de la alteración no es revocable por medio alguno.

Probabilidad

- Alta: Alteración cuya ocurrencia se presentará sin lugar a dudas.
- Media: La ocurrencia de la alteración se presentará con un alto nivel de seguridad, pero cabe la posibilidad que situaciones no previstas impidan su manifestación.
- Baja: Existe un alto nivel de seguridad, no absoluto, de que la alteración no ocurrirá.

Plazo

- Corto: La alteración ocurre inmediatamente o poco después que se inicia la ejecución de la acción que la provoca.
- Mediano: La alteración ocurre después de un tiempo variable de iniciada la ejecución de la acción que la provoca, pero siempre dentro del período en que se ejecuta la acción.
- Largo: La alteración se manifiesta tras un período de tiempo prolongado después de terminada la acción que la provoca.

Área

- Trasciende Área Proyecto: Corresponde a una alteración que incide en un sistema mayor que el área de implementación del proyecto o en un sistema localizado fuera de ella.
- Generalizada en Área Proyecto: Alteración que afecta la globalidad o a gran parte de los sistemas insertos en el área del proyecto.
- Área Inmediata: Alteración que afecta un sitio específico de un sistema, próximo al origen de la alteración, sin alterarlo en su globalidad.

En el caso particular de este proyecto, considerando el área de ubicación de obras y actividades de reforestación, se concluye que no hay existencia de impactos adversos dentro de las áreas protegidas de acuerdo con lo contenido en la Tabla 9.16. Esto también considerando que el área donde se emplazara la obra corresponde a sectores erosionados y afectados por incendios, donde hubo una pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos que se pretenden recuperar.

Tabla 9.16: Matriz de impacto del proyecto.

CRITERIO	Carácter	Duración	Reversibilidad	Probabilidad	Plazo	Área
EXPRESIÓN DE MANIFESTACIÓN	Beneficioso	Permanente	Irreversible	Alta	Largo	Trasciende Área del Proyecto

Fuente: Elaboración propia.

Una vez descartada la afectación del ecosistema de atributo negativo. El titular debe presentar al SEIA una Declaración de Impacto Ambiental con los siguientes contenidos mínimos:

- Antecedentes generales del proyecto.
- Descripción del proyecto Antecedentes que acredite que no requiere de la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental.
- Documentación y antecedentes que acrediten el cumplimiento de la normativa ambiental aplicable.
- Documentación y antecedentes que acrediten el cumplimiento de los Permisos Ambientales Sectoriales (PAS).
- Descripción que considere la relación del proyecto con políticas, planes y programas de desarrollo regional y comunal.
- Compromisos ambientales voluntarios si los considera.

En lo que respecta a tramitación documentación de los Permisos Ambientales Sectoriales (PAS), al presente proyecto es aplicable el PAS 150, que corresponde al permiso para la intervención de especies vegetales nativas clasificadas de conformidad con el artículo 37 de la Ley N° 19.300, que formen parte de un bosque nativo, o alteración de su hábitat. El permiso para la intervención de especies vegetales nativas clasificadas de conformidad con el artículo 37 de la Ley N° 19.300, que formen parte de un bosque nativo, o la alteración de su hábitat, será el establecido en el artículo 19 de la Ley N° 20.283, sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal.

Los requisitos para su otorgamiento consisten en que la intervención o alteración no amenace la continuidad de la especie a nivel de la cuenca o, excepcionalmente, fuera de ella, y que la intervención o alteración sea imprescindible. Los contenidos técnicos y formales que deben presentarse para acreditar su cumplimiento son los siguientes:

- a) Acreditación de las obras o actividades, para lo cual se deberá:
 - a.1. Indicar que corresponde a fines de investigaciones científicas o sanitarios, o
 - a.2. Indicar que corresponde a alguna de las actividades señaladas en el inciso cuarto del artículo 7° de la Ley N° 20.283, acompañando la declaratoria de interés nacional señalada en el inciso final del artículo 19 de la Ley N° 20.283.
- b) Justificación del carácter de imprescindible de la intervención o alteración.
- c) Indicación de las especies a ser afectadas, acompañando la información de su estado de conservación.
- d) Descripción de las áreas a intervenir incluyendo cartografía georreferenciada y número de individuos de cada especie a ser afectado.
- e) Informe de experto que señale las medidas para asegurar la continuidad de las especies con problemas de conservación afectadas.
- f) Antecedentes del o los predios objeto de intervención.
- g) Descripción de las obras asociadas a la intervención.
- h) Condiciones de la reforestación.
- i) Medidas de protección.

9.2.1. Inventario de residuos generados

En cuanto a los residuos generados en la planta, cuando esta se encuentre en su máxima capacidad, durante un periodo de tiempo anual se generan la cantidad de residuos presentados en la Tabla 9.17.

En cuanto a las bolsas para los fotobiorreactores, estas son de polietileno y se deben comprar 3 rollos de 4x10 metros cada 2 años, pero anualmente genera un residuo de 55,7 m² en su capacidad máxima de funcionamiento que considera los 5 fotobiorreactores, durante 8 meses de funcionamiento.

El residuo generado por el extracto acuoso tiene una concentración de sólidos disueltos de 0,0031 kg L⁻¹, un valor de pH de 11,2 y una masa de 120,43 kg anuales, que equivalen a 116 L aproximadamente.

Luego de la preparación del extracto ácido se generan 8,4 kg de residuos de ceniza anuales en su capacidad máxima.

Tabla 9.17: Residuos generados.

Residuo generado	Cantidad anual
Residuo extracto acuoso	120,43 kg
Residuo de ceniza sólida	8,4 kg
Bolsas de polietileno de 200 µm	0,28 kg m ⁻²
Mangueras bomba peristáltica	16 m

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la gestión de los residuos generados se plantean las siguientes soluciones:

Las bolsas de polietileno de 200 µm se reciclan anualmente, ya que con el lavado correspondiente se pueden volver a utilizar, pero al finalizar el proyecto se deben desechar como residuo biológico ya que por su contenido de materia orgánica no se pueden reciclar como el plástico correspondiente.

El extracto acuoso generado se puede catalogar como una solución básica dado su alto valor de pH. Este puede ser utilizado como estabilizador de suelos, específicamente como estabilizador de capas granulares y mejoramiento de la carpeta de rodadura.

Un suelo que presenta una baja resistencia y sufre deformaciones a causa de solicitaciones de tránsito o exposición al medio ambiente, también llamado suelo inestable, no puede ser utilizado como un material estructural en un camino, puesto que se necesita estabilizar aumentando sus propiedades mecánicas mediante la utilización de sales o productos químicos, que actúan como agentes aglomerantes entre las partículas de suelo (Cavieres, 2008). Por lo que las soluciones básicas según lo establece la Dirección de Vialidad, son aplicables a caminos de bajo tránsito, con pavimentaciones distintas a las tradicionales, las cuales podrían ser alternativas válidas para los más de 60.000 kilómetros de caminos aún sin pavimentar en sectores rurales, donde el tránsito de vehículos es escaso.

La estabilización consiste en adicionar a los suelos productos que permitan aglomerar la fracción fina de estos. Entre los productos que se utilizan, se encuentran sales minerales y productos ligantes o aglomerantes. Sus efectos ayudan a evitar el polvo, aumentar la confortabilidad y durabilidad de los suelos, evitan el desgaste de los materiales aplicados en la carpeta de rodadura, evitan extracciones frecuentes desde las fuentes de áridos, entre otros.

De acuerdo con los análisis químicos realizados a los residuos de ceniza (Tabla 9.18), estos contienen nutrientes fundamentales para las plantas y el suelo tales como magnesio, calcio, fósforo, potasio,

entre otros. Estudios previos como los de López *et al.* (2016) han concluido los beneficios del uso de cenizas para el cultivo de sandía, mientras que Palomar (2022) realizó un estudio donde se mide el efecto de la aplicación de cenizas de caldera sobre cultivos, identificando un crecimiento proporcional entre la dosis de cenizas incorporada y el rendimiento de los cultivos esto debido por los nutrientes contenidos en ella y la capacidad de neutralizar el pH en suelos ácidos.

Tabla 9.18: Caracterización de las cenizas como materia prima y residuos del proceso.

	Antes	Después	Unidad	Variación
pH	11,2	9,87	----	-13,5%
Conductividad eléctrica	20,0	5,73	dS m ⁻¹	-249,0%
Materia orgánica	2,20	5,89	%	62,6%
Nitrógeno total	0,02	0,002	%	-627,0%
Fósforo total	1,77	2,31	%	23,4%
Potasio total	5,81	0,61	%	-849,1%
Sodio total	1,23	0,26	%	-373,4%
Calcio	14,5	26,1	%	44,5%
Magnesio	1,56	2,83	%	44,8%
Nitrógeno amoniacal	5,60	4,55	mg/kg	-23,1%
Nitrógeno nítrico	110	6,30	mg/kg	-1644,4%
Zinc	86,6	761	mg/kg	88,6%
Manganeso	4726	5256	mg/kg	10,1%
Hierro	1499	2513	mg/kg	40,4%
Cobre	98,4	115	mg/kg	14,2%
Boro	204	189	mg/kg	-7,7%
Relación amonio/nitrato	0,05	0,72	----	92,9%
Relación carbono/nitrógeno	75,7	1486	----	94,9%
Humedad	0,85	1,43	%	40,6%

Fuente: Elaboración propia (con base de datos de Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar, 2023a; 2023b).

Por lo que una posible solución a los residuos de ceniza generado es implementar el residuo de ceniza en las pilas de compost de residuos orgánicos, puesto que los nutrientes que la componen son similares a las ya presentes en las pilas de compost. Sin embargo, como se puede notar en la variación de resultados de la Tabla 9.18, es probable que deba ser implementado como una fracción de residuos acompañado con otros tipos de materia orgánica para balancear la composición final de la pila de compost.

Para evitar la generación de residuos por las mangueras de las bombas peristálticas se sugiere, en lugar de tener un recambio de mangueras cada mes, tener un juego de mangueras de recambio por cada fotobiorreactor lo que permitiría lavarlas de manera alternada en función del mes que se

encuentren en desuso. Esto permitiría una reducción de los costos de inversión ya que, en lugar de necesitar 60 metros de mangueras de silicona, solo será necesario tener 16 metros. Para remover los residuos adheridos a las paredes, se recomienda usar agua caliente, mientras que para las mangueras utilizadas en la producción de medio de cultivo serán lavadas con detergentes alcalinos y cambiadas solo en caso de deterioro.

9.2.2. Huella de Carbono

La contaminación atmosférica y la huella de carbono son dos conceptos relacionados con la emisión de gases de efecto invernadero y su impacto en el medio ambiente. La relación entre ambos conceptos radica en que la emisión de gases de efecto invernadero es uno de los principales causantes de la contaminación atmosférica y del cambio climático. Por lo tanto, reducir la huella de carbono de una actividad, producto o servicio implica reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y, por ende, la contaminación atmosférica.

La Huella de Carbono representa la cantidad de gases efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios, y es considerada una de las más importantes herramientas para cuantificar las emisiones de dichos gases (Espíndola & Valderrama, 2012). Por lo que, mediante la cuantificación de estos gases permite determinar la parte del proceso en donde se producen los mayores aportes e incluso, como es en el presente caso, utilizarlo como indicador para la incorporación de medidas de eficiencia.

A la hora de calcular la huella de carbono se debe considerar los tipos de clasificación existentes para la agrupación de información y presentación de resultados. En este sentido hay que destacar la identificación de las emisiones directas e indirectas, alcances y fuentes.

En cuanto a la producción de emisiones directas de GEI, estas se refieren a las emisiones de fuentes que son propiedad de la organización y que también puede ser controladas por el mismo.

En cuanto a los alcances, se definen de la siguiente manera según Fundación Chile, en su informe emitido el año 2011 para la medición de huella de carbono en el Ministerio de Obras Públicas (MOP):

- Alcance 1: Comprende las emisiones directas generadas en fuentes de propiedad de la institución o controladas por ella. Incluyendo las fuentes que provienen de combustión fija, combustión móvil y emisiones por procesos específicos, que son propiedad o están en control de la empresa y emisiones fugitivas provenientes principalmente de escapes de hidrofluorocarbonos (HFCs) durante el uso de equipo de aire acondicionado.
- Alcance 2: Comprende las emisiones generadas por el consumo de la energía adquirida por la organización, siendo el consumo desde la red eléctrica la más popular.
- Alcance 3: Incluye las emisiones asociadas al transporte de insumos principales desde el centro o bodega de venta de un proveedor directo. Además, se incluye las emisiones por traslados de los funcionarios desde el hogar hasta las oficinas y por viajes de negocio, como también el traslado de residuos. En la práctica el reporte de este alcance es más complejo

que lo usual por el hecho que se reportan como propias las emisiones realizadas por otra organización, lo que puede producir la consideración múltiple de una misma emisión en el balance global dentro de un territorio.

Las calificaciones de las emisiones son realizadas por tipo de fuente, estas corresponden a las siguientes definiciones:

- Fuentes fijas o estacionarias: Corresponden a las emisiones por quema de combustibles en equipos estacionarios tales como generadores y calderas.
- Fuentes móviles: Quema de combustibles en equipos móviles tales como automóviles, camiones, buses, trenes, grúas horquilla, aviones, barcos, etc.
- Emisiones de procesos: Emisiones debidas a procesos químicos o físicos específicos, tales como la elaboración de ácido nítrico a partir de amoníaco.
- Emisiones fugitivas: Fugas intencionales o no intencionales de otros gases (CFCs, HFCs, SF6).

En el presente proyecto los límites del sistema consideraran únicamente la planta de producción, por lo que, se considera solo las emisiones generadas para la producción del microorganismo, específicamente, el consumo energético, que, según las clasificaciones, corresponde al alcance 2 como fuente fija.

El método más adecuado y aproximado para calcular huella de carbono es mediante la aplicación de factores de emisión reconocidos y documentados, datos oficiales que fueron provenientes de Huella Chile perteneciente al Ministerio del Medio Ambiente, y para el caso particular de los factores de emisión por consumo de energía eléctrica, son datos publicados por el Ministerio de Energía.

Para estructurar la recolección de información, como para también definir los límites y alcances del estudio es necesario decidir qué áreas de la organización se incluirán para efectos de los cálculos, así como identificar las fuentes emisoras asociadas a las operaciones dentro de esas áreas, distinguiendo entre emisiones directas e indirectas. Esta información se recopiló mediante el factor de emisión por consumo energético del año 2022, presentado en la Tabla 9.19.

Tabla 9.19: Factor de emisión por consumo energético durante el año 2022.

Mes	FE [kg CO ₂ kWh]
Enero	0,3073
Febrero	0,3366
Marzo	0,3746
Abril	0,3823
Mayo	0,3803
Junio	0,378
Julio	0,3357
Agosto	0,2799
Septiembre	0,2331
Octubre	0,1872
Noviembre	0,195
Diciembre	0,2173

Fuente: Energía abierta (2023).

Posteriormente se designarán los límites y el tiempo de estudio, donde abarcará toda la planta de producción, pero enfocado en el consumo energético durante un periodo de tiempo de 1 año. Siendo este alcance una emisión indirecta, ya que es proveniente de la central de energía.

Para el consumo energético se considerarán los equipos y su uso en los meses correspondientes, dado que la planta de producción estará funcionando de mayo a agosto, pero no todos los equipos estarán funcionando simultáneamente, el detalle de cuanto consume cada equipo mensual está en el Anexo F y el resumen de esta información se detallará a continuación en la Tabla 9.20.

Tabla 9.20: Consumo total de energía mensual.

Mes	Consumo total [kWh]
Enero	0
Febrero	0
Marzo	1955,7
Abril	1893,6
Mayo	1955,4
Junio	1891,8
Julio	1955,4
Agosto	1955,4
Septiembre	1891,8
Octubre	1955,4
Noviembre	1891,8
Diciembre	0

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos de energía abierta y el consumo generado por la planta de producción se calcularán las emisiones de CO₂eq mediante la Ecuación 9.4 (Garrido, 2013).

$$CO_2eq = E * FE \quad (Ec. 9.4)$$

Donde:

CO₂eq: Dioxido de carbono equivalente emitido a la atmosfera $\left[\frac{kgCO_2}{mes} \right]$

E: Consumo mensual de energía $\left[\frac{kWh}{mes} \right]$

FE: Factor de emisión por consumo desde la red eléctrica $\left[\frac{kg * CO_2}{kWh} \right]$

En la Tabla 9.21 se presentan los resultados de la huella de carbono generada anualmente.

Tabla 9.21: Resultados calculo huella de carbono.

Mes	Co2eq [kgCO ₂ eq]
Enero	0
Febrero	0
Marzo	732,62
Abril	723,94
Mayo	743,65
Junio	715,10
Julio	656,44

Continuación **Tabla 9.21:** Resultados calculo huella de carbono

Agosto	547,33
Septiembre	440,98
Octubre	366,06
Noviembre	368,90
Diciembre	0
Total [kgCO2 eq año⁻¹]	5295,01

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, las cianobacterias son microorganismos fotosintéticos, lo que implica la captación de CO₂, permitiendo disminuir la huella de carbono. Según un estudio presentado, las cianobacterias capturan 3 gCO₂eq L⁻¹ d⁻¹ con una concentración de 1 g L⁻¹(López *et al.*, 2009). Considerando los 243 días de producción al año en su capacidad máxima de 1000 L (5 fotobiorreactores) y la concentración del cultivo que son 0,8 g L⁻¹ se podrían reducir 583,2 kg CO₂ eq anuales.

Ya que su huella de carbono es netamente por el consumo energético, se plantea disminuir este indicador mediante la obtención de energía de fuentes renovables, en el presente caso se propone que esta sea energía solar mediante paneles fotovoltaicos.

La ubicación de estimación fue en la Reserva Nacional del Lago Peñuelas dado que es el lugar de investigación, sin embargo, la propuesta de implementación es variada en función a su ubicación y área disponible.

A continuación, se presenta el procedimiento para el cálculo de los módulos de paneles fotovoltaicos.

Lo primero que se debe considerar es el área disponible para la aplicación de paneles solares, puesto que serán implementadas en la Reserva Nacional del Lago Peñuelas se dispuso de 50 m² y considerando el panel fotovoltaico de Canadian Solar presentado en el Anexo L se obtuvo la cantidad de placas disponibles para el área dispuesta, mediante las ecuaciones obtenidas del software Solarweb (2017).

$$N^{\circ}_{placas} = \frac{\text{Área disponible}}{\text{Área cada placa}}$$

La cantidad de placas requeridas aproximadamente es de 30, con las cuales se trabajará para calcular la potencia del inversor mediante la Ecuación 9.5.

$$P_{total_{placas}} = P_{max} * \text{Cantidad placas (Ec. 9.5)}$$

Donde:

$P_{total_{placas}}$: Potencia total generada en el sistema [W]

P_{max} : Potencia máxima generada por placa[W]

El inversor se seleccionó en función a la potencia obtenida por el total de placas, puesto que el modelo que más se ajustaba, correspondía al MOD 13KTL3-X con 19,5 kW de potencia máxima de entrada recomendada por los módulos, su ficha técnica se encuentra presente en el Anexo M.

Luego se calculó la cantidad de módulos que deben estar en serie y en paralelo, mediante las Ecuaciones 9.6 y 9.7.

$$n_{smax} = \frac{V_{dcmaxINV}}{V_{OC}} \quad (Ec. 9.6)$$

Donde:

- n_{smax} : Número maximo de placas en serie
- $V_{dcmaxINV}$: Tensión maxima de entrada del inversor [V]
- V_{OC} : Tensión de circuito abierto de un panel [V]

$$n_{smin} = \frac{V_{MPPminINV}}{V_{MPP \min panel}} \quad (Ec. 9.7)$$

Donde:

- n_{smin} : Numero minimo de placas en serie
- $V_{MPPminINV}$: Tension del punto de funcionamiento minima del inversor [V]
- $V_{MPP \min panel}$: Tension minima de la placa en el punto optimo de funcionamiento [V]

Y por último se calcula la cantidad máxima de paralelos para el sistema fotovoltaico mediante la Ecuación 9.8

$$n_{STRINGmax} = \frac{I_{DCmaxINV}}{I_{SCmaxpanel}} \quad (Ec. 9.8)$$

Donde:

- $n_{STRINGmax}$: Numero maximos de strings (paralelo)
- $I_{DCmaxINV}$: Corriente maxima de entrada que soporta el inversor [A]
- $I_{SCmaxpanel}$: Corriente maxima que proporcionan los paneles [A]

Los resultados de las ecuaciones presentadas anteriormente se resumen en la Tabla 9.22

Tabla 9.22: Resultados módulos paneles fotovoltaicos.

Parámetro	Valor	Unidad de medida
Área disponible	50	m ²
Área modulo	1,63	m ²
Cantidad de placas	30	-
Potencia por placa	280	W
Potencia total generada	8,4	kW
n_{Smax}	29	Cantidad placas
n_{Smin}	4	Cantidad de placas
$n_{STRINGmax}$	2	Cantidad de placas en paralelo

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la cantidad de placas a instalar y las 2 entradas de MPPT que tiene el inversor se proponen conectar en paralelo 15 placas en cada una de las series.

Para el cálculo del amperaje del cable se tomó la corriente de corto circuito del inversor por el número de strings y se multiplicaron dos factores de seguridad: 1,25 del factor de electricidad y 1,25 del factor de seguridad del panel. Estos factores de seguridad son para que no haya ningún problema de corto circuito por un exceso de generación de energía, ayudando a que no se queme el sistema, especialmente el cableado a la hora en que se esté generando la energía, esto se realizó mediante la Ecuación 9.9.

$$I_{cable} = I_{sc} * 2 * FS_e * FS_p \text{ (Ec. 9.9)}$$

Donde:

- I_{cable} : Intensidad del cable [A]
- I_{sc} : Corriente corte circuito [A]
- FS_e : Factor de seguridad electrica
- FS_p : Factor de seguridad panel

Dado el amperaje que soportan los cables de cobre se seleccionó el de 10 AWG (Herrera, s/f) y para la determinación del largo (L_{cable}) se deben considerar la cantidad de placa por string y por el ancho del panel, considerando un recorrido de ida y vuelta. Esta consideración se realiza para la instalación del inversor y la distancia que tendrá con el sistema, además de la distancia de ida y vuelta del inversor hasta el lugar de instalación de los paneles. (Ecuación 9.10).

$$L_{cable} = (N^{\circ}_{string} * \text{Ancho del panel}) * 2 + \text{altura} * 2 \text{ (Ec. 9.10)}$$

$$L_{cable} = (15 + 15) * 0,992 * 2 + \text{altura} * 2$$

El soporte de los paneles se recomienda en una estructura de 30° de inclinación, con la finalidad de minimizar las pérdidas de energía solar, ya que la latitud de la Región de estudio corresponde a -33° aproximadamente.

A continuación, se debe considerar las horas luz mensuales, esta información se recopiló de un promedio de las horas luz mensuales en la región de Valparaíso entre los años 1999-2019 presentado en la Tabla 9.23 junto con la energía entregada por placa, que es la potencia de estas por las horas solares mensuales.

Tabla 9.23: Energía obtenida con la aplicación de paneles fotovoltaicos.

Mes	Horas de sol	Energía por panel [kWh/día]
Enero	10,9	3,052
Febrero	10,3	2,884
Marzo	9,8	2,744
Abril	8,6	2,408
Mayo	7,6	2,128
Junio	7,3	2,044
Julio	7,5	2,1
Agosto	7,8	2,184
Septiembre	8,5	2,38
Octubre	9,7	2,716
Noviembre	10,8	3,024
Diciembre	11,1	3,108

Fuente: Climate Data (2023).

Considerando que la planta tendrá funcionamiento solo los meses de mayo hasta agosto se calculó la diferencia entre la energía producida por el sistema completo mensual (considerando los 30 paneles fotovoltaicos) y la energía requerida mensual, dando a favor energía. Esta información se presenta en la Tabla 9.24.

Tabla 9.24: Energía obtenida con sistema fotovoltaico.

Mes	Horas de sol	Energía por panel [Wh/d]	Energía por panel [kWh/d]	Energía por sistema FB [kWh/mes]	Energía total [kWh/mes]	Diferencia Energía obtenida–requerida [kWh]
Enero	10,9	3052	3,052	2746,8	0	-
Febrero	10,3	2884	2,884	2595,6	0	-
Marzo	9,8	2744	2,744	2469,6	1955,7	513,9
Abril	8,6	2408	2,408	2167,2	1893,6	273,6
Mayo	7,6	2128	2,128	1915,2	1955,4	-40,2
Junio	7,3	2044	2,044	1839,6	1891,8	-52,2
Julio	7,5	2100	2,1	1890	1955,4	-65,4
Agosto	7,8	2184	2,184	1965,6	1955,4	10,2
Septiembre	8,5	2380	2,38	2142	1891,8	250,2
Octubre	9,7	2716	2,716	2444,4	1955,4	489,0
Noviembre	10,8	3024	3,024	2721,6	1891,8	829,8
Diciembre	11,1	3108	3,108	2797,2	0	-

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 10: DISCUSIÓN

El presente estudio se llevó a cabo por las necesidades actuales para combatir el cambio climático y recuperación de ecosistemas dañados, los cuales están compuestos principalmente por los incendios forestales a nivel mundial y nacional. Como medida de dilatar los efectos previstos por la crisis climática es que una de las tareas comprometidas por los países consiste en la recuperación de bosques erosionados por incendios forestales para aumentar la superficie mundial de sumideros de CO₂, así como también balancear el clima y promover el equilibrio en los ciclos ecosistémicos (Greenpeace, 2023). Es por esta razón que Chile realizó el compromiso de restaurar un millón de hectáreas de bosque nativo a nivel nacional para el año 2030 como manera de contrarrestar el incremento de incendios forestales en el país, los cuales tienen una tendencia de incremento anual del orden de 1.748 hectáreas de acuerdo al análisis de las tendencias en los últimos 45 años a nivel nacional (Diario Sustentable, 2022; CONAF, 2022d)

Por el incremento de incendios forestales a nivel mundial, y sumándole las acciones y fondos comprometidos en la Declaración de los líderes de Glasgow sobre los bosques y uso de la tierra de la COP26 en la cual 145 países son parte de las acciones para restaurar 40.592.796 km² de bosques, es que se prevé un aumento sustancial en la demanda de fertilizante para la realización de actividades de reforestación además del incremento de la demanda ya existente de fertilizantes para los cultivos agrícolas para consumo humano y ganadero, que también tiende a la alza por el crecimiento demográfico (UN Climate Change, 2023). Sin embargo, el mercado mundial de los fertilizantes se ha contraído durante los últimos años a causa de conflictos sociales, económicos y ambientales, desencadenados principalmente por el conflicto bélico en Rusia, potencia que representa el 40% del mercado (Casado, 2022). Como resultado de las problemáticas mencionadas, el precio de fertilizantes se ha incrementado hasta en un 300%, que ha terminado dificultando la implementación de tareas de restauración (Casado, 2022). Por ende, se propuso la implementación de esta nueva tecnología con la normativa vigente, dada la nueva promulgación de la Ley 21.349 que estipula el uso de fertilizantes orgánicos especificando su definición, categoría del producto final, venta y empaquetado de este. Las políticas que han surgido en este último tiempo como las propuestas presentadas por el Centro Nacional de Bioinsumos hacen alusión a que se sigan implementando y vayan en aumento las nuevas tecnologías relacionadas con el uso de fertilizantes orgánicos. Esto marca un precedente que la aplicación de cianobacterias es una metodología que podría realizarse, debido a que, las políticas de estado están dirigidas hacia ese horizonte actualmente, que es enfocado en el reemplazo de los productos químicos por los orgánicos. Dentro de la tipología de fertilizante orgánico se categoriza la inoculación con cianobacterias en las plantas, que tiene como limitantes los factores o condiciones ambientales del lugar aplicar, dado esta razón, se centraliza la zona de aplicación en el lugar de estudio previo realizado en la Reserva Nacional del Lago Peñuelas o de algún otro que tenga condiciones ambientales similares.

Como resultado de los análisis previos es que se estableció el límite temporal en la evaluación del proyecto hasta el año 2030, considerando la inversión realizada desde el año 2023. Para determinar en una primera instancia el mercado actual de los fertilizantes, y de esta manera concluir si es factible la comercialización, distribución y/o adquisición de la tecnología, en esta iniciativa se comparó con las alternativas convencionales para mejorar la composición mineral del suelo dentro de métodos de restauración. En el caso particular de las plantaciones forestales compuestas con especies nativas, la información disponible referente a las dosis de nutrientes necesarios para su desarrollo no se encuentra bastamente estudiada como se da en los casos de plantaciones de explotación forestal, sin embargo, se generaliza que los productos fertilizantes aplicados a las plantas deben aportar nitrógeno, fósforo, boro y potasio para los suelos erosionados y baja composición nutricional (Donoso *et al.*, 2015). De acuerdo con la información recopilada por Donoso *et al.* (2015), en la Tabla 10.1 se detalla la dosificación por planta de fertilizantes convencionales para suelos pobres.

Tabla 10.1: Dosis máximas de fertilización en suelo pobres

Ocasión de la fertilización	Gramos de fertilizante por planta		
	Urea (nitrógeno)	Superfosfato triple (fósforo)	Sulfato de potasio (potasio)
Año 1	20	25	7
Año 2	45	65	17
Raleo 1	260	400	120
Raleo 2	150	100	12

Fuente: Donoso *et al.* (2015).

Para el caso particular del fertilizante elaborado en la planta propuesta es que se determina que la dosis de aplicación por árbol es de 0,25 g_{ms}, considerando la dosis recomendada de 8 g_{ms} m⁻². Esto es equivalente a la aplicación de 0,31 L del caldo de cianobacterias por planta.

El mercado de los bioinsumos en el país, considerando bioestimulantes, biocontroladores, biofertilizantes, entre otros, es categorizado como un mercado segregado y de fácil introducción como consecuencia de la alta competitividad y la ausencia de productores dominantes, de las cuales lidera la industria española, estadounidense y colombiana (Lizama, 2021). En cuanto al mercado en particular de bioinsumos se determina que, de las empresas ya existentes en Chile, un 34 % se declara productora, un 50 % importadoras y un 16 % se dedica a ambos rubros (Lizama, 2021), y de acuerdo con datos consolidados por la Redagrícola (2016), la oferta de este tipo de productos esta liderada por los bioestimulantes con un 51% del mercado y seguido por los biofertilizantes con un 30% (Figura 10.1). Sin embargo, según los análisis comerciales publicados por Mordor Intelligence (2023), se prevé que la participación de biofertilizantes, definidos como fertilizantes orgánicos basados en microorganismos, crezca a una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 13,3% en los próximos 5 años.

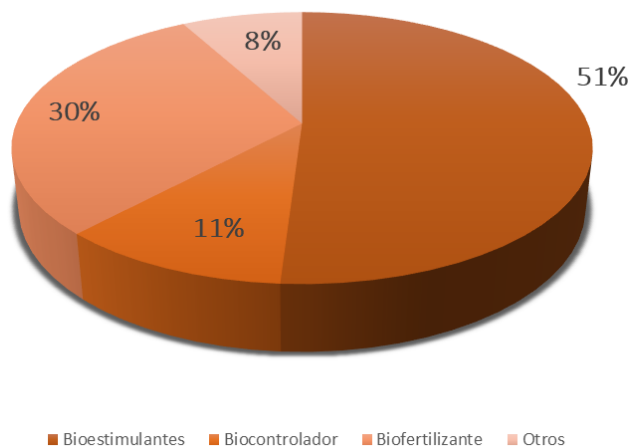


Figura 10.1: Bioinsumos según nombre de venta en Chile (Martínez, *et al.*, 2016).

En cuanto a las características de la producción del fertilizante orgánico en base a cianobacterias presentados en el Proyecto es posible identificar los puntos críticos centrados principalmente en el manejo de estos microorganismos, sin embargo, el almacenamiento del cultivo cosechado es la parte de proceso donde se sugiere mayor cuidado y atención, puesto que, por la ausencia de alimentación del sustrato, y el consumo de los nutrientes restantes en el medio, existe la posibilidad de la muerte de la biomasa, por lo que el tiempo de almacenamiento y análisis bioquímicos de la cosecha, deben ser realizados periódicamente. Por otro lado, la metodología propuesta en el diseño de la planta facilita otras aristas como el tiempo de traslado de los mejoradores de suelo por estar situada, idealmente, a menos de 10 km del lugar de aplicación para agilizar la aplicación directa en las plantas, así también contrarrestar la limitancia del tiempo de almacenamiento de las cianobacterias por la poca durabilidad del cultivo. Otra arista favorable del cultivo producido es la afectación a dos principios fundamentales para el crecimiento vegetal; el aporte de minerales y estimular la capacidad de absorción de nutrientes de las plantas con este único producto, también es un aporte en la absorción de dióxido de carbono en la etapa de crecimiento de este microorganismo al ser fotosintético. Pues esta metodología favorece a la valorización del residuo proveniente de industrias frutícolas siendo la ceniza de madera utilizada como sustrato.

El presente trabajo aborda la producción de cianobacterias para la reforestación de aproximadamente 13,000 árboles en un año calendario, por lo que para determinar la superficie total que se puede restaurar con la máxima capacidad de la planta, es que se consideraron diferentes densidades arbóreas para obtener este resultado. Puesto que los servicios actuales de reforestación por parte de CONAF varían entre 100 a 660 árboles por hectáreas, es que se calculó que con la planta de producción es posible recuperar entre 20, 39 y 129 hectáreas, en función de la base de cálculo implementada.

El cultivo de cianobacterias propuesto requiere que el medio de cultivo se prepare seis veces, siendo el primero para la puesta en marcha con duración de 30 días y los otros 5 para la alimentación del cultivo durante 243 días, con una diferencia de 50 días entre la producción de cada medio de cultivo y otro, considerando que su capacidad máxima de producción es de 800,4 litros en 2 días, tiempo que es independiente de las pocas horas de uso real de los equipos para la preparación del medio de cultivo, sin embargo, el requerimiento fundamental en esta etapa del proceso, es la decantación del extracto

acuoso. Por lo que, como propuesta de mejoramiento del proyecto, se sugiere escalar o aumentar la producción del medio de cultivo y evaluar la posibilidad de implementar varias plantas de producción de cianobacterias dentro del territorio a reforestar, considerando solo modularidad de la sección del cultivo de cianobacterias, mientras que la sección de preparación del medio de cultivo análisis bioquímico y almacenamiento sea en una zona fija. Esto permitirá que con los mismos equipos se pueda aumentar la producción total medio de cultivo 54 veces más (considerando dos días de elaboración y dos días de limpieza y mantenimiento de equipos) y la de fertilizante en base a cianobacterias 10,1 veces, posibilitando la aplicación a 130.928 árboles en un año de producción. Sin embargo, es importante tener en consideración el aumento de la inversión inicial para la adquisición de mayor cantidad de materiales y equipos correspondientes a la sección de cultivo de cianobacterias.

Según la evaluación económica realizada en todos los casos evaluados el único viable es considerar suficiente la reforestación de 100 árboles en una hectárea, pero no se considera rentable ya que este tipo de actividades suelen considerar una mayor cantidad de árboles por hectáreas justificada en la baja sobrevivencia de las especies que se plantan en esas condiciones de disminución de los nutrientes esenciales en el suelo, como también la ausencia de riego automatizado. Por lo que se sugiere el estudio de la sobrevivencia aplicando las cianobacterias como producto final, para determinar fehacientemente que el caso 1 de estudio plantando 100 árboles, asegure la vitalidad de su mayoría.

Si bien se pudo comprobar que la planta propuesta no es rentable en comparación a los precios de los fertilizantes químicos comunes en el mercado mientras no se investigue la hipótesis anterior, considera otras variables que pueden ser valorizables en cuanto al medio ambiente, como lo es el valor paisajísticos y su aporte como fuentes de agua al ecosistema, además de generar sub productos, que se cuentan con aplicación directa para su uso en distintas actividades y no requieren de un tratamiento previo exceptuando las bolsas del cultivo ya que no pueden ser reutilizadas al finalizar su vida útil, dado que el contenido de ellas puede estar contaminado por la producción de este microorganismo, por lo que debe ser gestionada como residuo biológico

Las emisiones de huella de carbono, hasta se podrían considerar 0 emisiones si se acepta la sugerencia de aplicación de paneles fotovoltaicos. Puesto que producir un kilo de nitrógeno para los fertilizantes químicos emiten 7 kg CO₂ eq. Mientras que para la producción de compost se genera 34,8 kg CO₂ eq por 1 tonelada de desecho tratado y se obtiene 30% de la totalidad en peso de compost, siendo de aplicación 3 litros de este fertilizante por cada árbol, por lo que se necesitarían 38.793 L para la capacidad de esta planta que son 12.931 árboles, generando 10.357.398,67 kg CO₂ eq.

Este proyecto debe ser ingresado al Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental como una Declaración de Impacto Ambiental, cuyos costos de estudios no han sido considerados para la evaluación económica de este proyecto. Lo que implica un punto crucial a considerar, puesta la modalidad *in situ* que sugiere la evaluación del presente trabajo, esto podría insinuar que cada vez que se requiera utilizar esta tecnología para reforestar en áreas protegidas deba ser sometida nuevamente a evaluación. Sin embargo, no es solo un costo monetario, también conlleva tiempo en tanto en su elaboración, como en las observaciones y evaluación final que se deba realizar por los Órganos de Administración del Estado con Competencias ambientales.

Sin embargo, si quien adquiera esta tecnología corresponde a una empresa de menor tamaño conforme a la Ley y que el área de aplicación se encuentre dentro de un área regulada por un

instrumento de planificación territorial, puede someterse a un proceso de evaluación y certificación de conformidad respecto al cumplimiento de la normativa ambiental aplicable, cuyo proceso necesita menos tramitación. En caso de que se encuentre fuera de un área regulada por un instrumento de planificación territorial puede ser evaluada mediante un proceso de participación ciudadana convocada por la comisión de evaluación.

Por lo mencionado anteriormente se presentan las siguientes sugerencias, principalmente en desistir de que la planta de producción sea *in situ*, permitiendo mejorar el control de las variables lo que permitiría aumentar los meses de producción dado este mismo argumento, también otra opción, es considerar in situ solo la producción de cianobacterias, pero la elaboración del medio de cultivo que se mantenga en un lugar fijo.

CAPÍTULO 11: CONCLUSIONES

Este proyecto es legamente viable, dada las normativas nacionales aplicables, principalmente el cumplimiento de la Ley 19.300 sobre Las Bases Generales del Medio Ambiente, siendo primordial el cumplimiento de esta ley ya que establece la protección al medio ambiente, preservación de la naturaleza y conservación del patrimonio ambiental, donde uno de los puntos fundamentales con el objetivo del presente proyecto, es la implementación de fertilizantes en los suelos siniestrados, como también evitar la pérdida de los suelos y remediar su degradación. Desde la misma perspectiva, el caso de que el proyecto sea inserto dentro de un área protegida, quedo comprobado el cumplimiento con el Decreto 40 quien estipula la evaluación ambiental de diversas actividades, descartando el ingreso a evaluación mediante un estudio e ingresando como una declaración dado que los impactos producidos por el proyecto son de carácter beneficioso.

Otra normativa que justifica la viabilidad de este proyecto es la Ley 21.349 que introduce los términos de fertilizante orgánico y bioestimulante como manera de formalizar la producción de estos, marcando un precedente de las medidas tomadas por el país en función a la Ley 21.455 Marco de Cambio Climático. Además de compensar la disminución de la oferta mundial de fertilizantes químicos y el cumplimiento de los acuerdos generados para eliminar su uso como acción para abatir el cambio climático.

En cuanto al estudio de mercado estudiado, es difícil la comparación de productos finales como fertilizantes, porque si bien son de menores costos los fertilizantes comunes, el alcance de este proyecto imposibilita la comparación directa, ya que el estudio presente es la producción del fertilizante orgánico, siendo las cianobacterias, versus el producto final como los fertilizantes convencionales, por lo que los costos no serían un indicador tan fiable, no obstante, los beneficios ambientales si pueden ser comparados de manera directa, aumentando la capacidad de disminuir el dióxido de carbono en la atmosfera al estarse produciendo un organismo fotosintético. Otro punto beneficioso en la aplicación de fertilizante orgánico a base de cianobacterias es que posibilita también la tarea de estimulación en la planta dentro de un mismo producto, en comparación a otras alternativas del mercado.

Para el diseño de la planta de producción fue posible hacer una estimación de equipos a base de una cierta cantidad de árboles a reforestar, que finalmente se escaló y se llegó a la producción de cianobacterias necesaria para la plantación de cerca de 13 mil árboles anuales. Esta tuvo como limitantes los meses de producción, su disposición de fácil armado y desarmado ya que se requería que sea una planta de producción modular y por los costos, ya sean de mano de obra o de equipos, con la finalidad de aplicar estas tecnologías en bosques nativos y disminuir la mayor cantidad de costos posibles, dada la dificultad de la recuperación de la inversión, puesto que se centró en actividades de revegetación para recuperar bosques nativos. Sin embargo, fue posible encontrar un escenario favorable en la evaluación económica de este proyecto considerando la valorización al ecosistema.

Si bien algunos indicadores dieron valores positivos, estos ingresos no son tangibles lo que podría dificultar la elección de esta tecnología considerando que en el mercado hay otras alternativas a menor costo, mientras que no se evalúen las sugerencias realizadas en la discusión. Por lo que se puede concluir que la planta de producción es viable ambientalmente, pero no económicamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Aarne Vesilind, P., Morgan S. M. & Heine, L. G. (2010). Introduction to Environmental Engineering. Stamford, USA: Cengage Learning.
- Acea, M. J., Prieto-Fernández, A., & Diz-Cid, N. (2003). Cyanobacterial inoculation of heated soils: effect on microorganisms of C and N cycles and on chemical composition in soil surface. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(4), 513-524.
- Agriculture, U. D. (Marzo de 2013). Wikimedia. Recuperado el 20 de Enero de 2016, de https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ALouisiana_Catfish_Ponds_k4724-7.jpg
- Aguirre, N., Torres, J., & Velasco, P. (2013). Guía para la restauración ecológica en los páramos del Antisana. *Volumen I, 9-13 pp. Quito, Ecuador: Fondo de protección del agua FONAG.*
- Alchimia Grow Shop. (2022, noviembre 2). Fertilizantes y huella de carbono. Alchimiaweb.com; Alchimia Grow Shop. <https://www.alchimiaweb.com/blog/fertilizantes-huella-carbono/>
- Allen, M. B., & Arnon, D. I. (1955). Studies on nitrogen-fixing blue-green algae. I. Growth and nitrogen fixation by *Anabaena cylindrica* Lemm. *Plant physiology*, 30(4), 366.
- Altamirano, A., Salas, C., Yaitul, V., Smith-Ramirez, C., & Ávila, A. (2013). Influencia de la heterogeneidad del paisaje en la ocurrencia de incendios forestales en Chile Central. *Revista de Geografía Norte Grande*, (55), 157-170.
- Amazon. (2023). Fermtech Super Colombo Plate - Máquina de filtro de vino comercial para filtrar vino, agua, infusiones, cervezas, soluciones farmacéuticas, perfumes. Bomba de transferencia (4 almohadillas). Recuperado de: <<https://www.amazon.com/-/es/Fermtech-Super-Colombo-Plate-farmac%C3%A9uticas/dp/B09NV2Y928?th=1>>
- Arirang plásticos. (2023). Bidón 25 lts. Boca ancha sin llave. Recuperado de: <<https://arirangplasticos.cl/had-38-bidon-25-lts-boca-ancha-sin-llave>>
- Armesto, J. J., Donoso Hiriart, P., Lara Aguilar, A., Nahuelhual Muñoz, L. A., Soto, D. & Wernli Küpfer, C. (2003). Componentes científicos clave para una política nacional sobre usos, servicios y conservación de los bosques nativos chilenos.
- Beerwall. (2023). Fermentador INFINITY 200 L. Recuperado de: <<https://www.beerwall.cl/fermentador-infinity-200-l>>
- Bekker, A., Holland, H. D., Wang, P. L., Rumble, D. I. I., Stein, H. J., Hannah, J. L., ... & Beukes, N. J. (2004). Dating the rise of atmospheric oxygen. *Nature*, 427(6970), 117-120.
- Bisbal, G. (2022). Cómo afectan los incendios forestales a la fauna y flora. Mis animales. Recuperado de: <<https://misanimales.com/como-afectan-los-incendios-forestales-a-la-fauna-y-flora/>>
- Borowitzka, M. A., & Moheimani, N. R. (2013). Open pond culture systems. In *Algae for biofuels and energy* (pp. 133-152). Springer, Dordrecht.

- Boyer, S. L., Johansen, J. R. y Flechtner, V. R. (2002). Phylogeny and genetic variance in terrestrial Microcoleus (Cyanophyceae) species based on sequence analysis of the 16S rRNA gene and associated 16S-23S ITS region. *Journal of Phycology* 38:1222-1235. doi.org/10.1046/j.1529-8817.2002.01168.
- Braida, V., Campot, P., Nervi, E. & Tartaglia, C. (2014). Arquitectura sustentable a través del cultivo de microalgas [en línea] <<https://fi.ort.edu.uy/22013/33/arquitectura-sustentable-a-traves-del-cultivo-de-microalgas.html>>
- Brix 304. (2023). Base tanque cónico D50 de 80 a 200 lts. Recuperado de: <<https://brix304.com/producto/base-tanque-conico-d50-de-80-a-200-lts/>>
- Bustos, A. (2019). No basta con apagar el fuego: La difícil tarea de reforestación luego de un incendio. *Diario UdeChile, Universidad de Chile, Chile*. Recuperado de: <<https://radio.uchile.cl/2019/02/26/no-basta-con-apagar-el-fuego-la-dificil-tarea-de-reforestacion-luego-de-un-incendio/>>
- Carvalho, A. P., Meireles, L. A., & Malcata, F. X. (2006). Microalgal reactors: a review of enclosed system designs and performances. *Biotechnology progress*, 22(6), 1490-1506.
- Casado, N. (2022). La escasez de fertilizantes precipita un incremento del precio de los alimentos. La información. Recuperado de: <<https://www.lainformacion.com/economia-negocios-y-finanzas/escasez-fertilizantes-subida-precio-alimentos/2872244/>>
- Caser. (2023). Calcular el consumo de la energía utilizada en tu hogar. Recuperado de: <<https://www.caser.es/seguros-de-hogar/articulos/calcula-consumo-aparatos-electricos>>
- Castillo, V. (2013). Diseño y cálculo de un agitador de fluidos. [Tesis para optar al título de Ingeniero de Ejecución en Mecánica]. Chile: Universidad del Bío-Bío.
- Cavieres, W. (2008). Comportamiento de las soluciones básicas de carpetas de rodadura aplicadas a caminos de bajo tránsito. [Tesis para optar al título de Ingeniero Civil]. Universidad de Chile: Santiago. [Archivo PDF]. Recuperado de: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103143/cavieres_wa.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2. (2018). Simulaciones climáticas regionales. Proyecto “Simulaciones climáticas regionales y marco de evaluación de la vulnerabilidad” mandatado por el Ministerio del Medio Ambiente. Universidad de Chile, Chile.
- Cerón, M. (2019). producción en fotobiorreactores: tipología y características, parámetros de control, rendimiento, cosechado y procesado y caracterización nutricional del producto. Fases del bioproceso experimental. Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Almería, España.
- CHANG C. (1996). Ecosystem responses to fire and variations in fire regimes. In *Sierra Nevada Ecosystem Project: Final report to Congress, vol. II, Assessments and scientific basis for management options*. Davis: University of California, Centers for Water and Wildland Resources. Pp.1071-1099.

- Chile. Ministerio de Agricultura. 1980. Decreto 276: Reglamento sobre roce a fuego, noviembre 1980.
- Chile. Ministerio de Agricultura. 2008. Decreto 95: Reglamento del Fondo de Conservación, Recuperación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo, octubre 2009.
- Chile. Ministerio de Agricultura. 2008. Decreto 96: Reglamenta los Recursos Destinados a la Investigación del Bosque Nativo, octubre 2009.
- Chile. Ministerio de Agricultura. 2008. Ley 20.283: Sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal, julio 2008.
- Chile. Ministerio de Agricultura. 2016. Decreto 2: Normas Técnicas de la Ley N° 20.089, que Crea el Sistema Nacional de Certificación de Productos Orgánicos Agrícolas, abril 2016.
- Chile. Ministerio de Agricultura. 2021. Ley 21.349: Establece Normas Sobre Composición, Etiquetado y Comercialización de los Fertilizantes y Bioestimulantes, junio 2021.
- Chile. Ministerio de Agricultura; Subsecretaría de Agricultura; Servicio Agrícola y Ganadero; Dirección Nacional. Resolución 5.391 Exenta: Establece Disposiciones para Declarar Composición Físicoquímica de Fertilizantes que se Comercializan y Distribuyen en el País y Deroga Resolución que Indica, septiembre 2018.
- Chile. Ministerio de Salud. 1999. Decreto 594 Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo, abril 2000.
- Chile. Ministerio del Medio Ambiente. 2012. Decreto 40: Aprueba reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, agosto 2013.
- Chile. Ministerio del Medio Ambiente. 2022. Ley 21.455: Marco de Cambio Climático, junio 2022
- Chile. Ministerio Secretaría General de la Presidencia 1994. Ley 19.300: Sobre las Bases Generales del Medio Ambiente, marzo 1994.
- Clarín. (2017). El invierno es la época ideal para plantar árboles. El clarín, Argentina. Recuperado de: < https://www.clarin.com/sociedad/invierno-epoca-ideal-plantar-arboles_0_Skjbv2EI0Ye.html >
- Climate Data. (2023). Clima Valparaíso (Chile). Recuperado de: <<https://es.climate-data.org/america-del-sur/chile/v-region-de-valparaiso/valparaiso-1005664/>>
- Corporación Nacional Forestal. (1999). Plan de Manejo RN Lago Peñuelas.
- Corporación Nacional Forestal. (2020). Cifras oficiales y actualizadas proveniente del Catastro de los Recursos vegetacionales y Uso de la Tierra. Santiago, Chile, Corporación Nacional Forestal.
- Corporación Nacional Forestal. (2021). Distribución Nacional de la Ocurrencia (n° de incendios según causalidad 2003-2021). Santiago, Chile, Corporación Nacional Forestal.
- Corporación Nacional Forestal. (2022a). Resumen Regional Ocurrencia (Número) y Daño (Superficie Afectada) por Incendios Forestales 1977 - 2022. Santiago, Chile, Corporación Nacional Forestal.

Corporación Nacional Forestal. (2022b). Bonificaciones Forestales Ley 20.283 Superficie Total por Año. Periodo 2010 - 2021. Santiago, Chile, Corporación Nacional Forestal.

Corporación Nacional Forestal. (2022c). Cuenta Pública CONAF 2022. [Archivo PDF]. Recuperado de: <https://www.conaf.cl/cms/editorweb/institucional/Cuenta-Publica-CONAF_2022.pdf>

Corporación Nacional Forestal. (2022d). Distribución Nacional de la Ocurrencia (n° de incendios según causalidad 2003-2022). Santiago, Chile, Corporación Nacional Forestal.

Corredor, Y. A. V., & Pérez, L. I. P. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 59-72.

De La Maza, C. (2007). Evaluación de Impactos Ambientales. Manejo y conservación de recursos forestales: Editorial Universitaria pp. 579-609. [Archivo PDF]. Recuperado de: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120397/Evaluacion_de_Impactos_Ambientales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

De los nutrientes nitrogenados en los mamíferos. (s/f). Descripción de los procesos generadores de emisiones. Gob.es. Recuperado el 22 de mayo de 2023. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/100101-6-emisiones-fertilizacion-urea_tcm30-481947.pdf

Diario Sustentable. (2022). Meta de 1 millón de hectáreas fija Chile en Plan Nacional de Restauración de Paisajes. *Diario Sustentable*. Santiago, Chile. Recuperado de: <<https://www.diariosustentable.com/2022/02/meta-de-1-millon-de-hectareas-fija-chile-en-plan-nacional-de-restauracion-de-paisajes/>>

Dibut, B., Martínez, R., Ortega, M., Ríos, Y., & Fey, L. (2004). Presencia y uso de microorganismos endófitos en plantas como perspectiva para el mejoramiento de la producción vegetal. *Cultivos tropicales*, 25(2), 13-17.

Dirección Meteorológica de Chile. (2023). Datos históricos estación Rodelillo (330007). Recuperado de: <<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/historico/datosHistoricosEma/33000>>

Direct Industry. (2022a). Silos para cenizas. [en línea]. Recuperado de: <<https://www.directindustry.es/fabricante-industrial/silo-cenizas-261954.html>>

Direct Industry. (2022b). Mezcladora de turbina CP. [en línea]. Recuperado de: <<https://www.directindustry.es/prod/fimat/product-171937-2006908.html>>

Direct Industry. (2022c). Mezcladora de turbina DP-1HF. [en línea]. Recuperado de: <<https://www.directindustry.es/prod/ningbo-dino-power-machinery-co-ltd/product-244101-2498481.html>>

DKV. (2022). Los efectos del cambio climático en las plantas. *DKV Salud y Bienestar*. Recuperado de: <<https://dkv.es/corporativo/blog-360/medioambiente/cambio-climatico/plantas>>

Donoso, P., Navarro, D., Soto, V., Thiers, O., Pinares, J., Escobar, B. & Sanhueza, M.J. (2015). Manual de plantaciones de raulí (*Nothofagus alpina*) y coihue (*Nothofagus dombeyi*) en Chile. Temuco, Chile. Universidad Austral de Chile – Universidad Católica de Temuco. 203 p. ISBN: 978-956-9412-23-3.

- Donoso, P., Navarro, D., Soto, V., Thiers, O., Pinares, J., Escobar, B. & Sanhueza, M.J. (2015). Manual de plantaciones de raulí (*Nothofagus alpina*) y coihue (*Nothofagus dombeyi*) en Chile. Temuco, Chile. Universidad Austral de Chile – Universidad Católica de Temuco. 203 p. ISBN: 978-956-9412-23-3.
- Dorner, J., & Brown, S. (2000). A guide to restoring a native plant community. University of Washington, EEUU.
- Drifton. (2023). Cabezal de bomba Shenchen YZ1515x. Recuperado de: <<https://drifton.es/tienda-online/14-cabezales-de-bomba/1562-cabezal-de-bomba-shenchen-yz1515x/>>
- Ecoboutique. (2023). Soplador HIBLOW HP-120. Recuperado de: <<https://www.ecoboutique.cl/products/soplador-hiblow-hp-120?variant=14279361986623>>
- Energía Abierta. (2023). Factor de Emisión - Promedio Mensual. Comisión Nacional de Energía. Recuperado de: <<http://energiaabierta.cl/categorias-estadistica/sustentabilidad/>>
- Espíndola, C., & Valderrama, J. O. (2012). Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. *Información tecnológica*, 23(1), 163-176.
- Esval. (2023). Publicación Esval 2023. [Archivo PDF]. Recuperado de: <<https://www.esval.cl/personas/necesito-ayuda/tus-boletas-y-cobros/tarifas/>>
- FAO. (2020). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 - Principales resultados. Roma. [Archivo PDF]. Recuperado de: <<https://www.fao.org/3/CA8753ES/CA8753ES.pdf>>
- Farfán, P. (s.f). Apéndice C valores del coeficiente “k” para pérdidas de energía local. Academia.edu. Recuperado de: <https://www.academia.edu/7510814/AP%C3%89NDICE_C_VALORES_DEL_COEFICIENTE_k_PARA_P%C3%89RDIDAS_DE_ENERG%C3%8DA_LOCAL>
- Fernández, D. R., Herrera, J. S., Díaz, J. R., & Salamanca, J. T. (2017). Escalamiento de un fotobiorreactor a nivel piloto para la producción de biomasa. *Revista de Investigación*, 10(1), 61-72.
- Figueroa, E., & Pasten, R. (2008). Forest and water: the value of native temperate forests in supplying water for human consumption: a comment. *Ecological Economics*, 67(2), 153-156.
- Flores, C. C., Peña-Castro, J. M., Flores-Cotera, L. B., & Cañizares-Villanueva, R. O. (2003). Avances en el diseño conceptual de fotobiorreactores para el cultivo de microalgas. *Interciencia*, 28(8), 450-456.
- FONDEF. (2022). Informe de avance parcial científico tecnológico Programa IDeA I+D ID21I10073
- Fundación Chile. (2011). MEDICIÓN Y DISEÑO DE UN PLAN DE DISMINUCIÓN DE HUELLA DE CARBONO EN EL MOP, EN EDIFICIO NIVEL CENTRAL (MORANDÉ 59, SANTIAGO). Fundación Chile: Área Energía y Cambio Climático.
- Fundación Chile. (2011). MEDICIÓN Y DISEÑO DE UN PLAN DE DISMINUCIÓN DE HUELLA DE CARBONO EN EL MOP, EN EDIFICIO NIVEL CENTRAL (MORANDÉ 59, SANTIAGO). Fundación Chile: Área Energía y Cambio Climático.

Fundación Reforestemos. (2019). Reforestación Nativa en Reserva Nacional Laguna Torca región del Maule. [Archivo PDF]. Recuperado de: <<https://www.reforestemos.org/content/uploads/2019-07-informe-reforestacion-laguna-torca.pdf>>

GALLARDO, J. 2007. Conclusiones del IV Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental. Ecosistemas, 16 (2): 137140. Recuperado de: <<http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=478>>

Garrido Espínola, E. L. (2013). Inventario de emisiones e implementación de huella de carbono mediante metodología GHG Protocol en constructora asociada a la gran minería.

Gegg, P. & Wells, V. (2017). UK Macro-Algae Biofuels: A Strategic Management Review and Future Research Agenda. Journal of Marine Science and Engineering, 5(3), 32.

Global Petrol Prices. (2023). Chile precios de la electricidad. Recuperado de: <https://es.globalpetrolprices.com/Chile/electricity_prices/#:~:text=Chile%2C%20septiembre%202022%3A,es%200.170%20USD%20por%20kWh.>

González, M.E., Sapiains, R., Gómez-González, S., Garreaud, R., Miranda, A., Galleguillos, M., Jacques, M., Pauchard, A., Hoyos, J., Cordero, L., Vásquez, F., Lara, A., Aldunce, P., Delgado, V., Arriagada, Ugarte, A.M., Sepúlveda, A., Farías, L., García, R., Rondanelli, R.,J., Ponce, R.,Vargas, F., Rojas, M., Boisier, J.P., C., Carrasco, Little, C., Osses, M., Zamorano, C., Díaz-Hormazábal, I., Ceballos, A., Guerra, E., Moncada, M., Castillo, I. (2020). Incendios forestales en Chile: causas, impactos y resiliencia. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, (ANID/FONDAP/15110009), 84 pp.

Gonzalez, P. (2017). Impacto de los incendios forestales en el suelo, agua, vegeracion y fauna. Departamento de estudios, extencion y publicaciones: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Recuperado de: <<https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUENTA&prmID=39186>>

González, P. (2017). Impacto de los incendios forestales en suelo, agua, vegetación y fauna. Departamento de estudios, extensión y publicaciones: Biblioteca del Congreso nacional de Chile. Recuperado de: <<https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUENTA&prmID=39186#:~:text=Los%20principales%20impactos%20de%20los,org%C3%A1nica%2C%20alteraci%C3%B3n%20de%20la%20vegetaci%C3%B3n>>

González, R. (22 de septiembre 2012) *Estudios de Impacto Ambiental en la mira: Informe encargado por el gobierno revela que "no cumplen con requisitos mínimos de confiabilidad"*. La Segunda online. <http://www.lasegunda.com/Noticias/Impreso/2012/09/782680/estudios-de-impacto-ambiental-en-la-mira-informe-encargado-por-el-gobierno-revela-que-no-cumplen-con-requisitos-minimos-de-confiabilidad#:~:text=Si%20no%20es%20necesario%20un,el%20valor%20de%20EIAs%20medianos>

Greenpeace. (2023). ¿Por qué restaurar los bosques puede mejorar nuestra salud y balancear el clima?. Recuperado de: < <https://www.greenpeace.org/chile/blog/issues/bosques/por-que-restaurar-los-bosques-puede-mejorar-nuestra-salud-y-balancear-el-clima/>>

- Guerrero, L. C. (2014). Acción de los reguladores de la diferenciación en el establecimiento del patrón de heterocistos en la cianobacteria anabaena SP PCC7120 (Doctoral dissertation, Universidad de Sevilla).
- Herrera Negrete, M. V., en Electromecánica, C. D. T. S., & Lara Jácome, O. R. (s.f). Implementación de una máquina automática de amasado de caramelo, mediante elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos, para incrementar la producción, disminuir los tiempos del proceso y sus cortes en porciones, en la ciudad de Latacunga.
- Hidráulica Fácil. (2023). Pérdidas de carga localizadas o en accesorios. Recuperado de: <<https://www.hidraulicafacil.com/2017/07/perdida-de-carga-localizada-o-en.html>>
- Ibiza Botánico Biotecnológico. (2022). Fotobiorreactor. [en línea]. Recuperado de: <<https://ibizabotanicobiotecnologico.com/biotecnologia/fotobiorreactor/>>
- INDEXBOX. (2022). Fertilizers Market in Chile. Recuperado de: <<https://app.indexbox.io/report/3102h3105h99/152/>>
- Induambiente. (2023). Lanzan Centro nacional de Bioinsumos para disminuir el uso de agroquímicos en el país. Recuperado de: <<https://www.induambiente.com/secciones/noticias/lanzan-centro-nacional-de-bioinsumos-para-disminuir-el-uso-de-agroquimicos-en-el-pais>>
- Intriago Nazareno, A. L. (2022). Influencia de parámetros estresantes en la composición bioquímica de una cianobacteria aislada en la Península de Santa Elena (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2022).
- J.L. Ramírez-Duque, (Dic,2017)."Viabilidad en la producción de biomasa microalgas a partir de fotobiorreactores solares en el Valle del Cauca, Colombia." Revista De Investigación Agraria Y Ambiental. Recuperado de: <<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2039/2292>>
- Jacob-Lopes, E., C. Scoparo, L. Lacerda, T. Franco. (2009). Effect of light cycles (Night/day) on CO2 fixation and biomass production by microalgae in photobioreactors. Chem. Eng. Process. 48: 306-310.
- Jaiswal, P., & Kashyap, A. K. (2002). Isolation and characterization of mutants of two diazotrophic cyanobacteria tolerant to high concentrations of inorganic carbon. Microbiological research, 157(2), 83-92.
- Janssen, M., Janssen, M., de Winter, M., Tramper, J., Mur, L. R., Snel, J., & Wijffels, R. H. (2000). Efficiency of light utilization of *Chlamydomonas reinhardtii* under medium-duration light/dark cycles. Journal of Biotechnology, 78(2), 123-137.
- Janssen, M., M. de Winter, J. Tramper, L. Mur, J. Snel, R. Wijffels. 2000. Efficiency of light utilization of *Chlamydomonas reinhardtii* under medium- duration light/dark cycles. J Biotechnol 78: 123-37.
- Komárek, J., & Anagnostidis, K. C. (2008). Teil 1/Part 1: Chroococcales. Süßwasserflora von Mitteleuropa; Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H., Mollenhauer, D., Eds, 1-556.

- Koslan. (2023). Bomba centrífuga LEO ACm75l innovation 3.0. Recuperado de: <<https://www.koslan.cl/centrifugas/1510-bomba-centrifuga-leo.html>>
- Kotler, P. & Armstrong, G. (2013). Fundamentos de Marketing. (11ª Ed.). México: Pearson Educación
- Kotler, P. & Armstrong, G. (2017). Marketing. (16ª Ed.). México: Pearson Educación
- La Huella de Carbono Para Los Procesos de Subsulado, Rastro Arado, Surcado, Aplicación De Fertilización Química Y De Herbicidas En Una Hectárea De Cultivo De Caña De Azúcar (noviembre, 2012). JORGE TAFUR, ANGÉLICA GÓMEZ. Edu.co. Recuperado el 22 de mayo de 2023. https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/78105/1/tafur_estimacion_huella_2014.pdf
- Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar. (2023a). Informe de ensayo Químico compost RG-7.8.4-P Muestra UV 1. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Quillota: Chile
- Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar. (2023b). Informe de ensayo Químico compost RG-7.8.4-P Muestra UV 2. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Quillota: Chile
- Langman, J. (2019). Los bosques amenazados de Chile [en línea]. Recuperado de: <<https://forecos.cl/2019/01/los-bosques-amenazados-de-chile/#:~:text=Las%20cifras%20del%20gobierno%20dicen,50%2C000%20propietarios%20medianos%20y%20peque%C3%B1os>> [consulta: 21 septiembre 2022].
- Lara, A., Little, C., Urrutia, R., McPhee, J., Álvarez-Garretón, C., Oyarzún, C. & Arismendi, I. (2009). Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and management of native forests in Chile. *Forest Ecology and Management*, 258(4), 415-424.
- Lara, A., Soto, D., Armesto, J., Donoso, P., Wernli, C., Nahuelhual, L. and Squeo, F., 2003. Componentes científicos clave para una política nacional sobre usos, servicios y conservación de los bosques nativos chilenos. Universidad Austral de Chile, Valdivia
- Ley Fácil. (2018). Bosque Nativo: Fondo concursable. Biblioteca del Congreso Nacional, Chile. Recuperado de: <<https://www.bcn.cl/portal/leyfacil/recurso/bosque-nativo-fondo-concursable>>
- Lizana, C. (2021). Evaluación técnica-económica de la producción de un biofertilizante bacteriano. [Memoria para optar al título de ingeniería civil química e ingeniería civil en biotecnología]. Universidad de Chile, Santiago.
- López Núñez, R., Burgos, P., Girón Moreno, I. F., & Corell González, M. (2017). Uso de compost que incluyen cenizas de biomasa para el cultivo de sandía.
- López, C. G., Fernández, F. A., Sevilla, J. F., Fernández, J. S., García, M. C., & Grima, E. M. (2009). Utilization of the cyanobacteria *Anabaena* sp. ATCC 33047 in CO₂ removal processes. *Bioresource technology*, 100(23), 5904-5910.
- LTech Chile. (2023). Bomba peristáltica bt100-2j. Recuperado de: <<https://ltech.cl/manejo-de-liquidos/437-bomba-peristaltica-bt100-2j.html>>

- MALDONADO, F. (2005). Apuntes del Curso Ciencia y Manejo del Fuego. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Maynés De Francisco, C. (2018). Cultivo de cianobacterias en aguas residuales para la extracción de pigmentos (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Mehlitz, TH. (2009). Temperature influence and heat management requirements of microalgae cultivation in photobioreactors. Tesis de Maestría. California Polytechnic State University, USA.
- Mejía, J. F. (s.f.). Valor residual es irrelevante según los Estándares Internacionales y normalmente no se requiere calcularlo. Global Contable. [Archivo PDF]. Recuperado de: <<https://cdn.actualicese.com/herramientas/Valor-residual-no-es-relevante.pdf>>
- Melper. (2023). Sistema de agitación para contenedores IBC y ESTANQUES. Recuperado de: <<https://melper.cl/servicios/agitadores-industriales/>>
- Mérida, L. G. R., Jacob-Lopes, E., & Zepka, L. Q. (2013). Fotobiorreactor: herramienta para cultivo de cianobacterias. *Ciencia y Tecnología*, 6(2), 9-19.
- Mérida, L. G. R., Jacob-Lopes, E., & Zepka, L. Q. (2013). Fotobiorreactor: herramienta para cultivo de cianobacterias. *Ciencia y Tecnología*, 6(2), 9-19.
- Ministerio de Energía. (2023). Explorador solar. Recuperado de: <<https://solar.minenergia.cl/inicio>>
- Mishra, U., & Pabbi, S. (2004). Cyanobacteria: a potential biofertilizer for rice. *Resonance*, 9(6), 6-10.
- Molina, P. (2018) El mercado de fertilizantes en Chile. Recuperado de: <<https://www.ivace.es/Chilefertilizantesices2018.pdf>>
- Mordor Intelligence. (2023). Mercado de fertilizantes orgánicos biológicos: crecimiento, tendencias y pronósticos (2023-2028). Recuperado de: <<https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/biological-organic-fertilizers-market>>
- Mundo Agropecuario. (2023). INIA lanza el Centro Nacional de Bioinsumos para disminuir el uso de agroquímicos en el país. Recuperado de: <<https://www.mundoagropecuario.cl/new/inia-lanza-el-centro-nacional-de-bioinsumos-para-disminuir-el-uso-de-agroquimicos-en-el-pais/>>
- Nahuelhual, L., Donoso, P., Lara, A., Nuñez, D., Oyarzun, C., & Neira, E. (2007). Valuing ecosystem services of Chilean temperate rainforests. *Environment, Development and Sustainability*, 9(4), 481-499.
- Neutrium. (2023). Pressure Loss from Fittings – Excess Head (K) Method. Recuperado de: <<https://neutrium.net/fluid-flow/pressure-loss-from-fittings-excess-head-k-method/>>
- Observatorio I+D+i UPM. (2022). PBR-L. Soluciones biológicas a problemas ambientales y alimentarios. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid. [en línea]. <http://www.upm.es/observatorio/vi/index.jsp?pageac=innovacion/articulo.jsp&id_tipo_articulo=3&id_articulo=168>

Omil Ignacio, B. (2007). Gestión de cenizas como fertilizante y enmendante de plantaciones jóvenes de *Pinus radiata*. Tesis doctoral de Ingeniera de montes. Lugo, Universidad de Santiago de Compostela, Departamento de Edafología y Química Agrícola. 326 pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 principales resultados. Roma, Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 7p.

Palomar, P. (2022). Efecto de la aplicación de cenizas de caldera de biomasa sobre las propiedades del suelo y el crecimiento de cultivos. [Trabajo para optar a maestría en Ingeniería Ambiental]. Universidad de Valladolid: España. [Archivo PDF]. Recuperado de: <<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/55882/TFM-I-2399.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

Panikov, N. (1995). Microbial Growth Kinetics. Alemania: Springer Netherlands. p.32

Pariante, R. B. (2016). PRODUCCIÓN Y COSECHADO DE BIOMASA DE MICROALGAS PARA SU APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID).

Productos Químicos del Sur. (2023). Agitador Universal BDC3030. Recuperado de: <<https://www.productosquimicosdelsur.com.mx/caframo-lab-solutions/agitador-universal-bdc3030/>>

RedBIOFAG. (2008). Fertilizantes Biológicos para la Agricultura y el Medio Ambiente Normativa Iberoamericana para Inoculantes Formulados con Bacterias Rizosféricas Promotoras del Crecimiento Vegetal. Red de Fertilizantes biológicos para la agricultura y el medio ambiente. Venezuela: Caracas.

Reforestación. (2022). ¿Por qué procuramos reforestar en los meses de junio y julio?. Recuperado de: <<https://reforestacion.org/?s=articulo&id=1660499487#:~:text=01%2FAug%2F2022&text=Es%20por%20eso%2C%20que%20reforestamos,caiga%20ser%3%A1%20agua%20para%20sobrevivir.>>>

Robichaud, P., MacDonald, L., Freeouf, J., Neary, D., Martin, D., & Ashmun, L. (2003). Postfire rehabilitation of the Hayman Fire. Hayman Fire Case Study. RMRS-GTR-114. Ogden, UT. USDA Forest Service. Rocky Mountain Research Station, 293-313.

Roncero-Ramos, B., Román, J. R., Ación, G., & Cantón, Y. (2022). Towards large scale biocrust restoration: Producing an efficient and low-cost inoculum of N-fixing cyanobacteria. Science of The Total Environment, 848, 157704.

Samaniego, C. (2013). Efecto de un incendio forestal en una plantación de *Eucalyptus globulus Labill. Labill. Subsp. globulus* en Huaraz. [Tesis para optar al Título de Ingeniero Forestal]. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima: Perú. Recuperado de: <<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1762/K70-S187-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

SANHUEZA PI (2001) Fire situation in Chile. Global forest fire assessment 1990-2000. In: Goldammer JG & RW Mutch (eds) Forest Resources Assessment: 477-486. FAO, Roma.

Sapag, N., & Sapag, R. (2008). Preparación y evaluación de proyectos. (5a. ed.). México. Mc GrawHill.

Sapag, N., Sapag, R. & Sapag, J. (2014). Preparación y evaluación de proyectos 6° Edición. México: McGraw-Hill. ISBN: 978-607-15-1144-7. [Archivo PDF]. Recuperado de: <<http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/1243/1/Sapag-proyectos%206ta%20edici%C3%B3n.pdf>>

SEA. (2023). Criterio de evaluación en el SEIA: Evaluación ambiental de proyectos de salmonicultura en mar localizados en o próximo a un área protegida. Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental: Santiago. [Archivo PDF]. Recuperado de: <https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2023/02.%20Febrero/22/DT-Salmonicultura-en-AP_2023.pdf>

Servicio Comunitario sobre Investigación y Desarrollo (CORDIS). (2022). Un nuevo fotobiorreactor para el cultivo de bajo coste de microalgas. Servicio Comunitario sobre Investigación y Desarrollo [en línea]. Recuperado de: <<https://cordis.europa.eu/article/id/264904-a-novel-photobioreactor-for-lowcost-microalgae-cultivation/es>>

SII. (2003). Nueva tabla de vida útil de los bienes físicos del activo inmovilizado. Servicio de Impuestos Internos. Recuperado de: <https://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/tabla_vida_enero.htm>

Sistema de información Digital para el Control de Operaciones – SIDCO CONAF. (20 de abril de 2023) *Número de incendios forestales y superficie afectada a la fecha*. CONAF. Recuperado el 20 de abril de 2023. Recuperado de: <<https://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadistica-de-ocurrencia-diaria/>>

Sistema Nacional de Inversiones. (2023). Informe Precios Sociales 2023. [Archivo PDF]. Recuperado de: <https://sni.gob.cl/storage/docs/230401_Informe_Precios_Sociales_2023_SNI.pdf>

Society for Ecological Restoration (SER) International, (2004). Principios de SER International sobre la restauración ecológica. Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. Recuperado de: <www.ser.org>

Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International.

Solarweb. (2017). N° de módulos en serie por string. Recuperado de: <<https://www.solarweb.net/forosolar/fotovoltaica-sistemas-conectados-red/41599-n-modulos-serie-string.html>>

Streeter, V. L. & Wylie, E. B. (2000). Mecánica de fluidos 8° Edición. México: McGraw-Hill. ISBN: 968-451-341-2. [Archivo PDF]. Recuperado de:

- <https://www.academia.edu/27837885/Mec%C3%A1nica_de_los_Fluidos_8va_Edici%C3%B3n_Victor_L_Streeter_and_E_Benjamin_Wylie>
- SUPERBIDON. (2023) Bidón 5 litros Monocapa Natural Tapa Diámetro 63 Recuperado de: <<https://www.superbidon.cl/assets/pdf/20220908090057-B5TCHIE.pdf>>
- Superbidón. (2023a). Estanque IBC Ecobulk MX 1000 UN – DIRECTEMAR. [Archivo PDF]. Recuperado de: <<https://www.superbidon.cl/assets/pdf/20220923100220-E1000NB.pdf>>
- Superbidón. (2023b). Tambor plástico 120 litros Gris tapa chica. [Archivo PDF]. Recuperado de: <<https://www.superbidon.cl/assets/pdf/20220906121053-T120TCHIG.pdf>>
- Talent Chile. (2023). Buscador de salario. Recuperado de: <<https://cl.talent.com/es/salary>>
- Thonicke, K., Venevsky, S., Sitch, S., & Cramer, W. (2001). The role of fire disturbance for global vegetation dynamics: coupling fire into a Dynamic Global Vegetation Model. *Global Ecology and Biogeography*, 10(6), 661-677.
- Torrado Rufete, C. (2016). Cultivo de cianobacterias para la producción de bioplásticos en un fotobioreactor tubular cerrado alimentado con digestado (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Ugwu, C. U., J. Ogbonna, H. Tanaka. (2002). Improvement of mass transfer characteristics and productivities of the inclined tubular photobioreactors by installation of internal static mixers. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 58:600-607.
- UN Climate Change. (2021). Glasgow leaders' declaration on forests and land use. Recuperado de: <<https://web.archive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20230418175226/https://ukcop26.org/glasgow-leaders-declaration-on-forests-and-land-use/>>
- Vaishampayan, A., Sinha, R. P., Hader, D. P., Dey, T., Gupta, A. K., Bhan, U., & Rao, A. L. (2001). Cyanobacterial biofertilizers in rice agriculture. *The Botanical Review*, 67(4), 453-516.
- Valencia, J. (2022). Informe descripción área de estudio.
- Vega, J. (2007). Bases ecológicas para la restauración preventiva de zonas quemadas. Thematic Session
- Whitton, B. A. (1992). Diversity, ecology, and taxonomy of the cyanobacteria. In *Photosynthetic prokaryotes* (pp. 1-51). Springer, Boston, MA.
- Zhang, K., Kurano, N., & Miyachi, S. (2002). Optimized aeration by carbon dioxide gas for microalgal production and mass transfer characterization in a vertical flat-plate photobioreactor. *Bioprocess and biosystems engineering*, 25(2), 97-101.
- Zúñiga, D. G. (2013). Estimación de la huella de carbono del proceso de compostaje y lombricultura de la Dirección de Gestión Ambiental de la Ilustre Municipalidad de la Pintana. [Tesis para optar al título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables]. Universidad de Chile, Santiago: Chile. Recuperado de: <<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/151414/Estimacion-de-la>>

huella-de-carbono-del-proceso-de-compostaje-y-lombricultura-de-la-Direccion-de-Gestion-Ambiental-de-la-Ilustre-Municipalidad-de-La%20Pintana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

Anexo A: Capacidad de la planta en distintos casos

En la Tabla A.1 se presentan los distintos tiempos de producción en función a la cantidad de árboles por hectárea a reforestar

Tabla A.1: Tiempos de producción en función a la cantidad de árboles por hectárea

100 árboles en reactores de 200 L				
Volumen total [L]	Caudal [L d ⁻¹]	Caudal masico [g d ⁻¹]	Tiempo de producción [d]	Cantidad de reactores
1.000	16	13	2,0	5
5.000	80	64	0,4	25
10.000	160	128	0,2	50
15.000	240	192	0,1	75
330 árboles en reactores de 200 L				
Volumen total [L]	Caudal [L d ⁻¹]	Caudal masico [g d ⁻¹]	Tiempo de producción [d]	Cantidad de reactores
1.000	16	13	6,5	5
5.000	80	64	1,3	25
10.000	160	128	0,6	50
15.000	240	192	0,4	75
660 árboles en reactores de 200 L				
Volumen total [L]	Caudal [L d ⁻¹]	Caudal masico [g d ⁻¹]	Tiempo de producción [d]	Cantidad de reactores
1.000	16	13	13,0	5
5.000	80	64	2,6	25
10.000	160	128	1,3	50
15.000	240	192	0,9	75

Fuente: Elaboración propia.

Anexo B: Procedimiento de laboratorio

Preparación de la muestra

El trabajo experimental realizado en laboratorio tiene la finalidad de obtener los valores experimentales de los sólidos disueltos en cada extracción, la densidad de las soluciones químicas a utilizar y la humedad de la ceniza.

La base de cálculo considerada para el presente estudio fue de 16 gramos de ceniza por litro de agua destilada y todas las mediciones de este estudio fueron en triplicado.

Determinación porcentaje de humedad de la ceniza

La humedad es medida mediante la determinación de pérdida de agua contenida en la ceniza y se puede obtener en base a la diferencia entre su peso inicial y su peso final, método adaptado del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA 1995.

La ceniza es entregada por los investigadores del proyecto, esta se utiliza como sustrato por su composición elemental.

Materiales

- Capachos de aluminio
- Balanza analítica (ADAM, AFA 120LC)
- Horno de secado a 104 °C
- Contenedor de silicagel (Bel-Art, 42027-0000)
- Pinzas

Procedimiento

1. Se pesa el capacho ya secado
2. Se añaden 5 gramos de muestra
3. Se deja secar durante 24 horas
4. Se retira la muestra y se deja 10 min en el contenedor de silicagel
5. Se pesa la muestra
6. Durante todo el procedimiento se utilizan las pinzas, para evitar el contacto directo

Cálculo de humedad de la ceniza

Para el cálculo de la humedad de la ceniza se debe utilizar Ecuación A.1.

$$\% \text{ Humedad} = \left(\frac{Pa - Pd}{m_{\text{muestra}}} \right) * 100 \text{ (Ec. A.1)}$$

Donde:

P_a : Peso antes del secado (g)

P_d : Peso después del secado (g)

$m_{muestra}$: masa total de la muestra (g)

En la Tabla B.1 se presentan los resultados obtenidos junto a su desviación estándar que es utilizada para medir la dispersión de los datos obtenidos.

Tabla B.1: Resultados muestras de ceniza.

N° de muestra	Peso papel [g]	Peso antes secado [g]	Peso después de secado [g]	% humedad (base húmeda)
7	0,4815	5,0000	4,9642	0,7%
8	0,4593	5,0000	4,9839	0,3%
9	0,4384	5,0000	4,9728	0,5%

Promedio	0,527%
Desviación estándar	0,002

Fuente: Elaboración propia.

Preparación extracto básico

Se preparó mezcla del extracto básico con la proporción de 16 gramos de ceniza por un litro de agua. Se tomaron muestras en distintos tiempos y se pesaron distintos días la misma muestra, para corroborar que se haya removido completamente su humedad.

Materiales

- Capachos de aluminio
- Balanza analítica (ADAM, AFA 120LC)
- Horno de secado a 104 °C
- Contenedor de silicagel (Bel-Art, 42027-0000)
- Pinzas metálicas
- Micropipeta (Eppendorf Research, 5000µL)
- Vaso precipitado 1000 mL (BORO 3.3, 1000mL)
- Pipeta graduada (NORMAX, Portugal 10)
- Agitador magnético (IKA, RH básico KT/C)
- Multiparámetro (Hanna, combo)

Procedimiento

1. Se pesa el capacho ya secado
2. Se 10 mL de muestra a los 50 min/1200 min/ infinito.
3. Se deja secar durante 24 horas
4. Se retira la muestra y se deja 10 min en el contenedor de silicagel
5. Se pesa la muestra
6. Durante todo el procedimiento se utilizan las pinzas, para evitar el contacto directo

Para calcular la concentración de sólidos disueltos en el extracto básico, se utilizó la Ecuación A.2.

$$[SDT_{Eb}] = \frac{Pa-Pd}{V_{muestra}} \text{ (Ec. A.2)}$$

Donde:

$[SDT_{Eb}]$ = Concentración sólidos disueltos en el extracto básico $[g mL^{-1}]$

$V_{muestra}$ = Volumen de la muestra $[mL]$

Pa : Peso antes del secado $[g]$

Pd : Peso después del secado $[g]$

A continuación, en la Tabla B.2 se presentan los datos de concentración de sólidos disueltos a distintos tiempos

Tabla B.2: Concentración de sólidos disueltos a distintos tiempos.

Tiempo	N° de muestra	Volumen muestra [mL]	Peso papel [g]	Peso antes de secado [g]	Peso después de secado [g]	Concentración de sólidos disueltos $[g mL^{-1}]$
50 min	1	10	0,543	9,7848	0,04	0,004
	2	10	0,5264	9,4646	0,04	0,004
	3	10	0,4833	9,5524	0,04	0,004
1200 min	4	10	0,6221	9,7782	0,0512	0,00512
	5	10	0,6899	9,8329	0,0539	0,00539
	6	8	0,6184	7,7758	0,0432	0,0054
infinito	11	10	0,6614	9,9834	0,0487	0,00487
	12	10	0,5018	9,9736	0,0511	0,00511
	13	10	0,4935	9,8858	0,0527	0,00527

Fuente: Elaboración propia.

Para definir el tiempo adecuado del agitador se relacionó con la conductividad eléctrica ya que es proporcional a los sólidos disueltos que hay en el medio, información presentada en la Tabla B.3 y su grafica en la Figura B.1.

Tabla B.3: Conductividad eléctrica y pH.

Tiempo [min]	Conductividad $[mS cm^{-1}]$	pH
0	2,05	11,38
10	3,56	11,44
20	3,81	11,53
30	3,94	11,55
40	4,01	11,64
50	4,03	11,65
60	4,07	11,66
100	4,13	11,73
500	4,35	11,72

Fuente: Elaboración propia.

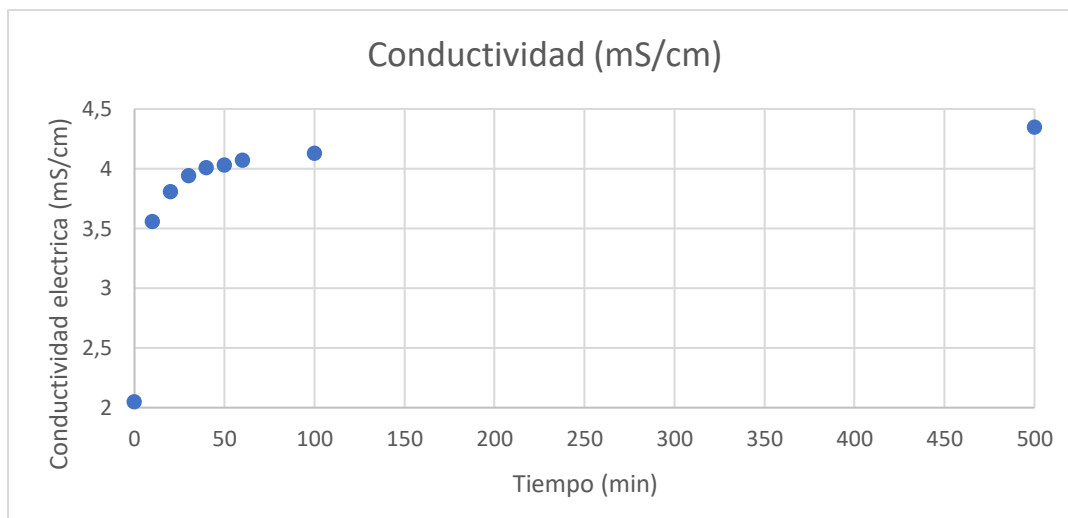


Figura B.1: Conductividad eléctrica. (Elaboración propia).

Donde se puede comprobar que llegando al minuto 100 la variación porcentual de la conductividad eléctrica no varía considerablemente.

Se repitió la experiencia para la determinación de los sólidos disueltos en el extracto básico, luego de haber definido el tiempo adecuado de agitación, cuyo resultado se encuentra presentado en la Tabla B.4.

Tabla B.4: Concentración de sólidos disueltos totales extracto básico.

N° de muestra	Volumen muestra [L]	Peso vaso [g]	Peso antes de secado (sin vaso) [g]	Peso después de secado (con vaso) [g]	Peso después de secado (sin vaso) [g]	Concentración de sólidos disueltos [g L ⁻¹]
1	0,02	32,1256	22,791	32,2076	0,0820	4,1000
2	0,02	31,436	22,6519	31,4878	0,0518	2,5900
3	0,02	30,7785	22,4802	30,8309	0,0524	2,6200

Concentración de sólidos disueltos extracto básico

Promedio	3,103
Desv. Estandar	0,863

Fuente: Elaboración propia.

Preparación extracto ácido

Materiales

- Capachos de aluminio
- Balanza analítica (ADAM, AFA 120LC)
- Horno de secado a 104 °C
- Contenedor de silicagel (Bel-Art, 42027-0000)
- Pinzas metálicas
- Micropipeta (Eppendorf, Research, 5000µL)
- Vaso precipitado 1000 mL (BORO 3.3, 1000mL)
- Pipeta graduada (NORMAX, Portugal 10)

- Agitador magnético (IKA, RH básic KT/C)
- Multiparámetro (Hanna, Combo)
- HCL 2M (VIMARONI, PA 35,4% 36,6 % CAS 7647-01-0)

Procedimiento

1. Se mantienen los sólidos decantados de la extracción de extracto básico
2. Se mantienen 75 mL de extracto básico
3. Se le añaden 20 mL 2M
4. Se añaden 400 mL de agua destilada
5. Se agita durante 20 horas
6. Se pesa el capacho ya secado
7. Se toman muestras de 20 mL de muestra
8. Se deja secar durante 24 horas
9. Se retira la muestra y se deja 10 min en el contenedor de silicagel
10. Se pesa la muestra
11. Durante todo el procedimiento se utilizan las pinzas, para evitar el contacto directo

Para calcular la concentración de sólidos disueltos en el extracto básico, se utilizó la Ecuación A.3.

$$[SDT_{Ea}] = \frac{Pa-Pd}{V_{muestra}} \text{ (Ec. A.3)}$$

Donde:

$[SDT_{Ea}]$ = Concentración sólidos disueltos en el extracto ácido [g/mL]

$V_{muestra}$ = Volumen de la muestra [mL]

Pa : Peso antes del secado [g]

Pd : Peso después del secado [g]

A continuación, en la Tabla B.5 se presentan los datos obtenidos

Tabla B.5: Concentración de sólidos disueltos totales extracto ácido.

N° de muestra	Volumen muestra [L]	Peso vaso [g]	Peso antes secado (sin vaso) [g]	Peso después de secado (con vaso) [g]	Peso después de secado (sin vaso) [g]	Concentración de sólidos disueltos [g L ⁻¹]
1	0,02	32,1564	21,7532	32,27	0,12	5,8700
2	0,02	31,4401	22,3175	31,55	0,11	5,5050
3	0,02	30,7611	22,212	30,88	0,12	6,1900

Concentración de sólidos disueltos extracto ácido

Promedio	5,8550
Desv. estándar	0,3427

Fuente: Elaboración propia.

Densidad de HCL y H3PO4

Materiales

- Matraz aforado 25 mL (ISO LAB, 013.01.025)
- Solución de HCL a 2M
- Pipeta graduada (NORMAX, Portugal 10)
- Balanza analítica (ADAM, AFA 120LC)
- Guantes de latex

Procedimiento

1. Se pesó el matraz aforado
2. Se añadieron 25 mL de muestra
3. Se volvió a pesar la muestra

El cálculo de la densidad de la solución de ácido clorhídrico se realizó mediante la Ecuación A.4.

$$\rho_{HCL} = \frac{P_{HCL}}{V_{muestra_{hcl}}} \text{ (Ec. A.4)}$$

Donde:

ρ_{HCL} = Densidad de la solución de ácido clorhídrico 2 molar

P_{HCL} = Peso del ácido clorhídrico 2 molar

$V_{muestra_{hcl}}$ = Volumen de la muestra de ácido clorhídrico

El cálculo de la densidad de la solución del ácido fosfórico se realizó mediante la Ecuación A.5.

$$\rho_{H3PO4} = \frac{P_{H3PO4}}{V_{muestra_{H3PO4}}} \text{ (Ec., A.5)}$$

Donde:

ρ_{H3PO4} = Densidad de la solución de ácido fosfórico 2 molar

P_{H3PO4} = Peso del ácido clorhídrico 2 molar

$V_{muestra_{H3PO4}}$ = Volumen de la muestra de ácido fosfórico

A continuación, en la Tabla B.6 y B.7 se adjuntan los datos obtenidos del HCL y H3PO4 respectivamente

Tabla B.6: Densidad de la solución de HCL 2M.

N° de muestra	Volumen muestra [mL]	Peso vaso [g]	Peso HCl [g] (sin vaso)	Densidad HCl [g L ⁻¹] (sin vaso)
1	0,025	22,6862	25,4855	1019,4200
2	0,025	14,8525	25,5619	1022,4760
3	0,025	22,5989	25,4369	1017,4760

Concentración de sólidos disueltos extracto básico

Promedio	1019,791
Desv. estándar	2,521

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.7: Densidad de la solución de H₃PO₄ 2M.

N° de muestra	Volumen muestra [mL]	Peso vaso [g]	Peso H ₃ PO ₄ [g] (sin vaso)	Densidad H ₃ PO ₄ [g L ⁻¹] (sin vaso)
1	0,025	22,7998	24,9049	996,2
2	0,025	22,2823	24,9502	998,0
3	0,025	22,8337	24,9152	996,6

Concentración de sólidos disueltos extracto básico

Promedio	996,937
Desv. Estandar	0,950

Fuente: Elaboración propia.

Anexo C: Determinación altura de bomba de línea de agua

A continuación, se presentan los cálculos realizados para determinar la altura de la bomba para que esta sea capaz de trasladar el agua desde el estanque IBC de almacenamiento hasta el segundo estanque de medio de cultivo y estanque de extractos.

Determinación altura de la bomba para tramo Almacenamiento de agua - Estanque de medio de cultivo 2.

En el diseño de la planta está considerado la implementación de dos estanques de medio de cultivo para que funcionen de manera alternada, por lo que la determinación de la altura de la bomba para su alimentación es en función del estanque que se encuentra a mayor distancia respecto al de almacenamiento de agua. La Figura C.1 representa la distribución de tuberías y accesorios para este tramo.

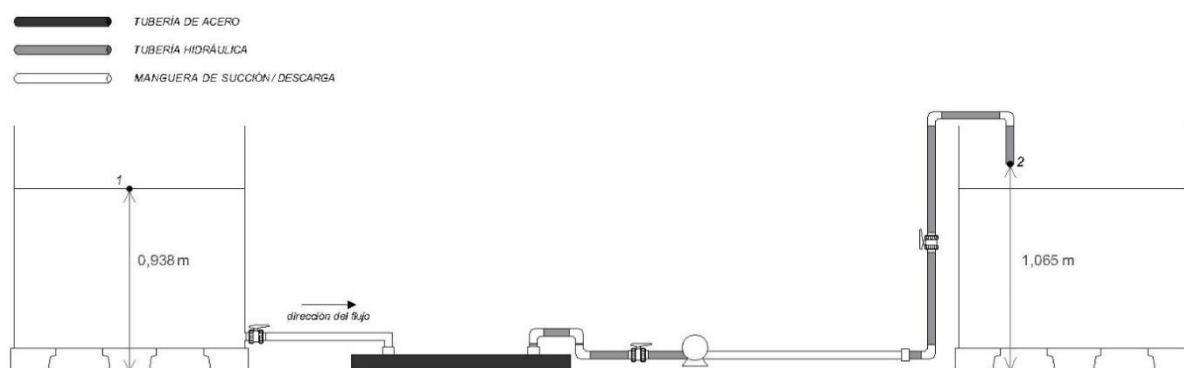


Figura C.1: Dibujo del tramo Almacenamiento de agua – Estanque de medio de cultivo 2 (Elaboración propia).

La aplicación de la ecuación Ec. C.1. resulta en la determinación de la altura de la bomba (Streeter & Wylie, 2000).

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (h_2 - h_1) + h_f + h_m = H \quad (\text{Ec. C.1})$$

Donde

P_1 : Presión absoluta en punto 1 [Pa]

P_2 : Presión absoluta en punto 2 [Pa]

v_1 : Velocidad del fluido en punto 1 [m/s]

v_2 : Velocidad del fluido en punto 2 [m/s]

h_1 : Altura del punto 1 respecto al suelo [m]

h_2 : Altura del punto 2 respecto al suelo [m]

h_f : Pérdida de carga lineal [m]

h_f : Pérdida de carga de accesorios [m]

H : Altura de la bomba [m]

ρ : Densidad del agua, 998 [kg/m³] (Streeter & Wylie, 2000).

g : Aceleración de la gravedad, 9,81 [m/s²]

Los valores de las condiciones en las que se encuentra el fluido en los puntos de referencia 1 y 2 de la Figura C.1 se encuentran detallados en la Tabla C.1:

Tabla C.1: Condiciones de los puntos de referencia.

	Valor
Presión punto 1	101.325 [Pa]
Presión punto 2	101.325 [Pa]
Velocidad punto 1	0 [m*s ⁻¹]
Velocidad punto 2	1,75 [m*s ⁻¹]
Altura punto 1	0,938 [m]
Altura punto 2	1,065 [m]

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular las pérdidas de carga en las tuberías en primer lugar es necesario determinar el régimen del fluido. Al obtener el N° de Reynolds (Ec. C.2) es posible determinar si se está trabajando bajo un régimen laminar o turbulento; cuando el resultado es menor a 2.000 nos encontramos con un régimen laminar, mientras que para valores mayores a 4.000 es un régimen turbulento (Streeter & Wylie, 2000).

$$Re = \frac{\rho D v}{\mu} \quad (\text{Ec. C. 2})$$

Donde:

Re : Número de Reynolds

ρ : Densidad del agua, 998 [kg/m³]

v : Velocidad media dentro de la tubería

D : Diámetro tubería [m]

μ : Viscosidad dinámica del agua, 0,001005 [Ns/m²] (Streeter & Wylie, 2000).

El diámetro de las tuberías utilizadas fue determinado de acuerdo al requerimiento de la planta donde se espera transportar el fluido a un caudal de 30 L min⁻¹. Por no disponer de la pérdida de carga generada por la lampara filtro UV, esta fue considerada como tubería de acero.

La determinación de la velocidad del fluido dentro de las tuberías es el cociente entre el caudal del fluido que transporta y el área de esta. El resultado de esto se encuentra en la Tabla C.2.

Tabla C.2: Velocidad dentro de las tuberías.

Diámetro de la tubería/manguera de PVC	0,01905 [m]
Diámetro de la tubería de acero	0,01519868 [m]
Velocidad media dentro de la tubería/manguera de PVC	1,75 [m s ⁻¹]
Velocidad media dentro de la tubería de acero	2,75593 [m s ⁻¹]

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que el N° de Reynolds para ambas condiciones en el presentado en la Tabla C.3. determinando que se trabaja con un régimen turbulento.

Tabla C.3: N° de Reynolds tramo Almacenamiento de agua – Estanque de medio de cultivo 2.

N° Reymolds en la tubería/manguera de PVC	33.105,3
N° Reymolds en la tubería de acero	41.594,8

Fuente: Elaboración propia.

Al estar trabajando con un régimen turbulento, las pérdidas de cargas lineales se determinan con la Ecuación C.3 (Streeter & Wylie, 2000), mientras que el coeficiente de fricción fue calculado en función del N° de Reynolds en el sitio web Calculator A to Z², cuyo resultado se encuentra en la Tabla C.4.

$$h_f = f \frac{Lv^2}{2Dg} \quad (\text{Ec. C. 3})$$

Donde:

f : coeficiente de fricción

L : Largo tuberías [m]

v : Velocidad media dentro de la tubería

D : Diámetro tubería [m]

g : Aceleración de la gravedad, 9,81 [m/s²]

Tabla C.4: Coeficiente de fricción.

	Valor
Coeficiente de fricción de tubería/manguera de PVC	0,023411
Coeficiente de fricción de tubería de acero	0,022127

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el diseño de la planta propuesto, el largo de la tubería/manguera de PVC para la línea de agua hasta el estanque de medio de cultivo 2 es de 7,312 m. Por lo que las pérdidas de cargas lineales corresponden a:

$$h_{f_{PVC}} = 0,023411 \frac{7,312 * 1,75^2}{2 * 0,01905 * 9,8}$$

$$h_{f_{PVC}} = 1,40 [m]$$

El largo de la tubería de acero para la línea de agua hasta el estanque de medio de cultivo 2 es de 0,95 m. Por lo que las pérdidas de cargas lineales en este tramo corresponden a:

$$h_{f_{ACERO}} = 0,022127 \frac{0,95 * 2,75593^2}{2 * 0,01519868 * 9,8}$$

² <https://www.calculatoratoz.com/es/friction-factor-for-transitional-turbulent-flow-calculator/Calc-14109>

$$h_{f_{ACERO}} = 0,54 \text{ [m]}$$

En cuanto a las pérdidas de carga por accesorios, estas se determinan con la Ecuación C.4 (Hidráulica Fácil, 203).

$$h_m = k_m \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Ec. C. 4})$$

Donde:

k_m : factor de pérdida dependiente del accesorio

En la Tabla C.5 se presentan los coeficientes de pérdida para cada accesorio presente en el sistema de tuberías.

Tabla C.5: Coeficientes de pérdida por accesorio.

Accesorio	Cantidad	k_m	v [m/s]	Referencia
Válvula reguladora ¾"	1	10	1,75	Hidráulica fácil (2023)
Válvula reguladora 50 mm	1	10	0,25	Hidráulica fácil (2023)
Válvula antirretorno ¾"	1	2,5	1,75	Hidráulica fácil (2023)
Codo 90° ¾"	6	0,9	1,75	Hidráulica fácil (2023)
Unión ¾"	4	0,04	1,75	Neutrium (2023)
Entrada tubería 50 mm	1	1	0,25	Neutrium (2023)

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de la contracción brusca que sucede entre la salida del estanque IBC y la conexión con la manguera de ¾" esta se determina con la Ecuación C.5 (Farfán, s.f.).

$$h_{m_i} = k_m \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \quad (\text{Ec. C. 5})$$

Donde

v_1 : velocidad después de la pieza [m/s]

v_2 : velocidad antes de la pieza [m/s]

La contracción de la pieza (D_1/D_2) es de 2,5. Por lo que k_m es igual a 0,41 de acuerdo a la Tabla C.2 presentada por Farfán (s.f), por lo que la pérdida de carga total por la reducción brusca del sistema de tuberías es de 0,047 [m].

El detalle de las pérdidas de carga por cada accesorio se encuentra en la Tabla C.6.

Tabla C.6: Pérdidas de carga por accesorio tramo Almacenamiento de agua–Estanque de medio de cultivo 2.

Accesorio	Pérdida de carga por accesorio [m]
Válvula reguladora ¾"	1,5684
Válvula reguladora 50 mm	0,033
Válvula antirretorno ¾"	0,3921
Codo 90° ¾"	0,8469

Continuación **Tabla C.6:** Pérdidas de carga por accesorio tramo Almacenamiento de agua–Estanque de medio de cultivo 2.

Unión ¾"	0,025
Entrada tubería 50 mm	0,0032
Contracción brusca	0,047
TOTAL	2,92

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que la pérdida total de carga del tramo Almacenamiento de agua – Estanque de medio de cultivo2 se encuentra detallado en la Tabla C.7.

Tabla C.7: Pérdidas de carga total en tramo Almacenamiento de agua – Estanque de medio de cultivo 2.

	Perdida de carga total [m]
$h_{f_{PVC}}$	1,40
$h_{f_{ACERO}}$	0,54
h_m	2,92
TOTAL	4,86

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que, aplicando la ecuación C.1, la altura que debe tener la bomba para el tramo desde el almacenamiento de agua hasta el estanque de medio de cultivo 2 es de:

$$H = \frac{101325 - 101325}{998 * 9,8} + \frac{1,75^2 - 0^2}{2 * 9,8} + (1,065 - 0,938) + 4,86$$

$$H = 5,14 [m]$$

Determinación altura de la bomba para tramo Almacenamiento de agua - Estanque de extractos

En el diseño de la planta está considerado la implementación de un estanque para la preparación de los extractos acuoso y ácido, por lo que la determinación de la altura de la bomba para su alimentación es en función de la distancia de este respecto al estanque de almacenamiento de agua. La Figura C.2 representa la distribución de tuberías y accesorios para este tramo.

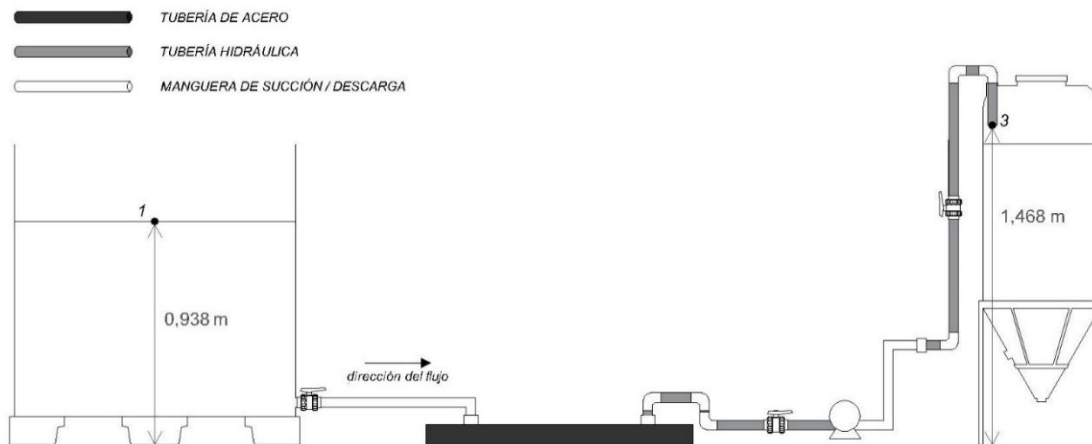


Figura C.2: Dibujo del tramo Almacenamiento de agua – Estanque de extractos. (Elaboración propia).

La aplicación de la ecuación Ec. C.6. resulta en la determinación de la altura de la bomba (Streeter & Wylie, 2000).

$$\frac{P_3 - P_1}{\rho g} + \frac{v_3^2 - v_1^2}{2g} + (h_3 - h_1) + h_f + h_m = H \quad (\text{Ec. C.6})$$

Donde:

P_1 : Presión absoluta en punto 1 [Pa]

P_2 : Presión absoluta en punto 3 [Pa]

v_1 : Velocidad del fluido en punto 1 [m/s]

v_2 : Velocidad del fluido en punto 3 [m/s]

h_1 : Altura del punto 1 respecto al suelo [m]

h_2 : Altura del punto 3 respecto al suelo [m]

h_f : Pérdida de carga lineal [m]

h_f : Pérdida de carga de accesorios [m]

H : Altura de la bomba [m]

ρ : Densidad del agua, 998 [kg/m³] (Streeter & Wylie, 2000).

g : Aceleración de la gravedad, 9,81 [m/s²]

Los valores de las condiciones en las que se encuentra el fluido en los puntos de referencia 1 y 3 de la Figura C.2 se encuentran detallados en la Tabla C.8.

Tabla C.8: Condiciones de los puntos de referencia.

	Valor
Presión punto 1	101.325 [Pa]
Presión punto 3	101.325 [Pa]
Velocidad punto 1	0 [m/s]
Velocidad punto 3	1,75 [m/s]
Altura punto 1	0,938 [m]
Altura punto 3	1,468 [m]

Fuente: Elaboración propia.

Las condiciones de trabajo para el transporte de agua en estos tramos son las mismas que el anterior por lo que las propiedades serán consideradas las mismas de las Tablas C.2, C.3 y C.4.

Según el diseño de la planta propuesta, el largo de la tubería/manguera de PVC para la línea de agua hasta el estanque de extractos es de 7,312 m. Por lo que las pérdidas de cargas lineales corresponden a:

$$h_{f_{PVC}} = 0,023411 \frac{5,735 * 1,75^2}{2 * 0,01905 * 9,8}$$

$$h_{f_{PVC}} = 1,10 [m]$$

La sección de tubería de acero y los accesorios utilizados son los mismos obtenidos desde la determinación de la altura de la bomba tramo Almacenamiento de agua- Estanque de medio de cultivo 2. Por lo que el resumen de pérdidas de carga queda como lo dispuesto en la Tabla C.9.

Tabla C.9: Pérdidas de carga total en tramo Almacenamiento de agua – Estanque de extractos.

	Pérdida de carga total [m]
$h_{f_{PVC}}$	1,10
$h_{f_{ACERO}}$	0,54
h_m	2,92
TOTAL	4,56

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que, aplicando la ecuación C.6, la altura que debe tener la bomba para el tramo desde el almacenamiento de agua hasta el estanque de extractos es de:

$$H = \frac{101325 - 101325}{998 * 9,8} + \frac{1,75^2 - 0^2}{2 * 9,8} + (1,468 - 0,938) + 4,56$$

$$H = 5,25 [m]$$

Anexo D: Determinación altura de bomba de línea de extracto acuoso

A continuación, se presentan los cálculos realizados para determinar la altura de la bomba para que esta sea capaz de trasladar el extracto acuoso desde el estanque cónico hasta el segundo estanque de medio de cultivo y hasta el estanque de desechos.

Determinación altura de la bomba para tramo Estanque de extractos - Estanque de medio de cultivo 2.

En el diseño de la planta está considerado la implementación de dos estanques de medio de cultivo para que funcionen de manera alternada, por lo que la determinación de la altura de la bomba para su alimentación es en función del estanque que se encuentra a mayor distancia respecto al de extractos. La Figura D.1 representa la distribución de tuberías y accesorios para este tramo.



Figura D.1: Dibujo del tramo Estanque de extractos – Estanque de medio de cultivo 2. (Elaboración propia)

La determinación de la altura de la bomba se hace de manera análoga con la Ecuación C.1, cuyas condiciones de los puntos de referencia son las estipuladas en la Tabla D.1.

Tabla D.1: Condiciones de los puntos de referencia.

	Valor
Presión punto 1	101.325 [Pa]
Presión punto 2	101.325 [Pa]
Velocidad punto 1	0 [m/s]
Velocidad punto 2	1,75 [m/s]
Altura punto 1	1,320 [m]
Altura punto 2	1,065 [m]

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el régimen de trabajo es necesario calcular el número de Reynolds como ya se mostró en la Ecuación C.2. Se consideran las mismas propiedades del agua para los extractos ya que están altamente diluidos.

El diámetro de las tuberías utilizadas fue determinado de acuerdo con el requerimiento de la planta donde se espera transportar el fluido a un caudal de 30 L min⁻¹.

La determinación de la velocidad del fluido dentro de las tuberías es el cociente entre el caudal del fluido que transporta y el área de esta. El resultado de esto se encuentra en la Tabla D.2, por lo que el valor del N° de Reynolds es de 33.105,3.

Tabla D.2: Velocidad dentro de las tuberías.

Diámetro de la tubería/manguera de PVC	0,01905 [m]
Velocidad media dentro de la tubería/manguera de PVC	1,75 [m/s]

Fuente: Elaboración propia.

Al estar trabajando con un régimen turbulento, las pérdidas de cargas lineales se determinan con la Ecuación C.3 previamente utilizada, mientras que el coeficiente de fricción fue calculado en función del N° de Reynolds en el sitio web Calculator A to Z³, cuyo resultado fue de 0,023411.

El largo de la tubería/manguera de PVC dispuesto para la línea de extracto acuoso hasta el estanque de medio de cultivo 2 es de 5,833 m. Por lo que las pérdidas de cargas lineales corresponden a:

$$h_{f_{PVC}} = 0,023411 \frac{5,833 * 1,75^2}{2 * 0,01905 * 9,8}$$

$$h_{f_{PVC}} = 1,40 [m]$$

En cuanto a las pérdidas de carga por accesorios, se determinan con la Ecuación C.4, cuyos coeficientes para cada accesorio son los incluidos en la Tabla D.3 y resultado final en la Tabla D.4.

Tabla D.3: Coeficientes de pérdida para cada accesorio presente en el sistema de tuberías.

Accesorio	Cantidad	k_m	$v [m s^{-1}]$	Referencia
Válvula reguladora ¾"	1	10	1,75	Hidráulica fácil (2023)
Válvula antirretorno ¾"	1	2,5	1,75	Hidráulica fácil (2023)
Codo 90° ¾"	3	0,9	1,75	Hidráulica fácil (2023)
Unión ¾"	1	0,04	1,75	Neutrium (2023)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla D.4: Pérdidas de carga por accesorio tramo Estanque de extractos – Estanque de medio de cultivo 2.

Accesorio	Pérdida de carga por accesorio [m]
Válvula reguladora ¾"	1,5684
Válvula antirretorno ¾"	0,3921
Codo 90° ¾"	0,42345
Unión ¾"	0,00625
TOTAL	2,39

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que la pérdida total de carga del sistema es el contenido en la Tabla D.5.

³ <https://www.calculatoratoz.com/es/friction-factor-for-transitional-turbulent-flow-calculator/Calc-14109>

Tabla D.5: Pérdidas de carga total tramo Estanque de extractos – Estanque de medio de cultivo 2.

	Perdida de carga total [m]
$h_{f_{PVC}}$	1,40
h_m	2,39
TOTAL	3,79

Fuente: Elaboración propia.

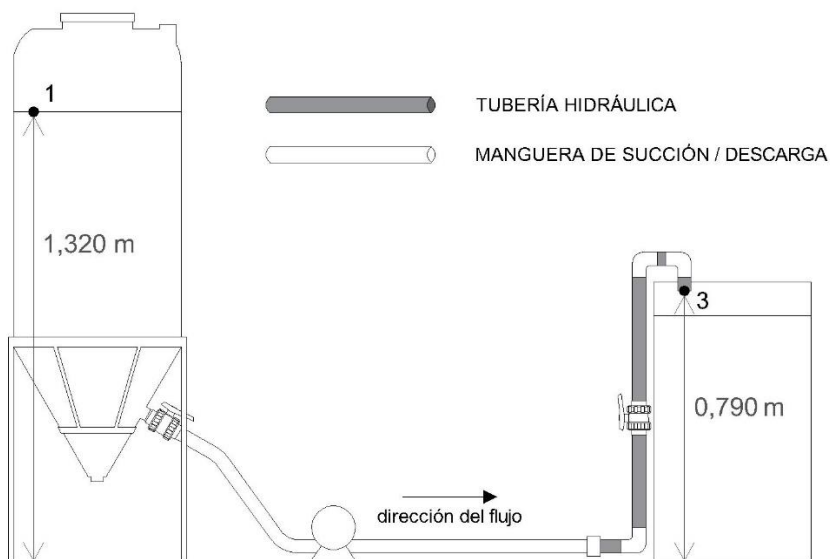
Por lo que la altura que debe tener la bomba para el tramo desde el estanque de extractos hasta el estanque de medio de cultivo 2 es de:

$$H = \frac{101325 - 101325}{998 * 9,8} + \frac{1,75^2 - 0^2}{2 * 9,8} + (1,065 - 1,320) + 3,79$$

$$H = 3,69 [m]$$

Determinación altura de la bomba para tramo Estanque de extractos - Estanque de desechos

En el diseño de la planta propuesto hay una producción en exceso de extracto acuoso, por lo que parte de este resulta como desecho, el transporte este es realizado con la misma bomba que mueve el extracto acuoso desde el estanque hasta el del medio de cultivo. Por lo que es necesario determinar la altura necesaria de la bomba para que también cumpla esta condición. La Figura D.2 representa la distribución de tuberías y accesorios para este tramo.

**Figura D.2:** Dibujo del tramo Estanque de extractos – Estanque de desechos (Elaboración propia).

La determinación de la altura de la bomba se hace de manera análoga con la Ecuación C.6, cuyas condiciones de los puntos de referencia son las estipuladas en la Tabla D.6.

Tabla D.6: Condiciones de los puntos de referencia.

	Valor
Presión punto 1	101.325 [Pa]
Presión punto 3	101.325 [Pa]
Velocidad punto 1	0 [m/s]
Velocidad punto 3	1,75 [m/s]
Altura punto 1	1,320 [m]
Altura punto 3	0,790 [m]

Fuente: Elaboración propia.

Las condiciones de trabajo para el transporte de extracto en estos tramos son las mismas que el anterior por lo que las propiedades serán consideradas las mismas de las Tablas C.2, C.3 y C.4.

Según el diseño de planta propuesto, el largo de la tubería/manguera de PVC para la línea de extracto acuoso hasta el estanque de desechos es de 1,993 m. Por lo que las pérdidas de cargas lineales corresponden a:

$$h_{f_{PVC}} = 0,023411 \frac{1,993 * 1,75^2}{2 * 0,01905 * 9,8}$$

$$h_{f_{PVC}} = 0,37 [m]$$

Los accesorios utilizados en este tramo son los mismos del tramo Estanque de extractos – Estanque de Medio de cultivo 2, por lo que el resumen de pérdidas de carga queda como lo estipulado en la Tabla D.7.

Tabla D.7: Pérdidas de carga total tramo Estanque de extractos – Estanque de desechos.

	Pérdida de carga total [m]
$h_{f_{PVC}}$	0,37
h_m	2,39
TOTAL	2,79

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que la altura que debe tener la bomba para el tramo desde estanque de extractos hasta el estanque de desechos es de:

$$H = \frac{101325 - 101325}{998 * 9,8} + \frac{1,75^2 - 0^2}{2 * 9,8} + (1,468 - 0,938) + 2,79$$

$$H = 3,48 [m]$$

Anexo E: Determinación altura de bomba de línea de extracto ácido

A continuación, se presentan los cálculos realizados para determinar la altura de la bomba para que esta sea capaz de trasladar el extracto ácido desde el estanque cónico hasta el segundo estanque de medio de cultivo. Cabe destacar que, si bien esta parte del proceso incluye el paso del fluido por un filtro prensa manual para remover los sólidos, lo que se hace en el presente Anexo es determinar la capacidad que debe tener la bomba incluida en este filtro.

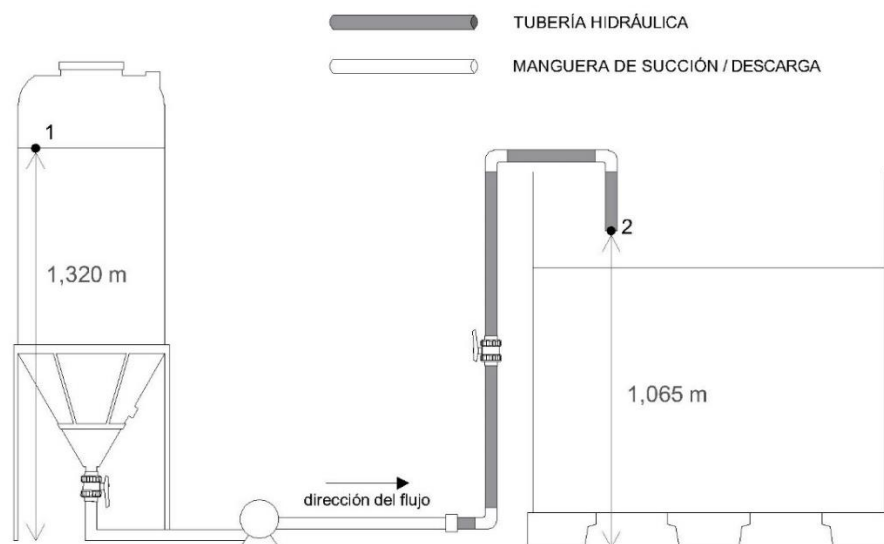


Figura E.1: Dibujo del tramo Estanque de extractos – Estanque de medio de cultivo 2. (Elaboración propia).

La determinación de la altura de la bomba se hace de manera análoga con la Ecuación C.1, cuyas condiciones de los puntos de referencia son las estipuladas en la Tabla E.1.

Tabla E.1: Condiciones de los puntos de referencia.

	Valor
Presión punto 1	101.325 [Pa]
Presión punto 2	101.325 [Pa]
Velocidad punto 1	0 [m/s]
Velocidad punto 2	1,75 [m/s]
Altura punto 1	1,320 [m]
Altura punto 2	1,065 [m]

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el régimen de trabajo es necesario calcular el número de Reynolds como ya se mostró en la Ecuación C.2. Se consideran las mismas propiedades del agua para los extractos ya que están altamente diluidos.

El diámetro de las tuberías utilizadas fue determinado de acuerdo con el requerimiento de la planta donde se espera transportar el fluido a un caudal de 30 L min^{-1} .

La determinación de la velocidad del fluido dentro de las tuberías es el cociente entre el caudal del fluido que transporta y el área de esta. El resultado de esto se encuentra en la Tabla E.2, por lo que el valor del N° de Reynolds es de 33.105,3.

Tabla E.2: Velocidad dentro de las tuberías.

Diámetro de la tubería/manguera de PVC	0,01905 [m]
Velocidad media dentro de la tubería/manguera de PVC	1,75 [m/s]

Fuente: Elaboración propia.

Al estar trabajando con un régimen turbulento, las pérdidas de cargas lineales se determinan con la Ecuación C.3 previamente utilizada, mientras que el coeficiente de fricción fue calculado en función del N° de Reynolds en el sitio web Calculator A to Z⁴, cuyo resultado fue de 0,023411.

El largo de la tubería/manguera de PVC para la línea de extracto acuoso hasta el estanque de medio de cultivo 2 es de 5,292 m. Por lo que las pérdidas de cargas lineales corresponden a:

$$h_{f_{PVC}} = 0,023411 \frac{5,292 * 1,75^2}{2 * 0,01905 * 9,8}$$

$$h_{f_{PVC}} = 1,02 [m]$$

En cuanto a las pérdidas de carga por accesorios, se determinan con la Ecuación C.4, cuyos coeficientes para cada accesorio son los incluidos en la Tabla E.3 y resultado final en la Tabla E.4.

Tabla E.3: Coeficientes de pérdida para cada accesorio presente en el sistema de tuberías.

Accesorio	Cantidad	k_m	v [m/s]	Referencia
Válvula reguladora ¾"	1	10	1,75	Hidráulica fácil (2023)
Válvula antirretorno ¾"	1	2,5	1,75	Hidráulica fácil (2023)
Codo 90° ¾"	3	0,9	1,75	Hidráulica fácil (2023)
Unión ¾"	1	0,04	1,75	Neutrium (2023)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla E.4: Pérdidas de carga por accesorio tramo Estanque de extractos – Estanque de medio de cultivo 2.

Accesorio	Pérdida de carga por accesorio [m]
Válvula reguladora ¾"	1,5684
Válvula antirretorno ¾"	0,3921
Codo 90° ¾"	0,42345
Unión ¾"	0,00625
TOTAL	2,39

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que la pérdida total de carga del sistema es el contenido en la Tabla E.5.

Tabla E.5: Pérdidas de carga total tramo Estanque de extractos – Estanque de medio de cultivo 2.

	Pérdida de carga total [m]
$h_{f_{PVC}}$	1,02
h_m	2,39
TOTAL	3,41

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que la altura que debe tener la bomba para el tramo desde el almacenamiento de agua hasta el estanque de medio de cultivo 2 es de:

⁴ <https://www.calculatoratoz.com/es/friction-factor-for-transitional-turbulent-flow-calculator/Calc-14109>

$$H = \frac{101325 - 101325}{998 * 9,8} + \frac{1,75^2 - 0^2}{2 * 9,8} + (1,065 - 1,320) + 3,41$$
$$H = 3,31 [m]$$

Anexo F: Consumo energético mensual

	Hora de funcionamiento [h/día]	Cantidad	Potencia [kW]	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Lámpara UV	0,51	1	0,03	0	0	0,015	0,015	0,015	0,000	0,015	0,015	0,000	0,015	0	0
Mezclador IBC	0,5	1	1,34	0	0	0,67	0,67	0,67	0	0,67	0,67	0	0,67	0	0
Mezclador estanque cónico	1,7	1	0,4	0	0	0,68	0,68	0,68	0	0,68	0,68	0	0,68	0	0
Bomba agua	0,51	1	0,75	0	0	0,39	0,39	0,39	0,00	0,39	0,39	0,00	0,39	0	0
Bomba extracto acuoso	0,09	1	0,75	0	0	0,07	0,07	0,07	0,00	0,07	0,07	0,00	0,07	0	0
Filtro prensa	0,04	1	0,37	0	0	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0	0
Soplador	24	5	0,12	0	0	427,8	414	427,8	414	427,8	427,8	414	427,8	414	0
Bomba peristáltica	12,8	5	0,75	0	0	1488	1440	1488	1440	1488	1488	1440	1488	1440	0
Selladora	0,5	1	0,6	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Microscopio	9	1	0,01	0	0	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	0
Notebook	9	1	0,2	0	0	36	36	36	36	36	36	36	36	36	0
Total				0	0	1955,73	1893,63	1955,43	1891,80	1955,43	1955,43	1891,80	1955,43	1891,80	0

Anexo G: Ficha técnica bomba centrífuga ACm75

ACm Centrifugal Pump



Application

- Can be used to transfer clean water or other liquids similar to water in physical and chemical properties
- Suitable for industrial use and urban water supply, pressure boosting for high buildings and fire fighting, garden irrigation, long-distance water transfer, heating ventilation and air conditioning, circulation and pressure boosting for cold and hot water, and supporting equipment etc.

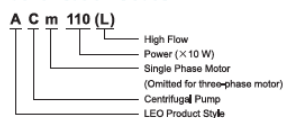
Pump

- Cast iron pump body and support under special anti-rust treatment
- AISI 304 shaft
- Max. liquid temperature: +40°C
- Max. suction: +8 m

Motor

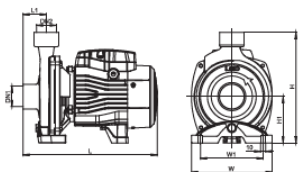
- C&U bearing
- Motor with copper winding
- Built-in thermal protector for single phase motor
- Insulation class: F
- Protection class: IPX4
- Max. ambient temperature: +40°C

Identification Codes



Technical Data

MODEL	POWER		Q (m³/h)	Q (l/min)																																																																																																																																																																																							
	Single Phase	Three Phase		1/2	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16																																																																																																																																																																						
ACm25	—	0,25	0,3	17	18,5	19,2	20	21,5	22,5	23,5	24,5	25,5	26,5	27,5	28,5	29,5	30,5	31,5	32,5	33,5	34,5	35,5	36,5	37,5	38,5	39,5	40,5	41,5	42,5	43,5	44,5	45,5	46,5	47,5	48,5	49,5	50,5	51,5	52,5	53,5	54,5	55,5	56,5	57,5	58,5	59,5	60,5	61,5	62,5	63,5	64,5	65,5	66,5	67,5	68,5	69,5	70,5	71,5	72,5	73,5	74,5	75,5	76,5	77,5	78,5	79,5	80,5	81,5	82,5	83,5	84,5	85,5	86,5	87,5	88,5	89,5	90,5	91,5	92,5	93,5	94,5	95,5	96,5	97,5	98,5	99,5	100,5	101,5	102,5	103,5	104,5	105,5	106,5	107,5	108,5	109,5	110,5	111,5	112,5	113,5	114,5	115,5	116,5	117,5	118,5	119,5	120,5	121,5	122,5	123,5	124,5	125,5	126,5	127,5	128,5	129,5	130,5	131,5	132,5	133,5	134,5	135,5	136,5	137,5	138,5	139,5	140,5	141,5	142,5	143,5	144,5	145,5	146,5	147,5	148,5	149,5	150,5	151,5	152,5	153,5	154,5	155,5	156,5	157,5	158,5	159,5	160,5	161,5	162,5	163,5	164,5	165,5	166,5	167,5	168,5	169,5	170,5	171,5	172,5	173,5	174,5	175,5	176,5	177,5	178,5	179,5	180,5	181,5	182,5	183,5	184,5	185,5	186,5	187,5	188,5	189,5	190,5	191,5	192,5	193,5	194,5	195,5	196,5	197,5	198,5	199,5	200,5

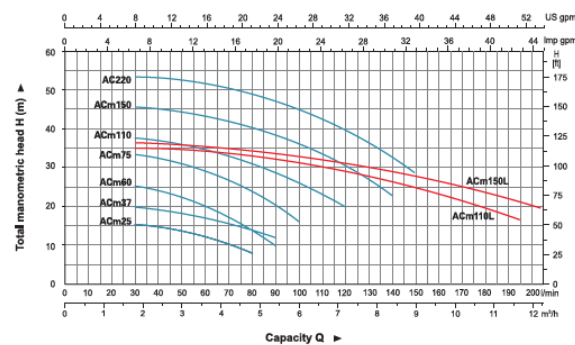


Dimension

Model	DN1	DN2	L (mm)	W (mm)	H (mm)	L ₁ (mm)	W ₁ (mm)	H ₁ (mm)
ACm25	—	—	270	157	216	42	122	90
ACm37	—	—	270	157	216	42	122	90
ACm60	1"	1"	298	190	240	44	160	93
ACm75	1"	1"	298	190	240	44	160	100
ACm110	1 1/4"	1 1/4"	359	206	263	50	178	112
ACm150	1 1/2"	1 1/2"	390	240	289	51	207	115
AC220	—	—	360	240	286	51	207	115
ACm110L	1 1/4"	1 1/4"	356	206	265	48,5	178	112
ACm150L	1 1/2"	1 1/2"	356	206	265	48,5	178	112

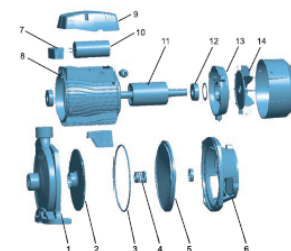


Hydraulic Performance Curves



Materials Table

No.	Part	Material
1	Pump body	HT200
2	Impeller	AISI 304
3	O-ring	NBR
4	Mechanical seal	Carbon/Carbon
5	Support cover	ADI 304HT200
6	Support	DI.102
7	Terminal board	PC
8	Water	—
9	Terminal box	ABS
10	Capacitor	—
11	Rotor	—
12	Bearing	—
13	Rear cover	DI.102
14	Fan	PP
15	Fan cover	PP

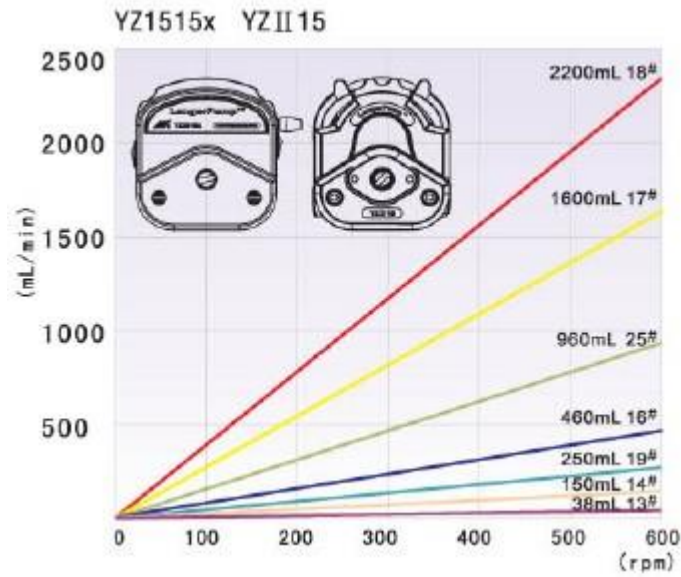


Package Information

Model	GW (Kg)	L (mm)	W (mm)	H (mm)	Quantity (PCS/20 TEU)
ACm25	7,9	290	185	239	2124
ACm37	8,4	290	185	239	2124
ACm60	11,5	333	215	260	1384
ACm75	13,4	333	215	260	1384
ACm110	18,45	383	233	287	987
ACm150	22,8	425	265	310	770
AC220	23,3	425	265	310	770
ACm110L	18,4	383	233	287	987
ACm150L	19,35	383	233	287	987




Anexo H: Ficha técnica cabezal YZ1515x



Tubing Sizes		13#	14#	19#	16#	25#	17#	18#	15#	24#	35#	36#	
Tubing cross sections (1:1)													
Wall thickness (mm)		1.6						2.4					
Inner diameter (mm)		0.8	1.6	2.4	3.1	4.8	6.4	7.9	4.8	6.4	7.9	9.6	
Maximum pressure (Mpa)	Continuous	0.17			0.14	0.10	0.07	0.17			0.14		
	Intermittent	0.27			0.24	0.14	0.10	0.27			0.24		

Anexo I: Ficha técnica sistema de agitación IBC

	FICHA TECNICA SISTEMA AGITACIÓN	Ubicación: Santiago - Rancagua Mail: contacto@melper.cl www.melper.cl Contacto: +56996179480																																			
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="2" style="background-color: #FFD700;">MODELO: AG1-FAST_OPEN</td> </tr> <tr> <td>CATEGORÍA:</td> <td>MIXING</td> </tr> <tr> <td>ALIMENTACION:</td> <td>220V</td> </tr> <tr> <td>ACERO ASPAS:</td> <td>AISI 304L</td> </tr> <tr> <td>POTENCIA KW</td> <td>1,34</td> </tr> <tr> <td>IBC:</td> <td>NO INCLUIDO</td> </tr> </table>		MODELO: AG1-FAST_OPEN		CATEGORÍA:	MIXING	ALIMENTACION:	220V	ACERO ASPAS:	AISI 304L	POTENCIA KW	1,34	IBC:	NO INCLUIDO																							
MODELO: AG1-FAST_OPEN																																					
CATEGORÍA:	MIXING																																				
ALIMENTACION:	220V																																				
ACERO ASPAS:	AISI 304L																																				
POTENCIA KW	1,34																																				
IBC:	NO INCLUIDO																																				
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #FFD700;">CARACTERISTICAS DEL MOTOREDUCTOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MOTOR</td> <td>Rhino 1.0 HP 4P AL-IE2 B3 220v</td> </tr> <tr> <td>REDUCTOR</td> <td>Rhino JMRV075 15:1 Sinfin-Corona</td> </tr> <tr> <td>AISLACIÓN</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td>PROTECCIÓN</td> <td>IP55</td> </tr> <tr> <td>RPM (RANGO)</td> <td>93 RPM</td> </tr> <tr> <td>FRECUENCIA (Hz)</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>VOLTAJE</td> <td>220V</td> </tr> <tr> <td>POTENCIA SISTEMA (HP)</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		CARACTERISTICAS DEL MOTOREDUCTOR		MOTOR	Rhino 1.0 HP 4P AL-IE2 B3 220v	REDUCTOR	Rhino JMRV075 15:1 Sinfin-Corona	AISLACIÓN	F	PROTECCIÓN	IP55	RPM (RANGO)	93 RPM	FRECUENCIA (Hz)	50	VOLTAJE	220V	POTENCIA SISTEMA (HP)	1	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #FFD700;">CARACTERISTICAS DE AGITADOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIAMETRO EJE</td> <td>38 mm</td> </tr> <tr> <td>LARGO EJE</td> <td>2500mm</td> </tr> <tr> <td>MATERIAL EJE E IMF</td> <td>AISI 304L</td> </tr> <tr> <td>IMPULSORES</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>TIPO IMPULSOR</td> <td>Fast_Open</td> </tr> <tr> <td>ACOPAMIENTO EJE</td> <td>MASAS</td> </tr> <tr> <td>DIAMETRO TOTAL</td> <td>500mm</td> </tr> </tbody> </table>		CARACTERISTICAS DE AGITADOR		DIAMETRO EJE	38 mm	LARGO EJE	2500mm	MATERIAL EJE E IMF	AISI 304L	IMPULSORES	3	TIPO IMPULSOR	Fast_Open	ACOPAMIENTO EJE	MASAS	DIAMETRO TOTAL	500mm
CARACTERISTICAS DEL MOTOREDUCTOR																																					
MOTOR	Rhino 1.0 HP 4P AL-IE2 B3 220v																																				
REDUCTOR	Rhino JMRV075 15:1 Sinfin-Corona																																				
AISLACIÓN	F																																				
PROTECCIÓN	IP55																																				
RPM (RANGO)	93 RPM																																				
FRECUENCIA (Hz)	50																																				
VOLTAJE	220V																																				
POTENCIA SISTEMA (HP)	1																																				
CARACTERISTICAS DE AGITADOR																																					
DIAMETRO EJE	38 mm																																				
LARGO EJE	2500mm																																				
MATERIAL EJE E IMF	AISI 304L																																				
IMPULSORES	3																																				
TIPO IMPULSOR	Fast_Open																																				
ACOPAMIENTO EJE	MASAS																																				
DIAMETRO TOTAL	500mm																																				
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">Fast_Open</div>  </div>																																					
<p>Aspas con sistema de agitación eléctrico para diferentes tipos de mezclado. Estos agitadores son utilizados en la industrias de alimentos, líquidos, químicos, productos agrícolas, entre otras. Pueden ser fabricados para diferentes capacidades y requerimientos. Además fabricamos todo los repuestos y hacemos mantenencias técnicas.</p>																																					

Anexo J: Ficha técnica soplador

¡UN SOPLADOR PROFESIONAL AL SERVICIO DE TODOS!

HP-120

LINEAR AIR PUMPS

HIBLOW®

- ◊ Bajo consumo de energía.
- ◊ Robusto, con carcasa de aluminio que permite un enfriamiento eficaz.
- ◊ Muy Silencioso.
- ◊ Resiste a interperies.
- ◊ Tecnología de punta desarrollada por TECNO TAKATSUKI Japón.
- ◊ Mantenión Fácil.
- ◊ Garantía 1 Año.

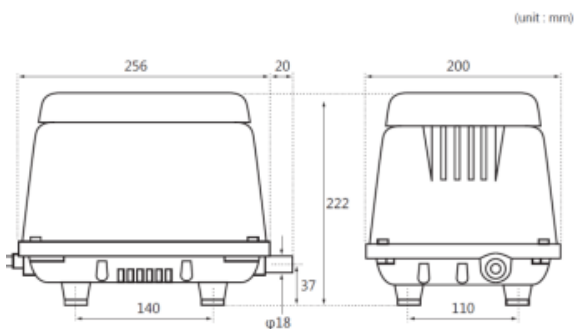
APLICACIONES:

- ◆ Tratamiento de Aguas Residuales. Plantas de tratamiento.
- ◆ Aireación de Tranques y Acuarios de buen tamaños
- ◆ Aireación de Baños químicos y Biológicos
- ◆ Sistemas de Ambientadores y neutralizadores de olores.
- ◆ Colchones y camas de aires.
- ◆ Aireación de SPA....
- ◆ Donde se necesita air Limpio y Seco

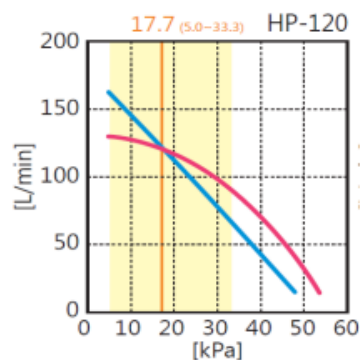
CARACTERISTICAS:

Tensión nominal	Frecuencia	Presión	Volumen Aire	Consumo	Nivel acústico	Peso
AC230 v	50 / 60 Hz	17.7 kPa	120 L/min	115 w	40 dBA	8.5 Kg

DIMENSIONES



CURVA



- 50 Hz - 60 Hz - Presión nominal - Rango de presión de uso.

- ◊ Todos los valores son referenciales, no tienen valor de garantía.
- ◊ Nota: Las temperaturas de funcionamiento de los equipos son entre 5° y 40°

Distribuido en Chile por: CNA Ltda- Longitudinal sur km 176.6- Teno

+56 75 241 2018 * +562 2979 1512 * +569 5662 4404 * www.hiblow.cl * contacto@hiblow.cl

Anexo K: Flujos de cajas en distintos escenarios

EVALUACIÓN DE PROYECTO PRIVADO

Las tablas a continuación presentan el resultado de los flujos de caja considerando un proyecto privado, sin embargo, no se considera el pago de impuestos por las utilidades puesto a que son intangibles.

En cada uno de los escenarios presentados se evalúan tres casos hipotéticos; el primero es considerando la plantación de 660 árboles por hectárea por lo que los ingresos por recuperación de bosque corresponden al brizado por el equivalente a 19,6 ha. El segundo caso corresponde a la plantación de 330 árboles por hectárea por lo que los ingresos por recuperación de bosque corresponden al brizado por el equivalente a 39,9 ha. Por último, el caso de plantación de 100 árboles por hectárea por lo que los ingresos por recuperación de bosque corresponden al brizado por el equivalente a 129,1 ha

Financiamiento total a través de crédito bancario

Tabla K.1: Flujo de caja con fondos evaluación privado caso 660 árboles.

FLUJO DE CAJA									
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
INGRESOS									
<i>Ahorro</i>		26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
<i>Recuperación del bosque</i>		154,84	154,84	154,84	154,84	154,84	154,84	154,84	154,84
EGRESOS									
<i>Costos fijos</i>		75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77
<i>Gastos administrativos y de venta</i>		563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79
<i>Interés de préstamo</i>		199,63	168,80	131,66	86,95	33,12	0,00	0,00	0,00
R° DEL EJERCICIO		-657,84	-627,00	-589,87	-545,16	-491,33	-458,21	-458,21	-458,21
Inversión inicial	2496,80								
Inversión de capital de trabajo	839,19								
Capital de trabajo									839,19
Préstamo	1133,33								
Amortización de deuda		151,07	181,90	219,03	263,75	317,58			
Valor de desecho									141,58
FLUJO DE CAJA [UF]	-1363,47	-808,91	-808,91	-808,91	-808,91	-808,91	-458,21	-458,21	522,56

Tabla K.2: Amortización de la deuda para el caso de fondos con evaluación privado caso 660 árboles.

TABLA DE AMORTIZACION				
	Saldo Deuda	Cuota	Interés	Amortización
Año 0	1133,33			
Año 1	982,26	350,70	199,63	151,07
Año 2	800,36	350,70	168,80	181,90
Año 3	581,33	350,70	131,66	219,03
Año 4	317,58	350,70	86,95	263,75
Año 5	0,00	350,70	33,12	317,58

Tabla K.3: Flujo de caja con fondos evaluación privado caso 330 árboles.

FLUJO DE CAJA									
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
INGRESOS									
<i>Ahorro</i>		26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
<i>Recuperación del bosque</i>		309,69	309,69	309,69	309,69	309,69	309,69	309,69	309,69
EGRESOS									
<i>Costos fijos</i>		75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77
<i>Gastos administrativos y de venta</i>		563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79
<i>Interés de préstamo</i>		199,63	168,80	131,66	86,95	33,12			
R° DEL EJERCICIO		-503,00	-472,16	-435,03	-390,32	-336,48	-303,36	-303,36	-303,36
Inversión inicial	2496,80								
Inversión de capital de trabajo	839,19								
Préstamo	1133,33								
Amortización de deuda		151,07	181,90	219,03	263,75	317,58			
Capital de trabajo									839,19
Valor de desecho									141,58
FLUJO DE CAJA [UF]	-2202,66	-654,06	-654,06	-654,06	-654,06	-654,06	-303,36	-303,36	677,41

Tabla K.4: Amortización de la deuda para el caso de fondos con evaluación privado caso 330 árboles

TABLA DE AMORTIZACION				
	Saldo Deuda	Cuota	Interés	Amortización
Año 0	1133,33			
Año 1	982,26	350,70	199,63	151,07
Año 2	800,36	350,70	168,80	181,90
Año 3	581,33	350,70	131,66	219,03
Año 4	317,58	350,70	86,95	263,75
Año 5	0,00	350,70	33,12	317,58

Tabla K.5: Flujo de caja con fondos evaluación privado caso 100 árboles

FLUJO DE CAJA									
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
INGRESOS									
Ahorro		26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
Recuperación del bosque		1021,98	1021,98	1021,98	1021,98	1021,98	1021,98	1021,98	1021,98
EGRESOS									
Costos fijos		75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77
Gastos administrativos y de venta		563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79
Interés de préstamo		199,63	168,80	131,66	86,95	33,12			
R° DEL EJERCICIO		209,29	240,13	277,26	321,97	375,81	408,92	408,92	408,92
Inversión inicial	2496,80								
Inversión de capital de trabajo	839,19								
Préstamo	1133,33								
Amortización de deuda		151,07	181,90	219,03	263,75	317,58			
Capital de trabajo									839,19
Valor de desecho									141,58
FLUJO DE CAJA [UF]	-2202,657	58,223	58,223	58,223	58,223	58,223	408,922	408,922	1389,692

Tabla K.6: Amortización de la deuda para el caso de fondos con evaluación privado caso 100 árboles

TABLA DE AMORTIZACION				
	Saldo Deuda	Cuota	Interés	Amortización
Año 0	1133,33			
Año 1	982,26	350,70	199,63	151,07
Año 2	800,36	350,70	168,80	181,90
Año 3	581,33	350,70	131,66	219,03
Año 4	317,58	350,70	86,95	263,75
Año 5	0,00	350,70	33,12	317,58

Tabla K.7: Depreciación evaluación privado

DEPRECIACION ANUAL									
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Mezclador IBC		2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98
Mezclador estanque cónico		1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
Bomba agua		0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
Bomba extracto acuoso		0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
Filtro prensa manual		0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
Soplador		4,62	4,62	4,62	4,62	4,62	4,62	4,62	4,62
estructura FB		2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78
Bomba peristáltica		5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82
Obra inicial		0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
Total de depreciación		20,23	20,23	20,23	20,23	20,23	20,23	20,23	20,23

Financiamiento total a través de subsidio y crédito bancario

Tabla K.8: Flujo de caja con fondos evaluación privado más subsidio caso 660 árboles

FLUJO DE CAJA									
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
INGRESOS									
<i>Ahorro</i>		26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
<i>Recuperación del bosque</i>		154,84	154,84	154,84	154,84	154,84	154,84	154,84	154,84
EGRESOS									
<i>Costos fijos</i>		75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77
<i>Gastos administrativos y de venta</i>		563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79
<i>Interés de préstamo</i>		186,23	158,50	124,51	82,85	31,79	0,00	0,00	0,00
R° DEL EJERCICIO		-644,44	-616,71	-582,71	-541,05	-489,99	-458,21	-458,21	-458,21
Inversión inicial	2496,80								
Inversión de capital de trabajo	825,79	-27,73	-33,99	-41,66	-51,06	-31,79			
Subsidio DS95	171,52								
Préstamo	961,81								
Amortización de deuda		122,91	150,64	184,63	226,29	277,35			
Capital de trabajo									825,79
Valor de desecho									141,58
FLUJO DE CAJA [UF]	-2189,25	-739,61	-733,35	-725,68	-716,28	-735,56	-458,21	-458,21	509,16

Tabla K.9: Amortización de la deuda para el caso de fondos con evaluación privado más subsidio caso 660 árboles

TABLA DE AMORTIZACION				
	Saldo Deuda	Cuota	Interés	Amortización
Año 0	961,81			
Año 1	838,91	309,13	186,23	122,91
Año 2	688,27	309,13	158,50	150,64
Año 3	503,64	309,13	124,51	184,63
Año 4	277,35	309,13	82,85	226,29
Año 5	0,00	309,13	31,79	277,35

Tabla K.10: Flujo de caja con fondos evaluación privado más subsidio caso 330 árboles

FLUJO DE CAJA									
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
INGRESOS									
<i>Ahorro</i>		26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
<i>Recuperación del bosque</i>		309,69	309,69	309,69	309,69	309,69	309,69	309,69	309,69
EGRESOS									
<i>Costos fijos</i>		75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77
<i>Gastos administrativos y de venta</i>		563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79
<i>Interés de préstamo</i>		153,02	130,23	102,30	68,07	26,12	0,00	0,00	0,00
Rº DEL EJERCICIO		-456,38	-433,60	-405,67	-371,44	-329,48	-303,36	-303,36	-303,36
Inversión inicial	2496,80								
Inversión de capital de trabajo	792,58	-22,79	-27,93	-34,23	-41,95	-26,12			
Subsidio DS 95	343,04								
Préstamo	790,29								
Amortización de deuda		100,99	123,78	151,70	185,94	227,89			
Capital de trabajo									792,58
Valor de desecho									141,58
FLUJO DE CAJA [UF]	-2156,04	-534,58	-529,44	-523,14	-515,42	-531,25	-303,36	-303,36	630,79

Tabla K.11: Amortización de la deuda para el caso de fondos con evaluación privado más subsidio caso 330 árboles

TABLA DE AMORTIZACION				
	Saldo Deuda	Cuota	Interés	Amortización
Año 0	790,29			
Año 1	689,31	254,01	153,02	100,99
Año 2	565,53	254,01	130,23	123,78
Año 3	413,83	254,01	102,30	151,70
Año 4	227,89	254,01	68,07	185,94
Año 5	0,00	254,01	26,12	227,89

Tabla K.12: Flujo de caja con fondos evaluación privado más subsidio caso 100 árboles

FLUJO DE CAJA									
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
INGRESOS									
<i>Ahorro</i>		26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
<i>Recuperación del bosque</i>		1021,98	1021,98	1021,98	1021,98	1021,98	1021,98	1021,98	1021,98
EGRESOS									
<i>Costos fijos</i>		75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77
<i>Gastos administrativos y de venta</i>		563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79
R° DEL EJERCICIO		408,92	408,92	408,92	408,92	408,92	408,92	408,92	408,92
Inversión inicial	2496,80								
Inversión de capital de trabajo	639,56								
Subsidio DS95	1132,02								
Capital de trabajo									639,56
Valor de desecho									141,58
FLUJO DE CAJA [UF]	-2004,34	408,92	408,92	408,92	408,92	408,92	408,92	408,92	1190,06

Financiamiento total a través de aporte de un inversionista**Tabla K.13:** Flujo de caja con fondos evaluación inversionista caso 660 árboles.

FLUJO DE CAJA									
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
INGRESOS									
<i>Ahorro</i>		26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
<i>Recuperación del bosque</i>		154,84	154,84	154,84	154,84	154,84	154,84	154,84	154,84
EGRESOS									
<i>Costos fijos</i>		75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77
<i>Gastos administrativos y de venta</i>		563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79
R° DEL EJERCICIO		-458,21	-458,21	-458,21	-458,21	-458,21	-458,21	-458,21	-458,21
Inversión inicial	2496,80								
Inversión de capital de trabajo	639,56								
Capital de trabajo									639,56
Valor de desecho									141,58
FLUJO DE CAJA [UF]	-3136,36	-458,21	-458,21	-458,21	-458,21	-458,21	-458,21	-458,21	322,93

Tabla K.14: Flujo de caja con fondos evaluación inversionista caso 330 árboles

FLUJO DE CAJA									
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
INGRESOS									
<i>Ahorro</i>		26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
<i>Recuperación del bosque</i>		309,69	309,69	309,69	309,69	309,69	309,69	309,69	309,69
EGRESOS									
<i>Costos fijos</i>		75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77
<i>Gastos administrativos y de venta</i>		563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79
R° DEL EJERCICIO		-303,36	-303,36	-303,36	-303,36	-303,36	-303,36	-303,36	-303,36
Inversión inicial	2496,80								
Inversión de capital de trabajo	639,56								
Capital de trabajo									639,56
Valor de desecho									141,58
FLUJO DE CAJA [UF]	-3136,36	-303,36	-303,36	-303,36	-303,36	-303,36	-303,36	-303,36	477,77

Tabla K.15: Flujo de caja con fondos evaluación inversionista caso 100 árboles

FLUJO DE CAJA									
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
INGRESOS									
<i>Ahorro</i>		26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
<i>Recuperación del bosque</i>		1021,98	1021,98	1021,98	1021,98	1021,98	1021,98	1021,98	1021,98
EGRESOS									
<i>Costos fijos</i>		75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77	75,77
<i>Gastos administrativos y de venta</i>		563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79	563,79
R° DEL EJERCICIO		408,92	408,92	408,92	408,92	408,92	408,92	408,92	408,92
Inversión inicial	2496,80								
Inversión de capital de trabajo	639,56								
Capital de trabajo									639,56
Valor de desecho									141,58
FLUJO DE CAJA [UF]	-3136,36	408,92	408,92	408,92	408,92	408,92	408,92	408,92	1190,06

EVALUACIÓN DE PROYECTO SOCIAL

Las tablas a continuación presentan el resultado de los flujos de caja considerando un proyecto social, por lo que no se considera el pago de impuestos y el financiamiento proviene netamente desde el presupuesto destinado a tareas de reforestación.

Se evalúan tres casos hipotéticos; el primero es considerando la plantación de 660 árboles por hectárea por lo que los ingresos por recuperación de bosque corresponden al brizado por el equivalente a 19,6 ha. El segundo caso corresponde a la plantación de 330 árboles por hectárea por lo que los ingresos por recuperación de bosque corresponden al brizado por el equivalente a 39,9 ha. Por último, el caso de plantación de 100 árboles por hectárea por lo que los ingresos por recuperación de bosque corresponden al brizado por el equivalente a 129,1 ha.

Tabla K.16: Flujo de caja con fondos evaluación social caso 660 árboles

FLUJO DE CAJA									
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
INGRESOS									
<i>Ahorro</i>		22,27	22,27	22,27	22,27	22,27	22,27	22,27	22,27
<i>Recuperación del bosque</i>		154,84	154,84	154,84	154,84	154,84	154,84	154,84	154,84
EGRESOS									
<i>Costos fijos</i>		63,67	63,67	63,67	63,67	63,67	63,67	63,67	63,67
<i>Gastos administrativos y de venta</i>		542,49	542,49	542,49	542,49	542,49	542,49	542,49	542,49
R° DEL EJERCICIO		-429,05	-429,05	-429,05	-429,05	-429,05	-429,05	-429,05	-429,05
<i>Inversión inicial</i>	418,64								
<i>Inversión de capital de trabajo</i>	606,17								
<i>Capital de trabajo</i>									606,17
<i>Valor de desecho (contable)</i>									118,97
FLUJO DE CAJA	-1024,81	-429,05	-429,05	-429,05	-429,05	-429,05	-429,05	-429,05	296,09

Tabla K.17: Flujo de caja con fondos evaluación social caso 330 árboles

FLUJO DE CAJA									
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
INGRESOS									
<i>Ahorro</i>		22,27	22,27	22,27	22,27	22,27	22,27	22,27	22,27
<i>Recuperación del bosque</i>		309,69	309,69	309,69	309,69	309,69	309,69	309,69	309,69
EGRESOS									
<i>Costos fijos</i>		63,67	63,67	63,67	63,67	63,67	63,67	63,67	63,67
<i>Gastos administrativos y de venta</i>		542,49	542,49	542,49	542,49	542,49	542,49	542,49	542,49
R° DEL EJERCICIO		-274,20	-274,20	-274,20	-274,20	-274,20	-274,20	-274,20	-274,20
<i>Inversión inicial</i>	418,64								
<i>Inversión de capital de trabajo</i>	606,17								
<i>Capital de trabajo</i>									606,17
<i>Valor de desecho (contable)</i>									118,97
FLUJO DE CAJA	-1024,81	-274,20	-274,20	-274,20	-274,20	-274,20	-274,20	-274,20	450,94

Tabla K.18: Flujo de caja con fondos evaluación social caso 100 árboles

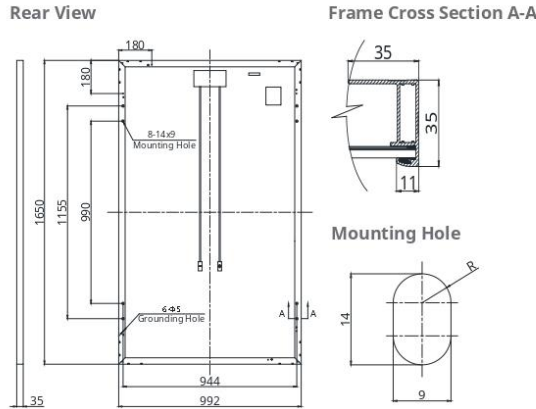
FLUJO DE CAJA									
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
INGRESOS									
Ahorro		22,27	22,27	22,27	22,27	22,27	22,27	22,27	22,27
Recuperación del bosque		1021,98	1021,98	1021,98	1021,98	1021,98	1021,98	1021,98	1021,98
EGRESOS									
Costos fijos		63,67	63,67	63,67	63,67	63,67	63,67	63,67	63,67
Gastos administrativos y de venta		542,49	542,49	542,49	542,49	542,49	542,49	542,49	542,49
R' DEL EJERCICIO		438,08	438,08	438,08	438,08	438,08	438,08	438,08	438,08
Inversión inicial	418,64								
Inversión de capital de trabajo	606,17								
Capital de trabajo									606,17
Valor de desecho (contable)									118,97
FLUJO DE CAJA	-1024,81	438,08	438,08	438,08	438,08	438,08	438,08	438,08	557,06

Tabla K.19: Depreciación evaluación social

DEPRECIACION ANUAL									
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Mezclador IBC		2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Mezclador estanque cónico		1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39
Bomba agua		0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Bomba extracto acuoso		0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Filtro prensa manual		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Soplador		3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88
estructura FB		2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33
Bomba peristáltica		4,89	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89
Obra inicial		0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
Total de depreciación		17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00

Anexo L: Ficha técnica paneles fotovoltaicos CS6K-280P

ENGINEERING DRAWING (mm)



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6K	270P	275P	280P
Nominal Max. Power (Pmax)	270 W	275 W	280 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	30.8 V	31.0 V	31.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.75 A	8.88 A	8.95 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.9 V	38.0 V	38.2 V
Short Circuit Current (Isc)	9.32 A	9.45 A	9.52 A
Module Efficiency	16.50%	16.80%	17.11%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC/UL) or 1500 V (IEC/UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS6K	270P	275P	280P
Nominal Max. Power (Pmax)	199 W	202 W	206 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	28.3 V	28.5 V	28.8 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.01 A	7.10 A	7.16 A
Open Circuit Voltage (Voc)	35.3 V	35.4 V	35.6 V
Short Circuit Current (Isc)	7.52 A	7.63 A	7.68 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

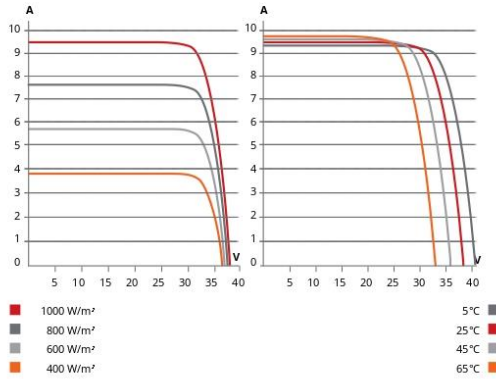
Outstanding performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 96.5 % for irradiances between 200 W/m² and 1000 W/m² (AM 1.5, 25°C).

* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

CS6K-280P / I-V CURVES



MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6 × 10)
Dimensions	1650 × 992 × 35 mm (65.0 × 39.1 × 1.38 in)
Weight	18.2 kg (40.1 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4.0 mm ² (IEC), 12 AWG (UL), 1000 mm (39.4 in)
Connector	T4 series
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	840 pieces

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.40 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	43 ± 3 °C

PARTNER SECTION



Anexo M: Ficha técnica inversor

Hoja de datos	MOD 10KTL3-X	MOD 11KTL3-X	MOD 12KTL3-X	MOD 13KTL3-X	MOD 15KTL3-X
Datos de Entrada (DC)					
Potencia máx. de PV	15000W	16500W	18000W	19500W	22500W
Voltaje máx. de DC			1100V		
Voltaje de arranque			160V		
Voltaje nominal			580V		
Rango de tensión del funcionamiento de MPP			140V-1000V		
Número de MPPT			2		
Número de cadenas por cada MPPT	1	1	1/2	1/2	1/2
Corriente máx. de cada MPPT	13A	13A	13/26A	13/26A	13/26A
Max. Corriente de cortocircuito por MPPT	16A	16A	16/32A	16/32A	16/32A
Datos de Salida (AC)					
Potencia nominal de AC	10000W	11000W	12000W	13000W	15000W
Potencia máx. aparente de AC	11000VA*	12100VA	13200VA	14300VA	16500VA
Voltaje nominal de AC (rango)			220V/380V, 230V/400V (340-440V)		
Frecuencia de red de AC (rango)			50/60 Hz (45-55Hz/55-65 Hz)		
Corriente máx.de salida	16.7A	18.3A	20A	21.7A	25A
Factor de potencia de desplazamiento			0.8avance...0.8retardo		
THDI			< 3%		
Conexión de AC			Monofásico		
Eficiencia					
Máx.eficiencia			98.6%		
Eficiencia europea	98.1%	98.1%		98.2%	98.2%
Eficiencia de MPPT			99.9%		
Dispositivos de protección					
Protección contra polaridad inversa de DC			Si		
Interruptor de DC			Si		
Protección contra sobretensiones			Tipo II / Tipo II		
Monitoreo de aislamiento			Si		
Protección de cortocircuito de AC			Si		
Monitoreo de fallas a tierra			Si		
Monitoreo de red			Si		
Protección anti-isla			Si		
Monitoreo de corriente residual			Si		
Monitoreo de error de cadena			Si		
Protección AFCI			Si		
Datos generales					
Dimensión			425/387/178mm		
Peso	14kg	14kg	16kg	16kg	16kg
Rango de temperatura de funcionamiento			- 25°C ... +60°C		
Autoconsumo en noche			< 1W		
Topología			sin transformador		
Concepto de enfriamiento			Natural		
Grado de protección			IP66		
Humedad relativa			0-100%		
Altitud			4000m		
Conexión de DC			H4/MC4(opcional)		
Conexión de AC			Conector		
Muestra			OLED+LED/WIFI+APP		
Interfaces:RS485/USB/WIFI/GPRS/RF/LAN			si/si/op/op/op/op		
Garantía: 10 años			si		
CE, VDE0126, Greece, EN50549, C10/C11, UTE C 15-712, IEC42116, IEC61727, IEC 60058, IEC 61683, CEI0-21, N4105, TOR Erzeuger G98/G99, G100, AS4777, UNE217001, UNE206007, POT2.2					

* Sólo la última versión contiene la corriente máxima de 13.5A por MPPT, contacta con Growatt para detalles

* El rango de frecuencia y voltaje de AC puede variar según el estándar de red del país específico. Todas las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.

Anexo N: Detalle de costos en la planta

Tabla N.1: Detalle de costos de Obra inicial.

	Proveedor	Precio unitario (sin IVA)	IVA (19%)	Precio unitario (IVA incluido)	Cantidad	Total (IVA incluido)
POLÍN IMPREGNADO 3" - 4" X 3,00 M	Masmadera	\$4.629	\$880	\$5.509	40	\$220.360
Malla raschel blanca 35%, 2,1 mts ancho	Masferret	\$832	\$158	\$990	120	\$118.800
Clavo corriente 3" acero bolsa 1 kilo Inchalam	Easy	\$1.924	\$366	\$2.290	2	\$4.580

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N.2: Detalle de costos de Sección elaboración de medio de cultivo.

	Proveedor	Precio unitario (sin IVA)	IVA (19%)	Precio unitario (IVA incluido)	Cantidad	Total (IVA incluido)
Hidra Liquid succión/descarga 3/4" 50m	Hidraservice	\$90.000	\$17.100	\$107.100	1	\$107.100
Tubo pvc hidráulico 20 mmx 6 metros c 16 Hoffens	Easy	\$2.429	\$461	\$2.890	1	\$2.890
Codo 90° PVC soldable 20 mm Hoffens	Easy	\$244	\$46	\$290	5	\$1.450
Conector de riego con espiga 3/4" HI Rosca 3/4" Truper	Falabella	\$3.773	\$717	\$4.490	1	\$4.490
TEMINAL PVC-PRESIÓN CEM-HI 20MM X 3/4"	Construmart	\$496	\$94	\$590	1	\$590
Lampara UV 8 GPM ECO HE 3/4" 30W	Aguaplanet	\$159.655	\$30.335	\$189.990	1	\$189.990
Adaptador para válvula de IBC de 2" con salida a espiga 3/4"	Superbidón	\$7.050	\$1.340	\$8.390	1	\$8.390
Bushing Reducción Pvc Hidráulico 1 X 3/4 He-hi Pvc	Falabella	\$2.513	\$477	\$2.990	4	\$11.960
Acople Camlock Polipropileno Tipo F 3/4"	Suver	\$866	\$164	\$1.030	5	\$5.150
Acople Camlock Polipropileno Tipo C 3/4"	Suver	\$2.782	\$528	\$3.310	5	\$16.550
Codo 90° hi 20 x 3/4"-pvc	Ferreteria legacy	\$1.261	\$239	\$1.500	4	\$6.000
Acople Camlock Polipropileno Tipo B 3/4"	Suver	\$2.748	\$522	\$3.270	2	\$6.540
Acople Camlock Polipropileno Tipo E 3/4"	Suver	\$899	\$171	\$1.070	5	\$5.350

Continuación **Tabla N.2:** Detalle de costos de Sección elaboración de medio de cultivo.

Válvula bola compacta 3/4 hi agua fría Hoffens	Easy	\$2.513	\$477	\$2.990	2	\$5.980
Abrazadera acero inoxidable cremallera 3/4"	Imperial	\$626	\$119	\$745	20	\$14.900
ESTACA BASTON SOPORTE POLIETILENO 20 MM	Agroservicios capurro	\$168	\$32	\$200	25	\$5.000
Válvula bola 20 mm PVC	Falabella	\$1.840	\$350	\$2.190	1	\$2.190
Válvula de retencion UPVC 20mm	Aguaplanet	\$5.874	\$1.116	\$6.990	4	\$27.960
ESTANQUE IBC BOT. NUEVA JAULA REA. 1000 LTS NACIONAL	Cambiente	\$297.334	\$56.493	\$353.827	3	\$1.061.482
Estanque cónico con atril	Beerwall	\$327.563	\$62.237	\$389.800	1	\$389.800
Mixing 1.0 HP/220v a 140 RPM Hydrofoil Expanded 500 inox AISI 304L Soporte ajustable incluido	Melper	\$1.352.941	\$257.059	\$1.610.000	1	\$1.610.000
Mixing 0.5 HP/220v a 140 RPM Hydrofoil Expanded Soporte ajustable incluido	Melper	\$750.000	\$142.500	\$892.500	1	\$892.500
Abrazadera PVC-P Fija 20mm 1u	Falabella	\$92	\$18	\$110	8	\$880
Amarra Cable 250 x 3.6 mm Negra (Bolsa 100 Unidades)	Diartek	\$5.261	\$999	\$6.260	1	\$6.260
BOMBA CENTRIFUGA LEO ACm75	LEO	\$96.796	\$18.391	\$115.187	2	\$230.374
Fermtech Super Colombo Plate - Máquina de filtro de vino comercial para filtrar vino, agua, infusiones, cervezas, soluciones farmacéuticas, perfumes. Bomba de transferencia (4 almohadillas)	Amazon	\$403.166	\$76.601	\$479.767	1	\$479.767
Tambor plástico 120 litros Gris tapa chica	Superbidón	\$44.529	\$8.461	\$52.990	1	\$52.990
Ácido clorhídrico PA 35,4% 36,6% CAS 7647-01-0 ENVASE 2,5 L CDH	Comercial Vimaroni SA	\$18.261	\$3.470	\$21.731	1	\$21.731
Ácido ortofosfórico PA libre de magnesio CAS 7664-38-2 2,5 L CDH	Comercial Vimaroni SA			\$72.432	1	\$72.432

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N.3: Detalle de costos de Sección cultivo de cianobacterias.

	Proveedor	Precio unitario (sin IVA)	IVA (19%)	Precio unitario (IVA incluido)	Cantidad	Total (IVA incluido)
Manguera silicona #25 bomba peristaltica diam. 4,8 x 8mm BLP PUMP 1MT	Comercial Vimaroni SA	\$7.100	\$1.349	\$8.449	16	\$135.184
Tubo pvc hidráulico 20 mmx 6 metros c 16 Hoffens	Easy	\$2.429	\$461	\$2.890	7	\$20.230
Tapa Gorro PVC-P Cementar 20mm 1u	Falabella	\$328	\$62	\$390	10	\$3.900
Tee PVC-P Cementar 20MM 1u	Falabella	\$328	\$62	\$390	10	\$3.900
Difusor para Acuarios	Pethome	\$832	\$158	\$990	30	\$29.700
Codo 90° PVC soldable 20 mm Hoffens	Easy	\$244	\$46	\$290	20	\$5.800
LLAVE BOLA GAS HI-HI 3/4" (DN 20)	Nibsa	\$6.800	\$1.292	\$8.092	10	\$80.920
Soplador HIBLOW HP-120	Ecoboutique	\$419.328	\$79.672	\$499.000	5	\$2.495.000
Estrucutra fotobiorreactor	Tekos-K ltda.	\$252.320	\$47.941	\$300.261	5	\$1.501.305
BIDON 25 LTS. BOCA ANCHA SIN LLAVE	Arirang plásticos	\$24.672	\$4.688	\$29.360	5	\$146.800
Almacenamiento de caldo	Punto maestro	\$3.109	\$591	\$3.700	5	\$18.500
Bomba peristaltica bt100-2j	Comercial Vimaroni SA	\$366.300	\$69.597	\$435.897	5	\$2.179.485
Rollo de plástico 4m x 10 m (cortar 5 de 4x2m)	Pauta SpA	\$35.000	\$6.650	\$41.650	1	\$41.650
Selladora	Segesa SpA.	\$99.990	\$18.998	\$118.988	1	\$118.988
Cabezal bomba peristaltica good pump YZ1515X	Comercial Vimaroni SA	\$162.500	\$30.875	\$193.375	5	\$966.875
Bomba manual para estanques IBC de 1000 litros	Superbidón	\$105.000	\$19.950	\$124.950	1	\$124.950
Adaptador para bomba manual NX	Superbidón	\$8.815	\$1.675	\$10.490	1	\$10.490
Rotámetro	Equipos médicos Chile SpA.	\$200.000	\$38.000	\$238.000	5	\$1.190.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N.4: Detalle de costos de Sección análisis bioquímico.

	Proveedor	Precio unitario (sin IVA)	IVA (19%)	Precio unitario (IVA incluido)	Cantidad	Total (IVA incluido)
Microscopio Monocular 400x - 3 Objetivos (4x, 10x y 40x)	Bioquimica	\$92.482	\$17.572	\$110.054	1	\$110.054
Tester de pH / TDS / Conductividad (Rango Alto) - HI98130	Hanna Chile	\$231.000	\$43.890	\$274.890	1	\$274.890
Fotómetro de Mesa Multiparámetro y Medidor de pH - HI83300	Hanna Chile	\$1.453.200	\$276.108	\$1.729.308	1	\$1.729.308
MICROPIPETA MONOCANAL 1 A 5ML	Grupobios	\$188.100	\$35.739	\$223.839	1	\$223.839
MICROPIPETA MONOCANAL 20 A 200UL	Grupobios	\$180.651	\$34.324	\$214.975	1	\$214.975
Portaobjeto para Microscopía superficie lisa y borde pulido (25mm x 75mm x 1,2mm) - Caja 50 Un	Bioquimica	\$1.023	\$194	\$1.217	1	\$1.217
Cubreobjetos - Vidrio - 18x18 Mm - 100 Unidades	Bioquimica	\$645	\$123	\$768	1	\$768
PUNTA DE 1-5ML GRADUADA SIN FILTRO EN BOLSA BOLSA X 250 UNID	Grupobios	\$25.104	\$4.770	\$29.874	1	\$29.874
PUNTA AMARILLA SIN FILTRO EN BOLSA, VOLUMEN DE 20 A 200UL BOLSA X 1000 UNIDADES	Grupobios	\$11.189	\$2.126	\$13.315	1	\$13.315
Guantes de Nitrilo sin Polvo - Caja 100 un	Bioquimica	\$14.288	\$2.715	\$17.003	1	\$17.003
Alcohol Etílico/Etanol 95° 1lt	Bioquimica	\$6.098	\$1.159	\$7.257	1	\$7.257
Toalla Papel Hoja Simple 250 Mt 2 Rollos Jumbo	Dipy	\$7.399	\$1.406	\$8.805	1	\$8.805
Agua Destilada Bidon 5 Litros	Soviquim	\$3.613	\$686	\$4.299	1	\$4.299
Piseta Monocal de 20 - 200ul	Bioquimica	\$1.339	\$255	\$1.594	1	\$1.594
Notebook Lenovo E41-55 AMD Ryzen 3 3250U 4GB DDR4 256GB SSD M.2 14 HD Windows 10 Pro	Scglobal	\$278.143	\$52.847	\$330.990	1	\$330.990

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N.5: Detalle de costos de Sección almacenamiento.

	Proveedor	Precio unitario (sin IVA)	IVA (19%)	Precio unitario (IVA incluido)	Cantidad	Total (IVA incluido)
Tambor plástico 120 litros Gris tapa chica	Superbidón	\$44.529	\$8.461	\$52.990	5	\$264.950
Carro De Carga / Yegua 200kg Toolmax	Falabella	\$46.966	\$8.924	\$55.890	1	\$55.890

Fuente: Elaboración propia.