



Universidad de Concepción
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Industrial



IMPACTO SOCIOECONÓMICO DEL DESARROLLO DE UNA ALTERNATIVA ACUAPÓNICA EN LA X REGIÓN.

POR

Agustín Ignacio Espinoza Díaz

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de
Concepción para optar al título profesional de Ingeniero Civil Industrial

Profesores Guía

Hernaldo del Carmen Reinoso Alarcón

Luis Armando Quiñones Escobar

Agosto 2023

Concepción (Chile)

© 2023 Agustín Ignacio Espinoza Díaz

© 2023 Agustín Ignacio Espinoza Díaz

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento

SUMARIO

El mal desempeño residual de la industria productiva ha obligado a implementar una serie de regulaciones y leyes ambientales, limitando capacidades productivas, por el impacto ambiental generado al tener un nulo manejo de residuos, que, si bien económicamente es rentable para el gestor, perjudica fuertemente el ecosistema y sociedad local. En específico, el cultivo en mar genera daños en los fondos marinos al producir un agotamiento de recursos biológicos, por medio de la contaminación y finalmente la destrucción de cadenas tróficas. Por esto, se busca analizar, evaluar y demostrar, tanto en términos monetarios como sociales, la implementación de un centro acuapónico, dando especial énfasis al tratado de residuos, optimización de recursos y la generación de un mínimo impacto ambiental, brindando una alternativa innovadora al proceso tradicional y demostrar que la generación de rentabilidades puede ser similar e incluso mayor. De esta forma, por medio de la adaptación del procedimiento AMTI, se busca cuantificar en dimensiones económicas, sociales y ambientales, la factibilidad, y evaluar si esta, es una opción viable de producción masiva.

Analizando los principales resultados económicos bajo el escenario realista, se alcanza una positiva rentabilidad en torno al horizonte evaluativo, ya que tanto el VAN como la TIR alcanzan valores de \$43.681.854 y 7,6%, siendo esta última cifra mayor a la tasa de descuento utilizada (6%).

Por su parte, la dimensión social, a partir del ingreso por beneficio y asumiendo una tasa de descuento social de 10%, se obtiene un VANS y TIR social de \$297.045.054 y 38%, respectivamente. Concluyendo que el proyecto no sólo es factible sino además rentable socialmente, lo cual, sumado al análisis cualitativo obtenido a partir de la encuesta aplicada a una localidad de la X región, indica que un 84% de las personas prefieren la implementación de proyectos terrestres a los tradicionales.

Respecto a la dimensión ambiental, la investigación obtiene que existe una disminución cercana al 85% en la utilización del recurso hídrico, a comparación con la producción de manera independiente, mientras que, en cuanto a la generación de lodos, disminuye cerca del 35%. Por ende, considerando que ambos indicadores provocan impactos similares, existe una ponderación 1:1, obteniendo una disminución de impacto generado del 60%. Finalmente, resulta un proyecto factible bajo los tres aspectos, teniendo un gran potencial de crecimiento en el factor económico, mientras que los factores sociales y ambientales son una gran fortaleza del plan productivo de aplicación, generando finalmente que se considere una alternativa viable para suplir producciones de industrias tradicionales y competir en el mercado acuícola.

ABSTRACT

The poor residual performance of the productive industry has forced the implementation of a series of regulations and environmental laws, limiting productive capacities, due to the environmental impact generated by having zero waste management, which, although economically profitable for the manager, strongly harms the local ecosystem and society. Specifically, cultivation in the sea causes damage to the seabed by producing a depletion of biological resources, through contamination and finally the destruction of trophic chains. For this reason, it seeks to analyze, evaluate and demonstrate, both in monetary and social terms, the implementation of an aquaponic center, giving special emphasis to waste treatment, optimization of resources and the generation of a minimum environmental impact, providing an innovative alternative to traditional process and demonstrate that the generation of returns can be similar and even higher. In this way, through the adaptation of the AMTI procedure, it seeks to quantify the feasibility in economic, social and environmental dimensions, and evaluate if this is a viable option for mass production.

Analyzing the main economic results under the realistic scenario, a positive profitability is reached around the evaluative horizon, since both the NPV and the IRR reach values of \$43,681,854 and 7.6%, the latter figure being higher than the interest rate. discount used (6%).

On the other hand, the social dimension, based on income from benefits and assuming a social discount rate of 10%, obtains a VANS and social IRR of \$297,045,054 and 38%, respectively. Concluding that the project is not only feasible but also socially profitable, which, added to the qualitative analysis obtained from the survey applied to a town in the X region, indicates that 84% of people prefer the implementation of land projects to the traditional ones.

Regarding the environmental dimension, the research finds that there is a decrease close to 85% in the use of water resources, compared to production independently, while, in terms of sludge generation, it decreases close to 35%. Therefore, considering that both indicators cause similar impacts, there is a 1:1 weighting, obtaining a 60% decrease in generated impact. Finally, it is a feasible project under the three aspects, having a great growth potential in the economic factor, while the social and environmental factors are a great strength of the productive application plan, finally generating that it is considered a viable alternative to supply productions. from traditional industries and compete in the aquaculture market.

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS	E
LISTA DE TABLAS	G
LISTA DE FIGURAS	H
LISTA DE ANEXOS	I
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 CONTEXTO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA INDUSTRIA RELACIONADA CON LA ACUICULTURA	1
1.2 PROPÓSITO GENERAL	3
1.3 OBJETIVO GENERAL	4
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.5 METAS DEL ESTUDIO	5
1.6 ANTECEDENTES GENERALES.....	6
1.6.1 Trucha Arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	6
1.6.2 Camarón excavador de río (<i>Parastacus Pugnax</i>)	14
1.6.3 Acuaponía (<i>Lactuca Sativa</i>)	20
1.6.4 Centro de Cultivo	27
1.6.5 Problemática asociada a la producción acuícola	32
1.6.6 Mercado.....	33
2. DESARROLLO	34
2.1 METODOLOGÍAS	34
2.1.1 Densidad de Poblaciones.....	35
2.1.2 Construcción base de datos	39
2.1.3 Evaluación Rentabilidad Privada del Proyecto	40
2.1.4 Evaluación Rentabilidad Social del Proyecto	41
2.1.5 Evaluación Medioambiental del Proyecto.....	42

2.2	RESULTADOS.....	43
2.2.1	Densidad de Poblaciones Escenario Realista	43
2.2.2	Evaluación Rentabilidad Privada del Proyecto Escenario Realista	47
2.2.3	Densidad de Poblaciones Escenario Pesimista.....	48
2.2.4	Evaluación Rentabilidad Privada del Proyecto Escenario Pesimista	49
2.2.5	Evaluación Rentabilidad Social del Proyecto	50
2.2.6	Evaluación Medioambiental del Proyecto.....	52
2.2.7	Evaluación Sin y Con Proyecto.....	53
3.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	56
4.	GLOSARIO DE TÉRMINOS	61
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
6.	ANEXOS	70
7.	RESUMEN FI.....	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1: Características del agua de cultivo para la Trucha	8
Tabla 1-2: Comportamiento en función del oxígeno	9
Tabla 1-3: Comportamiento en función de la temperatura	10
Tabla 1-4: Comportamiento en función del pH	10
Tabla 1-5: Peso y talla promedio de camarón	17
Tabla 1-6: Resumen de las condiciones de agua por tipo de cultivo	26
Tabla 2-1: Datos Estanques de Cultivo	36
Tabla 2-2: Estimación gasto alimenticio producción total.....	39
Tabla 2-3: Promedio de las Medidas y Peso de la Trucha Arcoíris	39
Tabla 2-4: Comparación de escenarios	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1: Estratificación del agua	9
Figura 1-2: Componentes biológicos en el proceso acuapónico	21
Figura 1-3: Proceso de nitrificación en acuaponía	25
Figura 1-4: Disposición de estanques.....	28
Figura 1-5: Ejemplo disposición instalación productiva.....	30
Figura 1-6: Ejemplo disposición de jaulas de camarón.....	31
Figura 1-7: Esquema de ubicación invernadero hidropónico.....	32

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Principales países productores.....	70
Anexo 2: Caudal para 2000 alevines en distintas condiciones.....	70
Anexo 3: Caudal para 1000 truchas en distintas condiciones	71
Anexo 4: Factores que ocasionan una enfermedad	71
Anexo 5: Enfermedades más comunes.....	72
Anexo 6: Enfermedades y medidas de control.....	73
Anexo 7: Relación longitud y peso Trucha Arcoíris.....	74
Anexo 8: Normativa vigente camarón de río	75
Anexo 9: Distribución Camarón excavador de río.....	75
Anexo 10: Características del tipo de sustrato	76
Anexo 11: Zonas de una cama de cultivo con sustrato	76
Anexo 12: Enfermedades presentes en hidroponía	77
Anexo 13: Registros de temperatura	78
Anexo 14: Mortalidad por etapa.....	79
Anexo 15: Alternativas de alimentación de Trucha Arcoíris	79
Anexo 16: Flujo de caja anual escenario realista (privado)	80
Anexo 17: Flujo de caja anual escenario pesimista (privado).....	80
Anexo 18: Inflación por periodo	81
Anexo 19: Flujo de caja anual y acumulado (privado)	81
Anexo 20: Desglose de costos por área.....	82
Anexo 21: Resumen costos	84
Anexo 22: Inversión según tipo de gasto	84
Anexo 23: Flujos de caja anual (Social).....	85
Anexo 24: Beneficios sociales	86
Anexo 25: Preguntas de encuesta localizada.....	87

1. Introducción

1.1 Contexto de la situación actual de la industria relacionada con la acuicultura

La extensa forma por la cual está compuesto el territorio chileno, el cual posee más de 6.000 kms. de costa en el Océano Pacífico, genera que exista una gran riqueza de ecosistema marino a lo largo de su territorio. Por esta misma razón, la industria pesquera, artesanal e industrial, es una de las principales actividades económicas del país, generando alrededor de 4.000 millones de dólares anuales, correspondientes al 2021, en exportaciones de productos marítimos, desglosado de la siguiente manera: en el sector pesquero y acuícola, un 75% a salmónidos, 13.4% a otros peces, 6.3% a moluscos, 3.4% a algas y 1.1% a crustáceos (Subpesca, 2021).

A su vez, en cuanto a aspectos laborales, la industria salmonera por sí sola, genera alrededor de 70.000 puestos de trabajo, además de apoyar a más de 4.000 PYMES que ofrecen servicios de distinta índole al desarrollo de la industria (Garces, 2020), contribuyendo al cumplimiento del ODS 8 de la ONU referido al trabajo decente y crecimiento económico. Las labores realizadas dentro de este mercado conllevan a necesitar personal de distinto tipo de especificación, es decir, en áreas administrativas, científicas y tecnológicas, se necesitan profesionales con estudios superiores y experiencia en el rubro, en cambio, en áreas más manuales y técnicas, no existe la necesidad de personal tan calificado. Por ende, la acuicultura es un factor fundamental en el bajo nivel de desempleo presente en la zona sur-austral (AQUA, 2015), teniendo para el trimestre comprendido entre diciembre 2022 y febrero 2023, una tasa de tan sólo un 3.3%, lo cual es significativamente inferior a la tasa nacional de 8.4% (INE, 2023).

Por otra parte, debido a la favorable distribución geográfica, el país cuenta con un gran potencial de crecimiento en este rubro, sin embargo, a pesar de que la producción acuícola en Chile se desarrolla en diversas regiones, prioritariamente, en términos de volumen y valor, centra su desarrollo en la X y XI región (Fondo de Investigación Pesquera y Acuícola, 2005).

El sector pesquero ha sido duramente criticado, debido al gran impacto medio ambiental negativo que genera al momento de realizar sus actividades, provocado por las enormes cuotas que las empresas pesqueras deben cubrir, generando que esta actividad, en muchos casos, sobreexplota el recurso marino, destruya cadenas tróficas (directa o indirectamente) y contamine en grandes cantidades los mares y costas chilenas, atentando completamente al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo

Sostenible 14 de vida submarina (Soto, 2021). Para corregir al menos en parte estas problemáticas, existe la alternativa de la acuicultura, la cual ha sido uno de los sectores con mayor crecimiento en los últimos 30 años (Dagan, 2022). Ello, principalmente se debe a que es uno de los métodos con mayor eficiencia y sostenibilidad el cual, a comparación con la pesca industrial y artesanal, genera considerablemente menos huella de carbono e hídrica y por ende un menor impacto medioambiental (Skretting, 2022). No obstante, este es un mercado que aún no se ha explotado del todo y en términos ambientales se puede avanzar mucho más, viéndose igualmente criticado por la contaminación provocada al ecosistema local, afectando la supervivencia de la flora y fauna nativa, al introducir nuevas formas de vida al ambiente y con ello, patógenos asociados (Torreira, 2019).

Hoy, a consecuencia del aumento de las regulaciones medioambientales, sumado a la constante presencia, trabajo de supervisión y control de las instituciones correspondientes, el desarrollo de este importante rubro económico se ha visto fuertemente afectado. Ejemplo de esto, es la crítica por el uso de grandes cantidades de antibióticos, pesticidas y medicamentos, los cuales al momento de usarlos, no son totalmente consumidos y terminan finalmente en el mar, generando un fuerte impacto al ecosistema marino, que al realizarse de forma intensiva, puede afectar y dañar los fondos marinos generando un agotamiento de recursos biológicos e introducir especies invasoras en nuevas zonas geográficas, las cuales atentan contra el cumplimiento del ODS 14 y la supervivencia de los seres nativos presentes (Luna, 2017).

Como solución a dichas problemáticas, la acuicultura innovó en los aspectos más deficientes, es decir, la gran cantidad de residuos que el proceso productivo genera y expulsa directamente al mar, esta innovación metodológica consiste en aplicar el procedimiento AMTI (Acuicultura Multitrófica Integrada) a los métodos tradicionales de acuicultura marítima, es decir, crear una granja, que, a partir de la producción de un producto principal, genere una serie de subproductos que se desarrollen y coexistan entre sí, generando una mejora en el manejo de residuos, aumento de subproductos y con ello, la rentabilidad del proyecto. Sin embargo, dado que la mayor parte de la actividad productiva se desarrolla en el mar, de igual manera no existe un correcto manejo de los residuos orgánicos no consumidos por los peces o directamente los desechos fecales producidos por estos mismos.

Si a lo anterior, se suma el bajo control de los seres en cautiverio, los cuales en reiteradas ocasiones se escapan e impactan considerablemente el ecosistema nativo, genera que, a pesar de que la innovación en el método de producción, si mejora el manejo de residuos en el proceso tradicional,

existen variables que aún no se realizan de la mejor manera posible, es decir, producir sin afectar el correcto desarrollo del ecosistema presente, ya sea directamente al producirse los escapes de especies y la contaminación de las aguas por los desechos orgánicos, o indirectamente, como ocurre al introducir antibióticos, pesticidas y otras sustancias químicas.

En la actualidad, debe considerarse que la disponibilidad de muchos organismos altamente demandados, como lo es el caso del camarón de río, en el mercado nacional es extremadamente escasa, lo que ha impedido la instauración de una infraestructura comercial apropiada para su venta. Esto genera que, la única manera efectiva para activar el mercado y lograr satisfacer la demanda nacional de este producto, u otros similares, con miras futuras a la exportación, es desarrollar una industria de cultivo integral del camarón de río (García-Huidobro, 1995).

Por otra parte, la actividad relacionada con la producción agrícola es el principal consumidor de agua a nivel mundial y responsable de producir alrededor del 70% de los productos alimenticios en el mundo, contribuyendo al ODS 2 de hambre cero. Esta industria, se ha visto enfrentada a dos grandes desafíos, el estrés hídrico (ODS 6) e inseguridad alimentaria (ODS 2), siendo las regiones áridas las más afectadas, en las cuales el uso de agua de riego se ve constantemente limitado por el recurso económico o tecnologías de optimización (García-Zertuche et al., 2021).

1.2 Propósito General

En consecuencia, evidenciando la realidad y la información procedente de la acuicultura tradicional, el propósito general de esta memoria es evaluar en términos sociales y económicos, una alternativa de producción, la cual consiste en aplicar una innovación considerable a las características y procesos tradicionales del cultivo acuícola. Específicamente, el propósito de esta Memoria de Título es elaborar una opción de traslado de esta actividad, adaptando el procedimiento AMTI, al proceso de acuicultura terrestre, es decir, tener un producto principal, el cual será la Trucha Arcoíris, sumado a los dos subproductos que generan el filtrado de desechos y a la vez se desarrollan sin conllevar un considerable gasto extra, como lo será el Camarón excavador de río, el cual posee dos principales beneficios para su cultivo, primero por la disminución del nivel de especímenes en medios naturales, provocando una alerta ambiental en cuanto al peligro de extinción de esta especie, y segundo, por el aspecto comercial, dado que existe una gran aceptación y demanda en la población nacional e internacional por este recurso, alcanzando un alto precio en los diversos mercados. Luego, se culmina

la circulación y manejo de aguas, en un cultivo hidropónico de hortalizas en invernadero, específicamente lechuga, contribuyendo al crecimiento del sector agrícola de la región, que se ha visto fuertemente afectado por motivos de crecimiento poblacional, disminuyendo la disponibilidad de tierras cultivables en la zona y, por ende, la capacidad de producción, que finalmente se relaciona y contribuye al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 2 de hambre cero. De esta forma y teniendo en cuenta que la agricultura es uno de los principales medios de consumo de agua, el proyecto ayuda a combatir el estrés hídrico, contribuyendo al cumplimiento del ODS 6 y a su vez, el ODS 2, al optimizar el uso eficiente de este recurso natural (García-Zertuche et al., 2021).

En consecuencia, se busca provocar beneficios sociales y económicos de incalculable valor para las personas, la comunidad y el medioambiente, entre los cuales se pueden vislumbrar los siguientes: disminución de problemas medioambientales tanto terrestre como marino, ampliación de superficies utilizables para realizar esta actividad, nuevas oportunidades de trabajo a sectores de pescadores artesanales y agricultores, que hoy vislumbran la cesantía como su futuro inmediato, adaptación de especies en climas diversos y por ende nuevas oportunidades económicas y comerciales para importantes sectores poblacionales de nuestro país (Espinós, 2020).

1.3 Objetivo General

Evaluar la rentabilidad económica y social de la aplicación de centros acuapónicos en la X región, procurando tener un proceso productivo con el mínimo impacto medioambiental posible.

1.4 Objetivos específicos

- A nivel de la rentabilidad económica:
 - Diagnosticar el estado actual de la acuicultura tradicional.
 - Caracterizar el proceso productivo y sus unidades.
 - Analizar el mercado de productos primarios y secundarios.
 - Medir rentabilidad económica del proyecto (FC, VAN, TIR privados)
- A nivel de la rentabilidad social:
 - Diagnosticar el actual desarrollo y comportamiento social
 - Evaluar la afinidad del proyecto con la sociedad local.
 - Analizar potenciales impactos tanto positivos como negativos en las personas.

- Medir rentabilidad social del proyecto (FC, VAN y TIR sociales)
- A nivel medioambiental:
 - Analizar impactos provocados por sistemas tradicionales.
 - Caracterizar potenciales impactos medioambientales generados por el proyecto.
 - Comparar niveles de impacto ambiental entre ambos sistemas.
 - Generar una ponderación entre indicadores evaluados.

1.5 Metas del estudio

Los resultados esperados del proyecto se basan en la macro clasificación de los objetivos específicos, es decir, a nivel económico, social y medioambiental.

- 1) Nivel económico privado: Alcanzar un nivel de factibilidad y rentabilidad económica.
 - a. Indicador 1: Tasa Interna de Retorno superior al 6%.
 - b. Indicador 2: Valor Actual Neto Positivo.
 - c. Indicador 3: Periodo de Recuperación de la Inversión menor a 8 años.
- 2) Nivel Social: Alcanzar una aceptación social positiva respecto a los parámetros actuales.
 - a. Indicador 1: Tasa de Rentabilidad Social superior al 10%.
 - b. Indicador 2: VANS positivo.
 - c. Indicador 3: Encuesta localizada positiva.
- 3) Nivel Medioambiental: Disminuir en un 35% el impacto ambiental generado.
 - a. Indicador 1: Huella hídrica menor al 40%.
 - b. Indicador 2: Cantidad de desechos orgánicos menor al 40%.

En el capítulo siguiente, se describe un contexto detallado de la metodología a implementar junto a su adaptación, evidenciando tanto las condiciones de cultivo como informaciones generales. Luego, se explica cómo se llevaron a cabo las distintas etapas de la investigación y la manera de abordar el proyecto en su etapa de implementación, para que, en la sección resultados, se detalle la aplicación de las fórmulas junto con los datos enunciados previamente, de esta forma lograr determinar la obtención de las metas propuestas. Finalmente, en la sección de conclusiones, se explica a grandes rasgos el porqué de los resultados, sus implicancias económicas, sociales y ambientales, junto a posibles mejoras para un óptimo desarrollo e investigaciones futuras.

1.6 Antecedentes Generales

1.6.1 Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)

Comúnmente llamada trucha arcoíris, debido a su peculiar coloración, la cual varía principalmente en función del medio, talla, sexo y tipo de alimentación. Este es un pez carnívoro de forma alargada, muy resistente y de crecimiento rápido, perteneciente a la familia de los salmónidos, este organismo puede alcanzar en su adultez una talla de 50cm, peso de 10kg y 4.5kg en agua salada y dulce, respectivamente (FAO, 2020). Sin embargo, alcanzan tallas comerciales dentro de 1 a 2 años. Comúnmente los cultivos en Chile se desarrollan entre las regiones VIII y XII, iniciando sus etapas tempranas en agua dulce y pasando a ambientes marinos en su fase de engorda.

Según informes de IMARC, el mercado de la trucha crecerá en un 6.2% anualmente en el período 2022-2027 (IPAC, 2022). En este sentido, Chile participa fuertemente en el mercado, siendo uno de los principales exportadores del producto, junto con Europa, Norte América, Australia y Japón, como puede evidenciarse en el **Anexo 1**. El país, es uno de los principales productores, liderando las estadísticas como primer productor mundial durante el periodo 2009-2018, destacando sobre países como Irán, Turquía y Noruega (Balin, 2020), que, a su vez tienen grandes potencias como mercados de destino, destacando a: Japón, Estados Unidos, Canadá, Corea, Brasil, entre otros (Subpesca, 2013).

○ Hábitat

En su ambiente natural, es una especie que habita aguas puras y cristalinas, con pronunciados desniveles que forman rápidos, saltos y cascadas, siendo muy comunes en corrientes provenientes de la alta montaña. Son nativos de ríos, lagos y lagunas de aguas frías, limpias y bien oxigenadas, tolerante a una amplia gama de ambientes y manipulaciones, abarcando desde un ciclo de vida anádromo hasta vivir permanentemente en lagos (FAO, 2020).

○ Alimento

En la naturaleza, las truchas adultas poseen una alimentación muy variada y consiste principalmente en invertebrados (insectos, moluscos y crustáceos), huevos y pequeños peces, sin embargo, el alimento más importante son los camarones de agua dulce, que contienen los pigmentos carotenoides responsables del color rosado-naranja en la carne.

En cautiverio, los alevines grandes, pueden ser alimentados fácilmente con una dieta artificial, a pesar de que usualmente en su ambiente natural, se alimentan de zooplancton, siendo normal la inclusión

de pigmentos sintéticos en los alimentos, para lograr la coloración rosada al nivel deseado (FAO, 2020). La determinación de las raciones diarias en los respectivos estanques de cultivo depende directamente de la biomasa, temperatura y calidad del agua, debiendo dividir en varias subraciones, según la longitud promedio del pez (Montesinos, 2018).

- **Reproducción y Ciclo de Vida**

Los machos de este espécimen siempre son de mayor tamaño y durante la etapa de reproducción, suelen desarrollar dimorfismo sexual, es decir, experimentan variaciones en la fisonomía externa, para la diferenciación de sexo entre organismos de una misma especie. La trucha tiene un ciclo reproductor anual, si bien los machos pueden adquirir una madurez sexual entre los 15 y 18 meses, las hembras poseen un proceso algo más tardío, necesitando un mínimo de 2 años. La reproducción de las truchas es igual a la de todo salmónido, es decir, sexual y externa.

En cautiverio, las truchas no desovan en las instalaciones acuícolas, por lo cual es necesario, en caso de necesitar el proceso reproductor, un desove artificial en un Hatchery o estructura especializada y adaptada, utilizando peces reproductores con una madurez sexual, generalmente manteniendo separado los machos de las hembras (Diario Agroempresario, 2023). Una vez culminado este proceso, y cuando los alevines alcancen una longitud de 8-10 cm, se procede a trasladar a instalaciones de engorde al aire libre, con el fin de evitar grandes porcentajes de mortandades, generalmente se lleva a estanques abastecidos por un flujo abierto de agua, engordándolos hasta alcanzar una talla comercial, es decir, 30 cm en aproximadamente un año (Ministerio de agricultura, 2013).

Esencialmente, en el ciclo de vida de la trucha arcoíris se describen generalmente cinco etapas: huevo, alevín, cría, juvenil y adulto. No obstante, en cultivo (Montesinos, 2018) se describe en tres fases: alevinaje, juvenil y engorde, la primera dura aproximadamente 3 meses y considera desde que se recibe, hasta alcanzar los 80 gramos. Luego en la etapa de juvenil, se desarrollan hasta llegar a un gramaje de 250 gramos, en aproximadamente 3 meses. Finalmente, en la fase de engorde, llegan a alcanzar el peso estipulado como talla de cosecha.

- **Manejo del Agua**

En relación con la calidad del agua de cultivo, la literatura y experiencia histórica indica que es de suma importancia buscar una fuente de agua limpia, con poco sedimento y sin grandes contaminaciones, ya que es el medio donde los peces se desarrollan y finalmente alcanzan las características deseadas. Por ello, hay que mantener una serie de criterios como el oxígeno,

temperatura, pH, amonio y turbidez en sus respectivos rangos de aceptación. En resumen, en la **Tabla 1-1**, se puede evidenciar las principales características del agua de cultivo.

Tabla 1-1: Características del agua de cultivo para la Trucha

Parámetro	Rango	Óptimo
Oxígeno (mg/l)	7,5 a 12	8,5
Temperatura (°C)	13 a 18	15
pH	6,5 a 8,5	7

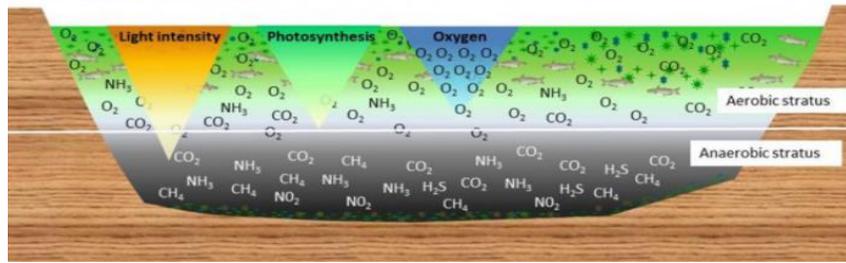
Fuente: (FAO, 2014)

En cuanto al oxígeno, los peces en crecimiento exigen menor cantidad de OD a comparación con las etapas iniciales, como los huevos y alevinaje. Este factor, está relacionado directamente con la temperatura presente, dado que mientras mayor sea esta, menor será la cantidad de oxígeno disuelto en el agua y, por ende, los individuos tendrán mayores exigencias de este indicador (Martinez, 2008). A menudo, las microalgas suministran oxígeno en exceso durante el día, mientras que, durante la noche, los organismos consumen gran parte de dicho nivel de oxígeno generado, existiendo la necesidad de aplicar medidas preventivas y así aumentar la seguridad.

El principio básico, consiste en la circulación de aguas superficiales ricas en oxígeno, con aguas de fondo, aplicando este procedimiento en las horas pico de la actividad de fotosíntesis, de manera de aumentar la efectividad.

Un fenómeno que se presenta en los estanques de diques o de laderas generalmente, es la estratificación, donde la presencia de luz solar genera que el fitoplancton se concentre en las partes superiores del estanque, lo cual a su vez, con la fotosíntesis de microalgas, hace al agua superficial rica en oxígeno, mayor pH y menos dióxido de carbono, en comparación con aguas más profundas, las cuales están mayormente sin oxígeno y da lugar a el albergue de compuestos tóxicos, como el amoníaco, nitrito, metano, sulfuro de hidrógeno, entre otras sustancias, producido principalmente por la descomposición de residuos orgánicos (heces, alimento no consumido, biomasa en descomposición). La abundancia de fitoplancton se evalúa comúnmente por los acuicultores, a través del color y transparencia del agua, de manera que, mientras menor sea la transparencia del agua, más severa y acentuada será la estratificación del agua, aumentando el riesgo de agotamiento de oxígeno y, por ende, mayor mortandad de los organismos presentes en el estanque (Kubitza, 2016).

Figura 1-1: Estratificación del agua



Fuente: (Kubitza, 2016)

La estratificación es menos pronunciada en estanques de poca profundidad, por lo cual, y por razones económicas, los estanques acuícolas no deben ser construidos demasiados profundos, generando que naturalmente se promueva la circulación. Existe un alto riesgo con la presencia de aguas anaeróbicas y tóxicas, ya que, por diversas condiciones como fuertes vientos, aumento de caudal, variación brusca de temperatura, entre otros, puede generar una mezcla rápida y completa de aguas, provocando que los peces en la zona más profunda sean más propensos a morir o severamente estresados (Kubitza, 2016). En la **Tabla 1-2**, se evidencia el comportamiento de la trucha a distintos niveles de oxígeno.

Tabla 1-2: Comportamiento en función del oxígeno

O2 (mg/l)	0 – 3.0	3.1 – 4.5	4.6 – 5.9	6.0 – 8.5
Condición	Muere	Sufre grave estrés	Poco estrés, crecimiento lento	Óptimo desarrollo

Fuente: (FONDEPES, 2014)

Otro factor clave identificado, es la temperatura, siendo el aspecto más importante en el desarrollo truchícola, que tiene directa relación con la oxigenación del agua, condiciona el efecto del crecimiento y el desarrollo de los organismos. Esto, principalmente por motivos de que la trucha arcoíris, al igual que otras especies, tiene incapacidad de regular su temperatura corporal, dependiendo totalmente del medio acuático en el cual vive (Martinez, 2008). En condiciones naturales, la trucha puede vivir en aguas con temperaturas ente los 0 y 25°C, no obstante, en ambientes artificiales, los niveles adecuados fluctúan en un rango entre los 9 y 17 °C, siendo en la etapa de alevinaje entre los 10 y 12 °C, mientras que para los juveniles en crecimiento es de 15 a 16 °C las óptimas (Martinez, 2008). A temperaturas menores, se prolonga el periodo de crecimiento y por su parte, a temperaturas mayores, aumenta el

riesgo de propagación de enfermedades (FONDEPES, 2014). En la **Tabla 1-3**, se evidencia el comportamiento según la temperatura promedio obtenida.

Tabla 1-3: Comportamiento en función de la temperatura

Temperatura (°C)	1 – 3	4 – 8	9 – 14	15 – 17	18 - 20
Consecuencia	Muere	Crecimiento Lento	Crecimiento óptimo	Velocidad crecimiento disminuye	Estrés, disminuye O2

Fuente: (FONDEPES, 2014)

En cuanto al potencial de hidrógeno (pH), actúa como importante regulador de la actividad metabólica, en el cual, las aguas cuya condición es ligeramente alcalina, son más convenientes para la producción. El rango óptimo fluctúa entre los 6.5 a 8.5, por lo cual, cuando el pH es mayor a 9 o menor a 6, deben evitarse para la truchicultura, dado que estas condiciones no son compatibles con la vida de los peces, pudiendo producir, estrés, hemorragias y enfermedades (FONDEPES, 2014). En la **Tabla 1-4**, se evidencia el comportamiento, según el nivel de pH en el agua.

Tabla 1-4: Comportamiento en función del pH

pH	4.0 – 5.0	5.1 – 6.5	6.6 – 7.9	8.0 – 10.0
Condición	Mucho estrés, crecimiento lento	Estrés, crecimiento lento	Óptimo desarrollo	Crecimiento lento, muerte

Fuente: (FONDEPES, 2014)

- **Sistema de Cultivo**

Generalmente, el sistema de cultivo se clasifica inicialmente según el tipo de producción deseada, identificados como extensivos, semi intensivos e intensivos. El primero, posee una productividad alrededor de los 35 a 100 kg/año, el sistema semi intensivo, se caracteriza por el uso de las llamadas “jaulas flotantes” con capacidades ente 5 a 15 kg/m³ y finalmente el sistema intensivo, posee sofisticadas técnicas de crianza, alcanzando densidades de cultivo entre los 14 y 20 kg/m³. Luego, a partir de la capacidad productiva existen 3 clasificaciones (Montesinos, 2018):

- Acuicultura de Recursos Limitados (AREL): No supera las 3,5 toneladas anuales
- Acuicultura de Micro y Pequeña Empresa (AMYPE): No supera las 150 toneladas anuales

- Acuicultura de Mediana y Gran Empresa (AMYGE): Supera las 150 toneladas anuales

Por lo tanto, se espera un tipo de producción intensiva, dado que son considerados necesarios en la mayoría de las situaciones para lograr un atractivo económico (FAO, 2020).

En cuanto al sector geográfico, un sitio potencial para la producción comercial de trucha debe tener inapelablemente un suministro de agua de alta calidad durante todo el año (FAO, 2020), utilizando el flujo abierto y siendo indispensable la medición del nivel de caudal en la época con mayor sequía, de manera de tener un indicador mínimo de suministro de agua en la instalación y así organizar a partir de dicho valor, los niveles productivos.

Específicamente, la producción de la trucha consiste inicialmente, en la adquisición del organismo en etapa de alevín, de manera de no escatimar costos en el área de incubación, lo cual conlleva una considerable inversión, tanto en instalaciones, maquinaria sofisticada y personal altamente calificado. Durante el transporte es importante garantizar el bienestar de los peces y asegurar que estos se entreguen en buenas condiciones, para ello, los peces se deben someter a ayuna de 24 a 48 horas, inspeccionando la temperatura, los niveles de oxígeno y el estado de los peces cada 20 o 30 minutos. Luego para el proceso de siembra, se debe evitar el cambio brusco de temperatura, esperando al menos 12 horas para volver a suministrar el alimento (Montesinos, 2018).

- **Alevín de Trucha**

Esta etapa se inicia al momento en el que el saco vitelino ha sido absorbido y comienzan la búsqueda activa de alimento, generalmente adquiriéndolos desde su talla promedio de siembra, es decir, de al menos 5.0 cm, hasta alcanzar los 10 cm y peso promedio de 12.0 gramos, aproximadamente, demorando alrededor de 3 meses en alcanzar dichos niveles (FONDEPES, 2014).

Los alevines son trasladados a distintos tipos de pilas o estanques de fibra de vidrio de 2 m de diámetro o cuadrados de 2 por 2 metros, con una profundidad de 50-60 cm aproximadamente, donde son alimentados con dietas especializadas (Ministerio de agricultura, 2013). A su vez, los alevinos son alimentados con el llamado “balanceado tipo Inicio”, que contienen alrededor de 45% de proteína, suministrándole una cantidad aproximada entre rangos del 3 - 7% de su biomasa dependiendo la talla y la temperatura promedio del agua de cultivo, con una frecuencia de dosificación por cada hora, buscando que el animal se acostumbre a comer a cabalidad. Cuando la mayoría de los peces se están alimentando activamente, se debe nutrir con una relación del 10 por ciento del peso del pez, diariamente por 2-3 semanas. Es de suma importancia, el acondicionamiento o “aclimatación” de los

alevines recién llegados, verificando la temperatura del contenedor inicial y del agua de siembra, buscando evitar el estrés de los animales sembrados (FONDEPES, 2014).

En cuanto a los pellets de alimento, estos son hechos de harina de pescado (80%), aceites de pescado y granos, proporcionan un balance nutricional, estimulando el crecimiento y calidad del producto y son formulados para contener aproximadamente 50% proteínas, junto con 12-15% grasas, vitaminas (A, D y E), minerales (calcio, fósforo y sodio) y un pigmento para lograr carne rosada (FAO, 2020). Finalmente, cuando los alevines alcanzan los 8-10 cm de longitud son trasladados a instalaciones de engorda al aire libre, generalmente estanques abastecidos con flujo de agua abierto, proporcionando a los organismos, aguas bien oxigenadas y de calidad (Ministerio de agricultura, 2013).

En cuanto a los estanques, estos pueden ser construidos de bloc, cemento o excavaciones en la tierra, variando tanto de forma circular como rectangular. El tamaño depende directamente de las necesidades productivas, sin embargo, la altura debe estar siempre entre los 60 y 80 centímetros, además de una pendiente en el fondo de 2 a 3%.

En relación con el caudal requerido para los estanques, este varía dependiendo del tamaño de los alevines y la temperatura del agua. En el **Anexo 2**, se resume las distintas necesidades de caudal para alevines en diferentes condiciones. Conforme los organismos van creciendo, se provoca una diferencia de tamaño entre pares, generando que exista una ventaja en tamaño y fuerza, por parte de los más grandes, aumentando el nivel de mortandad por la presencia de canibalismo hacia los más pequeños. Para evitar este fenómeno y tratar de buscar un nivel más parejo de tamaño, se realiza una separación por medio de la caja clasificadora, donde los alevines son introducidos y en caso de no lograr traspasar dicha caja, se separa del resto y envía a un estanque de peces de mayor longitud (FAO, 2014).

- **Proceso de Engorde**

Una vez alcanzado los 10 cm de longitud, el pez pasa a su etapa juvenil, donde se desarrolla hasta alcanzar un peso promedio de 250 gramos, demorando 3 meses aproximadamente, en condiciones estándar. En esta fase, son alimentados con alimento “balanceado tipo crecimiento”, que contienen alrededor de 40% de proteína, suministrándole una cantidad aproximada al 3.5% de su biomasa, con raciones distribuidas entre 4 veces diarias, buscando siempre lograr la saciedad (FONDEPES, 2014). Posteriormente, desde su talla promedio de 17 cm hasta los 30 cm aproximadamente, se encuentra en la etapa de engorde, donde se desarrolla hasta alcanzar el peso estipulado como talla de cosecha. En esta etapa, son alimentados con “balanceado tipo engorde”, que contienen alrededor de 35% de

proteína, suministrándole una cantidad equivalente al 1.5% de su biomasa, con raciones distribuidas entre 2 a 4 veces diarias. Además, en esta fase, está la alternativa de dar la coloración salmonada a la carne, suministrando alimento acabado con pigmento (FONDEPES, 2014).

Los estanques en esta etapa son generalmente rectangulares con la entrada y salida del agua en lados opuestos. Brindando una altura al tubo de ingreso de agua, de manera de que favorezca la circulación y oxigenación del estanque, mientras que la salida del agua debe ser por el final del estanque y lo más al fondo posible, logrando a partir de la circulación generada y la inclinación presente (generalmente 2%), eliminar el agua con desechos orgánicos y niveles inferiores de oxígeno.

En relación con la cantidad de agua requerida, en el **Anexo 3**, se evidencia un ejemplo de los diferentes caudales requeridos a partir de distintos niveles de temperaturas y longitudes para 1000 truchas, no obstante, dado que las renovaciones están directamente relacionadas con el nivel de carga del cultivo, se recomienda la utilización de una tasa de cambio de 1 a 2 renovaciones por hora, dependiendo de la fase en que se encuentra el organismo, volumen total del estanque y cantidad de estanques.

- **Manejo y Control de Enfermedades**

Existe una gran variedad de enfermedades y parásitos que pueden afectar a la trucha arcoíris en acuicultura, un resumen a detalle de estos y las medidas comunes se puede evidenciar en el **Anexo 6**, siendo la prevención la medida más importante, de manera que, un buen saneamiento del criadero, restricción del acceso, instalación de pediluvios con desinfectantes y desinfección de los equipos, reduce la exposición de los peces vulnerables a los agentes causantes de enfermedades (FAO, 2020). Por esto, gran parte del éxito que pueda obtenerse en el sistema de cultivo radica principalmente en la prevención, tratamiento y control de cuadros patológicos que se puedan presentar, teniendo que mantener un correcto equilibrio entre el hospedador, el patógeno y el ambiente, de otra manera, aumenta la probabilidad de ocasionar alguna enfermedad en el pez (**Anexo 4**), dentro de las cuales se puede evidenciar las más comunes en el **Anexo 5**.

Entre los factores más reiterados que estimulan o facilitan la aparición y dispersión de enfermedades o patógenos, se pueden mencionar los siguientes (FONDEPES, 2014):

- Adquisición de ovas o reproductores enfermos.
- Suministro de aguas contaminadas.
- Falta o inadecuada limpieza y desinfección de los estanques y equipos acuícola.
- Acumulación de restos de alimento y excretas en los estanques (materia orgánica).

- Estrés por condiciones hidrológicas inadecuadas, altas cargas de biomasa.

A pesar de las diversas medidas correctivas evidencias anteriormente, se busca promover las acciones preventivas, ya que el uso de antibióticos prevalece en gran porcentaje en el agua, lo cual puede afectar fuertemente el desarrollo tanto del subproducto 1 como el 2. Por lo tanto, la acción principal es evitar a toda costa la aplicación de antibióticos en el agua, así, considerando que la distribución de los estanques es en pila, en caso de tener enfermedades en una distribución, esta no afecte a las siguientes y se deba combatir solo una línea productiva y no todas.

1.6.2 Camarón excavador de río (*Parastacus Pugnax*)

El comúnmente llamado camarón excavador o de vega, es una de las seis especies de la familia Parastacidae que habita las aguas dulces de Chile, y la cual soporta mayor extracción para consumo humano. Físicamente, alcanza en promedio los 10 cm de largo, llegando a tener una longitud cefalotorácica de 5 cm. Posee un caparazón liso, comprimido lateralmente, ligeramente más alto que ancho, ojos pequeños, rostro corto, subtriangular e inclinado sobre los ojos (Rudolph, 2013).

Las actividades extractivas se practican sin restricciones de ningún tipo, puesto que no existe una legislación que proteja a las especies de parastácidos de Chile, razón por la cual, desgraciadamente ha ido disminuyendo su nivel paulatinamente en los últimos años por efecto de la pesca incontrolada y como consecuencia de la irregularidad del caudal de los ríos que habita producto de la construcción creciente de canales de regadío (García-Huidobro, 1995). Anualmente se extraerían 43,5 millones de especímenes sólo para satisfacer la demanda de tres ciudades: Concepción, Chillán y Coelemu. Luego, para que la comercialización de estos individuos sea atractiva deben pesar al menos 35 g, en consecuencia, de esta especie, se extraerían 1.525 ton anuales aproximadamente en dichas ciudades (Rudolph, 2013). Por lo tanto, dado que en Chile no existe legislación que regule la extracción, comercialización y transporte de las especies de parastácidos. Se les aplica, por extensión, la normativa establecida para el camarón de río del norte (*Cryphiops Caementarius*) establecidas en el Decreto N° 145 del 25 de abril de 1986 (**Anexo 8**) el cual define la veda, el tamaño mínimo de captura y el sistema de captura y de transporte. A continuación, se evidencia cada uno de estos aspectos (Jeraldo & Saavedra, 2021):

- **Veda:** Se prohíbe la extracción, tenencia, posesión, industrialización, comercialización y transporte del recurso camarón de río durante el período comprendido entre el 01 de diciembre

y hasta el 30 de abril del año siguiente, ambas fechas inclusive. Además, quedan vedadas indefinidamente las hembras ovíparas de camarón de río, las cuales deben ser devueltas al agua en el mismo lugar de la pesca, aunque tengan el tamaño reglamentario.

- **Tamaño Mínimo de Captura:** La talla mínima de extracción se estipula en 30 milímetros de longitud cefalotorácica (órbita derecha hasta el extremo posterior del cefalotórax).
- **Sistema de captura y transporte:** La extracción de este recurso sólo podrá efectuarse utilizando como artes de pesca la caña y atarraya y mediante captura manual, la cual se denomina comúnmente garceo. El recurso camarón de río deberá transportarse y comercializarse entero, esto es incluido su caparazón.

Siguiendo esta línea, se categorizo a *P. pugnax* como una especie "insuficientemente conocida" en la zona central de Chile, y como "vulnerable" en la zona centro-sur, causado principalmente por la fuerte extracción para consumo humano, baja densidad poblacional y alteración del hábitat por contaminación, drenaje de las vegas y construcción de caminos, etc.

Por otra parte, en cuanto al aporte económico a la sociedad, un 67% de las personas que se dedican a la actividad extractiva del recurso camarón de río, lo hacen considerando ésta como su actividad principal, sin otro trabajo alternativo, indicando que es una ocupación permanente, con jornadas estructuradas por semana y empleando artes de extracción o pesca especificados en la normativa vigente (Jeraldo & Saavedra, 2021). El camarón de río, es un recurso hidrobiológico que sustenta a más de 1.000 familias que se dedican a su pesquería como actividad principal o complementaria a las actividades mineras y de ganadería caprina, debido a que, hoy en día la actividad extractiva en Chile es prácticamente exclusiva a nivel artesanal, generando que en una jornada de trabajo de 4 a 6 horas, sea factible una captura de 150 a 200 camarones, lo que se traduce en 8 a 10 kilos, lo cual con un precio de venta que varía entre \$5.000 a \$10.000 el kilogramo (dependiendo del tamaño de los ejemplares), genera un ingreso no menor para una familia promedio (STIC & Universidad Católica Del Norte, 2019). Razones como esta, sumado a la situación actual del camarón, es decir, vulnerabilidad en gran parte de su área de distribución, explica el motivo y los grandes beneficios presentes en la selección de este organismo para su producción semi-intensiva (Rudolph, 2013).

- **Alimento**

Los astácidos de agua dulce poseen una alimentación "oportunista", es decir, se alimentan prácticamente en todos los niveles tróficos, por ello se les ha catalogado como animales politróficos.

Por su parte, especímenes adultos de *P. pugnax*, mantenidos en condiciones de cautiverio, han sido alimentados con pellet para conejos, zanahorias, granos de avena, vegetales subacuáticos, carne de vacuno, lombrices de tierra y pancoras, a modo de experimentación (Rudolph, 2013). Lo cual finalmente se traduce en ser una especie omnívora y de hábitos bentónicos en su alimentación, de manera que, si bien de larvas se alimentan de zooplancton, de adultos, sencillamente pueden ingerir cualquier cosa que resulte comestible, principalmente de algas y restos de animales (EcuRed, 2022).

○ **Hábitat**

La familia Parastacidae agrupa a 178 especies que habitan aguas subterráneas, arroyos, ríos y lagos de Nueva Guinea, Australia, Tasmania, Nueva Zelanda, Madagascar y el cono Sur de Sudamérica. En Chile, la distribución geográfica conjunta abarca desde el borde costero hasta la precordillera andina, entre el río Aconcagua en la Región de Valparaíso y la península de Taitao en la Región de Aysén.

El camarón excavador, habita aguas subterráneas existentes en terrenos pantanosos, donde generalmente existen asociaciones boscosas siempreverdes y de baja altura, comúnmente conocidos como “vegas” o “hualves”, que, en invierno, se inundan y permanecen anegadas por alrededor de cuatro meses, donde *P. pugnax* permanece al interior de sus refugios subterráneos coexistiendo pacíficamente, a diferencia de *S. spinifrons* (Camarón de río del sur), una especie más agresiva y solitaria que habita en ríos y lagos (Rudolph, 2013), en el **Anexo 9**, puede evidenciarse su distribución.

○ **Reproducción y ciclo de vida**

Los ejemplares de esta especie comúnmente comparten las madrigueras, lugar donde permanecen toda su vida y cumplen todo su ciclo vital, lo cual permite a los adultos aparearse y a los juveniles crecer en un ambiente seguro y protegido (Rudolph, 2013).

Luego, en términos reproductivos, *P. pugnax* es una especie de sexos separados (gonocórica), pero cuyos machos y hembras son todos intersexos, con gonoporos de macho y hembra, conectados a una gónada única (testículo u ovario según el caso). Otra manera de identificar ambos sexos es considerando que existen diferencias morfológicas significativas entre los abdómenes de machos y hembras adultos. En promedio, cada hembra ovígera posee una fecundidad promedio de 35 huevos, con un tipo de incubación más estival y/o temporal, necesitando de temperaturas bajas y fotoperíodos cortos para lograr la madurez sexual. Una vez iniciado el proceso de incubación, al paso de 30 días nace una larva denominada zoea, que, al cabo de 65 días alcanza el tamaño y características de un juvenil, teniendo que, en condiciones de cultivo controlado, el desarrollo comprende 18 estadios

larvales más el estado de primer juvenil, teniendo una duración de 65 días. Por su parte, el tiempo que se requiere para alcanzar el estado adulto es de 10 a 12 meses. En la **Tabla 1-5**, se evidencia el peso y talla promedio en cada etapa.

Tabla 1-5: Peso y talla promedio de camarón

Etapa	Rango talla (cm)	Promedio talla (cm)	Rango peso (gramos)	Promedio peso (gramos)
Post-larva	1-3	2	1-4	2,5
Juvenil	3-7	5	4-20	12
Adulto	7-10	8,5	20-100	60
Cosecha	10	10	100	100

Fuente: Elaboración propia 2023.

- **Manejo del Agua**

En cuanto a las condiciones necesarias para el cultivo y datos sobre las características físicas y químicas del agua, al interior de las “galerías” (refugios subterráneos) de *P. Pugnax*, existen 4 indicadores principales (FAO, 1988), que, por medio de datos registrados en la localidad de las Higueras, Talcahuano (Rudolph, 2013):

- Temperatura: Puede variar entre los 12,7 y 22,1 °C
- Oxígeno: Posee un rango entre 4 y 9 ppm, buscando evitar los extremos.
- Dureza total (CaCO₃): constante en 197 ppm.
- Ph: Se encuentra entre 5,9 y 6,5, a pesar de aguantar variaciones de los valores.

- **Sistema de cultivo**

P. pugnax es una especie politrófica, con alta tolerancia a la exposición aérea y poblaciones naturales libres de enfermedades. A estas características, favorables para un eventual cultivo, se debe agregar otras igualmente propicias, desarrollo directo, rendimiento en carne aceptable y de buena calidad, reducción o desarrollo tardío de conductas agresivas, lo que permitiría la cohabitación de distintas generaciones al interior de una misma galería. Sin embargo, su desarrollo directo determina que su fecundidad sea relativamente baja y, por habitar aguas frías, su tasa de crecimiento no es la más apropiada para su cultivo comercial (Rudolph, 2013).

Por otra parte, se debe considerar que su particular modo de vida impone un desafío tecnológico en el diseño, dimensionamiento y construcción de unidades de cultivo apropiadas para un confinamiento

exitoso, en términos de sobrevivencia, crecimiento y reproducción. No obstante, la enorme y desregulada presión extractiva, que actualmente soportan sus poblaciones naturales, constituye una causal poderosa para iniciar desde ya experiencias de cultivo con fines comerciales, las que, de resultar exitosas, constituirían un gran avance en favor de la conservación de la especie. Inicialmente, se recomienda iniciar con cultivos netamente experimentales, con la finalidad de llenar vacíos de conocimiento biológico y evaluar su respuesta fisiológica a condiciones de cautiverio (Rudolph, 2013). Luego, en una segunda etapa, es decir, cultivo con fines lucrativos, es apropiado tener un proceso con modalidad semi extensiva, donde las principales limitantes han sido el abastecimiento de juveniles, la disponibilidad de terrenos aptos y sus costos, el abastecimiento de agua de buena calidad en cantidades suficientes y la capacidad de inversión para establecer un plantel económicamente rentable (Jeraldo & Saavedra, 2021). Existen grandes ventajas del cultivo de esta especie, entre ellas, la gran adaptabilidad a condiciones drásticas, no obstante, existen conocimientos limitados sobre su biología y las técnicas utilizadas, actualmente conducen a bajas densidades de cultivo, crecimiento lento, alta mortalidad (llegando hasta un 50% del total) y gastos de operación y manutención relativamente elevados (García-Huidobro, 1995).

Para la etapa inicial de obtención de semillas, se utilizan elemento de captura como la atarraya, resallo, trasmallo, malla o bajío, chayo o copo, entre otros. Generando que, en promedio, 10 hombres capturen alrededor de 10.000 a 40.000 ejemplares por día, los cuales, en épocas de aparición de semillas, llegan al punto de establecer campamentos cercanos a las zonas de extracción, capturando y luego vendiendo a mayoristas que buscan grandes cantidades de ejemplares en etapas iniciales (FAO, 1988).

Luego, para el transporte de estos, existen técnicas de movilización en tanques de fibrocemento, fibra de vidrio o plástico de 200 a 300 litros, oxigenados y llenado hasta tres cuartos de agua, que, en algunos casos, esta recubierto de mallas finas para facilitar la posterior colocación de la semilla en los criaderos o pre-criaderos, respectivamente. Durante el viaje, la semilla debe tener una densidad entre 250 y 122 por litro, dependiendo de la temperatura, que principalmente se eviten los altos niveles, la concentración de oxígeno (aireación continua), que no disminuya de 5 ppm.

Finalmente, una vez que llega a su destino, previo a colocarlos en sus respectivos estanques, deben ser adaptados a las condiciones, temperatura, Ph, etc. A la cual serán puestos para su desarrollo. Esto principalmente debido a que cambios bruscos en las variables anteriormente mencionadas, afecta

directa y fuertemente la supervivencia de los camarones. Una vez culminado el proceso adaptativo, los animales están listos para pasar a sus respectivos estanques.

En los pre-criaderos, los animales permanecen entre 1 a 2 meses, hasta alcanzar pesos entre 0,5 y 4g. La densidad a la cual se ven expuestos dichos ejemplares varía con el cuidado de los estanques, capacidad total, suministro de alimentación, tipo de cultivo, etc. Variando de acuerdo con el tamaño comercial al que se pretenda llegar y del tipo de cosecha realizado, recomendándose la utilización de densidades que fluctúen entre 16-22 post-larvas/m² (Navarrete, 2006). Por su parte, el control realizado sobre los camarones cría, determina el nivel de densidad de siembra que el cultivo puede alcanzar, generando que, generalmente pueda ir desde los 2 a los 40 camarones por m², de acuerdo con el nivel de recambio de agua, métodos de aireación, fertilización, entre otros (FAO, 1988).

Para el cultivo y cosecha en sí, existen principalmente 2 métodos, primero el disminuir paulatinamente el nivel de agua de los estanques de engorde hasta alcanzar una columna de 20-30 cm, para posteriormente, utilizar herramientas de captura y sacar dichos organismos. Luego, el otro método consiste en vaciar totalmente el estanque, colocando redes o cajas en la salida del agua, teniendo cuidado con no aplastar a los organismos del fondo al momento de realizar la salida de la corriente de agua. Las cajas, pueden ser de madera o cemento, en general llevan hasta media docena de ranuras de unos 5 cm de ancho, con una separación aproximada de 10 a 20 cm, donde se coloca normalmente marcos de distinto tipo de malla, para evitar la salida de los camarones e ingreso de otros organismos, siendo el método más utilizado en la actualidad (FAO, 1988).

- **Manejo de enfermedades**

El único parásito descrito en *P. pugnax* es *Psorospermium haeckeli*, que, si bien se desconoce el efecto patogénico que este parásito tiene sobre *P. pugnax*, existen evidencias de enfermedades entéricas en seres humanos luego de consumir camarones infestados con *P. haeckeli*.

Los camarones de río y/o agua dulce, son susceptibles a un amplio rango de enfermedades, en Chile no existen registros de muertes masivas, ni de enfermedades en *P. pugnax*. Esto sugiere que sus poblaciones naturales estarían libres de ellas. Lo anterior obliga a tomar las precauciones del caso y respetar la normativa vigente al momento de introducir especies exóticas de astácidos de agua dulce, especialmente desde Europa donde muchas de las poblaciones naturales de estos crustáceos están contaminadas con el hongo *Aphanomyces astaci* Schikora, responsable de la “plaga del hongo”, de transmisión muy rápida y que mata al 100% de los especímenes afectados.

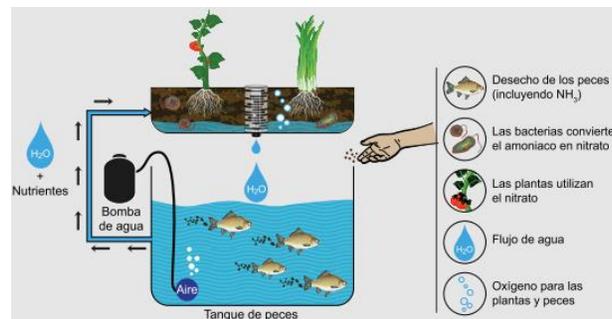
Dentro de todas las patologías, las más frecuentes están ligadas a los ataques bacterianos, estas se tratan clásicamente con antibióticos como penicilina, estreptomicina, tetraciclina, cloranfenicol, etc. Siendo comúnmente preferible, un tratamiento breve a fuertes dosis (1 a 40 mg/lit), que uno prolongado a dosis bajas. No obstante, en este caso, se evita a toda costa el uso de antibióticos debido al gran porcentaje que se mantiene en el agua luego de su aplicación. De manera que, en caso de enfermedades, se retire de la pila productiva los ejemplares infectados, con el fin de desarrollar la mayor parte de la población y no contaminar todo el estanque y por ende la línea productiva. Las infecciones bacterianas sobreviven cuando existen problemas en las condiciones de cultivo, frecuentemente estas inadecuadas condiciones se generan por una mala captación de alimento, gránulos viejos o mal preparados, ración muy elevada que conlleva a grandes masas de materia orgánica, al igual que el mal funcionamiento de filtros de agua, puede causar el ingreso de microorganismos no deseados (Navarrete, 2006). Específicamente, los camarones de río cultivados en sistemas de producción, ya sea semi-intensivos, intensivos o sobre-intensivos, con altas densidades de siembra en los estanques o aguas de baja calidad, frecuentemente desarrollan formas de enfermedades causadas por estos microorganismos que se adhieren a las branquias o a la superficie del animal. Las principales enfermedades identificadas en centros de cultivo de camarones de agua dulce son: Bacteriemia asintomática o septicemia bacteriémica (Vibriosis); infección entérica bacteriana; enfermedad del caparazón; recubrimiento (o “Fouling”) cuticular bacteriano; infección por *Fusarium*. Infección fúngica de huevos de cangrejo de río; virus de la necrosis pancreática Infecciosa (“Infectious pancreatic necrosis virus” IPNV); virus del síndrome de la Mancha Blanca (“White spot syndrome virus” WSSV); virus Baciliforme de *quadricarinatus* (“*Cherax quadricarinatus* bacilliform virus” CQBV) y microsporidiosis, “cola de algodón”, albinos o camarón de porcelana (FAO, 1988).

1.6.3 Acuaponía (*Lactuca Sativa*)

La acuaponía es un sistema híbrido de producción, derivado de la combinación entre acuicultura (cría de animales acuáticos) e hidroponía (cultivo de plantas en agua), convirtiéndose en una forma limpia y sustentable de cultivar plantas de forma eficiente, dado que, a partir de los desechos generados por el desarrollo del organismo “principal” proveniente de la acuicultura, se convierten en nitritos a través de la acción bacteriana, sirviendo como una buena fuente de alimento para el desarrollo de plantas en

cultivo hidropónico, de manera que, por su doble propósito, son actividades que mejoran considerablemente la productividad del agua mediante la diversificación de productos (FAO, 2020). En otras palabras, consiste en el máximo aprovechamiento de la energía en forma de nutrientes por todos los componentes del cultivo, que además de producir biomasa, contribuyen a mantener limpio el ambiente acuático que los contiene (Dorado et al., 2017), en el cual el biofiltro, provee un lugar donde las bacterias convierten amoníaco, que es tóxico para los peces, en nitratos, un nutriente más accesible para plantas (FAO, 2020). A partir de esto, yace una de las principales ventajas del sistema, es decir, la disminución de la huella hídrica, a comparación con directamente la hidroponía o los sistemas de producción acuícola, además de generar organismos comercialmente atractivos, tanto de origen animal como vegetal (Peñaloza, 2020). En la **Figura 1-2**, se ilustra el proceso acuapónico.

Figura 1-2: Componentes biológicos en el proceso acuapónico



Fuente: (FAO, 2022)

Por lo tanto, la acuaponía ha sido propuesta como una alternativa viable y sostenible para el control de la acumulación de desechos producidos por el cultivo acuícola, brinda soluciones de producción a zonas donde el agua o el suelo son escasos, además de disminuir significativamente el impacto al ambiente, minimizando las descargas y con esto se optimizan los recursos, mano de obra, agua, alimento balanceado y nutriente para las plantas (amonio y nitratos) (Martinez, 2014).

La sostenibilidad de la acuaponía considera la dinámica ambiental, económica y social, en torno a la primera, esta evita que grandes concentraciones de desechos provenientes del cultivo acuícola contaminen el medioambiente, además de tener un mejor control y uso del agua. Por su parte, si bien requiere fuertes inversiones iniciales, luego poseen bajos costos recurrentes y altas rentabilidades, tanto combinadas como separadas (ODS 2). Luego, en torno al aspecto social, ofrece mejoras en la calidad de vida de las personas, generando una mayor variedad y gama de productos en la zona de

aplicación, junto con un crecimiento económico de la zona de aplicación, lo cual genera grandes beneficios sociales (ODS 8).

Las principales razones por las que el cultivo sin suelo es una práctica agrícola en expansión son: la menor presencia de enfermedades y patógenos transmitidos por la tierra debido a las condiciones de esterilidad, la mejora de las condiciones de cultivo que pueden ser manipuladas para satisfacer los requisitos óptimos de las plantas, el aumento de la eficiencia en el uso del agua y la posibilidad de desarrollar la agricultura donde no se dispone de tierras (FAO, 2020).

A su vez, este método de cultivo tiene un gran componente social, dado que aporta una solución para un sector poblacional que requiere consumir con regularidad productos frescos, reportándose que, por cada tonelada de pescado producido, se pueden llegar a producir siete toneladas de cultivo, ya sea lechuga o albahaca principalmente (Dorado et al., 2017). Generando una gran contribución a satisfacer las necesidades nutricionales del país y con ello ayudar a alcanzar el ODS 2 de hambre cero.

- **Condiciones de Cultivo**

Dado que la hidroponía es un método de cultivo de plantas sin la necesidad de suelo agrícola, se provee a estos organismos los nutrientes esenciales o necesarios para su correcto desarrollo del ciclo vital. Este sistema, permite estabilizar y corregir la nutrición de la planta, maximizar uso de espacios, descartar la competencia con otros vegetales (malezas) y disminuir la incidencia con enfermedades de suelo, además de optimizar el uso del agua y con ello disminuir el estrés hídrico.

Por su parte, existen variadas alternativas de producción para utilizar, si bien, el sistema de raíz flotante es uno de los procedimientos más sencillos y de bajo costo, el sistema de capa de nutrientes (NFT), logra maximizar el contacto de las raíces con la solución nutritiva, la cual es constantemente renovada y por ende el crecimiento es más acelerado (Peñaloza, 2020). No obstante, en unidades de cama de cultivo con sustratos, esta funciona como filtro, tanto mecánico como biológico y, además, se utiliza para sostener las raíces. Esta doble función es la razón principal por la que las unidades de cama de cultivo con sustratos son las más sencillas. Específicamente, el agua fluye por gravedad desde el tanque de peces, a través del filtro mecánico simple, a las camas de cultivo, estas, están llenas de material poroso de biofiltro que sirve como filtro mecánico y biológico, así como también brinda un lugar para la mineralización. A su vez, albergan la colonia de bacterias nitrificantes y provee el lugar para que las plantas crezcan. Luego, el agua sale de la cama de cultivo y baja al sumidero, nuevamente por gravedad. A este punto, el agua está relativamente libre de desechos sólidos y disueltos. Algunas

camas de cultivo están diseñadas para inundar y drenar, lo que significa que el nivel de agua sube hasta cierto punto y luego se drena completamente. Esto agrega oxígeno a las raíces y ayuda a la biofiltración del amoníaco. Otros métodos de riego de sustrato utilizan un flujo constante de agua, que entra por un lado y sale por el otro, o que se distribuye a través de un sistema de riego (FAO, 2022).

Para la implementación y construcción de esta técnica se debe considerar los siguientes aspectos:

- **Materiales:** Deben cumplir requisitos de ser capaces de mantener el agua y el sustrato sin romperse; poder soportar condiciones climáticas extremas; fabricado con material de calidad alimentaria seguro para peces, plantas y bacterias y una fácil conexión con otros componentes.
- **Forma:** La forma estándar de la cama de cultivo con sustratos es de un rectángulo, de dimensiones 1m de ancho y entre 1 a 3 de largo. Para realizar estructuras de mayor tamaño, se requiere un soporte adicional para aguantar tal peso.
- **Profundidad:** Este factor controla la cantidad de espacio radicular en la unidad, lo cual determina finalmente el tipo de hortaliza que puede cultivarse. Específicamente para las verduras de hoja, requieren entre 15 a 20 cm de profundidad.
- **Tipo de sustrato:** Este necesita tener un área adecuada de superficie que se mantiene permeable al agua y aire, permitiendo el crecimiento bacteriano, el flujo del agua y la respiración de las raíces. El medio debe ser inerte, sin polvo y no tóxico, junto a un pH neutro para no afectar la calidad del agua y correcto desarrollo. Es esencial el lavado del sustrato previo a la utilización en la producción. En el **Anexo 10** se analizan las características de los principales tipos de sustratos, entre los cuales destacan: Toba volcánica, piedra caliza, piedra pómez, etc.

La Toba volcánica es el tipo de sustrato más común para estas unidades, debido a que cubre una gran área de superficie en relación con su volumen, es de bajo costo y químicamente inerte. El tamaño recomendable es entre 8 y 20 mm de diámetro, ya que más pequeñas posiblemente se bloqueen con desechos sólidos y más grande no ofrece el soporte requerido (FAO, 2022).

Por su parte, en cuanto al proceso de filtración, los sustratos sirven como filtros biológicos y mecánicos muy eficientes, a diferencia de otras técnicas, la cama de cultivo utiliza una combinación física del proceso de filtrado y el área de crecimiento de las plantas. A altas densidades ($>15/\text{kg}/\text{m}^3$), el sistema de filtración mecánica puede saturarse y arriesgar bloqueos de sustrato, produciendo zonas anaeróbicas. En el proceso de filtro mecánico, genera que, con el tiempo, los residuos capturados se descompondrán y ocurrirá una mineralización, lo cual no es posible en otras técnicas de cultivo. La

eficacia de este filtro mecánico depende directamente del tamaño de las partículas del sustrato y el flujo de agua. No obstante, se puede optar por agregar filtros adicionales en caso de tener densidades poblacionales superiores a 15 kg/m³ o si la tasa de alimentación es mayor a 50 g/día por cada metro cuadrado de cama de cultivo (FAO, 2022).

El proceso de inundación y drenaje presente en esta técnica crea tres zonas separadas. Los primeros 2-5 cm es la zona seca, la cual funciona como barrera contra la luz, previniendo el crecimiento de algas, hongos y bacterias dañinas en la base del tallo de la planta, lo cual puede causar diversas enfermedades vegetales. Luego, la zona seca/húmeda, considera espacio de entre 10 a 20 cm, donde la cama de cultivo se inunda y drena intermitentemente, ocurriendo la mayor parte de la actividad biológica en esta zona, es decir, el desarrollo de raíces, actividad bacteriana y microorganismos.

Una técnica común, es la incorporación de lombrices, las cuales viven en esta zona y ayudan a la descomposición de los residuos sólidos de los peces. Posteriormente está la zona mojada, correspondiendo a los últimos 3-5 cm de la cama, aquí se acumulan los desechos sólidos en forma de partículas, por lo cual, en esta zona están los organismos más activos en la mineralización, los cuales se encargan de descomponer los residuos en moléculas más pequeñas para poder ser absorbidas por las plantas mediante el proceso de mineralización, en el **Anexo 11**, puede evidenciarse este proceso.

Por otra parte, para el proceso de flujo y reflujos de agua en las camas de cultivo, existen varias técnicas, sin embargo, en busca de evitar la utilización de bombeos o temporizadores, se utiliza el llamado sifón de campana, el cual permite una inundación y drenaje automático de forma periódica. El agua fluye a cada cama de cultivo a un ritmo constante, a medida que el agua llena la cama de cultivo, ésta alcanza la parte superior del tubo vertical y empieza a gotear a través de este hacia el sumidero. Mientras el agua sigue cayendo por el tubo vertical, la campana, que se asienta sobre este, actúa como un cierre hermético y produce un efecto sifón (succión). Una vez comenzado el proceso, toda el agua de la cama comienza a bajar por el tubo vertical mientras la campana mantiene su cierre hermético (el drenaje a través del tubo es más rápido que el flujo que viene de los tanques de peces). Cuando el agua en la cama de crecimiento drena totalmente, el aire entra al fondo de la campana y detiene inmediatamente el sifón. A continuación, la cama vuelve a llenarse lentamente de agua y se repite todo el ciclo de forma continua. En cuanto a los componentes para el proceso, son tres principalmente:

- Tubo vertical: Constituido de PVC, el cual pasa a través del fondo de la cama de cultivo, conectándose al sumidero, generando el drenaje.

- Campana: Tubo de PVC tapado con una tapa de PVC, abierto en la parte inferior por donde encaja el tubo vertical. Hay dos agujeros rectangulares del fondo de la campana, a través de los cuáles el agua es arrastrada hacia el interior del tubo vertical dentro de la campana. Se perfora un último orificio del fondo para ayudar a romper el sifón una vez que la cama de cultivo con sustrato se haya drenado, permitiendo la entrada de aire.
- Filtro de sustrato: tubo de PVC con muchos agujeros pequeños. Ésta previene que la grava de las camas de cultivo ingrese y obstruya el tubo vertical, sin obstruir el flujo del agua.

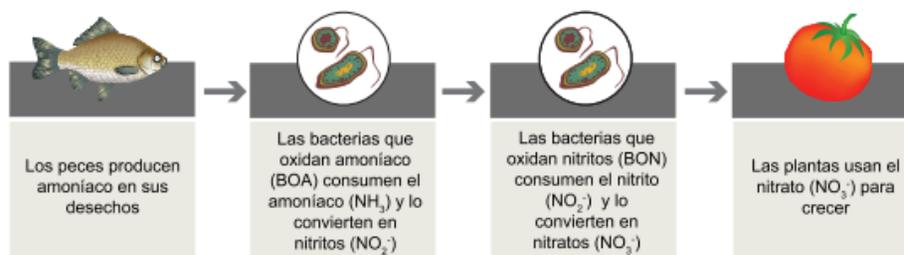
- **Ciclo del Nitrógeno**

El proceso biológico más importante en acuaponía la nitrificación, el cual es un componente esencial en el ciclo de nitrógeno visto en la naturaleza y el nutriente inorgánico más importante para las plantas. Específicamente, los desechos de animales están compuestos principalmente de amoníaco (NH_3), el cual es metabolizado por un grupo de bacterias llamadas nitrificantes, estas, primero convierten el amoníaco en nitritos compuestos (NO_2) y luego finalmente en nitratos compuestos (NO_3).

Las plantas son capaces de usar tanto el amoníaco como los nitratos para crecer, sin embargo, los nitratos son más fácilmente asimilables por las raíces. El equivalente de los desechos de animales en tierra son las excreciones de los peces en los tanques de cultivo, en el cual las mismas bacterias nitrificantes, también están naturalmente en el agua o en toda superficie mojada, convirtiendo el amoníaco proveniente de los desechos de los peces en nitratos de fácil absorción para las plantas. Por lo tanto, la nitrificación en sistemas de acuaponía provee de nutrientes a las plantas y elimina compuestos tóxicos para el desarrollo de estos organismos como el amoníaco y el nitrito (FAO, 2022).

Un ejemplo de este proceso puede evidenciarse en la **Figura 1-3**.

Figura 1-3: Proceso de nitrificación en acuaponía



Fuente: (FAO, 2022)

En resumen, el ecosistema dentro de una unidad de acuaponía depende totalmente de las bacterias, si estas no están presentes o no están funcionando apropiadamente, las altas concentraciones de

amoníaco en el agua matarán a los peces o al producto en cultivo. Es vital mantener y manejar una colonia bacteriana saludable todo el tiempo para así mantener los niveles de amoníaco casi en cero.

- **Condiciones del Agua**

Analizando las condiciones necesarias para el cultivo hidropónico, se obtienen los siguientes niveles a partir de la literatura (FAO, 2022).

- **Ph:** El crecimiento bacteriano sugiere un rango de tolerancia más amplio (6–8,5) debido a la habilidad de las bacterias de adaptarse a su entorno. Sin embargo, en acuaponía, el rango más apropiado del pH es de 6 a 7 por cuánto es mejor para las plantas y los peces.
- **Temperatura:** El rango de temperatura ideal para el crecimiento bacteriano y la productividad es entre 17–34 °C. Si la temperatura del agua baja por debajo de los 17 °C, la productividad bacteriana bajará. Por debajo de los 10 °C su productividad puede reducirse hasta un 50%.
- **Oxígeno disuelto (OD):** Las bacterias nitrificantes necesitan niveles adecuados de OD todo el tiempo para mantener niveles altos de productividad. Los niveles óptimos de OD son entre 4–8 mg/litro, la nitrificación disminuirá si la concentración está por debajo de 2,0 mg/litro. Sin las suficientes concentraciones de OD, otro tipo de bacterias pueden crecer, que convertirían los valiosos nitratos en nitrógeno molecular que no es utilizable por las plantas.
- **Luz ultravioleta:** Las bacterias nitrificantes son organismos foto sensitivos, lo que significa que la luz ultravioleta es una amenaza, principalmente durante la etapa inicial de la formación de las colonias bacterianas. Una forma sencilla de remover esta amenaza es cubrir los tanques de peces y los componentes de filtración con material protector de rayos UV.

En la **Tabla 1-6**, puede evidenciarse un resumen de las condiciones del agua, según el tipo de cultivo desarrollado y el punto medio para todos los organismos cultivados.

Tabla 1-6: Resumen de las condiciones de agua por tipo de cultivo

Tipo de organismo	Temperatura (°C)	pH	Amoníaco (mg/litro)	Nitrito (mg/litro)	Nitrato (mg/litro)	OD (mg/litro)
Peces	10-18	6-8,5	< 3	< 1	< 400	4-6
Plantas	16-30	5,5-7,5	< 30	< 1	.	> 3
Bacterias	14 – 34	6 – 8,5	< 3	< 1	.	4 - 8
Acuaponía	18-30	6-7	.	< 1	5 – 150	> 5

Fuente: (FAO, 2022)

- **Manejo de Enfermedades**

Una de las ventajas de los cultivos hidropónicos, es el hecho que puede evitar plagas y enfermedades, ya que se evita el contacto entre las plantas y el suelo, además de que los sustratos pueden ser esterilizados y reusados entre cada cultivo (FAO, 2020). Por estas razones, se considera que son menos frecuentes los problemas sanitarios, no obstante, el uso de sustratos, agua de riego contaminados o patógenos externos ingresados por terceros, puede tener graves consecuencias. A continuación, se evidencian las principales plagas en hidroponía (Peñaloza, 2020): Arañuela roja (*Tetranychus urticae*); Pulgones (*Myzus persicae*, *Aphis fabae*, *Macrosiphum euphorbiae*); Moscas blancas (*Trialeurodes vaporariorum*), minadora (*Liriomyza* spp) y Moscas Sicaridas; Polillas (*Tuta absoluta*); Cochinillas (*Pseudococcus*). Por su parte, las principales enfermedades presentes son: Manchas, autotomías, marchitamientos, patógenos de suelo, canchales, podredumbres, antracnosis y tizones. El detalle de cada enfermedad puede evidenciarse en el **Anexo 12**. Las pérdidas causadas por agentes patógenos en cultivos extensivos, frutales y hortalizas principalmente, se estiman en unos 15 billones de dólares a nivel mundial, ya que al no existir medidas curativas efectivas, la batalla contra los agentes patógenos se basa en la instauración de medidas preventivas como prácticas culturales, como el control de agentes vectores, eliminación de fuentes de infección, utilización de material de propagación libre de virus y modificación de fechas de siembra y cosecha (Sandoval, 2004).

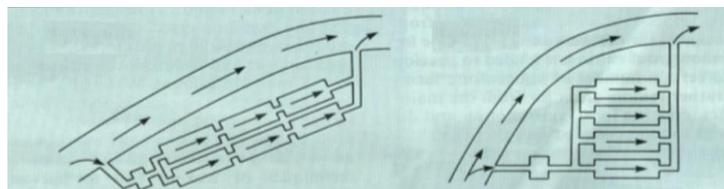
1.6.4 Centro de Cultivo

- **Trucha Arcoíris**

La crianza de peces, en este caso truchas, en ambientes convencionales, posee como característica principal la captación y utilización como fuente de abastecimiento, a recursos hídricos como ríos, arroyos y/o manantiales, requiriendo a la solicitud de una concesión a bienes nacionales para la utilización del recurso hídrico. Debido al origen del agua y el nivel de disponibilidad presente durante todo el año, es que existe una directa relación con el nivel de producción a obtener, que, por consiguiente, determina el diseño de la infraestructura hidráulica. El cultivo de trucha, dadas las capacidades adaptativas del organismo y su fuerte resistencia, no demanda construcciones de estanquería o infraestructuras necesariamente costosas y de alta tecnología, pudiendo emplearse alternativas “clásicas”, las cuales igualmente producen altos rendimientos (FONDEPES, 2014).

Los estanques de engorda al aire libre y las respectivas instalaciones, pueden constar de canales de concreto, estanques de flujo abierto o jaulas, donde típicamente tienen un ancho de 2-3 metros, 12-30 metros de largo y 1-1,2 metros de profundidad, dependiendo siempre del nivel productivo deseado. Los ejemplares permanecen hasta alcanzar un tamaño comercial, es decir, los 30-40 cm en aproximadamente 9-12 meses (FAO, 2020). Si bien, los estanques grandes son menos costosos de construir, son más difíciles de mantener y manejar. Por su parte, el terreno debe poseer una inclinación o de lo contrario se debe generar artificialmente una, para permitir el movimiento y drenaje efectivo del agua, idealmente se busca evitar el costo de bombeo, por lo que, ubicar el cultivo en zonas donde por gravedad las aguas fluirán, reduce significativamente los costos operativos (Beland et al., 2008). En cuanto a la distribución de los estanques, existe la alternativa de disposición en serie o en paralelo, como puede evidenciarse en la **Figura 1-4**. De manera que, en cuanto a la higiene, calidad del agua y control de enfermedades, el diseño en paralelo es más eficiente, por razones de que cualquier contaminación presente, fluye a través de una fracción pequeña del sistema (Pila).

Figura 1-4: Disposición de estanques



Fuente: (FAO, 2020)

Si bien existe una amplia variedad en cuanto a la construcción y diseño de los estanques, en temas de material y construcción sobresalen 3 alternativas, estanque de concreto, estanque de mampostería de piedra y estanque de tierra. La segunda alternativa es la que económicamente es más rentable, dado que su construcción aprovecha el material presente en la zona, en remplazo de mezcla de concreto al momento del encofrado, originando una disminución en los costos de construcción, alcanzando hasta un 60% del costo de un estanque de concreto.

Por su parte, los estanques de tierra, a pesar de sus bajos costos, presentan altas dificultades de manejo durante el proceso de limpieza, al generar focos de contaminación debido a la proliferación vegetal. Las unidades productivas o centros de cultivo constan de los siguientes componentes, que, según el nivel de producción, aumentan o disminuyen, tanto la calidad como cantidad (FONDEPES, 2014):

- Sistema de captación de agua: Su fin es captar el agua de su curso normal y su tamaño está determinado por las características del recurso hídrico y del terreno. Cuenta con rejillas y compuertas para el filtrado de ciertos materiales presentes en el río.
- Canales:
 - Canal Principal: Su finalidad es conducir el agua obtenida del sistema de captación y distribuirla por las instalaciones (estanques y complementarias).
 - Canal de derivación: Busca aliviar el exceso de agua ingresada por el sistema de captación, principalmente en los meses de mayor aumento de caudal
 - Canales secundarios: A partir del canal principal, distribuyen el agua a cada batería de estanques, a través de conductos laterales presentes en cada estanque, principalmente por encima del estanque, para facilitar la turbulencia y oxigenación.
 - Canales de desagüe: Conecta el agua de salida de los estanques con la fuente de origen del agua, llevando el recurso hídrico devuelta al río o en dirección del segundo uso.
- Desarenador: Ubicado en el transcurso del canal principal, posee como finalidad reducir la velocidad del agua, permitiendo sedimentar las partículas de suspensión (grava y arena). Su orientación va en dirección del canal de desagüe, para eliminar el material acumulado.
- Filtro: Se utiliza generalmente en las etapas iniciales del cultivo y su diseño busca captar las partículas finas en suspensión.

En cuanto al manejo de las instalaciones y equipos, existen actividades de invaluable valor, principalmente en aspectos de la higiene en las instalaciones antes, durante y después de la utilización de equipos y utensilios provenientes de la actividad productiva, con el fin de evitar la adquisición de enfermedades en los organismos, lo cual genera altas tasas de mortandad, elevación de costos y disminución de rentabilidad económica. A su vez, se busca evitar la contaminación proveniente del exterior, ya sea por medio de personas, equipos o materiales. A continuación, se detallan las principales actividades de manejo de instalaciones y métodos preventivos (FAO, 2014).

- Limpieza y desinfección de estanques: Se debe realizar un limpiado de estanque una vez a la semana, bajando el nivel del agua a 50 cm, para que, por medio del movimiento de los organismos, salgan los desechos acumulados en el fondo, que, al juntarse, aumenta la concentración de sustancias nocivas en el agua, comprometiendo la salud de los ejemplares.

- Sifón para limpieza de estanques: Se crea una corriente de agua que, por medio de la gravedad, genera un aspirado de las heces y restos orgánicos de alimento, buscando alcanzar una limpieza con el cuidado de no maltratar a los peces presentes en el estanque.
- Mantenimiento del sistema de conducción: El sistema de captación de agua, tuberías y canales de alimentación y desagüe, deben ser inspeccionados diariamente para detectar a tiempo posibles problemáticas, ya sea por fuga, rupturas o bloqueo. La prevención de estos tipos de problemas es de suma importancia, dado que pueden causar niveles extremos de mortalidad.
- Equipo personal y artes de pesca: Se requiere equipamiento básico para el bienestar del personal, principalmente botas, capas, guantes, protector solar, anteojos y sombreros. Para los aspectos de pesca, el mayor uso son las redes, baldes y tinas, los cuales facilitan la captura, disminuyendo el maltrato y por consiguiente el estrés en los animales.

En cuanto a la distribución de los estanques, existen varias opciones, considerando variables como el nivel de producción, tipos de estanques y propósitos. Sin embargo, dentro del estudio se enfatiza en alternativas de producción intensiva a escala comercial, iniciando en etapas tempranas (alevinaje) y culminando dentro de los primeros 12 meses, es decir, hasta alcanzar una talla comercial dentro de un plazo determinado. En la **Figura 1-5**, se evidencia un ejemplo de distribución de estanques

Figura 1-5: Ejemplo disposición instalación productiva



Fuente: (FAO, 2019)

- **Camarón excavador de río**

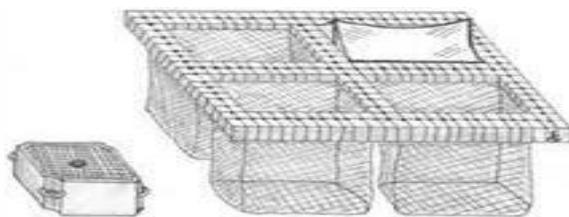
Si bien, la producción de camarón utiliza los mismos estanques creados para el cultivo de trucha, se deben implementar jaulas sumergidas al fondo del estanque, de manera de lograr separar ambas especies lo mayor posible y por medio de la gravedad, las partículas de materia orgánica no consumida junto con los desechos generados sirvan como alimento y medio de desarrollo de los camarones.

La producción de camarón a pequeña escala en jaula demostró ser de bajo insumo externo y de relativamente bajo requerimiento de mano de obra, necesitando personal principalmente para

30

mantener las redes enteras y limpias de contaminación, lo cual requiere revisión y limpieza semanal (Escuela de Ingeniería Agrícola UCR, 2010). Específicamente, los requerimientos para jaulas pequeñas, con volúmenes de 1 a 30 m³, no son muy exigentes en cuanto a material, pero sí deben ser suficientemente fuertes y de por lo menos 1m de profundidad, para un mínimo de 0,5 a 0,7 m sumergidos. La malla para la jaula depende de la fase de desarrollo y su respectiva talla media, se debe utilizar una malla que mantenga los camarones dentro, permita el mayor paso de agua y evacuación de materia orgánica. Para la fase de post-larva, normalmente se utiliza malla antiáfidos, pues las pequeñas jaulas deben ser introducidas dentro de las jaulas más grandes de engorde, así evitar la exposición directa al ambiente. Luego, para la fase de pre-engorde, se puede utilizar malla plástica para sombra, dispuesta preferiblemente dentro de las jaulas más espaciosas. Para la fase de engorde, en la cual los organismos son mantenidos en jaulas más grandes cerradas totalmente, estas deben tener anclajes sólidos con materiales de la menor apertura posible. Por otra parte, la densidad de cada jaula no supera la del estanque de trucha en su respectiva etapa, buscando no superar los 20 kg/m³, ya que aumenta la mortalidad drásticamente. A su vez, cada jaula tendrá dimensiones de 2m de ancho, 1m de largo y 0,4m de profundidad, generando volúmenes de 0,8m³ por jaula. En la **Figura 1-6**, se ilustra un ejemplo de disposición de las estructuras.

Figura 1-6: Ejemplo disposición de jaulas de camarón.



Fuente: (Instituto Nacional de Pesca, 2018)

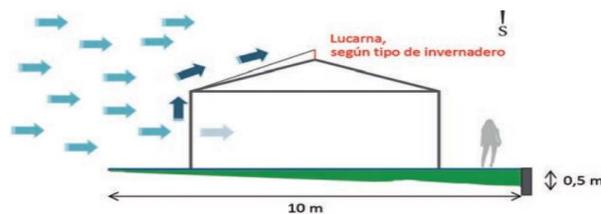
- **Acuaponía (Lactuca Sativa)**

La producción hidropónica busca utilizar un ciclo de cosecha y siembra escalonado, de manera de tener productos durante todo el año. A su vez, la presencia de demasiadas plantas creciendo de forma sincronizada daría lugar a que los sistemas fueran deficientes nutricionalmente en el periodo de cosecha, cuando la absorción es máxima, por ello, al tener plantas en diferentes estados de crecimiento, la demanda global de nutrientes es siempre la misma (FAO, 2022).

En cuanto al aspecto estructural, se genera una construcción posterior a la zona de cultivo acuícola, abasteciéndose del recurso hídrico proveniente del efluente de la zona de desarrollo en estanques,

generando sistemas por pilas productivas, de manera de evitar cualquier tipo de contaminación existente en alguna línea de producción. La infraestructura se basa en la implementación del llamado invernadero de hidroponía eficiente. Las dimensiones recomendadas para la construcción son de 5m de ancho, 10m de largo y 2,5-4m de alto, tanto en los laterales como en la parte más alta, mientras que la disposición va de acuerdo con la inclinación del terreno, dirección del viento y luminosidad, como puede evidenciarse en la **Figura 1-7** (Pizarro et al., 2022).

Figura 1-7: Esquema de ubicación invernadero hidropónico



Fuente: (Pizarro et al., 2022)

Para una correcta instalación del invernadero hay que seguir los siguientes requerimientos:

- Suelo nivelado: Idealmente se busca una zona topográficamente plana, sin pendiente. Sin embargo, en caso de existir, esta no debe superar el 5%.
- Orientación: Considerar la dirección de vientos predominantes y luminosidad, con el fin de aumentar la fotosíntesis de los cultivos y aumentar la temperatura interior.
- Localización: Evitar zonas con quebradas y cauces, que puedan dañar la construcción.

1.6.5 Problemática asociada a la producción acuícola

El proceso tradicional, genera una fuerte problemática a nivel ecológico, ya que el exceso de peces en áreas reducidas ocasiona un descenso de oxígeno en el agua, lo cual, sumado a las altas tasas de consumo de alimento y la necesidad de emplear antibióticos para combatir las enfermedades causadas por las densidades poblacionales, se vuelve un grave problema a enfrentar (Torres, 2019). Debido a esto, nace la alternativa de producción en tierra, la cual posee beneficios ligados principalmente a disminuir la huella ambiental ocasionada, junto con la mejora de la salud del organismo en desarrollo, debido al mayor control y la nula presencia de ejemplares externos, que, en la mayor parte de los casos, aumenta considerablemente la mortalidad del cultivo. A su vez, se ayuda a la reducción de la presión de pesca sobre poblaciones silvestres, sirviendo como fuente alternativa de producción, brindando una ayuda a la conservación de la biodiversidad marina, mediante el uso sostenible de los

recursos, la eficiencia productiva y en línea con los ODS (Euroinnova, 2023). No obstante, alcanza un rango alto de inversión, que, para un centro de gran escala (sobre las 2.000 toneladas al año), se debe solventar una inversión inicial cercana a los 20 millones de dólares, siendo casi 7 veces más del costo de un centro de cultivo en mar, razón principal por la que no ha existido un gran cambio en la producción y se sigue operando con las mismas técnicas hace más de 30 años (Balin, 2018).

La tecnología empleada a nivel tradicional va desde procesos sumamente básicos, realizados por la mano de obra, hasta plantas sumamente automatizadas con tecnología de medición de tallas, nivel de hambre del organismo, etc. No obstante, en la producción tradicional, generalmente los procesos son realizados a mano, ocasionando “errores humanos”, provocando un aumento de los costos generales. Por su parte, en pisciculturas con aplicaciones acuapónicas, el uso de tecnologías busca siempre la sencillez de los procesos, teniendo una mayor facilidad de manejo de las instalaciones, condiciones y con ello, mayores alternativas de especies de producción, sin atentar contra el medioambiente.

1.6.6 Mercado

Actualmente, las exportaciones pesqueras y acuícolas acumuladas a abril del año 2022 sumaron un total de US\$ 2.800,4 millones lo cual significa un superávit de 26,4% respecto al mismo mes de 2021 (Subpesca, 2022). La acuicultura, es un sector con un gran crecimiento y pieza clave para una alimentación futura, garantizando la seguridad alimentaria de una sociedad en constante crecimiento y en búsqueda de un futuro sostenible, representando actualmente más de la mitad del suministro mundial de pescado, ligándose fuertemente al Objetivo hambre cero de los ODS.

La ONU advierte sobre el agotamiento de recursos pesqueros para el año 2050, no obstante, alrededor del 34% de las poblaciones de peces silvestres ya están explotadas y en riesgo de extinción, debido a la pesca indiscriminada tanto artesanal como industrial. Por su parte, se estima que la producción total de animales acuáticos en cultivo llegue a más de 200 millones de toneladas para el 2030, generando que el mercado acuícola vaya en constante crecimiento y sea una alternativa viable para combatir esta problemática y la necesidad mundial de alimentos con producciones sostenibles (Montoya, 2023). Se proyecta que el desarrollo de la industria acuícola crezca a la par con la demanda de productos, buscando un cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, tanto del ámbito productivo y mejoras de la calidad de vida, como del aspecto ambiental, beneficiando fuertemente el ecosistema marino al disminuir el gran impacto provocado por la industria tradicional.

2. Desarrollo

A continuación, se destalla la manera en la cual se aborda la investigación, junto con los procesos de recopilación de información y los diversos cálculos asociados a la determinación de las metas propuestas, para finalmente obtener los resultados de las dimensiones estudiadas.

2.1 Metodologías

En torno a la descripción detallada del trabajo realizado, se inicia el proceso generando el diagnóstico de la situación actual, que, por medio del estudio de oportunidades de mejora, se identifica las principales debilidades del sistema, junto con las potenciales alternativas de optimización, de manera de brindar una solución que impulse las ventajas y disminuya las debilidades del proceso productivo. Posteriormente, se genera una caracterización del proceso por medio del diseño experimental, así determinar la manera óptima de llevar a cabo el proceso, correlacionando variables implicadas y corroborando la información obtenida de las diferentes fuentes. Luego, con el fin de culminar el proceso de generación de base de datos, se genera una profundización en aspectos particulares, esencialmente del procedimiento AMTI, sus posibles variaciones y resultados históricos obtenidos en otras investigaciones, evaluando la mejor alternativa para potenciales aplicaciones, que por medio de entrevistas con el jefe de planta de la sede Puerto Montt de AquaChile, Oscar Ocaranza, se genera un contacto con expertos con más de 30 años de experiencia en el rubro acuícola, principalmente en cultivos de salmónidos, como lo es la trucha arcoíris y diversos tipos de salmones. De manera que, a través de él como intermediario, se obtienen datos específicos y detallados de una fuente sumamente acertada, que, en la mayor parte de los casos, varían ampliamente en la web, de acuerdo con el estudio y condiciones asociadas.

Una vez, obtenidos los principales datos cuantitativos, se procede a evaluar la afinidad del proyecto con la sociedad local, de manera que, por medio de una encuesta, se busca conocer las posturas de comunidades cercanas a proyectos acuícolas. Se aplica una encuesta a un total de 50 personas por medio de Google Forms, entre las cuales, 40 son integrantes de la comunidad de Villa Archipiélago, Castro Chiloé. Mientras que las restantes 10 personas son trabajadores de la planta de cultivo de AquaChile sede Puerto Montt. De esta forma, se obtiene una perspectiva en torno a una muestra representativa de habitantes de comunidades cercanas a proyectos acuícolas y personal participe de

dichos proyectos, logrando determinar finalmente el punto de vista de ambas realidades en torno al actual funcionamiento de sistemas acuícolas, los daños ocasionados y la alternativa de innovar.

Luego, en los aspectos para el cálculo de las metas estipuladas, se enuncian las fórmulas y principales razonamientos utilizados al momento de evaluar las tres dimensiones de estudio, es decir, económica, social y ambiental, siguiendo la línea de evaluación de proyectos. En torno a las ecuaciones utilizadas, se seleccionan principalmente de evaluaciones de factibilidad económica y social para estudios similares de investigación empírica. No obstante, en cuanto a los indicadores medioambientales, la formulación de las ecuaciones yace de un análisis y estimación de orden lógico, a partir de los principales problemas en torno al manejo de residuos de esta industria. Una vez culminado el proceso de estimaciones numéricas y posterior cálculos de los indicadores, se busca evaluar el efecto provocado en la zona de aplicación bajo las tres dimensiones de estudio y el cálculo de las metas propuestas a partir de sus respectivos indicadores. Luego, para la evaluación de cada aspecto, se inicia por el proceso de cálculo de densidades poblacionales para cada cultivo.

A su vez, por medio de una evaluación comparativa, se genera una relación entre los resultados obtenidos por la investigación y los datos de los indicadores de procesos tradicionales, con el fin de evaluar ambos procesos bajo las tres dimensiones.

Finalmente, por medio de reuniones con docentes guías, se genera una resolución de problemas metodológicos y formales del cómo abordar la propuesta. De esta manera, se realizan reuniones tanto presenciales como virtuales, con el fin de llegar a un consenso de conocimientos e ideologías, que, sumado al trabajo por etapas, genera una constante profundización en todas las áreas investigativas.

2.1.1 Densidad de Poblaciones

- **Trucha Arcoiris**

Inicialmente, se define las dimensiones necesarias para los estanques de cultivo, los cuales son de características diferentes, de acuerdo con cada etapa, así alcanzar una producción anual de 100 TM.

Por lo cual, se debe calcular la producción por lote, obteniéndose a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Producción por lote} = \frac{\text{Producción Anual}}{N^{\circ} \text{ lotes}}$$

A continuación, se muestra un resumen de las principales características en cada tipo de estanque.

Tabla 2-1: Datos Estanques de Cultivo

Datos	Engorde	Juvenil	Alevín
Volumen estanque (<i>V</i>)	180 m ³	55 m ³	15m ³
Densidad de carga (<i>D</i>)	25 kg/m ³	20 kg/m ³	10 kg/m ³
Peso unitario Promedio (<i>P</i>)	0,625 kg	0,165 kg	0,045 kg
Renovación por hora (<i>R</i>)	2	1,5	1
Longitud promedio (<i>L</i>)	26 cm	13,75 cm	7,5 cm
Cantidad Estanques	6	6	6

Fuente: Adaptación de (FONDEPES, 2014)

Para verificar y calcular la cantidad correcta de compra de alevines, se inicia estimando la población total de ejemplares por fase, de manera que, a partir del cálculo de la biomasa, junto con el peso unitario promedio y el número de lotes anuales, se obtiene la población total por etapa.

$$Biomasa_C = D_C * V_C$$

Sea:

D_C : Densidad de carga para etapa de cosecha

V_C : Volumen de estanque para etapa de cosecha

De manera que, la población total en la etapa de cosecha está dada por la siguiente ecuación.

$$Población\ Total_C = \frac{Biomasa_C * N^{\circ}lotes}{P_i}$$

Por su parte, para el cálculo de la población total de etapa de engorde, se utiliza el mismo valor de la biomasa, numero de lotes y peso unitario promedio respectivo, para luego considerar el porcentaje de supervivencia y así determinar el valor total.

$$Población\ Total_E = \frac{Biomasa_E * N^{\circ}lotes}{P_E}$$

Por lo tanto, considerando el valor de supervivencia, se aplica la siguiente fórmula, al dato anterior, luego para la etapa juvenil y finalmente para los alevines.

$$Población\ Total_E = Población\ Total_C * (1 + Mortalidad_E)$$

$$Población\ Total_J = Población\ Total_E * (1 + Mortalidad_J)$$

$$Población\ Total_A = Población\ Total_J * (1 + Mortalidad_A)$$

A partir de estos valores, se calcula el caudal necesario (Departamento Ingeniería UCSC, 2018).

$$Q_i = TC * V_i * NE$$

Donde:

TC: Tasa de Cambio [1/h]

V_i : Volumen de estanque “i” [m3]

NE: Número de Estanques

- **Camarón excavador de río**

Para estimar la cantidad de ejemplares de siembra, se inicia aplicando la ecuación de biomasa de cada jaula, a partir de la densidad de cultivo por jaula y el volumen respectivo utilizado.

$$Biomasa_{Jaula} = D_C * V$$

Considerando:

D_C : Densidad de carga de Camarón [kg/m3]

V : Volumen Jaula [m3/jaula]

Luego, a partir del área total de cada estanque (juvenil o engorde), se calcula la cantidad total de jaulas por estanque, respectivamente.

$$Cantidad_i = \frac{A_i}{A_{Jaula}}$$

Sea:

A_i : área estanque “i” [m2]

A_{Jaula} : área jaulas [m2]

A partir de estos resultados, se calcula el nivel productivo por lote, considerando los 6 estanques por lote.

$$Producción_i = Biomasa_{Jaula} * Cantidad_i * 6 \left[\frac{estanques}{lote} \right]$$

A su vez, a nivel anual considerando los 4 lotes, se tiene que:

$$Producción Anual = (Producción_J + Producción_E) * 4 \left[\frac{lotes}{año} \right]$$

Luego, considerando el peso de cosecha y el nivel de mortalidad, el cual corresponde al rango obtenido de investigaciones científicas en torno al camarón de río del sur (Rudolph et al., 2010), es decir, el pariente más cercano y con condiciones similares a la especie de estudio, se alcanza un rango de

mortalidad anual entre 20% y 26%, de manera que, promediando ambos valores, se obtiene una defunción del 23%. A partir de esto, se obtiene la cantidad de ejemplares y siembra respectivamente.

$$Siembra_i = Producción_i * \frac{1}{P_C} * (1 + M_C)$$

Donde:

P_C : Peso unitario por Camarón [camarón/kg]

M_C : Mortalidad Camarón [%]

- **Hortalizas**

Para la siembra de lechuga, se considera la distancia mínima entre plantas y con ello la densidad por m², se calcula la cantidad productiva por lote.

$$Siembra = D_P * A_{Línea} * Líneas$$

$$Producción = Siembra * (1 - M_L)$$

Sea:

D_P : Densidad de siembra por m² [plantas/m²]

$A_{Línea}$: El área total por línea [m²/línea]

$Líneas$: Líneas por lote [líneas/lote]

M_L : Mortalidad Lechuga anual [%]

Luego a partir de los lotes a nivel anual, se obtiene la producción total.

$$Producción Anual = Producción * Lotes$$

Donde:

$Lotes$: Lotes al año [lotes/año]

Luego para el requerimiento del sustrato de piedra volcánica, se obtiene la cantidad total a partir de la densidad y volumen de la línea.

$$Cantidad = D_S * V_L * Líneas$$

Donde:

D_S : Densidad del sustrato de piedra volcánica

V_L : Volumen de línea

Por lo tanto, a nivel anual se tiene que:

$$Cantidad Anual = Cantidad * Lotes$$

2.1.2 Construcción base de datos

A continuación, se explica el procedimiento de obtención de datos específicos utilizados.

- **Recolección de información**

En cuanto al factor de conversión alimenticia, se indica que a menudo son razones cercanas a 1:1 (FAO, 2020). Sin embargo, la industria chilena está en los valores de 1,2 y 1,3, en el actual estudio se utiliza el factor común de conversión presente en la industria, es decir, 1,3% (Departamento Ingeniería UCSC, 2018). En torno a los valores, se asigna un precio de 1.200 CLP/kg, lo cual coincide con el rango promedio de costos de alimentación obtenidos de datos empíricos (O. Ocaranza, comunicación personal, mayo 2023) y, por ende, se selecciona como referencia del precio de alimento en sus respectivas etapas de desarrollo, que si bien, varían la composición del pellet según la etapa cursada (Mayor o menor cantidad de proteínas y/o grasas), el precio se mantiene rotativo dentro del promedio anteriormente mencionado. Por lo tanto, tomando en cuenta la programación de producción anual, el factor promedio de conversión alimenticia calculado y el costo del alimento, se estima en la **Tabla 2-2**, el total de alimento a utilizar y su respectivo costo.

Tabla 2-2: Estimación gasto alimenticio producción total

Producción anual de truchas (TM)	Factor Conversión Alimenticia (FCA)	Cantidad de alimento a utilizar (TM)	Costo del alimento (CLP/kg)	Gasto para producción total (CLP)
100	1,3	130	1.200 \$	156.000.000 \$

Fuente: Elaboración propia 2023.

En cuanto a las medidas generales de los ejemplares de trucha arcoíris, se tiene un rango promedio evidenciado en la **Tabla 2-3**, generado a partir del análisis de datos y evidencia empírica.

Tabla 2-3: Promedio de las Medidas y Peso de la Trucha Arcoíris

Etapas	peso inicial (g)	peso final (g)	peso promedio(g)
Alevín	10	80	45
Juvenil	80	250	165
Engorde	250	1000	625
Cosecha	1000		

Fuente: (O. Ocaranza, comunicación personal, mayo 2023).

- **Supuestos Generales de Cálculos**

El análisis de temperatura se basa en el estudio del **Anexo 13**, correspondiente al registro de 1 mes regular (sin variaciones extremas) en distintos horarios durante el día en la zona sur, siendo la temperatura promedio, 12 °C. Luego, mediante datos bibliográficos, se obtienen valores en cuanto al nivel de supervivencia presente en cada fase de desarrollo, coincidiendo en que el valor promedio de todo proceso productivo fluctúa en un rango cercano al 3% mensual, dependiendo cada etapa de desarrollo (FONDEPES, 2014; salmonexpert, 2021). A su vez, se indica en cultivos de trucha arcoíris en agua salada, que la mortalidad total mensual promedio, alcanza un 1,18% en condiciones normales, es decir, un 15% anual (SERNAPESCA, 2020). Finalmente, dado que la producción ocupa una fuente de agua dulce, se utiliza los datos evidenciados en el **Anexo 14**, correspondientes a una investigación de cultivo en agua dulce. Luego, a partir de la profundización generada de información proveniente de expertos, se genera una fuente de datos confiable para los cálculos evaluativos.

Por otra parte, en torno a los resultados de las tres dimensiones estudiadas, el supuesto basal consiste en la venta total de la cantidad producida por el proyecto.

2.1.3 Evaluación Rentabilidad Privada del Proyecto

A continuación, se ilustra las fórmulas utilizadas para el cálculo de cada indicador económico, que en la sección resultados se diferencian de acuerdo con el escenario, ya sea, realista o pesimista.

- **Valor Actual Neto (VAN)**

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

Donde:

FC_n : Flujo de caja en cada periodo “n”

I_0 : Inversión inicial

r : Tasa Interna de retorno

- **Tasa Interna de Retorno Inversión (TIR)**

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{FC_n}{(1+r)^n} = 0$$

- **Periodo Recuperación de Inversión (PRI)**

$$PRI = A + \frac{(I_0 - C)}{D}$$

Sea:

A: Período anterior al que se recupera la inversión

C: FC acumulado del período A

D: FC del período donde se recupera la inversión

2.1.4 Evaluación Rentabilidad Social del Proyecto

Del mismo modo, se evidencian las ecuaciones utilizadas para el cálculo de los indicadores sociales.

- **VANS**

$$VANS = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{FC^*_n}{(1 + r^*)^n}$$

Donde:

VANS= Valor Actual Neto o valor presente neto en el año cero

FC^*_n = Flujo de caja ajustado a los ingresos por beneficio, en el año n.

r^* = tasa social de descuento

- **Tasa rentabilidad social**

Al igual que en el cálculo de la TIR, se aplica la misma fórmula, pero ajustando el tipo de ingreso percibido en los flujos de caja, cambiando de ingreso por venta a beneficios.

$$VANS = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{FC^*_n}{(1 + r)^n} = 0$$

- **Encuesta segmentada**

La encuesta es realizada con el fin de obtener información de dos tipos de segmentos, primero de los consumidores comunes y luego ver el punto de vista de trabajadores del área productiva del cultivo de peces en la décima región. De esta manera, las preguntas generadas en dicha encuesta se seccionan en 3 partes principalmente: Clasificación (Ocupación, edad, sexo, etc.); tipo de consumo; conocimiento industria acuícola. Por lo tanto, los datos cualitativos obtenidos posterior a la aplicación, son utilizados con el fin de apoyar los resultados del análisis cuantitativo de la evaluación social.

2.1.5 Evaluación Medioambiental del Proyecto

En torno al aspecto ambiental, se ilustran las fórmulas utilizadas para el cálculo del impacto generado.

- **Huella hídrica**

Considerando la producción de cada producto por separado, se tiene un requerimiento dado por:

$$\begin{aligned} \text{Requerimiento Total}_T &= \text{Requerimiento}_T + \text{Requerimiento}_C + \text{Requerimiento}_L \\ \text{Requerimiento}_i &= R_i * \text{Producción}_i \end{aligned}$$

Sea:

R_i : Requerimiento por kilogramo de “i” (Trucha, Camarón o Lechuga).

Luego, para el cálculo del uso de agua en el proyecto, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Requerimiento Total}_P = Q_P * t$$

Donde:

t : Tiempo total de producción.

Q_P : Caudal del proyecto.

Finalmente, se calcula el porcentaje de disminución del uso de agua, aplicando la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Disminución} = \frac{(\text{Requerimiento Total}_T - \text{Requerimiento Total}_P)}{\text{Requerimiento Total}_T} * 100$$

- **Cantidad de desechos orgánicos**

En Chile, la generación de lodos, es decir, la acumulación de desechos orgánicos (excretas y alimento no consumido) en los fondos, alcanzan las 1,4 toneladas por cada tonelada de salmón producido, considerando un promedio de cosecha de 3kg en procesos tradicionales. Se estima que el proyecto genere un tercio de este valor, es decir, 0,5 toneladas por cada tonelada de trucha producida, debido a que el peso de cosecha estipulado es de 1 kg, en otras palabras, un tercio del promedio en industrias tradicionales. (Arancibia & Vivanco, 2020). Por lo tanto, el porcentaje de disminución de lodo inicia a partir del cálculo de la cantidad de lodo generado por industrias tradicionales.

$$\text{Lodo Total}_T = L_T * \text{Producción Anual}$$

Sea:

L_T : Tasa de producción de lodo en industrias tradicionales

Luego, considerando que el camarón por medio de su alimentación reduce los desechos provenientes de la trucha en un 40% y a su vez, produce excreciones cercanas al 10%, tenemos que:

$$\text{Lodo Total}_P = \text{Lodo Total}_T * (1 - AC) + (\text{Lodo Total}_T * (1 - AC)) * DC$$

Donde:

AC: % Alimentación Camarón

DC: % Desechos Camarón

Aplicando la siguiente ecuación, se calcula el porcentaje de disminución de la capa de lodo.

$$\% \text{ Disminución} = \frac{\text{Lodo Total}_T - \text{Lodo Total}_P}{\text{Lodo Total}_T} * 100$$

2.2 Resultados

A continuación, se procede a resolver las fórmulas mencionadas en el capítulo anterior, reemplazando los valores obtenidos por medio de la investigación y así obtener los resultados de cada evaluación. A continuación, se realizan los cálculos para el **escenario realista**.

2.2.1 Densidad de Poblaciones Escenario Realista

- **Trucha Arcoíris**

Considerando las dimensiones de los estanques en cada etapa, para la fase de alevinaje, se posee un estanque de 15 m³ (6x2x1,25). Por su parte, para la etapa de juveniles, la estructura ocupa un volumen de 55 m³ (16x2x1,70). Luego, para la etapa de engorde, el volumen necesario es de 180 m³ (25x4x1,80) (Departamento Ingeniería UCSC, 2018; FONDEPES, 2014).

Luego, se calcula la densidad de trucha producida, a partir de la adquisición de organismos en la etapa de alevinaje, así para alcanzar el objetivo de 100 TM en 4 lotes anuales, se calcula la cantidad de truchas por lote, considerando un peso de cosecha de 1000kg.

$$\text{Producción por lote} = \frac{100.000 \text{ kg}}{4 \text{ lotes}} = 25.000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{lote}} \right]$$

De manera que, considerando la talla de cosecha, se tendría 25.000 truchas por lote. Luego, para verificar y calcular la cantidad correcta de compra de alevines, se inicia estimando la población total de ejemplares para cosecha, engorde y juveniles, producidas en el centro de cultivo. De manera que, considerando un mínimo de producción de 100.000 ejemplares en talla comercial (1 kg), se calcula el detalle a partir del valor de la Biomasa y el peso promedio de los organismos en sus respectivas etapas. Para la etapa de cosecha, existe un peso de 1 kg por ejemplar, por lo que, el número de población total en dicha fase está dada por la siguiente ecuación.

$$\begin{aligned}
 Biomasa_C &= D_C * V_C = 25 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 180 \left[\frac{m^3}{estanque} \right] = 4.500 \left[\frac{kg}{estanque} \right] * 6 \left[\frac{estanque}{lote} \right] \\
 &= 27.000 \left[\frac{kg}{lote} \right]
 \end{aligned}$$

De manera que la población total es:

$$Población Total_C = \frac{Biomasa_C * N^\circ lotes}{P_C} = \frac{27.000 [kg/lote] * 4 [lotes]}{1 \left[\frac{kg}{trucha} \right]} = 108.000 [Truchas]$$

Este valor, considerando pérdidas del 2% se traduce en 105.840 kg/año. No obstante, para temas de cálculos poblacionales, se considera el valor obtenido en *Población Total_C*.

Por su parte, la población en etapa de engorde, considerando que la biomasa es igual en ambas etapas, se calcula del mismo modo, pero considerando el respectivo porcentaje de supervivencia evidenciado en el **Anexo 14**.

$$Población_E = \frac{Biomasa_E * N^\circ lotes}{P_E} = \frac{27.000 [kg/lote] * 4 [lotes]}{0,625 \left[\frac{kg}{trucha} \right]} = 172.800 [Truchas]$$

Por lo cual, con una mortalidad en la etapa de engorde del 13%, obtenemos una población total de:

$$\begin{aligned}
 Población Total_E &= Población Total_C * (1 + Mortalidad_E) = 108.000 * (1 + 0,13) \\
 &= 122.040 [Truchas]
 \end{aligned}$$

De manera que, se estima tener 30.510 truchas por lote y 5.085 por estanque, arrojando un total de 122.040 ejemplares anuales, considerando la supervivencia del 87% en dicha fase.

En cuanto a la etapa juvenil, se utiliza la producción anual de trucha en etapa de engorde, obteniendo la cantidad necesaria de ejemplares a partir de la siguiente ecuación y mortalidad.

$$\begin{aligned}
 Población Total_J &= Población Total_E * (1 + Mortalidad Juveniles) = 122.040 * (1 + 0,24) \\
 &= 151.329,6 \cong 151.330 [Juveniles]
 \end{aligned}$$

Lo cual, considerando que son 4 lotes al año y 6 estanques por etapa, se tiene 37.833 y 6.306 ejemplares, respectivamente. Del mismo modo, para la etapa de alevinaje, obtenemos que.

$$\begin{aligned}
 Población Total_A &= Población Total_J * (1 + Mortalidad Alevines) = 151.330 * (1 + 0,35) \\
 &= 204.295,5 \cong 204.296 [Alevines]
 \end{aligned}$$

Obteniendo que hay 51.074 y 8.513 ejemplares, para 4 lotes anuales y 6 estanques, respectivamente.

Posteriormente, utilizando la cantidad de estanques con sus respectivos volúmenes y tasas de cambio evidenciadas en la **Tabla 2-1**, se calcula el caudal necesario para cada etapa.

$$Q_E = TC * V_E * NE = 2 * 180 * 6 = 2.160 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

$$Q_J = TC * V_J * NE = 1,5 * 55 * 6 = 495 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

$$Q_A = TC * V_A * NE = 1 * 15 * 6 = 90 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

- **Camarón excavador de río**

Para la estimación de la densidad de siembra, se inicia calculando la biomasa requerida por jaula considerando la densidad estipulada de 15 kg/m³ y el volumen de cada jaula de 0,8 m³ (2x1x0,4).

$$Biomasa_{jaula} = 15 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 0,8 \left[\frac{m^3}{jaula} \right] = 12 \left[\frac{kg}{jaula} \right]$$

De manera que, la cantidad de jaulas está relacionada con las dimensiones del estanque de truchas juveniles y en periodo de engorde, respectivamente. Por lo tanto, se calcula la cantidad de acuerdo con cada área de estanque.

$$Cantidad\ Jaulas_J = \frac{32 \left[\frac{m^2}{estanque} \right]}{2 \left[\frac{m^2}{jaula} \right]} = 16 \left[\frac{jaulas}{estanque} \right]$$

$$Cantidad\ Jaulas_E = \frac{100 \left[\frac{m^2}{estanque} \right]}{2 \left[\frac{m^2}{jaula} \right]} = 50 \left[\frac{jaulas}{estanque} \right]$$

A partir de esto, se calcula el nivel productivo por lote en los estanques de cada fase.

$$Producción_J = 12 \left[\frac{kg}{jaula} \right] * 16 \left[\frac{jaulas}{estanque} \right] * 6 \left[\frac{estanques}{lote} \right] = 1.152 \left[\frac{kg}{lote} \right]$$

$$Producción_E = 12 \left[\frac{kg}{jaula} \right] * 50 \left[\frac{jaulas}{estanque} \right] * 6 \left[\frac{estanques}{lote} \right] = 3.600 \left[\frac{kg}{lote} \right]$$

Teniendo así, una producción total (óptima) de 4.752 kg/lote. Luego a partir de estos resultados, se calcula la cantidad de siembra por cada estanque, considerando el peso de cosecha de 50 gramos y una mortalidad del 20%, correspondiente a la mitad del valor estipulado para la defunción de juveniles fase 3 (Rudolph, 2013), es decir, ya en etapa de alimentación independiente y libres de la protección

de la madre. Así, considerando que el proyecto cuenta con ejemplares en etapas posterior dicha fase, con el fin de evitar grandes niveles de mortandades, se el nivel de mortalidad mencionado.

$$Siembra_J = 1.152 \left[\frac{kg}{lote} \right] * \frac{1}{0,05} \left[\frac{camarón}{kg} \right] * (1 - 0,20) = 18.432 \left[\frac{camarón}{lote} \right]$$

$$Siembra_E = 3.600 \left[\frac{kg}{lote} \right] * \frac{1}{0,05} \left[\frac{camarón}{kg} \right] * (1 - 0,20) = 57.600 \left[\frac{camarón}{lote} \right]$$

Luego, durante el cultivo y crecimiento, la literatura menciona que la mortalidad disminuye considerablemente y alcanza rangos entre 20% a 26% a nivel anual (Rudolph, 2013), como se menciona en secciones anteriores. De esta manera, teniendo en cuenta una mortandad promedio del 23%, se calcula la población total en cada estanque.

$$Población_J = Siembra_J * (1 - Mortalidad_J) = 18.432 * (1 - 0,23) = 14.193 \left[\frac{camarón}{lote} \right]$$

$$Población_E = Siembra_E * (1 - Mortalidad_E) = 57.600 * (1 - 0,23) = 44.352 \left[\frac{camarón}{lote} \right]$$

Considerando pérdidas del 2%, el total poblacional por lote alcanza el valor de 57.374 camarones.

- **Hortalizas**

Para el cálculo de la siembra de lechuga, se inicia considerando la distancia mínima entre plantas (20 cm), alcanzando una densidad de 16 plantas por m². De manera que, el total por lote y siembra, considerando que la mortandad posee un rango entre 5% a 15% en condiciones normales, es decir, en promedio un 10% anual (López, 2006), se calcula la siembra y producción por lote:

$$Siembra = 16 \left[\frac{Plantas}{m^2} \right] * 28 \left[\frac{m^2}{línea} \right] * 3 \left[\frac{líneas}{lote} \right] = 1.344 \left[\frac{plantas}{lote} \right]$$

$$Producción = Siembra * 0,90 = 1.344 * 0,90 = 1.209$$

Por lo tanto, considerando lotes mensuales, 3 ejemplares por kilogramo y pérdidas del 2% anual, se tiene un nivel productivo de:

$$Producción Anual = 1.209 \left[\frac{plantas}{lote} \right] * 12 \left[\frac{lotes}{año} \right] = 14.508 \left[\frac{plantas}{año} \right] * \frac{1}{3} \left[\frac{kg}{plantas} \right]$$

$$= 4.836 \left[\frac{kg}{año} \right] * (1 - 0,02) = 4.739 \left[\frac{kg}{año} \right]$$

Luego, para el requerimiento del sustrato de piedra volcánica, se considera una densidad de 3[kg/m³] y un volumen por línea hidropónica de 5,6 m³ (28x1x0,2). A partir de estos datos, se calcula la cantidad total de sustrato requerido.

$$Cantidad = 3 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 5,6[m^3] * 3 \left[\frac{lineas}{lote} \right] = 50,4 \left[\frac{kg}{lote} \right]$$

Considerando un cambio total del sustrato cada 3 meses, se tiene una cantidad anual de:

$$Cantidad Anual = 50,4 \left[\frac{kg}{lote} \right] * 4 \left[\frac{lote}{año} \right] = 201,6 \left[\frac{kg}{año} \right]$$

2.2.2 Evaluación Rentabilidad Privada del Proyecto Escenario Realista

Para la evaluación de la rentabilidad privada por medio del cálculo de los ratios económicos evidenciados en el capítulo anterior, se utilizaron los flujos de caja evidenciados en el **Anexo 16**. El desglose de cada costo por área (Acuicultura, hidroponía, etc.), junto con el resumen de cada uno, se evidencia en el **Anexo 20** y **Anexo 21**. Lo cual, sumado a la utilización de precios FOB, es decir, el valor de la mercancía a bordo de un transporte marítimo, con precios de 5.500 \$/kg, 7.000 \$/kg y 700 \$/unidad, para truchas, camarones y lechugas respectivamente.

- **Valor Actual Neto (VAN)**

Considerando un horizonte de evaluación de 10 años, junto con una tasa de descuento del 6% y los flujos de caja mencionados anteriormente y en el **Anexo 16**, ajustándolos de acuerdo con las respectivas inflaciones presentes en cada periodo, como puede evidenciarse en el **Anexo 18**. A partir de esto, se calcula el Valor Actual Neto (Statista Research Department, 2023).

$$\begin{aligned} VAN &= -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{FC_n}{(1+r)^n} = -197.837.600 + \frac{-421.888.862}{(1+0,06)^1} + \dots + \frac{87.398.618}{(1+0,06)^{10}} \\ &= 43.681.854 \end{aligned}$$

- **Tasa Interna de Retorno Inversión (TIR)**

Por su parte, aplicando la siguiente ecuación, obtenemos el valor de la TIR.

$$\sum_{n=1}^{10} \frac{FC_n}{(1+TIR)^n} = -197.837.600 = \frac{-421.888.862}{(1+TIR)^1} + \dots + \frac{87.398.618}{(1+TIR)^{10}} = TIR = 7.6 \%$$

- **Periodo recuperación de inversión (PRI)**

En el **Anexo 19**, se logra evidenciar la tabla generada con los flujos de caja de cada periodo y acumulados, en el cual en el periodo 7 se recupera la inversión inicial, por ende, de acuerdo con la ecuación mencionada en el capítulo anterior, se reemplaza los respectivos valores y se calcula el ratio.

$$PRI = A + \frac{(B - C)}{D} = 7 + \frac{(197.837.600 - 195.079.397)}{92.793.224} = 7 + 0,03 = 7,03 \text{ [años]}$$

Por lo tanto, en términos económicos, dado que el VAN es positivo y el valor de la TIR es mayor a la tasa de descuento utilizada (6%), se concluye que el proyecto es factible y rentable económicamente considerando un escenario realista.

Posteriormente, para el **escenario pesimista**, se tiene en cuenta condiciones poco favorables de adaptabilidad de los organismos, junto con aumento de la actividad microbiana producido por factores climáticos no considerados, lo cual produce enfermedades y así un aumento en el nivel de mortalidad.

2.2.3 Densidad de Poblaciones Escenario Pesimista

- **Trucha Arcoíris**

Teniendo en cuenta las mismas dimensiones de estanques en cada etapa y producción por lote, se calcula la densidad poblacional de cada etapa, a partir del valor obtenido de la población total de ejemplares en la etapa de alevinaje, es decir, la cantidad de siembra. Luego, utilizando la mortalidad estimada para este escenario, es decir, la cota superior del rango de mortalidades (**Anexo 14**) en la fase de engorde y el promedio en las demás etapas, se calcula las demás densidades poblacionales.

$$\begin{aligned} Población\ Total_A &= 204.296 \text{ [Alevines]} * (1 - Mortalidad_A) = 204.296 * (1 - 0,35) \\ &= 132.793 \text{ [alevinos]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Población\ Total_J &= Población\ Total_A * (1 - Mortalidad_J) = 102.148 * (1 - 0,24) \\ &= 102.251 \text{ [juveniles]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Población\ Total_E &= Población\ Total_J * (1 - Mortalidad_E) = 64.354 * (1 - 0,20) \\ &= 81.801 \text{ [engorde]} \end{aligned}$$

De esta manera, considerando igualmente pérdidas del 2%, se obtiene un valor final en etapa de cosecha de 80.983 truchas al año, lo que finalmente se traduce en 20.246 ejemplares por lote.

- **Camarón excavador de río**

Considerando la siembra total en el estanque de truchas juveniles y en engorde, se aplica el nivel de mortalidad presente en el escenario actual, es decir, 35% durante el desarrollo de los ejemplares en el cultivo, es decir, prácticamente el doble del promedio de defunción (Rudolph et al., 2010).

$$Población_J = Siembra_J * (1 - Mortalidad_J) = 18.432 * (1 - 0,35) = 11.981 \left[\frac{\text{camarón}}{\text{lote}} \right]$$

$$Población_E = Siembra_E * (1 - Mortalidad_E) = 57.600 * (1 - 0,35) = 37.440 \left[\frac{\text{camarón}}{\text{lote}} \right]$$

Por lo tanto, con pérdidas del 2%, la población total por lote alcanza los 49.421 camarones.

- **Hortalizas**

Teniendo en cuenta la cantidad de siembra calculada anteriormente, junto con el nivel de mortalidad en el escenario pesimista, es decir, alcanzado un 37% para especies más susceptibles a cambios y/o variaciones climáticas, se calcula la producción total por lote (López, 2006).

$$Producción = Siembra * (1 - 0,37) = 1.344 * (1 - 0,37) = 847 \left[\frac{\text{plantas}}{\text{lote}} \right]$$

Considerando 3 ejemplares por kilogramo y pérdidas del 2% anual, se tiene un nivel productivo de:

$$\begin{aligned} Producción Anual &= 847 \left[\frac{\text{plantas}}{\text{lote}} \right] * 12 \left[\frac{\text{lotes}}{\text{año}} \right] = 10.164 \left[\frac{\text{plantas}}{\text{año}} \right] * \frac{1}{3} \left[\frac{\text{kg}}{\text{plantas}} \right] \\ &= 3.388 \left[\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right] * (1 - 0,02) = 3.321 \left[\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right] \end{aligned}$$

2.2.4 Evaluación Rentabilidad Privada del Proyecto Escenario Pesimista

Se calculan los ratios económicos a partir de los datos anteriores y la alteración de los niveles de mortalidades presentes. En el **Anexo 17** puede evidenciarse el nuevo flujo de caja.

- **Valor Actual Neto (VAN)**

Considerando una tasa de descuento del 6% y los FC mencionados anteriormente, se realiza el cálculo.

$$\begin{aligned} VAN &= -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{FC_n}{(1+r)^n} = -197.837.600 + \frac{-422.809.633}{(1+0,06)^1} + \dots + \frac{9.164.988}{(1+0,06)^{10}} \\ &= -529.651.027 \end{aligned}$$

- **Tasa Interna de Retorno Inversión (TIR)**

Por su parte, aplicando la siguiente ecuación, obtenemos el valor de la TIR.

$$\sum_{n=1}^{10} \frac{FC_n}{(1+TIR)^n} = -197.837.600 = \frac{-422.809.633}{(1+TIR)^1} + \dots + \frac{9.164.988}{(1+TIR)^{10}} = TIR = -26,8\%$$

- **Periodo recuperación de inversión (PRI)**

Considerando que, si bien los flujos en el periodo de estudio (10 años) son positivos, estos no alcanzan a cubrir la deuda generada por la inversión inicial y el primer año de cultivo, en el cual no se perciben grandes ingresos. Generando que, el PRI supere el horizonte de evaluación.

En torno a los resultados del VAN y la TIR, se concluye que el proyecto bajo este escenario debe desestimarse, ya que el valor actual de los flujos es menor a la inversión inicial, generando finalmente que el proyecto no sea rentable. A continuación, se evidencia una comparativa de ambos escenarios.

Tabla 2-4: Comparación de escenarios

Escenario	VAN	TIR	Resultado
Realista	\$43.681.854	7,6%	Aceptar
Pesimista	\$-529.651.027	-26,8%	Rechazar

Fuente: Elaboración propia

2.2.5 Evaluación Rentabilidad Social del Proyecto

Para este análisis, se genera un nuevo flujo de caja, esta vez reemplazando el tipo de ingreso, pasando de ventas a beneficios sociales. En el **Anexo 23** puede evidenciarse el flujo de caja anual del aspecto social, mientras que en el **Anexo 24** se ilustra la cuantificación de los beneficios sociales.

- **VANS**

Considerando que, en Chile la tasa social de descuento es del 10% aproximadamente, se calcula el VANS a partir del promedio ponderado de la tasa social de preferencia intertemporal y la tasa basada en el costo de oportunidad social del capital (Castillo & Zhangallimbay, 2021). Se aplica la ecuación anteriormente mencionada, considerando los flujos de caja evidenciados en el **Anexo 23**.

$$\begin{aligned}
 VANS &= -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{FC_n^*}{(1+r^*)^n} = -161.632.867 + \frac{-4.322.655}{(1+0,1)^1} + \dots + \frac{76.962.321}{(1+0,1)^{10}} \\
 &= 297.045.054
 \end{aligned}$$

- **Tasa rentabilidad social**

Se aplica la ecuación de la TIR en el flujo de caja evidenciado en el anexo anteriormente mencionado.

$$\sum_{n=1}^{10} \frac{FC_n}{(1+TIR)^n} = 292.738.852 = \frac{-4.322.655}{(1+TIR)^1} + \dots + \frac{76.962.321}{(1+TIR)^{10}} = TIR = 38\%$$

Teniendo como resultados un VAN positivo y una tasa de rentabilidad casi 4 veces superior a la tasa de descuento utilizada, socialmente, el proyecto es también altamente factible y rentable.

- **Encuesta localizada (Aprobación social)**

Por medio de la aplicación de una encuesta a dos segmentos, primero al común de las personas, específicamente habitantes de una población céntrica de la ciudad de Castro y a trabajadores de la empresa productora AquaChile de cultivo marítimo, con el fin de ver ambas realidades en determinadas situaciones. En el **Anexo 25**, se evidencia el detalle de las preguntas, de manera que, del total encuestado, 40 personas corresponden a consumidores y 10 a productores.

Como resultados de esta encuesta, se obtuvo que el 82%, sí consume pescado y cerca del 60% prefiere salmónidos, comprándolos preferiblemente en ferias, dado la gran disponibilidad de producto en la zona y por la sencillez que implica su compra en supermercados. El rango de precios fluctúa mayoritariamente en un rango de precio de 5.000 a 10.000 pesos el kilogramo. En cuanto a la decisión de compra de los consumidores, el 80% considera que la característica primordial a la hora de comprar es la frescura del producto, sin importarles considerablemente el origen.

Por su parte, el 70% de los encuestados, si consume camarón en su dieta, comprándolos prácticamente en su totalidad en el supermercado, principalmente por la disponibilidad del producto, considerando, en un 70%, que la principal característica de decisión de compra es el tamaño y la frescura.

En cuanto a la lechuga, más del 85% de los encuestados la consumen diariamente, comprándolas con precios entre 500 a 1.000 pesos la unidad. Considerando la apariencia, tamaño y color, como los principales factores a la hora de decidir la compra, no importándole el origen del producto.

Por otra parte, en cuanto al cultivo acuícola de peces, el 50% de los encuestados conocían los daños ambientales provocados por esta industria. A su vez, la mitad consideran este factor determinante a la hora de comprar el producto. No obstante, prácticamente la totalidad de los encuestados cree necesario realizar cambios en los procesos productivos, con el fin de disminuir la contaminación ambiental.

Luego, más del 80% está a favor de la instauración de proyectos acuícolas terrestres por sobre el cultivo marítimo, no considerando que sea un problema la cantidad de empresas presentes en su ciudad. Luego, el 75% de los encuestados cree que es beneficioso para su familia, el tener una empresa productora cerca y no considera en grandes rasgos, que estas atenten contra su salud.

Por lo tanto, se puede concluir en términos cuantitativos, que el proyecto es socialmente factible y rentable, dado que no sólo el VANS es mayor a 0 y la TIR es mayor a la tasa social de descuento utilizada en los cálculos, sino además que, la población mayoritariamente así lo expresa en los resultados obtenidos. En términos cualitativos, mediante los resultados obtenidos de la encuesta, se

evidencia que la sociedad en sí está a favor de realizar el cambio de cultivo marítimo a terrestre, considerando que, de esta manera, se ayuda a disminuir el impacto ambiental y de igual modo, será beneficioso para su familia el tener empresas de esta industria cerca. De manera que, por medio de los ratios enunciados anteriormente y apoyados de los resultados cualitativos, se genera un cumplimiento de la meta social propuesta de tener una aceptación social mayor al 50%.

2.2.6 Evaluación Medioambiental del Proyecto

A continuación, se evidencia la aplicación de los principales indicadores de contaminación en empresas del rubro acuícola y específicamente desarrollo de peces.

- **Huella Hídrica**

Analizando cada aspecto por separado, se inicia considerando que, para la producción de un kilo de salmón se necesitan 1.400 litros de agua aproximadamente (Faundez, 2019). Por su parte, para el camarón en sistemas intensivos con recambio de agua, se utilizan rangos entre 20.000 a 64.000 litros de agua, es decir en promedio 42.000 litros para producir un kilo de camarón (Silva, 2018). Finalmente, para el aspecto hidropónico, se requiere 13 litros para producir 1 lechuga, donde cada lechuga aproximadamente pesa 300 gramos, por lo que, para la producción de 1 kg, se requiere 40 litros aproximadamente (EROSKI consumer, 2022). Por lo tanto, se calcula el requerimiento total.

$$\text{Requerimiento Total}_{TR} = \text{Requerimiento}_T + \text{Requerimiento}_C + \text{Requerimiento}_L$$

$$\text{Requerimiento}_T = R_T * \text{Producción}_T = 1.400 \left[\frac{\text{litros}}{\text{kg}} \right] * 105.840 \left[\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right] = 140.000.000 \left[\frac{L}{\text{año}} \right]$$

$$\text{Requerimiento}_C = R_C * \text{Producción}_C = 42.000 \left[\frac{\text{litros}}{\text{kg}} \right] * 18.628 \left[\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right] = 782.376.000 \left[\frac{L}{\text{año}} \right]$$

$$\text{Requerimiento}_L = R_L * \text{Producción}_L = 40 \left[\frac{\text{litros}}{\text{kg}} \right] * 4.739 \left[\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right] = 189.560 \left[\frac{L}{\text{año}} \right]$$

De manera que, el requerimiento total de la industria tradicional es:

$$\text{Requerimiento Total}_{TR} = 140.000.000 + 782.376.000 + 189.560 = 922.565.560 \left[\frac{L}{\text{año}} \right]$$

Luego, para el cálculo de la utilización de agua en el proyecto, basta con considerar que, a partir del desarrollo del producto principal, reutilizándose dichos efluentes para producir dos organismos más, siendo el requerimiento total igual al de la trucha en la industria tradicional, calculado anteriormente.

$$\text{Requerimiento Total}_p = \text{Requerimiento}_T = 140.000.000 \left[\frac{\text{litros}}{\text{año}} \right]$$

Finalmente, se calcula el porcentaje de disminución del uso de agua, aplicando la siguiente ecuación.

$$\begin{aligned} \% \text{ Disminución} &= \frac{(\text{Requerimiento Total}_{TR} - \text{Requerimiento Total}_P)}{\text{Requerimiento Total}_{TR}} * 100 \\ &= \frac{(922.565.560 - 140.000.000)}{922.565.560} * 100 = 84,8\% \end{aligned}$$

De esta manera, la disminución de la utilización de agua disminuye en 85% aproximadamente.

- **Cantidad de Desechos Orgánicos**

Se inicia calculando la cantidad de lodo generado en la industria tradicional, considerando una conversión del 0,5 por tonelada de trucha producida.

$$\text{Lodo Total}_T = 0,5 \left[\frac{\text{Toneladas lodo}}{\text{Toneladas trucha}} \right] * 100 \left[\frac{\text{Toneladas Trucha}}{\text{Año}} \right] = 50 \left[\frac{\text{toneladas Lodo}}{\text{Año}} \right]$$

Luego, considerando el porcentaje de alimentación promedio del camarón del 40%, junto con su producción de excreciones del 10%, aplicamos la siguiente fórmula.

$$\text{Lodo Total}_P = 50 \left[\frac{\text{Ton. Lodo}}{\text{Año}} \right] * (1 - 0,4) + \left(50 \left[\frac{\text{Ton Lodo}}{\text{Año}} \right] * 0,4 \right) * 0,1 = 32 \left[\frac{\text{Ton. Lodo}}{\text{Año}} \right]$$

Finalmente, se calcula el porcentaje de disminución de la capa de lodo.

$$\% \text{ Disminución} = \frac{50 - 32}{50} * 100 = 36\%$$

Generando una disminución del 36% en la generación de lodos a nivel anual. Por lo tanto, se puede evidenciar en términos cuantitativos, que el cambio a la producción terrestre, mediante la adaptación del procedimiento AMTI, no solo utiliza considerablemente menos agua para desarrollar sus productos, sino que, a la vez, disminuye en más del 30% la generación de lodo en los estanques acuícolas. De manera que, por medio de una ponderación 1:1 y un promedio simple entre ambos, se obtiene que existe una disminución del impacto ambiental del 60%, cumpliendo la meta propuesta.

2.2.7 Evaluación Sin y Con Proyecto

- **Evaluación Sin Proyecto**

En caso de no llevarse a cabo el proyecto, la industria continuará con su sistema tradicional de producción y en consecuencia seguirá provocando una gran cantidad de problemas medioambientales, cercenando posibilidades de ampliar sus mercados y de ofrecer nuevas posibilidades tanto laborales como económicas, a importantes sectores poblaciones vinculados al mar chileno.

Si bien, hoy les permite seguir en funcionamiento, en un futuro próximo, junto a las grandes movilizaciones tanto sociales como gubernamentales, generará que empresas productivas con años en el rubro, deban innovar, tomar decisiones y generar cambios drásticos en cuanto a sus técnicas, tecnologías y metodologías productivas, así poder continuar en funcionamiento o simplemente deberán detener sus operaciones, lo cual agravará los problemas económicos y futuras deficiencias alimentarias, afectando fuertemente a la fuerza de trabajo y a la sociedad en general.

Dentro de las problemáticas, se incluyen: alteración de ambientes bentónicos debajo de las jaulas; posible propagación de enfermedades y parásitos a las poblaciones de organismos silvestres; impactos ecológicos y genéticos provocado por el escape de ejemplares; liberación de agentes quimioterapéuticos en las aguas costeras, limitando la capacidad productiva de dichas zonas.

Bajo este aspecto, la generación de lodos es crucial a la hora de determinar el efecto generado por este tipo de industrias, atentando contra el ambiente bentónico y todo el ecosistema marino. En Chile, esta generación llega a 1,4 por tonelada de organismo producido, siendo una tasa sumamente alta, considerando las miles de toneladas producidas en el país. Estos lodos, son constituidos principalmente por desechos orgánicos, los que como se señaló anteriormente, se acumulan en los fondos marinos, generando una fuerte amenaza para el medio acuático, la eficiencia productiva del proceso y la contribución al ODS 14 de vida submarina. Por otra parte, tanto en ambientes marinos como de agua dulce, se registran habitualmente escapes de ejemplares, los cuales son considerados una de las mayores problemáticas, tanto para las empresas por su pérdida económica, como para el ambiente marino, debido a su fuerte incidencia y participación directa en aumento de mortalidades de especies silvestres (Arancibia & Vivanco, 2020).

- **Evaluación Con Proyecto**

En caso de llevarse a cabo el proyecto, existen beneficios del tipo económico, social y ambiental, abordando innovadoramente cuatro aspectos claves: Apoyo a un desarrollo productivo que en lugar de provocar problemas medio ambientales, contribuye a un desarrollo económico que favorece la industria acuícola minimizando su contaminación; apoyo a la sustentabilidad de los procesos de producción (Venegas & Llancaleo, 2022); alcanzar una rentabilidad económica mayor; ampliar las posibilidades laborales de un sector población que hoy las necesita con urgencia.

Socialmente, se produce un cambio en las condiciones de vida de la sociedad cercana a la zona de aplicación, considerando una mejor calidad de alimentación y mayores alternativas de compra, al

consumir productos de primera línea. A su vez, la diversificación laboral conlleva no sólo una nueva forma de obtención de ingresos, los cuales pueden cubrir necesidades anteriormente insatisfechas, sino que, generan experiencia en nuevos rubros y brinda alternativas de mejoramiento de vida.

En torno al impacto ambiental, se disminuirán gran parte de los factores que atentan contra el medioambiente, destacando la huella hídrica y generación de lodos, los cuales son aspectos que inciden mayoritariamente en la evaluación de impacto ambiental, el cual disminuye al punto de obtener un descenso de más del 50% en el impacto generado.

Finalmente, desde la óptica económica, el proyecto genera utilidad privada y social, provocando un potenciamiento económico en la zona de aplicación, por no sólo el hecho de la realización de diversos tipos de transacciones, sino que, al generar un aumento de los impuestos, conlleva al aumento de la situación económica de la zona y del país. De esta manera, se busca mejorar sustancialmente el rubro acuícola, de la mano de la tecnología, innovación y sustentabilidad (Naspirán-Jojoa et al., 2022).

Por otra parte, siguiendo la línea medioambiental, se contribuye al cumplimiento de Objetivos de Desarrollo Sostenible bajo 3 aspectos: Económico, al generar productos tanto acuícolas como agrícolas, que finalmente beneficia la economía y al ODS 2 de hambre cero; social, por medio de la diversificación de puestos y la creación de empleos, se genera un aporte al ODS 8 de trabajo decente y crecimiento económico, junto con el ODS 10 de reducción de desigualdades; ambiental, disminuyendo el impacto generado a la vida submarina (ODS 14) y la reducción de la huella hídrica, lo cual aporta al ODS 6 de agua limpia y saneamiento, que finalmente se reduce en la optimización y/o aumento de productividad del recurso hídrico, es decir, producir más con menos.

3. Discusión y Conclusiones

La investigación encontró por medio del análisis de los tres aspectos desarrollados, económico, social y ambiental, que el desarrollo del proyecto es factible bajo las tres variables, primero a partir del flujo de caja privado (escenario realista), otorgando valores de \$43.681.854 pesos para el VAN y 7,6% para la TIR, siendo esta última mayor a la tasa de descuento utilizada, resultando que, a partir de ambos ratios, el proyecto sea viable, factible y rentable. Esto se debe principalmente al aumento de la eficiencia productiva a partir de la optimización del recurso hídrico utilizado.

En cuanto al aspecto social, por medio del cálculo y posterior análisis del flujo de caja y considerando el uso de una tasa social de descuento del 10%, se obtiene valores de \$297.045.054 pesos y 38% para el VANS y TIR respectivamente, siendo considerablemente mayor a la tasa utilizada, lo cual, sumado a la perspectiva de los consumidores y productores, obtenida por medio de la encuesta mencionada en capítulos anteriores, se evidencia que la sociedad está a favor de realizar el cambio a cultivos terrestres por sobre los tradicionales, considerando un factor sumamente benéfico para ellos. Por lo tanto, por medio de los ratios enunciados anteriormente y apoyados de los resultados cualitativos, se obtiene una aprobación social mayor al 50%. Esta viabilidad, se da por la conciencia medioambiental presente en las personas, de manera que, al brindarles una alternativa de consumo con menos impacto ambiental y a la vez, otorgarles beneficios directos, genera una mayor aprobación.

En torno al aspecto ambiental, se obtiene que la implementación del proyecto genera procesos productivos con una considerable disminución del impacto ecosistémico producido hacia la biodiversidad local. Específicamente, la huella hídrica disminuye cerca del 85% a comparación con los cultivos independientes, mientras que la generación de lodos se reduce un 36%, los cuales, en procesos tradicionales, alteran drásticamente la química, ecología y biodiversidad del fondo marino. Por lo tanto, el gran beneficio generado, es la considerable mejora del manejo de los residuos productivos y el uso eficiente del recurso hídrico, lo cual, hoy en día es un factor clave a la hora de evaluar potenciales aplicaciones productivas de distinta índole. Socialmente, las ganancias inician desde el aspecto del aumento de puestos laborales, generando una diversificación de las actividades de los trabajadores, que hoy en día vislumbran una cesantía o “simplemente” se encuentran en condiciones económicas que limitan mucho su progreso, ya sea familiar como socioeconómico, provocando que su descendencia este prácticamente obligada a continuar las actividades de sus progenitores. Siguiendo esta línea, la sociedad en sí, está a favor de cambiar la manera en que se

realiza la actividad acuícola, siendo el principal motivo, el gran impacto negativo provocado al medioambiente, que si bien, no todas las personas tienen amplio conocimiento en cuanto a este, si prefieren realizar un cambio a continuar dañando y afectando la biodiversidad de la zona. Esto, sumado a los beneficios sociales relacionados con el progreso económico que conlleva la aplicación de proyectos de esta índole, en zonas relativamente alejadas de grandes ciudades, junto con las disminuciones del daño ambiental, genera que el atractivo aumente con creces y con ello la posibilidad de implementar en diversas regiones y localidades.

Si bien, en estudios similares de producción acuícola en mar, han obtenido como resultado, una factibilidad económica similar o incluso superior, el aspecto social es bastante negativo, provocado principalmente por factores como: la ausencia de beneficios para la comunidad local, problemáticas con comunidades vecinas y dificultad con la facilitación de sitios para los procesos productivos terrestres. El gran motivo o discrepancia en cuanto a los resultados de evaluación social, yacen en el origen del proyecto, que al generar un plan de acción que posee prácticamente sólo fines económicos para los gestores, provoca un gran descontento social, que genera no solo retrasos en los plazos legales previos a la aprobación, sino que, al ocurrir problemáticas de este aspecto en etapas tan tempranas, genera que, a pesar de ser un proyecto viable y de gran potencial, tenga grandes trabas a la hora de la aprobación legal, llegando en reiteradas ocasiones al punto de no realizarse y desaparecer.

En este caso, ya que no existe la necesidad de verse involucrado con caletas y pescadores artesanales de dichas zonas, como ocurre en proyectos acuícolas marinos, debe enfocarse en que los beneficios sociales sean significativos y efectivos, además de tener un mínimo impacto ambiental y no afectar el desarrollo de actividades productivas vecinas. Siguiendo esta línea, los proyectos de acuicultura marítima, requieren condiciones mucho más específicas de las diversas caletas existentes en el borde costero, afectando la rutina de los habitantes de dichas zonas, específicamente los pescadores artesanales, que si bien, estudios indican que están a favor de instauración de proyectos de esta índole, las reales problemáticas son generadas por habitantes de las caletas vecinas, los cuales cuestionan arduamente el por qué su zona no es la beneficiada por este tipo de proyecto.

Por otra parte, en términos medioambientales, existe un aspecto que futuramente es un tema que investigar y profundizar, es decir, identificar la normativa ambiental aplicable y permisos ambientales sectoriales, en el cual, el titular de cualquier proyecto o actividad sometida al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) está obligado por la Ley N° 19.300 a señalar el modo en que se dará

cumplimiento a este sistema. Específicamente, los proyectos de engorda de salmónidos en mar que deben someterse al SEIA, corresponden a aquellos cuya “producción anual igual o superior a treinta y cinco toneladas tratándose de equinodermos, crustáceos y moluscos no filtradores, peces y otras especies, a través de un sistema de producción intensivo” (Servicio de Evaluación Ambiental, 2023). De este modo, el análisis futuro de este aspecto complementa la investigación del impacto medioambiental generado por esta alternativa de producción, pudiendo realizar una comparativa mucho más exacta, con los cultivos tradicionales. Otro factor por considerar es la ampliación del estudio en no solo el aspecto económico, que finalmente basta con aumentar la infraestructura y así una capacidad productiva mayor, sino que, tener una mejor perspectiva en cuanto al factor social y sus reales necesidades. De manera que, una vez identificado dicho resultado, se puede generar una investigación más exhaustiva en cuanto a la sociedad local, brindando alternativas de diversificación de puestos de trabajos a personas que prácticamente viven del sector agrícola ganadero, generando indicadores de aprobación social, ya sea para aplicación de proyectos o el cambio de ocupaciones a favor de esta industria, logrando empleo pleno y trabajos decentes, contribuyendo así al ODS 8 de trabajo decente y crecimiento económico, junto con la reducción de las desigualdades, promoviendo la inclusión económica de toda persona al brindarle alternativas de trabajo y progreso (ODS 10). Por estas razones, existen claros potenciales beneficios socioeconómicos, partiendo del cambio de ser trabajadores independientes, a tener contratos fijos, con los respectivos beneficios que esto conlleva. Sin embargo, de igual modo existen posibles consecuencias perjudiciales para el proyecto, que yacen en la misma sociedad local, pudiendo considerar al proyecto como una amenaza para el desarrollo de sus actividades y, por ende, ver como inviable su diversificación laboral, para finalmente oponerse a la implementación.

En cuanto a las limitaciones del estudio, estas yacen en la recopilación de datos específicos de cultivo, lo cual genera una gran dificultad, principalmente por la variación considerablemente de indicadores, entre los cuales destaca el factor de la alimentación. De esta manera, para minimizar los errores de estimación o la generación de promedios entre los diferentes valores, se contacta con el jefe de planta de AquaChile de la sede Puerto Montt, Oscar Ocaranza, persona que posee más de 30 años de experiencia en la producción de peces, trabajando con distintos tipos de salmónidos, entre ellos, la trucha Arcoíris. Por lo que, mediante conferencias online se obtienen datos de ventas e información precisa en torno a las alternativas de alimentación comúnmente aplicadas en proyectos de la industria

acuícola. Otra limitación encontrada, es el abastecimiento de semillas de camarón (Juveniles o post-larvas), ya que el considerar una obtención por medio de pescadores artesanales, no se genera una fuente totalmente confiable durante todo el año, por lo cual, una alianza con incubadoras del organismo (Hatchery) es una potencial alternativa para generar un proceso más eficiente y continuo. Por otra parte, analizando las posibles acciones futuras, se considera inicialmente que, si bien el proyecto en términos económicos alcanza una factibilidad y rentabilidad, puede generarse un atractivo mucho más pronunciado a partir de optimizaciones y leves reformas. Una alternativa, es simplemente aumentar la capacidad de producción del cultivo, expandiendo su territorio e infraestructura. Sin embargo, existe una opción más rápida, efectiva y de considerablemente menor costo. En vista de que el área hidropónica es un aspecto que genera recursos a nivel mensual y su inversión es sumamente baja, existe la opción de aumentar la capacidad productiva, con tan solo el hecho de implementar líneas verticales de cultivo por sobre las iniciales, lo cual es sumamente común en proyectos hidropónicos. De esta manera, la rentabilidad de la producción hidropónica puede aumentar más del 300% y con ello, mejorar considerablemente los indicadores de rentabilidad económica total del proyecto.

A su vez, trasladando el proyecto a otras regiones, se puede evidenciar que no se necesitan grandes requerimientos geográficos, generando que zonas con corrientes de deshielo, riveras o ríos, puedan sencillamente abastecer de agua a las instalaciones del proyecto. Específicamente, la octava región cuenta con una amplia cantidad de ríos y esteros a lo largo de su territorio. Esta favorable condición geográfica, genera que exista mayor número de potenciales zonas de aplicación, a diferencia de proyectos acuícolas marinos, los cuales, como se mencionó anteriormente, requieren condiciones más específicas, provocando que, dentro de las caletas ya existentes, sólo un cierto porcentaje sea viable para una potencial implementación, provocando un descontento en localidades vecinas, por el hecho de considerar “injusto” que se fomente el desarrollo en una zona y no en la otra, generando un malestar de la sociedad y específicamente, de los pescadores artesanales que desempeñan sus labores en dichos territorios. Por lo tanto, el tener mayores alternativas de implementación, permite que la selección del sitio sea con mayor control, evaluando la aceptación social como un factor clave y no secundario, para que finalmente no existan mayores trabas a la hora de evaluar la rentabilidad social y con ello la aceptación final del proyecto.

En conclusión, la acuicultura tradicional posee grandes problemáticas tanto sociales como ambientales, debido al hecho de impactar negativamente la biodiversidad de la zona, afectando tanto a la sociedad como a las especies silvestres. Este factor, genera una gran desaprobación social, lo cual afecta finalmente la factibilidad del proyecto. Por razones como esta, radica la importancia de desarrollar proyectos acuícolas terrestres, específicamente, bajo la adaptación del procedimiento AMTI, el cual genera rentabilidades superiores en prácticamente las tres dimensiones estudiadas.

Finalmente, en torno a los resultados obtenidos, respecto a la trucha, se tiene una producción anual de 108 toneladas, es decir, 8 toneladas más del objetivo productivo propuesto, lo cual considerando pérdidas de del 2% por errores humanos y de conteo inicial, se traduce en 105 TM. Por su parte, la producción de camarón como método de disminución de impacto ambiental, bordea las 12 toneladas. Si bien, es cerca del 10% de cantidad producida de trucha, con este bajo porcentaje se busca producir un segundo organismo sin afectar el correcto desarrollo del producto principal. Luego, respecto a la producción hidropónica, alcanza una cantidad de 1209 unidades mensuales, lo cual se traduce aproximadamente en casi 5 toneladas al año. Este último subproducto, posee una inversión y costos de bajo nivel, sumado a grandes tasas productivas, lo cual se traduce en un aspecto con gran potencial de crecimiento. Por lo tanto, los hallazgos generados en el presente estudio se pueden traducir no sólo en brindar una alternativa de producción en zonas densamente pobladas con empresas tradicionales, sino que, generar un cambio y diversificación laboral tanto en la zona de estudio como en potenciales localidades.

De esta forma, en torno a la información enunciada, resultados mencionados y constantes cambios políticos en favor de un futuro sustentable, radica la importancia de la investigación para futuros proyectos de potenciamiento productivo, en zonas con diversas condiciones climáticas, considerando además que las restricciones legales por el manejo de desechos e impactos generados a la biodiversidad están constantemente en aumento, con el fin de alcanzar finalmente los objetivos de desarrollo sostenible que hoy en día se ven bastante lejanos.

4. Glosario de Términos

AGRINAL: Compañía nacional creada en el año 2003, dedicada hasta el sol de hoy a la fabricación de alimentos concentrados nutritivos.

AMTI: Acuicultura Multitrófica Integrada.

AMYGE: Acuicultura de Mediana y Gran Empresa.

AMYPE: Acuicultura de Micro y Pequeña Empresa.

AREL: Acuicultura de Recursos Limitados.

AQUATECH: Alimento extruido de alta energía especialmente diseñado para alimentar Trucha Arco Iris mayores a 300 g producidas en jaulas y estanques con altas biomásas.

CLP: Código de la moneda oficial chilena.

CLP/KG: Peso chileno por kilogramo.

CLP/M: Peso chileno por metro.

CLP/M2: Peso chileno por metro cuadrado.

CLP/M3: Peso chileno por metro cúbico

CM: Centímetro.

°C: Grados Celsius.

CQBV: *Cherax quadricarinatus* virus baciliforme.

ECURED: proyecto de enciclopedia colaborativa en red del gobierno de Cuba.

EIA: Evaluación de Impacto Ambiental.

EUROINNOVA: Escuela de Negocios especializada en la impartición de cursos online y Formación Superior de Máster y Postgrado.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

FC: Flujo de Caja.

FCA: Flujo de Caja Acumulado.

FONDEPES: Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (**FONDEPES**) es una entidad adscrita a Ministerio de la Producción del gobierno peruano.

FOB: valor de la mercancía puesta a bordo de un transporte marítimo.

G: Gramos.

G/DIA: Gramos por día.

IMARC: Conferencia Internacional de Minería y Recursos.

INE: Instituto Nacional de Estadísticas.

IPNV: Virus de la necrosis pancreática infecciosa

KG: Kilogramo.

KG/AÑO: Kilogramo por año.

KG/M3: Kilogramo por metro cúbico.

KMS: Kilómetros.

LS: Latitud Sur.

M: Metro.

M2: Metro cuadrado.

M3: Metro cúbico.

MG/L: Miligramos por Litro.

ML: Mililitros.

MM: Milímetro.

Nº: Número.

NO2: Dióxido de nitrógeno.

NH3: Amoníaco.

NFT: Sistema de cama de nutrientes.

NICOVITA: Marca de Vitapro desarrolladora de soluciones innovadoras y sustentables para la alimentación de camarones y peces.

NO3: Nitrato.

O2: Oxígeno molecular

OD: Oxígeno Disuelto.

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible.

ONU: Organización de las Naciones Unidas.

PH: Potencial de Hidrógeno.

PPM: Partes Por Millón.

PRI: Periodo de Recuperación de la Inversión.

PSU: (Unidades prácticas de salinidad) se define como la relación de conductividad de agua de mar a una solución de KCl estándar.

PYMES: Pequeñas y Medianas empresas.

PVC: Material termoplástico obtenido del cloruro de vinilo.

SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

SERNAPESCA: Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura.

SUBPESCA: Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

TIR: Tasa Interna de Retorno.

TM: Toneladas de Mercancía.

TRUCHÍCOLA: Cultivo y desarrollo de la trucha.

UCR: Universidad de Costa Rica.

UCSC: Universidad Católica de la Santísima Concepción.

US/M3: Dólar por metro cúbico.

UV: Ultravioleta

VAN: Valor Actual Neto.

VANS: Valor Actual Neto social.

WSSV: Virus del síndrome de la mancha blanca.

5. Referencias bibliográficas

- AQUA. (2015). Revise las cifras de desempleo en las principales regiones acuícolas-pesqueras. *Obtenido De:* <https://www.aqua.cl/2015/06/30/revise-las-cifras-de-desempleo-en-las-principales-regiones-acuicolas-pesqueras/#>
- Arancibia, L., & Vivanco, E. (2020). Impacto ambiental de Salmonicultura en dos aspectos: Sombra bajo las aguas y los salmones escapados. *Obtenido De:* https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/28314/5/Impacto_ambiental_de_la_Salmonicultura_Sombra_bajo_las_aguas_y_salmones_escapados.pdf
- Balin, D. (2018). Pros y contras de la acuicultura en tierra. *Obtenido De:* <https://www.salmonexpert.cl/archivo/pros-y-contras-de-la-acuicultura-en-tierra/1287965>
- Balin, D. (2020). Nuevo análisis ubica a Chile liderando la Producción Mundial de Trucha Arcoíris. *Obtenido De:* <https://www.salmonexpert.cl/chile-peces-per/nuevo-analisis-ubica-a-chile-liderando-la-produccion-mundial-de-trucha-arcoris/1314549>
- Beland, D., Buckley, J., Warren, A., & Miggins, L. (2008). Good Practices for the Cultivation of Trout in Costa Rica. *Obtenido De:* <https://digital.wpi.edu/downloads/6t053g37m>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (1986). Decreto establece periodo de veda y tamaño mínimo para el recurso camarón. *Obtenido De:* <https://bcn.cl/2rhcj>
- Castillo, J. G., & Zhangallimbay, D. (2021). La tasa social de descuento en la evaluación de proyectos de inversión: Una aplicación para el Ecuador. *Obtenido De:* <https://doi.org/10.18356/16820908-2021-134-4>
- Dagan, Y. (2022). *Acuicultura en tierra en clima árido_ una solución sostenible para el día de hoy.* *Obtenido de:* <https://www.aquamaof.com/es/ras-blog-post/acuicultura-en-tierra-en-clima-arido-una-solucion-sostenible-para-el-dia-de-hoy/>
- Departamento Ingeniería UCSC. (2018). Acuicultura Multitrófica Propuesta CORFO. *Obtenido De:* <http://lhia.ucsc.cl/>
- Diario Agroempresario. (2023). Manejo en el Cultivo de Trucha. *Obtenido De:* <https://agroempresario.com/publicacion/36443/manejo-en-el-cultivo-de-trucha/>
- Dorado, N. M., Jar, L. P., Ceballos, B. J., Gutiérrez, E. R. F., & Molleda, M. I. (2017). Un método alternativo para incrementar la productividad en el cultivo acuícola-agrícola en proyectos

- comunitarios con enfoque de género: La acuaponía. *Obtenido De:*
<http://hdl.handle.net/1834/12604>
- EcuRed. (2022). Cryphiops Caementarius. *Obtenido De:*
<https://doi.org/10.1079/cabicompendium.87610>
- EROSKI consumer. (2022). ¿Sabes cuántos litros de agua se necesitan para producir estos alimentos? *Obtenido De:* <https://www.consumer.es/alimentacion/cuantos-litros-agua-necesitan-producir-alimentos>
- Escuela de Ingeniería Agrícola UCR. (2010). Producción de Camarón en Jaulas Flotantes. *Obtenido De:* <https://aquahoy.com/produccion-de-camaron-en-jaulas-flotantes/2/>
- Espinós, F. J. (2020). La Acuicultura Como Activo Económico Y Social. *Obtenido De:*
<https://www.publicacionescajamar.es/publicacionescajamar/public/pdf/publicaciones-periodicas/mediterraneo-economico/33/me-33-14-espinos.pdf>
- Espinoza, A. (2023). Encuesta de Estudio de Mercado. *Obtenido De:*
- Euroinnova. (2023). Plan de Produccion de Cultivo en Jaulas. *Obtenido De:*
<https://www.euroinnova.cl/blog/ventajas-de-la-acuicultura>
- FAO. (1988). MANUAL PARA LA CRIA DE CAMARONES PENEIDOS. *Obtenido De:*
<https://www.fao.org/3/AB466S/AB466S00.htm#TOC>
- FAO. (2019). *Características estanque piscícola*. Obtenido de:
https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6708s/x6708s01.htm#:~:text=Gran parte de la producción,y explotación de especies ícticas.
- FAO. (2020). *cultured aquatic species fact sheets*. *Obtenido De:*
<https://doi.org/10.31857/s0044452920010052>
- FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la ganadería. (2014). Manual práctico para el cultivo de la trucha arcoíris. *Obtenido De:*
<https://www.fao.org/3/bc354s/bc354s.pdf>
- FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la ganadería. (2022). Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala – Cultivo integral de peces y plantas. *Obtenido De:*
<https://doi.org/10.4060/i4021es>

- Faundez, K. (2019). Reporte de sustentabilidad de SalmonChile incluye cifras de cambio climático. *Obtenido De:* <https://www.salmonexpert.cl/alimento-cambio-climtico-id/reporte-de-sustentabilidad-de-salmonchile-incluye-cifras-de-cambio-climtico/1308304>
- FONDEPES. (2014). Trucha Trucha. *Obtenido De:* https://www.fondepes.gob.pe/src/manuales/MANUAL_TRUCHA.pdf
- Fondo de Investigación Pesquera y Acuícola. (2005). Diagnóstico Económico Y Social De La Acuicultura En Chile. *Obtenido De:* https://www.subpesca.cl/fipa/613/articles-89006_informe_final.pdf
- Garcés, J. (2020). ¿Cuál es el impacto económico de la salmonicultura chilena en regiones? *Obtenido De:* <https://www.salmonexpert.cl/chile-envos-exportaciones/cul-es-el-impacto-econmico-de-la-salmonicultura-chilena-en-regiones/1128026>
- García-Huidobro, T. (1995). Crypmiops caementarius,. *Obtenido De:* https://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/145188/FIA-PI-C-1994-1-D-020_PPTA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- García-Zertuche, M. F., Sandoval-Rangel, A., Robledo-Torres, V., Benavides-Mendoza, A., Robledo-Olivo, A., & Cabrera-de la Fuente, M. (2021). Rentabilidad y rendimiento agronómico de lechuga acuapónica. *Obtenido De:* <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i26.2942>
- López, S. (2006). Evaluación del rendimiento de tres variedades de lechuga bajo el sistema NFT (Nutrient Film Technique) de hidroponía con dos soluciones de nutrientes. *Obtenido De:* <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/805/1/T2244.pdf>
- INE. (2023). Ocupación y desocupación. *Obtenido De:* <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/sociales/mercado-laboral/ocupacion-y-desocupacion>
- Instituto Nacional de Pesca. (2018). Acuicultura: Jaulas flotantes de bloques. *Obtenido De:* <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuicultura-jaulas-flotantes-de-bloques>
- IPAC. (2022). El mercado de la trucha despunta con innovación y valor añadido. *Obtenido De:* https://seafood.media/fis/worldnEws/search_brief.asp?l=s&id=117121&ndb=1&monthyear=&day=&country=194&df=1
- Jeraldo, L. A., & Saavedra, C. C. (2021). El Camarón de río del norte (Cryphiops caementarius) en Chile. *Obtenido De:*

https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32500/2/BCN_El_Camaron_de_rio_del_norte__Cryphiops_caementarius_.pdf

Kubitza, F. (2016). La correcta circulación del agua en los estanques acuícolas es crítica. *Obtenido De:* <https://www.globalseafood.org/advocate/la-correcta-circulacion-del-agua-en-los-estanques-acuicolas-es-critica/>

Luna, P. (2017). *Reportaje aborda los mayores desafíos de la acuicultura en términos ambientales.* Obtenido de: <https://www.agenciasinc.es/Reportajes/El-reto-de-la-acuicultura-ser-sostenible>

Martinez. (2014). Puntos críticos de control en sistemas acuapónicos. *Obtenido De:* https://www.researchgate.net/publication/261064366_Puntos_criticos_de_control_en_sistemas_acuaponicos?enrichId=rgreq-0ac0a6ad3cd456e40d979295bd3ca108-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI2MTA2NDM2NjtBUzoxMDIwNTMyMzM4MjM3NThAMTQwMTM0Mjc5NTYzNw%3D%3D&el=1_x_3&_e

Martinez, G. (2008). Manual básico para cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). *Obtenido De:* https://www.researchgate.net/publication/320934783_Manual_basico_para_el_cultivo_de_trucha_arco_iris_Oncorhynchus_mykiss_GEM_TIES_Cuencas_Sanas_y_Modos_de_Vida_Sustentable_Series_de_Manuales_de_Capacitacion

Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. (2013). Trucha arcoiris. *Obtenido De:* https://www.mapa.gob.es/es/pesca/temas/acuicultura/trucha-arcoiris_tcm30-628444.pdf

Montesinos, J. A. (2018). Diagnóstico situacional de la crianza de truchas arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en centros de cultivo del Lago Titicaca. *Obtenido De:* http://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/upch/3862/Diagnostico_MontesinosLopez_Jean_sen.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Montoya, J. (2023). La importancia de la acuicultura en la alimentación global. *Obtenido De:* <http://camaron.ebizaro.com/la-importancia-de-la-acuicultura-en-la-alimentacion-global/>

Naspirán-Jojoa, D. C., Fajardo-Rosero, A. G., Ueno-Fukura, M., & Collazos-Lasso, L. F. (2022). Perspectivas de una producción sostenible en acuicultura multitrófica integrada (IMTA). *Obtenido De:* <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v69n1.101539>

Navarrete, O. (2006). Camarón de Río. *Obtenido De:* https://oneproseso.webcindario.com/Camaron_de_rio.pdf

- Peñaloza, C. L. (2020). Estado de *Cryphiops caementarius* como recurso local y la acuaponía como actividad productiva ecológica. *Obtenido De:* <https://repositorio.uta.cl/jspui/bitstream/123456789/860/1/79030-Lira Camilo.pdf>
- Pizarro, V., Jana, C., Contreras, C., Alfaro, V., & Ibacache, G. (2022). funcionalidad y diseño Requerimientos para la ubicación del invernadero. *Obtenido De:* <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68548/NR42855.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Romero, S., & Alexander, J. (2021). Replotamiento de maquinaria industrial para mejorar la producción de alimento balanceado para truchas. *Obtenido De:* https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/84199/Salgado_RJA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rudolph, E. H. (2013). *Parastacus pugnax* (poeppig, 1835) (crustacea, decapoda, parastacidae): Biological knowledge, extraction pressure and culture perspectives. *Latin American Journal of Aquatic Research*. <https://doi.org/10.3856/vol41-issue4-fulltext-1>
- Rudolph, Retamal, F., & Martínez, A. (2010). Cultivo de camarón de río *Samastacus spinifrons*: ¿una nueva alternativa para la diversificación de la acuicultura chilena? *Obtenido De:* <https://doi.org/10.3856/vol38-issue2-fulltext-10>
- salmonexpert. (2021). *¿Cuál es la situación sanitaria actual en torno a IPN en truchas?* Obtenido de: <https://www.salmonexpert.cl/acuicultura-biologa-chile/cul-es-la-situacin-sanitaria-actual-en-torno-a-ipn-en-truchas/1128073#:~:text=Dentro de las causas infecciosas,con un 28%2C8%25.>
- Sandoval, C. (2004). Manejo integrado de Enfermedades en cultivos hidropónicos. *Obtenido De:* http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/aup/pdf/integral.pdf
- SERNAPESCA. (2020). Informe sanitario de la salmonicultura en centros marinos. *Obtenido De:* http://www.sernapesca.cl/sites/default/files/informe_sanitario_salmonicultura_en_centros_marinos_2020v2.pdf
- Servicio de Evaluación Ambiental. (2023). Criterio de Evaluación en el SEIA: Evaluación ambiental de proyectos de salmonicultura en mar localizados en o próximo a un área protegida. *Obtenido De:* https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2023/02_Febrero/22/DT-Salmonicultura-en-AP_2023.pdf

- Silva, A. (2018). La huella hídrica en la producción acuícola. *Obtenido De:* <https://adrianadasilvablog.wordpress.com/2018/09/07/la-huella-hidrica-en-la-produccion-acuicola/>
- Skretting. (2022). Por qué es importante la acuicultura. *Obtenido De:* <https://www.skretting.com/es-es/transparencia-y-confianza/preguntas-frecuentes/Por-que-es-importante-la-acuicultura/>
- Solla Nutricion Animal. (2023). Alimento animal. *Obtenido De:* <https://www.sollanutricionanimal.com/>
- Soto, J. (2021). *¿Cómo afecta la pesca industrial al planeta?* - Greenpeace México. *Obtenido de:* <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/10633/como-afecta-la-pesca-industrial-al-planeta/>
- Statista Research Department. (2023). Chile: tasa de inflación anual 2015-2028. *Obtenido De:* <https://es.statista.com/acercadenosotros/nuestro-compromiso-con-la-calidad>
- STIC, & Universidad Católica Del Norte. (2019). El noble camarón de río del norte, *Cryphiops caementarius* y la actividad camaronera en aguas continentales del norte de Chile. “Una relación de conservación y captura con 500 años de historia.” *Obtenido De:* <https://repositorioambiental.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/09/Libro-camarón-de-río-del-Norte-1.pdf>
- Subpesca. (2013). Trucha arcoiris. *Obtenido De:* <https://www.subpesca.cl/portal/616/w3-article-865.html#descripcion>
- Subpesca. (2021). Informe sectorial de pesca y acuicultura. *Obtenido De:* https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-112426_documento.pdf
- Subpesca. (2022). Informe sectorial de pesca y acuicultura. *Obtenido De:* https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-115247_documento.pdf
- Torreira, P. (2019). Historia de la acuicultura. *Obtenido De:*
- Torres, P. (2019). PROYECTO NAUTILUS: Carpicultura. *Obtenido De:* <https://nautilusalpajes.blogspot.com/2019/04/carpicultura.html>
- Venegas, P., & Llancaleo, K. (2022). *Sistema de Autolimpieza para Acuicultura*. *Obtenido de:* <https://ott.ucsc.cl/tecnologias/sistema-de-autolimpieza/>

6. Anexos

Anexo 1: Principales países productores



Fuente: (FAO, 2020)

Anexo 2: Caudal para 2000 alevines en distintas condiciones

Longitud	Temperaturas			
	5 °C	10 °C	15 °C	18 °C
3 cm	1 l/m	1,4 l/m	2,6 l/m	3 l/m
4 cm	2 l/m	4,8 l/m	5,6 l/m	6 l/m
5 cm	3,6 l/m	5,2 l/m	8 l/m	11 l/m

Fuente: (FAO, 2014)

Anexo 3: Caudal para 1000 truchas en distintas condiciones

Longitud	Caudal mínimo necesario en l/m para 1000 truchas en engorde					
	Temperatura					
	5°C	7°C	10°C	12°C	15°C	17°C
6,0	2,5	3	3,5	4	4,5	5,5
8,0	6	7	8	9	10	12,5
10,0	10,5	12	14	16,5	19,5	23,5
12,0	17	19	21,5	26,5	31,5	38
14,0	26,5	30	33,5	41,5	48,5	57,5
16,0	39	42,5	46,5	58	70	84
18,0	56,5	62	68	80	93	114
20,0	78	86,5	95	115	134	160
22,0	103	115	128	145	168	200
24,0	132	144	157,5	174	197	230
26,0	167,5	176,5	190	207,5	230	262,5

Fuente: (FAO, 2014)

Anexo 4: Factores que ocasionan una enfermedad



Fuente: (FONDEPES, 2014)

Anexo 5: Enfermedades más comunes

Grupos		Especificaciones
1	Virales	SHV – Septicemia Hemorrágica Viral
		NPI – Necrosis Pancreática Infecciosa
		NHI – Necrosis Hematopoyética Infecciosa
2	Bacterianas	Enfermedad Bacteriana del Riñón
		Enfermedad Entérica de la Boca Roja
		Forunculosis
		Piscirickettsias
		Enfermedad del agua fría
		Septicemia Hemorrágica Bacteriana
3	Micóticas	Ictiofoniasis (sistémica)
		Saprolegniasis (Externa)
		Branquiomycosis (Externa)
4	Parasitarias	Protozoos Externos: Ich, Trichodina, Ichthyobodo
		Protozoos Internos: Enfermedad del Torneo
		Metazoos

Fuente: (FONDEPES, 2014)

Anexo 6: Enfermedades y medidas de control

ENFERMEDAD	AGENTE	TIPO	SINDROME	MEDIDAS
Furunculosis	<i>Aeromonas salmonicida</i>	Bacterium	Inflamación del intestino; enrojecimiento de las aletas; furúnculos sobre el cuerpo; aletas pectorales infectadas; muerte de tejidos	Antibiótico mezclado con alimento, e.g. oxitetraciclina
Enfermedad similar a la furunculosis	<i>Aeromonas liquefaciens</i>	Bacteria	Lesiones más pequeñas sobre el cuerpo que se convierten en llagas abiertas; las aletas se enrojecen y los tejidos se rompen	Mismo tratamiento que la furunculosis
Vibriosis	<i>Vibrio anguillarum</i>	Bacteria	Pérdida de apetito; enrojecimiento de las aletas y áreas alrededor de orificios respiratorios y boca; a veces pérdida de sangre alrededor de la boca y agallas; alta mortalidad potencial	Mismo que la furunculosis, más vacuna para mayor protección
BKD (Enfermedad Bacterial del Riñón)	<i>Corynebacterium</i>	Bacteria	Lesiones blanquecinas en el riñón; pérdida de sangre desde los riñones e hígado; algunos peces pueden perder el apetito y nadar cerca de la superficie; apariencia de color oscuro	Mismo tratamiento que la furunculosis
Enfermedad bacterial de las agallas	<i>Myxobacterium</i>	Bacteria	Pérdida de apetito; hinchazón y enrojecimiento de las agallas; eventualmente los filamentos de las agallas forman una masa juntos y se ponen más pálidos con una secreción que bloquea la función de las agallas en etapas posteriores	Baños en bactericida y filtrado regular del suministro de agua para remover partículas en el agua
IPN (Necrosis Pancreática Infecciosa)	Birnavirus (IPNV)	Virus	Natación errática, eventualmente hasta el fondo del tanque donde ocurre la muerte	No tratamiento disponible; erradicar la enfermedad removiendo los peces infectados
IHN (Necrosis Hematopoyética Infecciosa)	Rhabdovirus (IHNV)	Virus	Natación errática eventualmente flotando al revés mientras respiran rápidamente después de lo cual ocurre la muerte; ojos hinchados; pérdida de sangre desde la base de las aletas pectorales, aleta dorsal y orificios respiratorios	Como arriba
VHS (Septicemia Hemorrágica Viral)	Rhabdovirus (VHSV)	Virus	Ojos hinchados, en algunos casos, ojos sangrantes; agallas pálidas; abdomen hinchado; letargo	Como arriba
Punto blanco	<i>Ichthyophthirius multifiliis</i>	Protozoo	Parches o manchas blancas sobre el cuerpo; los peces se ponen letárgicos; intentan remover los parásitos frotándose contra los costados del tanque	Baños de formalina para los parásitos superficiales; sulfato de cobre para los parásitos bajo la superficie; se previene con flujo rápido del agua
Enfermedad del torneo (Myxosomiasis)	<i>Myxosoma cerebrales</i>	Protozoo	Oscurecimiento de la piel; natación de manera giratoria; deformaciones alrededor de las agallas y aleta de la cola; la muerte ocurre eventualmente	No tratamiento; mantener los peces alejados del agua infectada; tratar el agua con cianamida de calcio
Hexamitaisis Octomitis	<i>Hexamita truttae</i>	Protozoo	Peces letárgicos, se hunden hasta el fondo del tanque donde ocurre la muerte; algunos peces hacen movimientos repentinos al azar	Proporcionar calomel con el alimento
Costiasis	<i>Costia necatrix</i>	Protozoo	Mucosidad gris-azulosa sobre la piel que contiene los parásitos	Baño de formalina
Girodactilosis gusanos planos	<i>Gyrodactylus</i> sp.	Trematodo	Parásitos fijados a las aletas caudal y anal; erosiones en el cuerpo y aletas, dejando lesiones que son atacada por <i>Saprolegnia</i>	Baño de formalina
Parásito Trematodo	<i>Diplostomum spathaceum</i>	Trematodo	Cristalinos nublados; pérdida de condición	No tratamiento disponible. Mantener el suministro de agua libre de caracoles anfitriones

Fuente: (FAO, 2020)

Anexo 7: Relación longitud y peso Trucha Arcoíris

Longitud (cm)	Peso ejemplar (g)	Longitud (cm)	Peso ejemplar (g)
2,5	0,18	17	60
3	0,4	17,5	65,8
3,5	0,61	18	72,1
4	0,86	18,5	78,8
4,5	1,15	19	86,6
5	1,49	19,5	92
5,5	2,18	20	98
6	2,87	20,5	105
6,5	3,72	21	112
7	4,6	21,5	119
7,5	5,6	22	128
8	6,7	22,5	136
8,5	7,9	23	145
9	9,2	23,5	154
9,5	10,53	24	163
10	12	24,5	172
10,5	14	25	182
11	16,4	25,5	194
11,5	18,7	26	208
12	21,4	26,5	222
12,5	24,1	27	236
13	27	27,5	251
13,5	30	28	266
14	33,2	28,5	281
14,5	36,5	29	297
15	40	29,5	314

Fuente:(FAO, 2014)

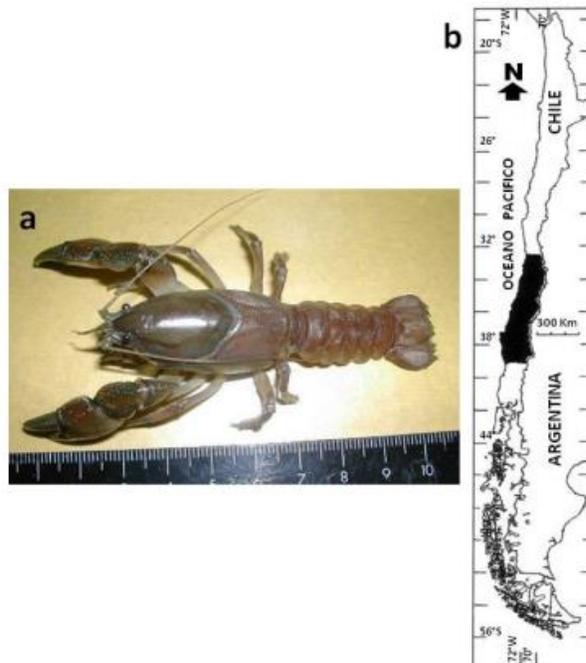
Anexo 8: Normativa vigente camarón de río

Decreto Supremo N° 145 de 1986. Establece el periodo de veda y tamaño mínimo para el recurso camarón de río. Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción. Subsecretaría de Pesca.

- Artículo 1°: Prohíbe la extracción, tenencia, posesión, industrialización, comercialización y transporte, entre el primero de diciembre y hasta el 30 de abril del año siguiente.
- Artículo 2° Talla mínima de extracción es de 30 milímetros de longitud cefalotórax, medidos desde la órbita derecha del ojo hasta el extremo posterior del cefalotórax (Fig. 13).
- Artículo 3° Existe una veda indefinida para las hembras portadoras de huevos. Estas deben ser devueltas al mismo lugar de pesca, aunque tengan un tamaño reglamentario.
- Artículo 4° Arte de pesca: caña de pescar, atarraya o manual.
- Artículo 5° Transporte y comercialización, entero incluyendo el caparazón. Se debe utilizar guía de libre tránsito otorgada por el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura de Chile.

Fuente: (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 1986)

Anexo 9: Distribución Camarón excavador de río



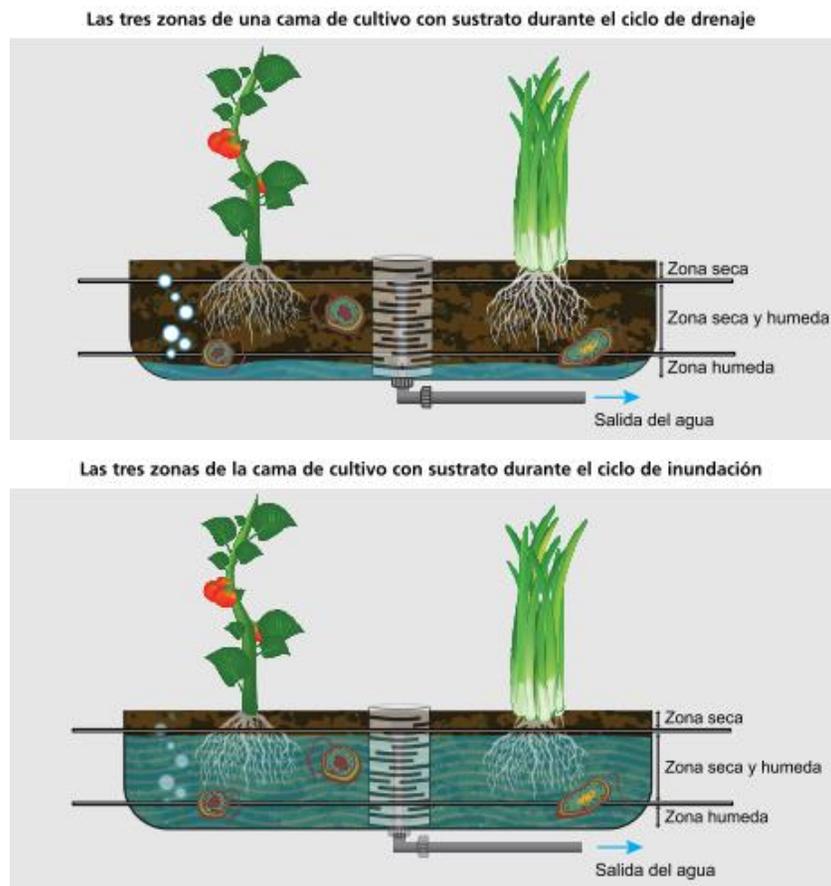
Fuente: (Rudolph, 2013)

Anexo 10: Características del tipo de sustrato

Tipo de sustrato	Área de superficie (m ² /m ³)	pH	Costo	Peso	Vida útil	Retención de agua	Soporte para plantas	Facilidad de trabajo
Toba volcánica	300–400	Neutro	Medio	Medio	Larga	Medio–Pobre	Excelente	Mediano
Piedra pómez	200–300	Neutro	Medio–Alto	Ligero	Larga	Medio	Medio – Pobre	Fácil
Grava de Piedra caliza	150–200	Básico	Bajo	Pesado	Larga	Pobre	Excelente	Difícil
Arcilla expandida (LECA)	250–300	Neutro	Alto	Ligero	Larga	Medio–Pobre	Medio	Fácil
Tapas de botellas plásticas	50–100	Inerte	Bajo	Ligero	Larga	Pobre	Pobre	Fácil
Fibra de coco	200–400 (variable)	Neutro	Bajo – Medio	Ligero	Corta	Alto	Medio	Fácil

Fuente: (FAO, 2022)

Anexo 11: Zonas de una cama de cultivo con sustrato



Fuente: (FAO, 2022)

Anexo 12: Enfermedades presentes en hidroponía

- **Manchas:** Lesiones en hojas, tallos y frutos, de tamaños y colores variados. Viruela de tomate (*Septoria Lycopersici*)
- **Autotomías:** Se presenta ante la presencia de enfermedades que provocan manchas, como un desprendimiento de tejido en hojas afectadas que se visualizan como perforadas. Viruela de la acelga y de la remolacha (*Cercospora beticola*)
- **Marchitamientos:** Muerte de la planta por problemas de interferencias en el movimiento normal de agua y nutrientes. Estos síntomas suelen ser causados por las enfermedades provocadas por patógenos del suelo que atacan al cuello y las raíces. Marchitamiento del tomate (*Ralstonia solanacearum*).
- **Cancros:** Lesiones crónicas que se producen sobre tejidos lignificados o algo suculentos, de lento progreso, con tendencia a extenderse por ser heridas que no logran cicatrizar. Cancrosis de los citrus (*Xanthomonas axonopodispv. citri*).
- **Podredumbres:** Es una desorganización de los tejidos y posterior muerte de las células por despolimerización de los componentes de la laminilla media y paredes celulares. Según la naturaleza del órgano afectado pueden ser: secas o húmedas. Podredumbre blanda de las hortalizas (*Pectobacterium caratovorum subsp. caratovorum*) = (*Erwinia carotovora subsp. carotovora*).
- **Antracnosis:** Lesiones hundidas que se presentan en hojas, pecíolos, tallos y frutos. Antracnosis de la frutilla (*Colletotrichum fragariae*).
- **Tizones:** Muerte rápida y generalizada de hojas, flores y tallos. Tizón tardío de la papa y del tomate (*Phytophthora infestans*).

Fuente: (Peñaloza, 2020)

Anexo 13: Registros de temperatura

Día	Horario registro Temperaturas (°C) del agua					Promedio/Día
	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	
1	9,5	10,3	11	11,5	12,1	10,88
2	9,4	10,2	11,2	11,8	12,3	10,98
3	9,8	10,5	11,3	11,9	12,2	11,14
4	9,5	10,1	11,3	11,9	12,2	11
5	9,7	10,2	11,5	11,9	12,2	11,1
6	9,5	10,3	11,6	11,9	12,1	11,08
7	9,9	10,5	11,6	12,2	12,5	11,34
8	9,6	10,4	11,8	12,2	12,4	11,28
9	9,8	10,3	11,8	12,3	12,5	11,34
10	9,54	10,45	11,85	12,3	12,5	11,328
11	9,3	10	11,9	12,2	12,6	11,2
12	9,5	10,4	11,3	12,3	12,8	11,26
13	9,7	10,5	11,5	12,5	12,8	11,4
14	9,5	10,4	11,6	12,3	12,7	11,3
15	9,3	10	10,9	12,4	12,9	11,1
16	9,7	10,5	11,3	12,3	12,5	11,26
17	9,8	10,4	11,5	12,5	13,1	11,46
18	9,5	10,3	11,1	12,85	13,1	11,37
19	9,4	10	10,8	12	12,8	11
20	10,2	10,9	11,5	12,2	12,9	11,54
21	10,2	10,85	11,5	12,7	13,1	11,67
22	10,5	10,7	11,5	12,5	12,9	11,62
23	10,5	10,9	11,5	12,5	12,85	11,65
Promedio/Hora	9,93	10,59	11,52	12,32	12,72	11,41

Fuente: (FONDEPES, 2014)

Anexo 14: Mortalidad por etapa

Etapa	Rango (%)	Promedio Mortalidad (%)
Alevín	20-50	35
Juvenil	10-37	24
Engorde	6-20	13
Promedio Total		24

Fuente: Elaboración Propia 2023.

Anexo 15: Alternativas de alimentación de Trucha Arcoíris

A	Etapa	Tipo de alimento	Rango	Precio (CLP)
Opción 1 (Saco de 40 kg)	Alevín	Truchas 48% iniciación EXT (AGRINAL)	Inicio-30g	58.321 \$
	Juvenil	Truchas 43% EXT (Solla)	30 – 120g	43.312 \$
	Engorde-Cosecha	Truchas 40% iniciación SP EXT (AGRINAL)	120 – cosecha	42.840 \$
Promedio				48.158 \$
Opción 2 (Saco de 20kg)	Alevín	Aquatech 50%	Inicio-30g	45.530 \$
	Juvenil	Nicovita 45%	30 – 120g	36.900 \$
	Engorde-Cosecha	Aquatech 40%	120 – cosecha	39.000 \$
Promedio				40.477 \$

Fuente: Elaboración propia vía análisis 2023 (Romero & Alexander, 2021; Solla Nutricion Animal, 2023)

Anexo 16: Flujo de caja anual escenario realista (privado)

Años	Inversión
0	\$-197.837.600
1	\$-421.888.862
2	\$108.933.731
3	\$107.781.820
4	\$104.601.922
5	\$101.515.840
6	\$98.520.808
7	\$95.614.138
8	\$92.793.224
9	\$90.055.536
10	\$87.398.618

Fuente: Elaboración propia 2023

Anexo 17: Flujo de caja anual escenario pesimista (privado)

Años	Inversión
0	\$-197.837.600
1	\$-422.809.633
2	\$11.423.251
3	\$11.302.456
4	\$10.968.999
5	\$10.645.379
6	\$10.331.308
7	\$10.026.502
8	\$9.730.689
9	\$9.443.603
10	\$9.164.988

Fuente: Elaboración propia 2023

Anexo 18: Inflación por periodo

Año	Inflación	Periodo
2023	7,88%	1
2024	4,04%	2
2025	3,04%	3
2026	3,04%	4
2027	3,04%	5
2028	3,04%	6
2029	3,04%	7
2030	3,04%	8
2031	3,04%	9
2032	3,04%	10

Fuente: Elaboración propia 2023.

Anexo 19: Flujo de caja anual y acumulado (privado)

Concepto	Valores	FC acumulado
Inversión inicial	\$-197.837.600	
FC1	\$-421.888.862	\$-421.888.862
FC2	\$108.933.731	\$-312.955.131
FC3	\$107.781.820	\$-205.173.311
FC4	\$104.601.922	\$-100.571.389
FC5	\$101.515.840	\$944.452
FC6	\$98.520.808	\$99.465.259
FC7	\$95.614.138	\$195.079.397
FC8	\$92.793.224	\$287.872.621
FC9	\$90.055.536	\$377.928.157
FC10	\$87.398.618	\$465.326.775

Fuente: Elaboración propia 2023.

Anexo 20: Desglose de costos por área

parte 1 (Acuicultura e hidroponía)

Tipo de gasto	Cantidad	Costo unitario	Costo total mensual
Acuicultura			
Bocatoma *	1	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000
Filtro tambor rotatorio *	1	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000
Estanques de alevinaje (m3) *	15	\$ 142.656	\$ 2.139.840
Estanques de juveniles (m3) *	45	\$ 142.656	\$ 6.419.520
Estanques de engorde (m3) *	150	\$ 142.656	\$ 21.398.400
Estanque decantador (m3) *	20	\$ 47.552	\$ 951.040
Aireador Blower *	12	\$ 200.000	\$ 2.400.000
Tanque de oxígeno *	12	\$ 190.000	\$ 2.280.000
Jaula y malla camaronera *	420	\$ 5.000	\$ 2.100.000
Tuberías (m) *	273	\$ 10.000	\$ 2.730.000
limpieza y pavimentación (m2) *	717	\$ 26.000	\$ 18.642.000
Costo Total acuicultura			\$ 63.060.800
Hidroponía			
Invernadero hidropónico (m2) *	150	\$ 20.000	\$ 3.000.000
Sustrato (kg)	60	\$ 1.500	\$ 90.000
Contenedor (m2) *	84	\$ 8.000	\$ 672.000
Sistema de riego tubo PVC *	30	\$ 10.000	\$ 300.000
Fuente recopiladora de agua (m2) *	84	\$ 8.000	\$ 672.000
Sifón *	9	\$ 30.000	\$ 270.000
Costo Total hidroponía			\$ 5.004.000

Fuente: Elaboración propia 2023.

parte 2 (Capital de trabajo, Gastos operacionales y total)

Tipo de gasto	Cantidad	Costo unitario	Costo total mensual
Capital de trabajo (Ajustado al IPC)			
Operario	10	\$ 600.000	\$ 6.000.000
Técnico especialista	3	\$ 1.000.000	\$ 3.000.000
Veterinario (Part-time)	1	\$ 750.000	\$ 750.000
Gastos alimentarios			\$ 2.500.000
Viviendas básicas *	2	\$ 15.000.000	\$ 30.000.000
Costo Total Capital de trabajo			\$ 42.250.000
Gastos operacionales			
Terreno (m2) *		\$ 25.000.000	\$ 25.000.000
Servicios básicos		\$ 1.000.000	\$ 1.000.000
Equipamiento e insumos *		\$ 5.000.000	\$ 5.000.000
Semillas (5000)	4	\$ 60.000	\$ 240.000
Alevines	51074	\$ 400	\$ 20.429.600
Camarones	76032	\$ 100	\$ 7.603.200
Alimentación trucha (Tn)	130	\$ 1.200	\$ 39.000.000
Otros gastos			\$ 1.000.000
Servicio de mantenimiento			\$ 1.000.000
Costo total operacional			\$ 100.272.800
Subtotal			\$ 210.587.600
Imprevistos Totales (5%)			\$ 10.529.380
Total			\$ 221.116.980

Fuente: Elaboración propia 2023.

Donde (*) corresponde a inversiones del periodo 0.

Anexo 21: Resumen costos

Costos Totales	
Acuicultura	\$63.060.800
Hidroponía	\$5.004.000
Capital de trabajo	\$42.250.000
Gastos operacionales	\$100.272.800
Subtotal	\$210.587.600
Imprevistos (5%)	\$10.529.380
Total	\$221.116.980

Fuente: Elaboración propia 2023.

Anexo 22: Inversión según tipo de gasto

Tipo de inversión	
Acuícola	\$ 63.060.800
Hidropónica	\$ 4.914.000
Capital de trabajo	\$ 30.000.000
Operacional	\$ 30.000.000
Total	\$ 127.974.800

Fuente: Elaboración propia 2023.

Anexo 23: Flujos de caja anual (Social)

Año	Inversión
0	\$-161.632.867
1	\$-4.322.655
2	\$95.925.920
3	\$94.911.559
4	\$92.111.373
5	\$89.393.802
6	\$86.756.407
7	\$84.196.824
8	\$81.712.756
9	\$79.301.976
10	\$76.962.321

Fuente: Elaboración propia 2023.

Anexo 24: Beneficios sociales

Tipo	Cantidad	Valor unitario	Valor Mensual	Valor Anual
Patente	0,5%	\$ 161.632.867		\$ 808.164,333
Puestos Operario	10	\$ 500.000	\$ 5.000.000	\$ 60.000.000
Puestos Técnico	3	\$ 1.100.000	\$ 3.300.000	\$ 39.600.000
Puesto Veterinario	1	\$ 850.000	\$ 850.000	\$ 10.200.000
Venta local de trucha (20%)	5292	\$ 5.500	\$ 7.276.500	\$ 87.318.000
Venta local de camarón (20%)	931	\$ 5.000	\$ 1.164.240	\$ 13.970.880
Venta local de lechuga (20%)	1185	\$ 500	\$ 592.410	\$ 7.108.920
Alimentación trabajadores			\$ 3.500.000	\$ 42.000.000
Estadía	2	\$ 25.000	1.500.000	18.000.000
Traslado (ahorro)	2	\$ 15.000	\$ 900.000	\$ 10.800.000
Gastos básicos	2	\$ 30.000	\$ 60.000	\$ 720.000
Prima por lote vendido (0,1%)	14	\$ 169.407	\$ 592.925	\$ 7.115.103
Gastos médicos	14	\$ 50.000	\$ 700.000	\$ 8.400.000
Transporte	1	\$ 15.000	\$ 450.000	\$ 5.400.000
Descuento en productos (15%)	14		\$ 100.000	\$ 16.800.000
Actividades Recreación	14	\$ 30.000	\$ 2.520.000	\$ 30.240.000
Beneficios contractuales	14			\$ 35.000.000
Disminución daño a biodiversidad	100		\$ 2.000.000	\$ 200.000.000
Cotizaciones	14			\$ 46.116.000
Total			\$ 30.506.075	\$ 638.788.903

Fuente: Elaboración propia 2023.

Anexo 25: Preguntas de encuesta localizada

1. ¿Qué tipo de persona es usted?
2. ¿Con qué género se identifica?
3. ¿Consume pescado?
4. ¿Qué tipo de pescado?
5. ¿A qué precio compra el kilogramo?
6. ¿Cuál característica considera más importante a la hora de decidir que pescado comprar?
7. ¿A la hora de comprar pescado, considera el origen un factor determinante en su compra?
8. ¿Consume camarón?
9. ¿A qué precio compra el kilogramo?
10. ¿Cuál característica considera más importante a la hora de decidir que camarón comprar?
11. ¿A la hora de comprar camarón, considera el origen un factor determinante en su compra?
12. ¿Consume lechuga?
13. ¿A qué precio compra la unidad regular?
14. ¿Cuál característica considera más importante a la hora de decidir que lechuga comprar?
15. ¿A la hora de comprar lechuga, considera el origen un factor determinante en su compra?
16. ¿Conoce el impacto ambiental generado por los cultivos de peces en el mar?
17. ¿Considera el impacto medioambiental generado por la empresa productora un factor determinante a la hora de comprar su producto?
18. ¿Cree necesario realizar cambios en los procesos productivos de cultivo de peces, con el fin de tener un menor impacto medioambiental?
19. ¿Está a favor de la instauración de proyectos de cultivo marítimo en su ciudad, considerando el impacto ambiental provocado por empresas de este rubro?
20. ¿Está a favor de la instauración de proyectos de cultivo terrestre en su ciudad, considerando la disminución del impacto ambiental?
21. ¿Considera la cantidad de empresas en su ciudad, un factor negativo a la hora de vivir?
22. ¿Considera que las empresas productivas atentan contra su salud?
23. ¿Cuánto cree que le afecta a su salud?

Fuente: (Espinoza, 2023)

7. Resumen FI

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERÍA

RESUMEN DE MEMORIA DE TÍTULO

Departamento: Ingeniería Industrial

Carrera: Ingeniería Civil Industrial

Nombre del memorista: Agustín Ignacio Espinoza Díaz

Título de la memoria: Impacto socioeconómico del desarrollo de una alternativa acuapónica en la X región.

Fecha de la presentación oral:

Profesor(es) Guía: Hernaldo Reinoso; Luis Quiñones

Profesor(es) Revisor(es):

Concepto:

Calificación:

Resumen (máximo 200 palabras)
<p>El fuerte impacto ambiental provocado por la industria acuícola tradicional genera que exista una gran problemática a abordar. Por esto, se analiza y evalúa en términos económicos, sociales y ambientales, una alternativa innovadora al proceso tradicional, que, mediante la adaptación del procedimiento AMTI, busca cuantificar y evaluar bajo las tres dimensiones, y si esta es una opción viable de producción masiva.</p> <p>Económicamente, se obtiene que el proyecto alcanza una positiva rentabilidad, ya que tanto el VAN como la TIR alcanzan valores de \$43.681.854 y 7,6% respectivamente, siendo esta última cifra mayor a la tasa de descuento utilizada (6%). Socialmente, se obtiene un VANS y TIR social de \$297.045.054 y 38%, que, sumado al análisis cualitativo obtenido a partir de la encuesta aplicada, se concluye que el proyecto es factible en este aspecto. Respecto a la dimensión ambiental, existe una disminución cercana al 85% en la utilización del recurso hídrico, mientras que, en cuanto a la</p>

producción de lodos, disminuye cerca del 35%, obteniendo un declive del impacto generado del 60%.

Finalmente, se obtiene un proyecto factible bajo los tres aspectos, generando que se considere una alternativa viable para suplir producciones de industrias tradicionales y competir en el mercado acuícola.