



Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Efecto de la supersaturación de oxígeno y tiempo de transporte sobre la supervivencia de huevos de huayaípe (*Seriola rivoliana*)

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Acuicultura

Presentado por:

Fernando Andrés Candel Zavala

Raúl David Marin Carofilis

Guayaquil – Ecuador

Año: 2025



Escuela Superior Politécnica del Litoral

Maritime Engineering and Sea Science College

Effect of oxygen supersaturation and transport time on the survival of longfin
yellowtail (*Seriola rivoliana*) eggs

Capstone Course

A project submitted in partial fulfillment of the requirements for the
degree of:

Aquaculture Engineer

Presented by:

Fernando Andrés Candel Zavala

Raúl David Marin Carofilis

Guayaquil – Ecuador

Year: 2025

Dedicatoria

Dedicado a mi mamá y a mi papá que me apoyaron desde el día uno y nunca me dejaron solo.

Raúl David Marin Carofilis

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, Soraya y Fernando, por ser mi soporte esencial, confiando siempre en mí. Y también, se lo dedico a mi tía Techy que estaría más que orgullosa de presenciar este logro.

Fernando Andrés Candel Zavala

Agradecimientos

Agradezco a mi familia Marin y Carofilis por todo el apoyo y cariño que me han ofrecido durante la carrera.

A mi novia que ha sido mi apoyo incondicional durante la carrera.

A mis mejores amigos Jorge, Silvio y Jacobo por más alegrías de las que puedo recordar.

Al Dr. Wilfrido Arguello por guiar con paciencia este proyecto.

Al Dr. Marco Álvarez

Al CENAIM y a los ayudantes de Piscicultura.

Finalmente, quiero agradecer a mi compañero de tesis Fernando Candel, pieza fundamental para que el proyecto se lleve a cabo.

Raúl David Marin Carofilis

Agradecimientos

Deseo extender mi gratitud a todos los profesores de FIMCM que acompañaron mi vida académica y me dieron lecciones de vida en el camino. Sobre todo, al Dr. Wilfrido Argüello, por ser el excelente investigador que nos guio en nuestro proyecto.

Al CENAIM y los colaboradores del laboratorio de Piscicultura por amablemente prestarnos su ayuda e instalaciones para realizar esta experimentación.

Me siento profundamente agradecido con mi familia materna y paterna por apoyarme en este proceso de formación profesional, en especial con mi mamá y papá por siempre estar ahí apoyándome.

Finalmente agradezco a mi colega Raúl Marín por todo el esfuerzo puesto para sacar adelante este proyecto integrador.

Fernando Andrés Candel Zavala

Declaración Expresa

Nosotros Fernando Andrés Candel Zavala y Raúl David Marin Carofilis acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 10 de febrero del 2025.

Fernando Andrés Candel Zavala

Raúl David Marin Carofilis

Evaluadores

Dr. Wilfrido Arguello

Profesor de Materia Integradora

Dr. Wilfrido Arguello

Tutor de Proyecto

Resumen

La piscicultura es clave para la producción sostenible de la industria acuícola, sin embargo, no siempre es posible llevar a cabo todas las fases de cultivo en un mismo centro de producción, por lo que se debe adquirir y transportar “semilla” (huevos, larvas o juveniles) de la especie que se desea cultivar desde centros especializados en la reproducción de peces como el CENAIM. Este estudio propone un protocolo seguro para el transporte de huevos de Huayaípe (*Seriola rivoliana*), una especie con alto valor comercial y con un alto potencial de cultivo. Factores como la calidad del agua, los niveles de oxígeno y la duración del trayecto afectan la viabilidad embrionaria y larvaria. Se colectaron huevos provenientes de desoves espontáneos de huayaípe con el método tradicional y se evaluó el efecto de la supersaturación o hiperoxigenación y el tiempo de traslado sobre la calidad del desarrollo y eclosión. Los resultados mostraron que niveles de oxígeno de hasta 400% no mejoraron la viabilidad, y los viajes de más de 12 horas en condiciones no controladas afectaron negativamente los huevos. Se concluye que mantener la saturación entre 100% y 200% optimiza el proceso, reduce costos y mejora la eficiencia del transporte, asegurando un método más sostenible y viable.

Palabras Clave: eficiencia del transporte, huayaípe (*Seriola rivoliana*), supersaturación de oxígeno, tasa de eclosión, transporte de huevos.

Abstract

Fish farming is key to the sustainable production of the aquaculture industry; however, it is not always possible to carry out all cultivation phases in the same production center. Therefore, it is necessary to acquire and transport "seed" (eggs, larvae, or juveniles) of the species to be cultivated from specialized fish reproduction centers such as CENAIM. This study proposes a safe protocol for transporting eggs of longfin yellowtail (*Seriola rivoliana*), a species with high commercial value and great cultivation potential. Factors such as water quality, oxygen levels, and travel duration affect embryonic and larval viability. Eggs from spontaneous spawning events of Huayaipé were collected using the traditional method, and the effects of supersaturation or hyperoxygenation and transport time on development and hatching quality were evaluated. The results showed that oxygen levels of up to 400% did not improve viability, and transport lasting more than 12 hours under uncontrolled conditions negatively affected the eggs. It is concluded that maintaining oxygen saturation between 100% and 200% optimizes the process, reduces costs, and improves transport efficiency, ensuring a more sustainable and viable method.

Keywords: egg transport, hatching rate, longfin yellowtail (*Seriola rivoliana*), oxygen saturation, transport efficiency.

Índice general

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	V
Índice de figuras.....	VI
Índice de tablas	VII
Capítulo 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Descripción del Problema	3
1.2 Justificación del Problema	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Marco Teórico	6
1.4.1 Protocolos tradicionales de transporte	6
1.4.2 Efecto del tiempo de transporte y la saturación de oxígeno sobre la calidad de los huevos de peces.....	6
1.4.3 Huayaípe (<i>Seriola rivoliana</i>)	8
1.4.4 Desarrollo embrionario del huayaípe.....	9
1.4.5 Historia del huayaípe en Ecuador	9
Capítulo 2.....	11
2. METODOLOGÍA	12
2.1 Producción de huevos de huayaípe (<i>Seriola rivoliana</i>) en condiciones controladas....	12
2.2 Recolección y cuantificación de huevos fertilizados	12
2.3 Propuesta de valor.....	13
2.4 Fase exploratoria.....	14
2.4.1 Simulación de transporte.....	16
2.4.2 Relación supersaturación-calidad embrionaria	17

2.5	Fase experimental: determinación de niveles de sobresaturación para el transporte de huevos de huayaípe	18
2.5.1	Evaluación de calidad de huevos fecundados y tasas de eclosión	18
2.5.2	Evaluación de supervivencia larval post-siembra	20
2.6	Análisis estadístico.....	21
Capítulo 3		23
3.	RESULTADOS	24
3.1	Fase exploratoria	24
3.2	Fase experimental	27
3.3	Evaluación de supervivencia larval	33
3.4	Análisis económico.....	34
Capítulo 4		36
4.	CONCLUSIONES	37
BIBLIOGRAFÍA		38
5.	BIBLIOGRAFÍA	38

ABREVIATURAS

ESPOL: Escuela Superior Politécnica del Litoral

CENAIM: Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas

FAO: *Food and Agriculture Organization* (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)

OD: Oxígeno disuelto

UV: Ultravioleta

Índice de figuras

Figura 1. Transporte de peces vivos (FAO, 2024)	7
Figura 2. El transporte en la propagación de los peces (FAO, 1981)	7
Figura 3. Desarrollo embrionario de <i>Seriola rivoliana</i> (E. Grossi, 2009)	9
Figura 4. Recolección de huevos con la malla	12
Figura 5. Huevos recolectados para el conteo.	13
Figura 6. Inyección de oxígeno en las fundas con huevos fertilizados.	15
Figura 7. Simulación del transporte sobre una caja.	17
Figura 8. Perfilómetro Mitutoyo PJ-A30000.	17
Figura 9. Preparación del agua sobresaturada.	18
Figura 10. Oxigenómetro OxyGuard Polaris C.	19
Figura 11. Efecto de la saturación de oxígeno sobre la mortalidad, opacidad y homogeneidad en el desarrollo de huevos de huayaípe (<i>Seriola rivoliana</i>). Barras con diferente letra indican diferencias significativas ($P < 0.05$).	30
Figura 12. Efecto del tiempo de transporte sobre la mortalidad, opacidad y homogeneidad en el desarrollo de huevos de huayaípe (<i>Seriola rivoliana</i>). Barras con diferente letra indican diferencias significativas ($P < 0.05$).	32
Figura 13. Primera supervivencia larval en tratamientos de 100 y 400% de saturación. tradicionales de transporte	33

Índice de tablas

Tabla 1. Tratamientos de fase exploratoria para simulación de transporte de huevos fertilizados de huayaípe (Candel & Marin, 2025)..	15
Tabla 2. Tratamientos de fase exploratoria para comparar el efecto de la sobresaturación con el tiempo de transporte.....	16
Tabla 3. Tratamientos de fase experimental para evaluación de sobresaturación de oxígeno disuelto de los huevos fertilizados (Candel & Marin, 2025)..	19
Tabla 4. Resultado de inyección de oxígeno en la masa de agua para todos los tratamientos.	23
Tabla 5. Resultado de inyección de oxígeno en la masa de aire para todos los tratamientos.....	24
Tabla 6. Reporte de fases embrionarias y mortalidad en ensayo de inyección de oxígeno en agua a distintos volúmenes.....	24
Tabla 7. Reporte de fases embrionarias y mortalidad en ensayo de inyección de oxígeno en aire a distintos volúmenes.....	25
Tabla 8. Resultados de ensayo de prueba en saturaciones de oxígeno a 6 horas.	26
Tabla 9. Resultados de ensayo de prueba en saturaciones de oxígeno a 12 horas.	26
Tabla 10. Resultados de cada tratamiento a 6 horas con desviación estándar.	27
Tabla 11. Resultados de cada tratamiento a 12 horas con desviación estándar.....	27
Tabla 12. Efecto de la saturación de oxígeno sobre la mortalidad, opacidad y homogeneidad en el desarrollo de huevos de huayaípe (<i>Seriola rivoliana</i>). Filas con el diferente superíndice indican diferencias significativas ($P<0.05$).....	28
Tabla 13. Efecto del tiempo de transporte sobre la mortalidad, opacidad y homogeneidad en el desarrollo de huevos de huayaípe (<i>Seriola rivoliana</i>). Filas con el diferente superíndice indican diferencias significativas ($P<0.05$).....	29
Tabla 14. Efecto de la saturación de oxígeno y tiempo de transporte sobre la mortalidad, opacidad y homogeneidad en el desarrollo de huevos de huayaípe (<i>Seriola rivoliana</i>). Filas con el mismo superíndice indican la ausencia de diferencias significativas ($P<0.05$).	30
Tabla 15. Costo en el mercado real de los huevos de huayaípe.	33
Tabla 16. Gastos realizados en las pruebas.	33
Tabla 17. Ganancias estimadas con las supervivencias ajustadas después del protocolo.....	33

CAPÍTULO 1

1. Introducción

En los últimos años, la industria acuícola ha experimentado un crecimiento sostenido, impulsado tanto por la creciente demanda global de proteínas de origen acuático como por la reducción de las poblaciones silvestres debido a la sobreexplotación pesquera. Actualmente, la acuicultura contribuye con aproximadamente el 51 % del suministro global de pescado, y se prevé que esta proporción continúe en ascenso. Si bien China lidera la producción mundial, países de América Latina, como Chile y Ecuador, están adquiriendo mayor relevancia, especialmente en el cultivo de salmón y camarones, respectivamente. (FAO, 2024)

En el año 2022, la acuicultura logró, por primera vez en la historia, superar a la pesca de captura como la principal fuente de producción de animales acuáticos. A nivel mundial, la acuicultura alcanzó un máximo histórico de 130,9 millones de toneladas, de las cuales 94,4 millones correspondieron a animales acuáticos, lo que equivale al 51 % del total. Durante ese mismo período, la producción conjunta de pesca y acuicultura a nivel global sumó 225,2 millones de toneladas, lo que representa un aumento del 4,4 % en comparación con el año 2020. (FAO, 2022)

El cultivo de mariscos juega un papel fundamental en la seguridad alimentaria, al proporcionar proteína y nutrientes esenciales para la nutrición humana. La pesca, la acuicultura y las actividades asociadas, contribuyen significativamente a la generación de ingresos y al sustento de muchas comunidades a nivel global, incluidas las que dependen de pesquerías a pequeña escala. (HLPE, 2014)

En Ecuador, la acuicultura se centra principalmente en la producción de camarón marino y tilapia, aunque también se cultivan otras especies de peces y crustáceos de agua dulce (FAO, 2017). Sin embargo, desde 2021, las unidades productivas y las exportaciones de camarón han experimentado dificultades debido a varios factores, incluyendo la crisis económica global causada por el COVID-19, las restricciones a la movilidad, la caída en los precios del camarón, la sobreoferta del producto y las sanciones impuestas por China. (Armijos, 2021)

En Ecuador, existe la posibilidad de evaluar la factibilidad técnica y económica del cultivo de diferentes especies de peces nativos de origen marino. Esto podría lograrse aprovechando la infraestructura disponible, utilizando técnicas y herramientas para la maricultura, como jaulas

flotantes o líneas de cultivo submarinas. En relación con el uso de peces marinos en la acuicultura, algunas especies nativas muestran un considerable potencial y deben ser estudiadas, tanto para su producción con fines alimenticios como para el cultivo de peces ornamentales. (Blacio, 2003)

Para expandir los cultivos acuícolas y diversificar con nuevas especies, es primordial establecer protocolos de producción bien definidos. No obstante, no todos los centros de producción cuentan con la infraestructura y están preparados técnicamente para el manejo integral de un cultivo, así como la adecuada gestión y mantenimiento de reproductores, larvas de peces y etapa de engorde; lo común es adquirir huevos y larvas de centros de producción de peces en fases tempranas, por lo que resulta esencial implementar procedimientos específicos para el transporte adecuado de huevos y larvas. (FAO, 2024)

En los últimos años, el Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas (CENAIM-ESPOL) ha venido enfocándose en el desarrollo de técnicas de eclosión, larvicultura y engorde para especies marinas como el róbalo negro (*Centropomus nigrescens*), la cobia (*Rachycentron canadum*) y el huayaípe (*Seriola rivoliana*). En relación con esta última especie, se han realizado varios ensayos para determinar su viabilidad para el cultivo en condiciones controladas, considerando factores como el desarrollo embrionario y la supervivencia larval. (CENAIM, 2024)

La especie *Seriola rivoliana*, conocida comúnmente como huayaípe, es una opción excelente para estandarizar los procesos de producción de semillas, fundamentales para la replicación de su cultivo. Esto se debe a que estudios previos han demostrado que su producción es viable, incluso utilizando infraestructura camaronera, siempre que se apliquen criterios técnicos aplicados para la diversificación. (Sinche & Vera, 2005)

1.1 Descripción del problema

El desarrollo de protocolos para el transporte de huevos de *Seriola rivoliana* es esencial para apoyar la expansión de su cultivo. Dado que no todos los centros de producción están capacitados para mantener reproductores o incubar larvas, disponer de un protocolo adecuado permite trasladar huevos viables hacia instalaciones especializadas de engorde sin comprometer su calidad. Estos protocolos deben considerar factores como la temperatura, salinidad y densidad, los cuales han sido estudiados por Ramos y Aguilar (2022), así como también temas por indagar

como condiciones de manejo, umbrales de oxígeno disuelto y tiempo de traslado para reducir el estrés y la mortalidad de los embriones. Además, la implementación de estos estándares garantiza un abastecimiento constante y de alta calidad, facilitando así el éxito en la producción de esta especie.

De acuerdo con la investigación ‘*Diseño de un protocolo para el transporte de huevos de Huayaípe en su fase de pre-eclosión*’ (Ramos & Aguilar, 2022), los parámetros adecuados para el transporte de huevos de huayaípe son 24°C de temperatura, 35 ppt de salinidad, y una densidad de 5000 huevos/litro. Además, se determinó una saturación de oxígeno de 100% con doble llenado, no obstante, estos umbrales no han sido lo suficientemente estudiados y la forma en que se inyecta el oxígeno no garantiza el intercambio gaseoso para que exista un transporte exitoso. Asimismo, el tiempo de transporte con cada una de estas saturaciones para que no haya eventualidades como daño en el vitelo de los huevos o bajas eclosiones por hipoxia debido al agotamiento de oxígeno durante el viaje.

Con este antecedente, para un centro de reproducción es esencial conocer si la saturación de oxígeno tiene algún efecto positivo o negativo sobre la calidad del desove luego del transporte y estimar los costos asociados. Asimismo, la experimentación establece un precedente para la investigación de este tipo de parámetros en el transporte de embriones, que puede servir como base o referencia para la evaluación en otras especies.

1.2 Justificación del problema

Especies marinas como *Seriola rivoliana* representan una excelente opción para diversificar la producción piscícola y aumentar el aporte de la acuicultura a la seguridad alimentaria, reto contemporáneo para el mundo debido al crecimiento de población exponencial en las últimas décadas. Esta especie carnívora es común en zonas subtropicales del océano Pacífico, desde el sur de Estados Unidos hasta el norte de Perú, incluyendo zonas de interés pesquero en las costas ecuatorianas, donde se han intentado ya la maricultura de otras especies con resultados prometedores (Chele, F., 2009).

Actualmente, a nivel nacional, existen pocos centros (*hatcheries*) donde se producen desoves constantes de huayaípe, uno de ellos es el CENAIM, que trabaja con otras especies marinas. La dificultad de adaptación al cautiverio de estas especies, el nivel de tecnificación de las

instalaciones y la cualificación del personal encargado de la maduración y reproducción son factores para garantizar desoves de calidad que puedan ser la base de una producción rentable y sostenible. Muchos centros de engorde no cuentan con laboratorios de maduración, es decir, instalaciones propias para producir huevos, debido a factores económicos y logísticos, por lo que ellos pasan a depender de otros centros donde el transporte se prepara únicamente inyectando oxígeno directo al agua, sin evaluar qué efectos tiene sobre los huevos fertilizados. En FOPSA (Forever Oceans Panamá S.A.) se ha notado y reportado que la calidad de los huevos no ha mantenido una constante, a pesar de estar en rangos aceptables, eso representa parte de la inversión que entra en un margen de pérdida que se trata de mejorar con las condiciones más optimas de transporte. Con esto cabe recalcar que la evaluación de niveles de sobresaturación de oxígeno no se ha evaluado en investigaciones anteriores para el transporte, lo que implica el motivo de este proyecto integrador.

La determinación de umbrales correctos sobresaturación en todo el documento deben utilizar un solo término siempre, o supersaturación o sobresaturación o hiperoxigenación, ya que se cambió el título para cumplir con el formato, recomendando que usen “hiperoxigenación” de oxígeno en transporte de huevos de huayaípe puede marcar un precedente para la expansión de la actividad piscícola en Ecuador y en la región, que actualmente es escasa para especies marinas, por lo que ahí radica una necesidad de perfeccionar los procesos de transportación.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar los efectos de la supersaturación de oxígeno y tiempo de transporte sobre la supervivencia de huevos de huayaípe (*Seriola rivoliana*) mediante el análisis del desarrollo temprano, eclosión y primera supervivencia larval, con el fin de establecer protocolos de transporte de huevos que aseguren su viabilidad en condiciones controladas.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Determinar los umbrales de supersaturación de oxígeno que no afecten negativamente el desarrollo embrionario, la eclosión de los huevos y primera supervivencia larval de especies de peces marinos.
2. Evaluar la tasa de eclosión y la primera supervivencia larval de huevos de huayaípe mediante la simulación de embalaje para transporte a condiciones de supersaturación de oxígeno.
3. Desarrollar un protocolo para el transporte de huevos de huayaípe en condiciones de saturación de oxígeno que disminuya la mortalidad durante el transporte y optimice la supervivencia de las larvas.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Protocolos tradicionales de transporte

Debido a la escasa información existente sobre protocolos efectivos de transporte de huevos de peces, los métodos más utilizados son el uso de bolsas de plástico sobresaturadas de oxígeno y el uso de cajas de gran volumen con aireación, es decir, el método tradicional sigue siendo la manera más sencilla de transportar huevos de huayaípe. Este transporte tradicional que incluye una preparación sencilla de bolsas de agua filtrada para colocar los huevos fertilizados que han sido recolectados previo al envío, requiere de inyección de oxígeno con mangueras para que no se pierdan las condiciones de saturación, y no garantiza que haya un intercambio ideal de oxígeno disuelto, debido a que no hay un tiempo estándar de inyección o presión que se debe ejercer para el llenado. Simplemente se percibe que la bolsa esté apretada (llena de oxígeno) para considerarlo como sobresaturado y listo para aguantar condiciones variables de transporte (FAO, 2024).

1.4.2 Efecto del tiempo de transporte y la saturación de oxígeno sobre la calidad de los huevos de peces

Es fundamental garantizar un nivel adecuado de oxígeno y mantener la temperatura apropiada en el agua durante el transporte de huevos y larvas de peces. En este sentido, la técnica más eficaz para oxigenar el agua consiste en inyectar oxígeno puro directamente en el agua o en

el espacio disponible hasta alcanzar el volumen máximo de la bolsa o contenedor (Figura 1). Esto se puede lograr mediante la inyección continua de oxígeno en un recipiente sin sellar durante el transporte, o al inyectarlo en una bolsa de plástico con agua y huevos de peces, que luego debe cerrarse herméticamente para su traslado (Alex Bocek, 2005).

La habilidad para enviar de manera segura las primeras etapas de vida (huevos y/o larvas con saco vitelino) a los criaderos puede contribuir a reducir los costos generales de producción, al mismo tiempo que mejora la bioseguridad (Stuart et al., 2015).

El envío exitoso de huevos ofrece varias ventajas: la manipulación de los huevos es más sencilla que la de las frágiles larvas con saco vitelino, además, los huevos pueden ser desinfectados después del transporte para minimizar la introducción de patógenos en las instalaciones. Comúnmente los tanques contienen oxigenación durante todo el transporte a una presión constante sin conocer el umbral adecuado, sin embargo, esto solo es exclusivo cuando el transporte es realizado por tierra en camiones. (Kevin Stuart, 2018).

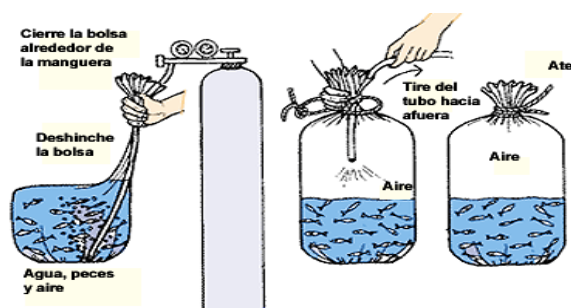


Figura 1. Transporte de peces vivos. Fuente: FAO, 2024.

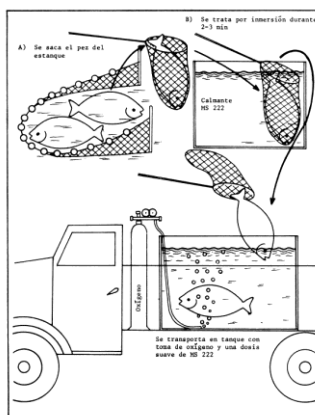


Figura 2. Esquema del método tradicional para el transporte de semillas de peces vivos.

Fuente: FAO, 1981.

Debido a la escasez de laboratorios que produzcan huevos de peces marinos, es común encontrar en la literatura reportes de los traslados entre centros de maduración indicando largas distancias hasta llegar al centro de engorde, aunque no se detallan los protocolos utilizados ni la calidad de los huevos después del traslado. Por ejemplo, en CENAIM (2024) se ha realizado el transporte de huevos de huayaípe desde sus instalaciones en San Pedro, (Prov. Santa Elena) hasta el aeropuerto de Guayaquil y posterior ente a Panamá, recorriendo una distancia aproximada de 150 km en un tiempo de 2 horas y 30 minutos, además del tiempo de logística con la autoridad portuaria para documentar su salida de Ecuador, el vuelo al aeropuerto de Ciudad de Panamá, de 2 horas, y por último el transporte a las sedes de FOPSA. Esto evidencia la necesidad de estudiar cómo las distancias y los tiempos de transporte afectan la viabilidad de los huevos fertilizados.

Además, el oxígeno desempeña un papel crucial en la calidad y supervivencia de los huevos y larvas de peces durante el transporte. Se ha señalado que concentraciones subóptimas de oxígeno pueden causar hipoxia, lo que afecta negativamente el metabolismo embrionario y el desarrollo larval. Por otro lado, una correcta oxigenación durante el transporte ha demostrado mantener tasas de supervivencia más altas, incluso en traslados prolongados. (Levels, 2003)

1.4.3 Huayaípe (*Seriola rivoliana*)

El huayaípe (*Seriola rivoliana*) es un pez marino, teleósteo carnívoro, que se caracteriza por su gran fuerza y agilidad, que suele adoptar comportamientos migratorios en busca de alimento y para la reproducción. Su reproducción ocurre mediante fertilización externa, ya que es ovíparo. Su cuerpo es alargado, ligeramente comprimido y de gran tamaño. La coloración del huayaípe varía, presentando un dorso que puede ser de tonos marrones o verde azules, mientras que los flancos y el vientre son más claros en la etapa adulta. Además, posee una franja nugal oscura que va desde el ojo hasta el origen de la primera aleta dorsal. (Animalia, 2025)

Los peces del género *Seriola* son peces que prosperan en aguas templadas. Su rango de temperatura óptimo oscila entre los 18 y 29°C. Temperaturas por debajo de 15°C inhiben su crecimiento, mientras que valores extremos, inferiores a 9°C o superiores a 31°C, resultan letales. Estos peces requieren una salinidad mínima de 16 ppt y toleran altas concentraciones salinas, hasta 33 ppt. Sus demandas de oxígeno son considerables, especialmente en *S. rivoliana*, que presenta

altas demandas de oxígeno, requiriendo al menos 4 mg/L de oxígeno disuelto en el agua para su óptimo desarrollo. (Espinoza, N., 2009)

La producción anual en Panamá del huayaípe (*Seriola rivoliana*) experimentó un crecimiento exponencial, alcanzando las 1.408 toneladas en el 2022, en comparación con una producción nula en el 2021. (ARAP, 2022)

México ha sido pionero en el cultivo de *Seriola rivoliana* en América Latina. El Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) ha realizado importantes investigaciones en colaboración con empresas privadas, como Kampachi Farms, para desarrollar tecnologías de cultivo y mejorar la producción de esta especie. (García, K., 2020)

1.4.4 Desarrollo embrionario del huayaípe

Los huevos recién fertilizados de *Seriola rivoliana* tienen una forma esférica, son transparentes y flotan en el agua. Su diámetro es mayor a 1 mm y contienen una sola gota de aceite de aproximadamente 0.2 mm. Durante la fase de segmentación, los blastómeros se dividen rápidamente. En la etapa de gástrula, estas células comienzan a diferenciarse y a formar plácotas, estructuras planas que más adelante se convertirán en los órganos. Justo antes de la eclosión, se activan procesos que favorecen la función muscular y la producción de enzimas esenciales para liberar a la larva del corión. Tras la eclosión, las larvas poseen un saco vitelino de tamaño considerable, lo que les permite un desarrollo rápido del esqueleto craneal y del sistema gastrointestinal. (Tanaka et al., 2022)

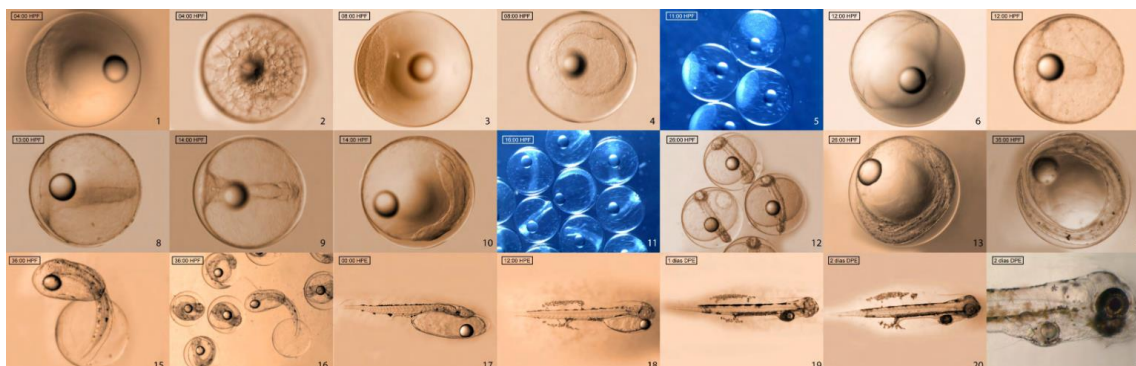


Figura 3. Desarrollo embrionario de *Seriola rivoliana* (E. Grossi, 2009)

1.4.5 Historia del huayaipe en Ecuador

En Ecuador, el cultivo de huayaipe comenzó a considerarse como una opción viable tras la crisis de 1998 ocasionada por el brote del virus de la mancha blanca, el cual impactó gravemente al sector camaronero, provocando importantes pérdidas tanto en la industria como en las exportaciones. Esta especie fue vista como una alternativa prometedora debido a que su carne tiene un rendimiento de entre el 50% y el 55%, superando el rendimiento de la tilapia, que varía entre el 28% y el 34%. En el país, se encuentran varias especies del género *Seriola*, conocidas como huayaipe, entre las que se destacan *Seriola mazatlana*, *Seriola lalandi*, *Seriola rivoliana* y *Seriola peruana*. (Blacio y Álvarez, 2002)

Los continuos estudios realizados por el CENAIM desde entonces han permitido perfeccionar los protocolos de producción del huayaipe, consolidando la instalación como una referencia en el sector. Este reconocimiento ha generado un creciente interés por parte de empresas extranjeras, que ven en el CENAIM un proveedor confiable de huevos fertilizados para la producción a gran escala de esta especie. (CENAIM, 2024)

CAPÍTULO 2

2. Metodología

2.1 Producción de huevos de huayaípe (*Seriola rivoliana*) en condiciones controladas

De acuerdo con el protocolo de manejo de reproductores de CENAIM, los huayaípes silvestres con más de 5 kg de peso y los 80 cm de longitud total son mantenidos en tanques con una capacidad de 20 toneladas de agua con un sistema de flujo abierto. Estos tanques están equipados con un codo lateral que dirige el agua hacia un tanque colector, el cual cuenta con una malla de 500 micras para recolectar los huevos flotantes. Diariamente, se realiza un monitoreo de los parámetros de calidad del agua, asegurando que la temperatura se mantenga entre 26 y 28°C, la salinidad entre 33 y 35 ppt, y el oxígeno disuelto sea igual o superior a 5 mg/L.

2.2 Recolección y cuantificación de huevos fertilizados

Cuando se observó la presencia de huevos en el tanque o en el colector, siguiendo los protocolos de recolección y cuantificación de huevos establecidos por CENAIM, se incrementó el flujo de agua durante aproximadamente 4 horas. Esto generó una corriente circular que permitió que la mayoría, o la totalidad, de los huevos sean arrastrados hacia el tanque colector y caigan sobre la malla (Fig. 2).

Una vez finalizado este proceso, se preparó un contenedor de 3 litros de agua de mar filtrada para preservar la integridad de los huevos recogidos. La recolección de los huevos se realizó utilizando un beaker de 2 litros, lavando cuidadosamente las paredes de la malla para asegurar que todos los huevos se desplacen hacia el fondo, facilitando así su recolección completa.



Figura 4. Recolección de huevos con la malla

Una vez recolectados los huevos se procedió a realizar un conteo volumétrico, que consistió en medir el volumen que los huevos han desplazado en el envase. Luego se realizó el cálculo de los huevos totales con la siguiente fórmula:

$$HT = Vd \times \rho Hyp$$

Donde:

HT = Huevos totales

Vd = Volumen de agua desplazado

ρHyp = densidad de huevos colectados, 850 huevos en un mililitro

Luego de obtener el valor de huevos totales, se esperó por un lapso de 15 a 20 minutos que los huevos desactivados o no fertilizados se sedimenten y se hizo la cuantificación de los huevos flotantes (Figura 3), que son los huevos viables que se sembraron en un incubador de 500 L. Por último, se cuantificó el volumen de huevos decantados para hallar la tasa de eclosión de ese grupo de reproductores. Los huevos decantados y la materia orgánica presente es eliminada mediante un sifón de fondo a fin de evitar la contaminación de los huevos flotantes.



Figura 5. Huevos recolectados para el conteo.

2.3 Propuesta de valor

El proyecto ofrece el diseño de un protocolo estandarizado que garantiza condiciones óptimas de transporte para los huevos de *Seriola rivoliana*, centrándose en los efectos de la saturación de oxígeno y el tiempo de transporte. Esto reduce significativamente la mortalidad y mejora la calidad de los huevos en su destino, brindando a los productores confianza en la viabilidad de sus operaciones, mejorando la planificación y reduciendo riesgos.

Al asegurar mayores tasas de eclosión y supervivencia de larvas, se incrementará la producción y reducirá las pérdidas económicas, beneficiando tanto a pequeños productores como a grandes empresas del sector. Para poder empezar con la experimentación se hizo una recopilación de información sobre los parámetros ya explorados en el trabajo de Ramos & Aguilar (2022), y se determinó que se debe hacer una fase exploratoria para evaluar el método más efectivo de inyección en las bolsas plásticas y comprobar cuál es el volumen de agua ideal para maximizar la supervivencia de los huevos fertilizados.

2.4 Fase exploratoria

Se utilizaron dos métodos para la inyección de oxígeno en bolsas de transporte de huevos de peces: inyección directa en la columna de agua y en la masa de aire. El objetivo fue determinar cuál de estos métodos permitía una mayor concentración de oxígeno disuelto y cuál volumen de aire y agua (25, 50, 75%) ofrecía los mejores parámetros al ser abiertas. Esto se evaluó después de 6 horas y a 24 horas de la puesta en fundas para revisar su desarrollo embrionario y si la saturación de oxígeno se mantuvo estable o con poca variación. Se realizaron tres réplicas por cada tratamiento.

Tabla 1. Tratamientos de fase exploratoria para simulación de transporte de huevos fertilizados de huayaipe (Candel & Marin, 2025).

Tratamiento	Aire/Agua (%)	Volumen (L)	Temperatura (°C)	Inyección de oxígeno	
T1	25/75	3	28.65 ± 0.19	Agua	
T2	50/50	2	28.73 ± 0.49		
T3	75/25	1	28.93 ± 0.58		

T4	25/75	3	23.93 ± 1.35		Aire
T5	50/50	2	23.18 ± 0.67		
T6	75/25	1	22.65 ± 0.44		



Figura 6. Inyección de oxígeno en las fundas con huevos fertilizados.

Se definió la mínima concentración de sobresaturación de oxígeno a la que los huevos de huayaipé se desactivaron o mueren. Se establecieron 5 grupos de tratamientos con tres réplicas en cada tratamiento en fundas plásticas completamente selladas de 3 L, con una densidad de siembra de 5000 huevos/L. Se contó un grupo control con una saturación normal sin agregar oxígeno (TC), seguido de cuatro tratamientos con diferentes concentraciones de sobresaturación y con cinco réplicas por tratamiento. El tratamiento 1 con una supersaturación del 100% (T100), el tratamiento 2 con una supersaturación del 200% (T200), el tratamiento 3 con una sobresaturación del 300% (T300) y el tratamiento 4 con una supersaturación del 400% (T400).

Se evaluaron los efectos de la supersaturación a las 12 y 24 horas a 22 °C para realizar las mediciones de opacidad mediante el uso de microscopio digital. La opacidad de los huevos fue cuantificada mediante la observación de la apariencia del vitelo (opaco, turbio). Este modo, permite relacionar la opacidad de los huevos con la inviabilidad embrionaria.

Tabla 2. Tratamientos de fase exploratoria para comparar el efecto de la sobresaturación con el tiempo de transporte

Tratamiento	Tiempo de transporte	
T-Control	6	12
T100		
T200		
T300		
T400		

2.4.1 Simulación de transporte

Se realizó una simulación de transporte de huevos utilizando fundas plásticas como contenedores. Las fundas, previamente llenadas con agua filtrada y sobre saturada, fueron selladas con ligas y colocadas dentro de una caja (Fig. 5). Los huevos se sometieron a dos tiempos de simulación: 6 y 12 horas, replicando escenarios en el transporte de huevos a largas distancias. A las 6 y 12 horas, se realizó un monitoreo del estado del huevo y en la etapa de desarrollo que se encontraba al momento de la apertura, además de parámetros como la temperatura, la viabilidad de los huevos y el porcentaje de saturación del agua.



Figura 7. Simulación del transporte sobre una caja.

2.4.2 Relación supersaturación-calidad embrionaria

En base a los resultados de la fase exploratoria en los cuales se determinó el volumen de agua más viable, a 50% del volumen de la bolsa y 22 °C, se definieron 5 tratamientos de sobresaturación con 3 réplicas. La relación entre la supersaturación (Fig. 6) y la calidad embrionaria fue determinada por medio de la observación microscópica con respecto a la sincronización del desarrollo embrionario y el tiempo máximo en horas al que los huevos se desactivan. Se estimó el porcentaje de anomalías en el desarrollo embrionario a las 12 y 24 horas (definido como los huevos/embriones que presentaron diferentes estados de desarrollo o evidentes daños); el tiempo en eclosionar, el porcentaje de eclosión, y la primera supervivencia larval.



Figura 8. Perfilómetro Mitutoyo PJ-A30000.

2.5 Fase experimental: determinación de niveles de sobresaturación para el transporte de huevos de huayaípe

2.5.1 Evaluación de calidad de huevos fecundados y tasas de eclosión

La primera fase experimental de este proyecto tuvo como objetivo determinar el efecto de distintos niveles de sobresaturación de oxígeno disuelto sobre el desarrollo embrionario y la tasa de eclosión en huevos fertilizados de huayaípe (*Seriola rivoliana*) durante su transporte. Para ello, se utilizaron huevos obtenidos espontáneamente los cuales fueron transferidos a bolsas plásticas

selladas, conteniendo agua filtrada para mantener las condiciones fisicoquímicas ideales. Cada bolsa fue sometida a un nivel controlado de sobresaturación de oxígeno disuelto (Tabla 2). Antes del llenado de las fundas de transporte, se colocó el agua a utilizar en varios baldes a diferentes concentraciones de saturación y se revisó constantemente para asegurar que el nivel de sobresaturación colocado era el adecuado al llenar las fundas.

Para la preparación del agua sobresaturada, se utilizó agua proveniente del CENAIM. Este recurso fue sometido a un proceso de filtración mecánica, a través de mallas para remover partículas suspendidas, y desinfección con luz ultravioleta (UV), eliminando microorganismos potencialmente patógenos, para garantizar su pureza para el experimento. Tomaba alrededor de 1 a 2 minutos de llevar el agua hasta 300% sobresaturación, sin embargo, tomó más de 3 a 5 minutos poder alcanzar 400%.



Figura 9. Preparación del agua sobresaturada.

Con el fin de minimizar las diferencias en la calidad del agua entre réplicas, asociadas al tiempo que toma el llenado de las bolsas, se decidió empaquetar por réplicas y no por tratamientos, asegurando así una interpretación más precisa de los resultados y reduciendo la variabilidad de resultados no controlada entre las réplicas. La sobresaturación del agua preparada y puesta de los tratamientos se dio de la siguiente forma:

Tabla 3. Tratamientos de fase experimental para evaluación de sobresaturación de oxígeno disuelto de los huevos fertilizados (Candel & Marin, 2025).

Tratamiento - sobresaturación (%)	Saturación a 3min	Saturación a 30min
A – Control (agua sin saturar)	89.6%	85.6%
B – 100%	123.7%	101.8%
C – 200%	227.5%	202.4%
D – 300%	326.1%	296.6%
E – 400%	398.3%	393.7%

La revisión de las saturaciones de oxígeno se dio de manera constante para que cada tratamiento se mantuviera en su nivel de sobresaturación y así no haya alteraciones entre réplicas y tratamientos una vez que se empezó a llenar las fundas de transporte de huevos.

El experimento arrancó con la medición de la saturación de oxígeno a los 30 minutos del llenado por lo que esas condiciones se definen para cada uno de los tratamientos como datos iniciales.

Para simular el tiempo de transporte que los huevos fertilizados experimentan hasta llegar a su punto de siembra, se realizaron evaluaciones a las 6 y 12 horas posteriores al inicio del ensayo, donde se midieron parámetros como temperatura, niveles de oxígeno disuelto y concentración por saturación (Fig. 8).



Figura 10. Oxigenómetro OxyGuard Polaris C.

Al finalizar el transporte, los huevos fueron incubados bajo condiciones controladas para evaluar su desarrollo embrionario, prestando especial atención a posibles alteraciones morfológicas y retrasos en las diferentes fases de desarrollo hasta la eclosión. Finalmente, se registró la tasa de eclosión como un indicador clave del éxito del proceso. Los resultados obtenidos permitieron determinar la saturación óptima de oxígeno disuelto para maximizar la viabilidad embrionaria durante el transporte.

2.5.2 Evaluación de supervivencia larval post-siembra

La segunda fase experimental de este proyecto evaluó los niveles de eclosión post-siembra de huevos fertilizados de huayaie (*Seriola rivoliana*) bajo condiciones controladas,

Los huevos, previamente transportados, fueron colocados en sistemas de incubación, que consistieron en tanques de plástico con fondos cónicos de 50 litros de capacidad. Estos tanques fueron llenados con agua de mar previamente filtrada y equipados con aeración central con una piedra difusora para garantizar una oxigenación homogénea y adecuada. Antes de su uso, los tanques fueron limpiados minuciosamente con jabón neutro para eliminar posibles contaminantes. En estos sistemas, se realizó un monitoreo continuo de la tasa de eclosión, empleada como el primer indicador para evaluar la viabilidad de los huevos.

Posteriormente, las larvas eclosionadas permanecieron sin alimentación durante un período de 24 horas, tiempo en el cual se evaluó la mortalidad y la presencia de deformidades como indicadores de calidad larval. Se realizaron inspecciones periódicas cada seis horas, durante las cuales se registraron parámetros fisicoquímicos del agua como temperatura, pH y oxígeno disuelto, además se realizaron observaciones directas sobre la mortalidad acumulada y la aparición de anomalías.

El análisis de estos datos permitió establecer la relación entre los niveles de saturación de oxígeno aplicados durante el transporte y la calidad larval post-eclosión, aportando estos resultados como precedente en parámetros para la transportación y sus efectos en los primeros días de siembra en condiciones de cultivo.

2.6 Análisis estadístico

Los resultados son presentados como $\text{media} \pm \text{DE}$ (desviación estándar). Se realizaron las pruebas de Bartlett para verificar la homogeneidad de las varianzas y la normalidad se la determinó visualmente. En todas las variables se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías para evaluar la existencia de diferencias entre tratamientos por efecto de la saturación de oxígeno o el tiempo de transporte.

Cuando se registraron diferencias significativas a un nivel de 95% ($\alpha = 0.05$) se realizó la Prueba de Tukey para determinar las diferencias estadísticas entre tratamientos. Cabe resaltar que, en todos los tratamientos, la presencia de al menos 1 réplica con valores muy diferentes en relación con las demás réplicas del mismo tratamiento hizo que se incrementara el coeficiente de variación (CV). Sin embargo, en términos prácticos, la cuantificación y llenado de las bolsas (fundas) para el transporte se lo realiza según el protocolo descrito en el presente trabajo. Por lo tanto, ninguna réplica fue considerada como valor atípico (outlier).

CAPÍTULO 3

3. Resultados

3.1 Fase Exploratoria

Esta fase exploratoria se llevó a cabo como paso previo al experimento de desarrollo embrionario con el fin de determinar las condiciones óptimas de saturación de oxígeno y evaluar la temperatura ideal para el transporte de huevos fertilizados de *Seriola rivoliana*. Su objetivo fue identificar los niveles de oxígeno en los que se presente menor mortalidad e incidencia de anomalías durante el transporte como opacidad del contenido embrionario, garantizando así condiciones seguras y favorables para el desarrollo embrionario antes de la fase experimental.

En la fase exploratoria de un experimento para evaluar la saturación de oxígeno en condiciones de transporte de huevos fertilizados de *Seriola rivoliana*, se establecen las condiciones ideales para garantizar resultados fiables y comparativos.

Las directrices principales consistieron en la manipulación controlada de la temperatura en la sala de experimentación y la técnica de inyección de oxígeno durante el sellado de las bolsas de transporte. Se buscó evidenciar directamente la tasa de pérdida de oxígeno disuelto en cada uno de los tratamientos mediante dos métodos de inyección: en el espacio que queda entre el volumen del agua y aire, el oxígeno se introdujo en el espacio gaseoso de la bolsa antes del sellado; y en la masa de agua, el oxígeno se inyectó directamente en el agua contenida en la bolsa antes del sellado.

El objetivo fue cuantificar y comparar la tasa de pérdida de oxígeno disuelto en cada combinación de temperatura, volumen de agua y técnica de inyección, permitiendo determinar la estrategia óptima para la conservación de la calidad del medio durante el transporte de huevos fertilizados. Los resultados después de 6 y 24 horas se ven reflejados en las siguientes tablas:

Tabla 4. Resultado de inyección de oxígeno en la masa de agua para todos los tratamientos.

OD%	6H	24H	MG/L	6H	24H
T1	126.4	104.1	T1	8.2	6.8
T2	155.4	148.2	T2	10.0	9.7
T3	203.9	193.0	T3	13.1	12.6

T4	151.0	153.7	T4	10.4	10.9
T5	181.3	188.2	T5	12.7	13.6
T6	229.0	216.6	T6	16.2	15.6

Tabla 5. Resultado de inyección de oxígeno en la masa de aire para todos los tratamientos.

OD%	6H	24H	MG/L	6H	24H
T1	121.7	20.5	T1	7.9	1.3
T2	166.1	75.2	T2	10.6	4.9
T3	206.1	165.5	T3	13.1	10.6
T4	135.2	79.0	T4	9.2	5.1
T5	165.1	83.0	T5	11.5	6.0
T6	197.2	161.2	T6	14.1	11.6

Habiendo obtenido estos resultados se pudo observar que el mejor desempeño general en retención de oxígeno disuelto se dio con la temperatura promedio más baja de 23°C, haciendo la inyección directa en la masa de agua y con menos masa de agua, entre 1 y 2 litros (para este tamaño de bolsa). Los resultados en inyección al aire para volumen de 1L fueron también favorables, , así mismo en temperatura baja. Con esto analizado, el tratamiento ideal fue T6, que se mantuvo por encima de 200% de saturación después de 24 horas de inactividad.

Tabla 6. Reporte de fases embrionarias y mortalidad en ensayo de inyección de oxígeno en agua a distintos volúmenes.

Tratamiento	Fases	Mortalidad (%)
T1R1	82% blastodisco engrosado, 18% blástula	0.0
T2R1	91% tubo neural, 9% mórula	6.4
T3R1	96% tubo neural	4.0
T4R1	94% blástula tardía	0.0
T5R1	96% blástula tardía	1.9

T6R1	93% blastodisco engrosado	0.0
T1R2	15% larvas, 85% cápsula	5.2
T2R2	17% larvas, 83% cápsula olfatoria	2.8
T3R2	6% larvas, 3% lóbulos, 91% cápsula	3.6
T4R2	88% somitas, 9 tubo neural, 3% larva	3.9
T5R2	87% somitas, 13 tubo neural	6.1
T6R2	90% somitas, 10% tubo neural	7.0

Tabla 7. Reporte de fases embrionarias y mortalidad en ensayo de inyección de oxígeno en aire a distintos volúmenes.

Tratamiento	Fases	Mortalidad (%)
T1R1	82% engrosamiento, 18% blástula	0.0
T2R1	90% blástula, 6% tubo neural, 3% mórula	10.8
T3R1	85% blástula, 8% gástrula, 4% tubo neural, 2% mórula	6.9
T4R1	78% blástula, 12% mórula, 9% blastodisco engrosado, 1% tubo neural	2.3
T5R1	87% blástula, 12% mórula, 1% blastodisco engrosado	3.2
T6R1	91% blástula, 8% mórula, 1% blastodisco engrosado	2.2
T1R2	97% blástula, 2% mórula, 1% blastodisco engrosado	96.0
T2R2	85% cápsula olfatoria, presencia de lóbulos, somitas y larvas	98.9
T3R2	91% cápsula olfatoria, presencia de lóbulos y eclosión	98.8
T4R2	31% larvas, 1% eclosión, 62% cápsulas	96.8
T5R2	80% cápsulas, 15% larvas	97.7
T6R2	70% cápsulas, 12% tóbulos, 13% larvas, 1% eclosión	96.2

Como se puede observar, en los tratamientos de inyección de oxígeno en la masa de aire se tuvieron los resultados menos favorables para el objetivo del ensayo. Tienen fases muy variables y mortalidades altas para la revisión que se realizó en 24 horas después del empaquetado, por lo que la inyección en agua resultó ser la más adecuada alcanzando solo 0.6% de mortalidad en 6 horas y 5.7% en 24 horas para transporte con temperaturas constantes de 23°C. Con estas instancias ahora determinadas se prosigue a la fase experimental del proyecto para evaluar los niveles de saturación de oxígeno ideales a distintos tiempos.

3.2 Fase experimental

Durante esta fase, se evaluaron cuatro niveles de saturación de oxígeno (100%, 200%, 300% y 400%) en periodos de 6 y 12 horas, junto con un grupo control (condiciones estándar de laboratorio), para determinar su efecto en el desarrollo embrionario de los huevos fertilizados. Los

resultados mostraron que el avance en el desarrollo embrionario fue influenciado significativamente por el nivel de oxígeno. En los niveles de 100% y 400% se observaron mayores tasas de desarrollo normal, con un patrón consistente de formación embrionaria y pocas anomalías, en comparación con los niveles intermedios (200% y 300%) donde se reportaron más deformidades y un incremento en la mortalidad.

Tabla 8. Resultados de ensayo de prueba en saturaciones de oxígeno a 6 horas.

Tratamiento	Réplica	Saturación (%)	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	Mortalidad	Opacidad	Homogeneidad
Control	A1	204.8	14.1	24.2	0.0%	1.9%	100.0%
	A2	163.5	11.7	23.2	2.0%	1.0%	95.9%
	A3	183.5	12.6	21.9	0.0%	1.7%	95.5%
	A4	184.1	13.4	21.7	23.6%	10.4%	74.5%
100%	B1	180.4	12.3	24.4	0.0%	0.9%	98.2%
	B2	177.2	12.4	22.8	4.3%	2.8%	97.5%
	B3	159.0	11.3	22.7	2.0%	3.0%	96.8%
	B4	180.5	13.0	22.2	5.5%	3.7%	94.5%
200%	C1	204.2	14.1	24.2	0.0%	0.8%	98.3%
	C2	220.7	15.8	22.6	1.6%	0.8%	99.2%
	C3	198.3	14.1	22.9	0.0%	3.2%	98.9%
	C4	203.7	14.5	22.5	2.1%	3.6%	95.5%
300%	D1	244.2	17.0	24.3	0.0%	0.9%	96.5%
	D2	210.8	15.3	22.7	1.6%	0.0%	98.4%
	D3	203.3	14.3	22.7	2.8%	3.7%	96.2%
	D4	228.3	16.2	22.6	5.4%	2.7%	98.1%
400%	E1	263.7	18.1	24.2	1.8%	1.8%	97.3%
	E2	235.7	16.5	22.5	9.0%	1.6%	97.3%
	E3	216.8	15.4	22.3	7.5%	1.7%	97.3%
	E4	232.1	16.7	22.5	9.5%	3.6%	89.9%

Tabla 9. Resultados de ensayo de prueba en saturaciones de oxígeno a 12 horas.

Tratamiento	Réplica	Saturación (%)	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	Mortalidad	Opacidad	Homogeneidad
Control	A1	156.6	11.1	23.7	6.4%	0.9%	83.0%
	A2	167.7	12.1	21.5	4.2%	14.1%	85.0%
	A3	191.0	13.4	22.1	6.9%	13.8%	85.0%
	A4	158.8	11.6	21.5	35.6%	1.0%	71.0%

100%	B1	185.2	13.1	22.4	9.2%	0.0%	79.0%
	B2	156.2	11.2	22.3	4.9%	35.4%	73.0%
	B3	171.3	13.4	22.5	4.8%	0.9%	66.0%
	B4	180.1	13.1	21.7	23.1%	0.0%	89.0%
200%	C1	216.1	15.3	21.9	2.9%	1.9%	65.0%
	C2	206.4	14.8	22.4	11.3%	44.3%	67.0%
	C3	207.9	15.0	22.0	6.3%	1.3%	73.0%
	C4	205.8	14.9	21.7	15.3%	0.0%	81.0%
300%	D1	207.0	14.9	22.1	9.7%	1.1%	69.0%
	D2	208.4	14.7	22.7	5.4%	2.2%	82.0%
	D3	207.0	15.2	21.5	4.9%	21.4%	76.0%
	D4	195.2	14.2	21.6	12.3%	3.1%	78.0%
400%	E1	213.2	15.4	22.1	8.7%	0.0%	80.0%
	E2	202.5	15.1	22.0	10.1%	1.8%	84.0%
	E3	221.3	16.3	21.5	6.7%	1.0%	78.0%
	E4	219.2	16.0	21.6	18.4%	0.0%	90.0%

Tabla 10. Resultados de cada tratamiento a 6 horas con desviación estándar.

Tratamiento	Saturación (%)	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	Mortalidad (%)	Opacidad (%)	Homogeneidad (%)
Control	183.98 ± 14.60	12.95 ± 0.90	22.75 ± 1.02	6.40 ± 9.96	3.75 ± 3.85	91.48 ± 9.96
100%	174.28 ± 8.92	12.25 ± 0.61	23.03 ± 0.83	2.95 ± 2.12	2.60 ± 1.04	96.75 ± 1.39
200%	206.73 ± 8.39	14.63 ± 0.70	23.05 ± 0.68	0.93 ± 0.94	2.10 ± 1.31	97.98 ± 1.47
300%	221.65 ± 15.87	15.70 ± 1.01	23.08 ± 0.71	2.45 ± 1.97	1.83 ± 1.45	97.30 ± 0.96
400%	237.08 ± 16.93	16.68 ± 0.96	22.88 ± 0.77	6.95 ± 3.06	2.18 ± 0.83	95.45 ± 3.20

Tabla 11. Resultados de cada tratamiento a 6 horas con desviación estándar.

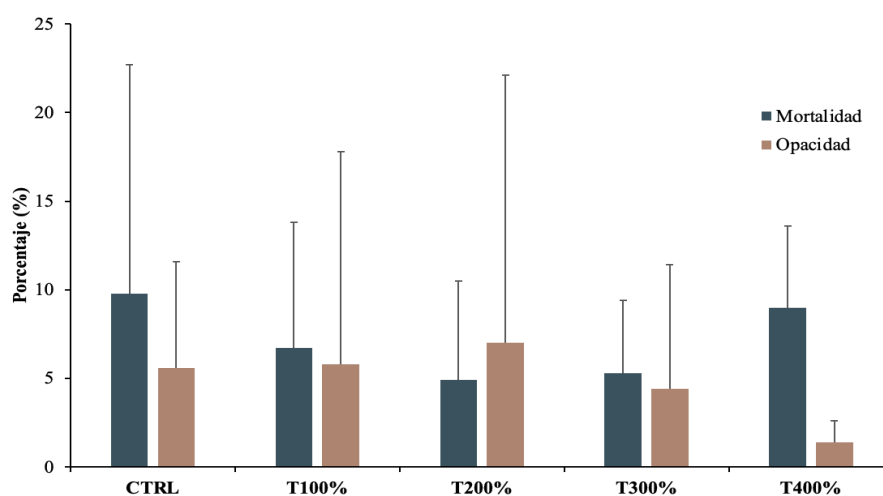
Tratamiento	Saturación (%)	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	Mortalidad (%)	Opacidad (%)	Homogeneidad (%)
Control	168.53 ± 13.63	12.05 ± 0.86	22.20 ± 0.90	13.28 ± 12.93	7.45 ± 6.50	81.00 ± 5.83
100%	173.20 ± 11.00	12.70 ± 0.87	22.23 ± 0.31	10.50 ± 7.49	9.08 ± 15.20	76.75 ± 8.44

200%	209.05 ± 4.14	15.00 ± 0.19	22.00 ± 0.25	8.95 ± 4.73	11.88 ± 18.73	71.50 ± 6.22
300%	204.40 ± 5.34	14.75 ± 0.36	21.98 ± 0.48	8.08 ± 3.07	6.95 ± 8.37	76.25 ± 4.71
400%	214.05 ± 7.30	15.70 ± 0.47	21.80 ± 0.25	10.98 ± 4.45	0.7 ± 0.75	83.00 ± 4.58

Tabla 12. Efecto de la saturación de oxígeno sobre la mortalidad, opacidad y homogeneidad en el desarrollo de huevos de huayaípe (*Seriola rivoliana*). Filas con el diferente superíndice indican diferencias significativas ($P < 0.05$)

Tratamiento de saturación	Mortalidad (%)	Opacidad (%)	Desarrollo homogéneo
CTRL	9,8±12,9	5,6±6,0	86,2±10,4
T100%	6,7±7,1	5,8±12,0	86,8±12,5
T200%	4,9±5,6	7,0±15,1	84,7±15
T300%	5,3±4,1	4,4±7,0	86,8±11,8
T400%	9,0±4,6	1,4±1,2	89,2±7,9

Evaluación de la saturación de oxígeno y el tiempo de transporte, los resultados obtenidos a través del ANOVA de dos vías mostraron que el tiempo de transporte tuvo un efecto significativo, mientras que la saturación de oxígeno no presentó influencia relevante. Al analizar los tratamientos de forma individual, considerando el porcentaje de saturación y el tiempo de transporte a 6 y 12 horas, se observaron diferencias estadísticas únicamente en la homogeneidad del desarrollo a las 12 horas.



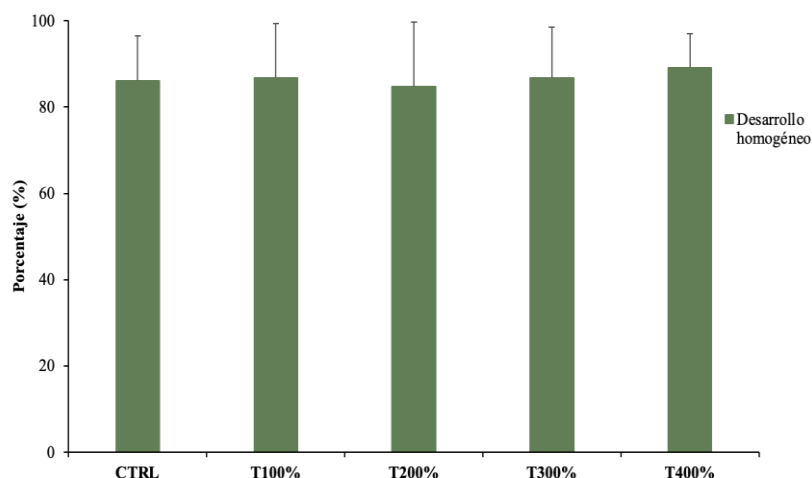


Figura 11. Efecto de la saturación de oxígeno sobre la mortalidad, opacidad y homogeneidad en el desarrollo de huevos de huayaie (*Seriola rivoliana*). Barras con diferente letra indican diferencias significativas ($P<0.05$).

En las condiciones de saturación intermedia, el aumento de oxígeno pareció generar un efecto adverso en la estabilidad del embrión, posiblemente relacionado con un estrés oxidativo o desequilibrios metabólicos.

Tras el análisis estadístico de los datos obtenidos, se seleccionaron los niveles de 100% y 400% para las siguientes fases experimentales, ya que representaron los extremos más favorables en términos de desarrollo embrionario homogéneo, mínima incidencia de deformidades y tasas de mortalidad más bajas. Estos resultados proporcionan un marco inicial para optimizar los parámetros de transporte de huevos fertilizados en condiciones controladas.

Tabla 13. Efecto del tiempo de transporte sobre la mortalidad, opacidad y homogeneidad en el desarrollo de huevos de huayaie (*Seriola rivoliana*). Filas con el diferente superíndice indican diferencias significativas ($P<0.05$)

Tiempo	Mortalidad (%)	Opacidad (%)	Desarrollo homogéneo
6 h	3,9±5,5 ^b	2,5±2,2	95,8±5,5 ^a
12 h	10,4±7,8 ^a	7,2±12,7	77,7±7,5 ^b

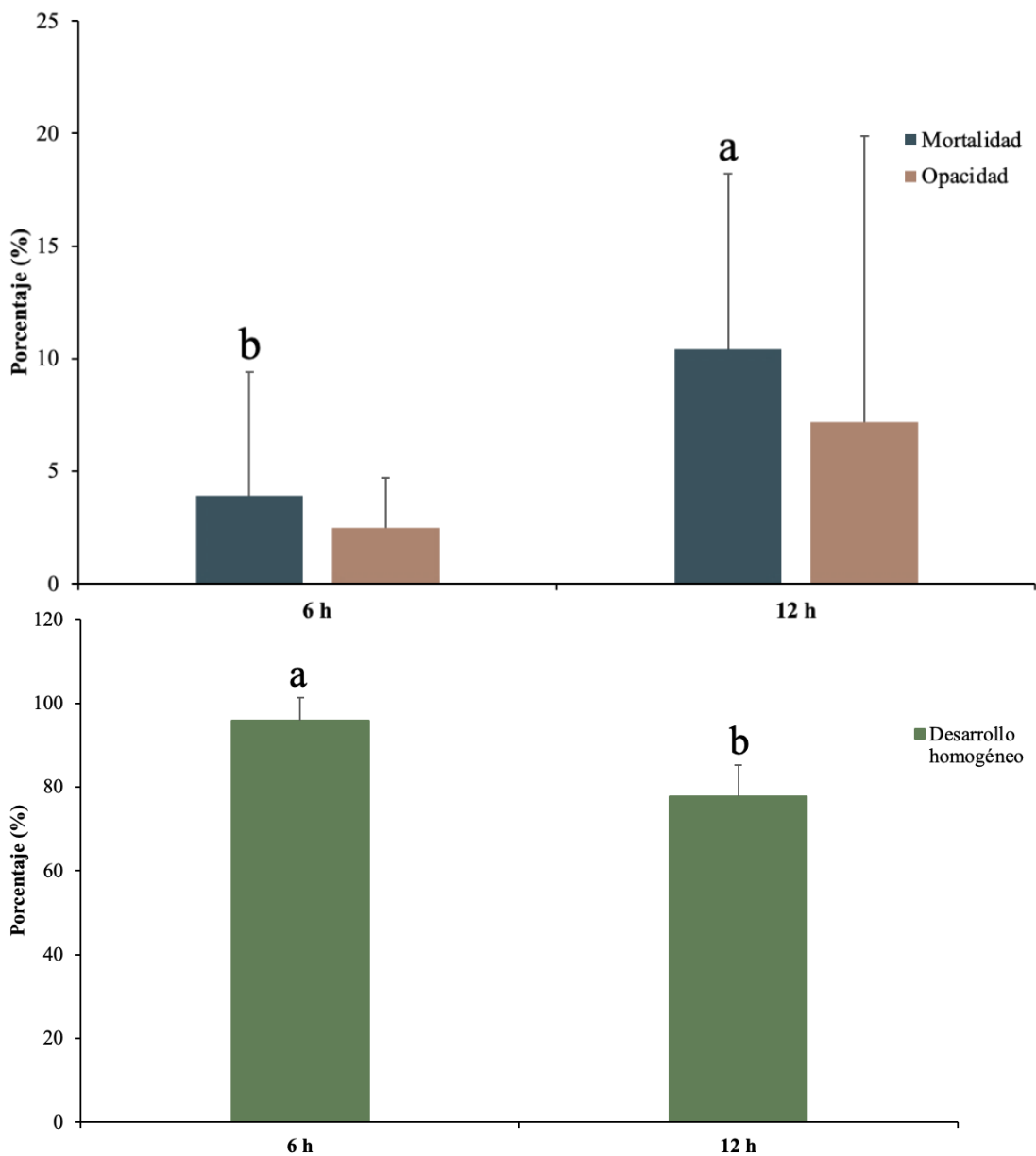


Figura 12. Efecto del tiempo de transporte sobre la mortalidad, opacidad y homogeneidad en el desarrollo de huevos de huayaie (*Seriola rivoliana*). Barras con diferente letra indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

Analizando las gráficas, principalmente se denota como la mortalidad y opacidad se triplica de 6 a 12 horas, por lo que claramente hay una desventaja para los huevos fertilizados que pasaron más tiempo, entonces se vuelve menos recomendable que el transporte sea mayor de 6 horas.

Tabla 14. Efecto de la saturación de oxígeno y el tiempo de transporte sobre la mortalidad, opacidad y homogeneidad en el desarrollo de huevos de huayaípe (*Seriola rivoliana*). Filas con el mismo superíndice indican la ausencia de diferencias significativas.

Tratamiento Saturación	Tiempo	Mortalidad (%)	Opacidad (%)	Desarrollo homogéneo
CTRL	6 h	6,4±11,5	3,8±4,5	91,5±11,5
T100%	6 h	3,0±2,4	2,6±1,2	96,8±1,6
T200%	6 h	0,9±1,1	2,1±1,5	98,0±1,7
T300%	6 h	2,5±2,3	1,8±1,7	97,3±1,1
T400%	6 h	7,0±3,5	2,2±1,0	95,5±3,7
CTRL	12 h	13,3±14,9	7,5±7,5	81,0±6,7 ^a
T100%	12 h	10,5±8,6	9,1±17,6	76,8±9,7 ^{ab}
T200%	12 h	9,0±5,5	11,9±21,6	71,5±7,2 ^b
T300%	12 h	8,1±3,5	7,0±9,7	76,3±5,4 ^{ab}
T400%	12 h	11,0±5,1	0,7±0,9	83,0±5,3 ^{ab}

3.3 Evaluación de supervivencia larval

La experimentación tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes niveles de saturación de oxígeno durante el transporte de huevos fertilizados de *Seriola rivoliana* sobre la tasa de eclosión y el desarrollo larval temprano. Se implementarán dos tratamientos principales: saturación de oxígeno al 100% y al 400%, además de un grupo control sin modificación del nivel de oxígeno, con el fin de comparar los resultados y determinar el efecto de la hiperoxia. Los huevos fertilizados se distribuyeron de manera aleatoria en bolsas plásticas de transporte selladas, conteniendo un volumen estándar de agua y la concentración de oxígeno correspondiente a cada tratamiento.

Las bolsas se mantuvieron en condiciones de temperatura controlada y serán manipuladas cuidadosamente para evitar fluctuaciones físicas que puedan afectar los resultados. Los tiempos de exposición se dividieron en dos grupos: transporte durante 6 horas y transporte durante 12 horas, permitiendo evaluar si la duración del transporte bajo distintas saturaciones de oxígeno influye significativamente en la viabilidad de los embriones.

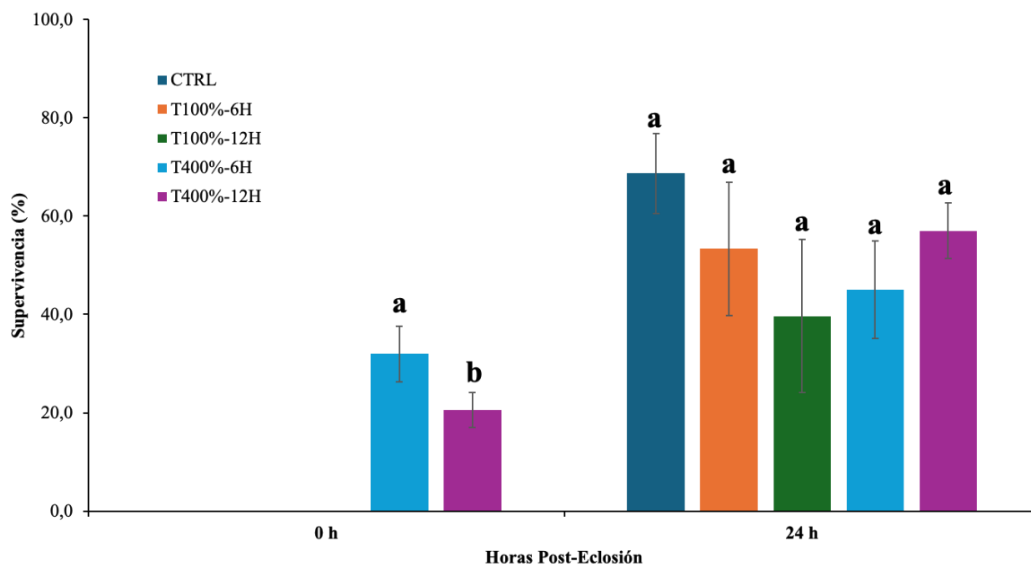


Figura 13. Primera supervivencia larval en tratamientos de 100 y 400% de saturación.

Los datos presentan una alta variabilidad, por lo que únicamente se consideró el tiempo “0” para resaltar que los tratamientos con saturación al 400% registraron eclosión anticipada. Para el tiempo de 24 horas, no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

Esta fase de primera supervivencia larval permitió identificar posibles efectos subletales que pudieron manifestarse tras la eclosión y que estuvieron asociados a la exposición a niveles elevados de oxígeno durante el transporte. El grupo control sirvió como referencia para determinar si las variaciones en la saturación de oxígeno y el tiempo de exposición generaron diferencias significativas en comparación con las condiciones estándar de transporte. Los datos obtenidos fueron analizados mediante herramientas estadísticas para evaluar la existencia de diferencias significativas entre los dos tratamientos y tiempos de exposición (6 y 12 horas). Esto permitió establecer si la saturación de oxígeno al 400% resultó beneficiosa o perjudicial para la supervivencia y calidad larval en relación con la saturación al 100%.

Analizando el gráfico de supervivencia se pudo observar que hubo larvas eclosionadas, justo después de la siembra, en los dos tratamientos de 400% de saturación, lo que implica un adelanto en su desarrollo que puede perjudicar el envío haciendo que haya pérdidas por mortalidad cuando estas larvas consuman totalmente su saco vitelino y no tengan alimentación exógena en el medio de transporte.

3.4 Análisis económico

Recopilando datos de CENAIM se pudo armar un cuadro de relación de costo beneficio en la implementación de este protocolo en su totalidad. Hubo mejoras en supervivencia lo que se traduce en mayor productividad del envío para los centros de engorde de piscicultura.

Para empezar, el valor de 100 mil huevos fertilizados de huayaie en el mercado ronda en promedio los USD \$500. Tomando en cuenta que CENAIM, donde se ha aplicado el protocolo, alcanza una capacidad fértil por parejas de *S. rivoliana* de hasta 800 mil huevos por envío, cada dos días, que en una semana rinde hasta 2'400000, esto refleja una ganancia de USD \$12000 en bruto (Tabla 15), es decir sin restar gastos de producción y logística de envío. (Tabla 16).

Tabla 15. Costo en el mercado real de los huevos de huayaie.

Número de embriones	Valor en mercado (USD)
100000	\$500.00
Capacidad de producción	Ganancia semanal (USD)
2400000	\$12,000.00

Tabla 16. Gastos realizados para las pruebas.

Artículos	Cantidad de ítems	Costo unitario	Total	Gasto general
fundas	88	0.67	\$58.96	
cartones	88	0.15	\$13.20	
ligas	176	0.004	\$0.70	
tanque de oxígeno	1	200	\$200.00	
piedras difusoras	5	2	\$10.00	
jarras	3	2.5	\$7.50	
mangueras	6	0.5	\$3.00	\$293.364

Tabla 17. Ganancias estimadas con las supervivencias ajustadas después del protocolo.

Método	Tasas de mortalidad	Lote semanal	Utilidad	Ganancias/mes
Sin protocolo	13.30%	2080800	\$10,404.00	\$44,737.20
Con protocolo	0.90%	2378400	\$11,892.00	\$51,135.60

Haciendo una comparación entre los resultados entre método tradicional (sin control) y con protocolo existe un aumento de USD \$6398.40 en ganancia al mes por su aplicación, es decir un margen de utilidad de 12.5% mayor que el regular, representado una optimización de recursos con incremento de productividad para el centro de maduración y también para los de engorde.

CAPÍTULO 4

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio permiten establecer lineamientos óptimos para la saturación de oxígeno en el transporte de huevos fertilizados de *Seriola rivoliana*, con el fin de minimizar la mortalidad y maximizar la viabilidad del desarrollo embrionario.

En la fase exploratoria, se evidenció que la técnica de inyección de oxígeno directamente en la masa de agua presentó un mejor desempeño en términos de retención de oxígeno disuelto y estabilidad del medio de transporte en comparación con la inyección en la masa de aire. Los valores obtenidos indicaron que el tratamiento con inyección de oxígeno en el agua, manteniendo una temperatura promedio de 23°C y volúmenes de entre 1 y 2 litros, fue la opción más efectiva. El tratamiento T6 se destacó al mantener niveles de saturación superiores al 200% después de 24 horas sin actividad, evidenciando su potencial como estrategia ideal para garantizar la calidad del medio de transporte.

Durante la fase experimental, se analizaron diferentes niveles de saturación de oxígeno (100%, 200%, 300% y 400%) en tiempos de transporte de 6 y 12 horas. Se observó que los tratamientos con 100% y 400% de saturación presentaron mayores tasas de desarrollo normal y menor incidencia de anomalías en comparación con los niveles intermedios (200% y 300%). Sin embargo, en tiempos prolongados de transporte, los niveles más altos de saturación (>300%) tendieron a incrementar la mortalidad y afectar la homogeneidad del desarrollo embrionario.

El análisis estadístico confirmó que el tiempo de transporte tuvo un impacto significativo en la estabilidad de los parámetros evaluados, mientras que la saturación de oxígeno mostró una influencia dependiente del nivel aplicado. Esto sugiere que, si bien una mayor saturación puede ser beneficiosa en el corto plazo, su efecto prolongado puede no ser favorable para el desarrollo embrionario.

En conclusión, se recomienda el uso de la técnica de inyección de oxígeno en la masa de agua con una saturación entre 100% y 200% para transportes de hasta 12 horas, asegurando condiciones óptimas para la viabilidad de los huevos fertilizados de *Seriola rivoliana*. Estos hallazgos proveen una base para futuros estudios enfocados en optimizar el transporte larvario y mejorar las tasas de supervivencia en el cultivo de esta especie.

BIBLIOGRAFÍA

5. Bibliografía

- Animalia. *Seriola rivoliana*. (2025). Obtenido de: <https://animalia.bio/es/longfin-yellowtail>
- ARAP. Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá. (2022). Informe de pesca y acuicultura 2022.
- Blacio, E. (28 de febrero de 2005). Cultivo de huayaipe (*Seriola rivoliana*) en piscinas de tierra y piscinas cubiertas con geomembrana. *Dspace*. Obtenido de Dspace
- Blacio, E. (junio de 2003). Avances en el cultivo de huayaipe, *seriola rivoliana* (valeciennes 1833), en las instalaciones del cenaim. *Dspace*. Obtenido de Dspace
- Bocek, A. (s.f.). *Transporte de peces*. Alabama: International Center for Aquaculture.
- CENAIM. (2024). Líneas de Investigación. Diversificación. Cultivo de peces marinos.
- Chele, F., Vera, V., Blacio, E. (2009). CULTIVO DE HUAYAIPE, *Seriola rivoliana*, EN PISCINAS PROVISTAS DE GEOMEMBRANAS.
- Grossi, E. (s.f). Centro de Investigación en Acuicultura. Islas Canarias, España. (2009). Desarrollo embrionario y estudio morfométrico de la fase lecitotrófica de larvas de medregal negro (*Seriola rivoliana* Valenciennes, 1883)
- Espinoza, N., Escala, E., Blacio, E. (2009). Estudio de la factibilidad técnica y económica del cultivo de huayaipe (*Seriola rivoliana*) en piscinas con y sin geomembranas. *Dspace*. Obtenido de Dspace.
- FAO. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. La sostenibilidad en acción. Roma.
- FAO. (2024). Transporte de peces vivos. Guía FAO.
- FAO. (1981). El transporte en la propagación de peces. Propagación artificial de peces de aguas templadas.

- FAO. (2024). Informe de la FAO: La producción pesquera y acuícola mundial alcanza un nivel sin precedentes.
- García, K., García, F. (2020). ESTRUCTURA GENÉTICA POBLACIONAL DEL JUREL (*Seriola rivoliana* Valenciennes 1833) EN EL PACÍFICO MEDIANTE EL USO DE MICROSATÉLITES.
- HLPE. (2014). La pesca y la acuicultura sostenibles para la seguridad alimentaria y la nutrición.
- Ramos, S., Aguilar, B. (2022). Diseño de un protocolo para el transporte de huevos de Huayaipe (*Seriola rivoliana*) en su fase de pre-eclosión.
- Sinche, F. (2 de marzo de 2009). *Dspace*. Obtenido de Dspace: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/1569>
- Stuarta, K., Losordo, M., Olin, P., & Puente, M. (24 de May de 2018). Optimizing procedures for shipping marine fish eggs using white seabass, *Atractoscion nobilis*, as a model. San Diego, California, United States.
- P.J Levels, R.E.M.B Gubbels, J.M Denucé. (1986). Oxygen consumption during embryonic development of the annual fish *Nothobranchius korthausae* with special reference to diapause, comparative Biochemistry and Physiology, Pages 767-770.