



ESCUELA DE DOCTORADO
INTERNACIONAL DE LA USC

Rodrigo
Burgos Vega

Tesis doctoral

MODELO DE
DIMENSIONAMIENTO PARA
PROYECTOS DE
ACUICULTURA DE PEQUEÑA
ESCALA CON *Magallana gigas*
TRIPLOIDE

Santiago de Compostela, 2025

TESIS DOCTORAL

**MODELO DE DIMENSIONAMIENTO PARA
PROYECTOS DE ACUICULTURA DE PEQUEÑA
ESCALA CON *Magallana gigas* TRIPLOIDE**

Autor

Rodrigo Burgos Vega

Directores: Dr. Manuel Rey Méndez y Dr. Javier Quinteiro Vázquez

Tutora: Dra. María de la Luz Pérez-Parallé Mera

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS, TECNOLOGÍAS Y GESTIÓN

SANTIAGO DE COMPOSTELA



AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento al **Dr. Manuel Rey Méndez**, director de esta tesis y del **Laboratorio de Sistemática Molecular (CIBUS)**, miembro del **Departamento de Bioquímica y Biología Molecular** y del **Instituto de Investigación del Medio Acuático para una Salud Global (iARCUS)** de la **Universidad de Santiago de Compostela**, cuya guía, apoyo y acompañamiento constante, han sido fundamentales en la realización de este trabajo. Su compromiso, generosidad y disposición para compartir su conocimiento han dejado una huella imborrable en este proceso.

A mi codirector, el **Dr. Javier Quinteiro Vázquez**, del **Laboratorio de Sistemática Molecular (CIBUS)**, miembro del **Instituto de Investigación del Medio Acuático para una Salud Global (iARCUS)** de la **Universidad de Santiago de Compostela**, por sus valiosos consejos y respaldo, que han enriquecido el desarrollo de esta investigación con su experiencia y visión académica.

A la **Dra. María de la Luz Pérez-Parallé Mera**, del **Departamento de Bioquímica y Biología Molecular** y del **Instituto de Investigación del Medio Acuático para una Salud Global (iARCUS)** de la **Universidad de Santiago de Compostela**, tutora de esta tesis doctoral, por su constante apoyo y orientación a lo largo de este camino.

Asimismo, extendiendo mi gratitud a todas las personas e instituciones que, de una u otra manera, han contribuido con su tiempo, conocimientos y aliento, haciendo posible la culminación de esta investigación.

*A mi esposa, Mary Fe, por su amor y apoyo inquebrantables.
A mis hijos, Camila y Andrés, por ser mi mayor inspiración.
A mi padre y a la memoria de mi madre, cuyo legado me
acompaña siempre.*

RESUMEN

Este estudio desarrolla y valida un modelo de dimensionamiento para proyectos de acuicultura de pequeña escala, aplicado al cultivo suspendido de la ostra rizada triploide (*Magallana gigas*). Su propósito es optimizar la planificación de infraestructura mediante el cálculo de la cantidad de linternas y *longlines* necesarios en cada fase del proceso productivo. La validación del modelo se realizó a través del seguimiento de la siembra de un lote de 600.000 ostras triploides en un cultivo experimental de 40 semanas, en el que se evaluaron la supervivencia, el crecimiento y la evolución de la densidad de siembra. La mortalidad acumulada fue del 42,37%, en línea con la estimación teórica del 40,64%, lo que confirma la precisión del modelo.

Desde una perspectiva económica, se realizó un análisis financiero utilizando los datos del modelo y del cultivo experimental el cual demostró la viabilidad de un proyecto de estas características situado en España, con una Tasa Interna de Retorno (TIR) superior al 10%. No obstante, el análisis de sensibilidad reveló que el precio de venta y el nivel de producción son factores críticos para la rentabilidad, mientras que los costos operativos tienen un impacto menor. La aplicación del modelo permite no solo optimizar la inversión inicial, sino también proyectar con precisión la reinversión en materiales de cultivo y evaluar escenarios de crecimiento sin comprometer la sostenibilidad del sistema.

Este modelo no solo representa una herramienta técnica para mejorar la eficiencia productiva, sino que también responde a la necesidad de diseñar proyectos de acuicultura con una visión más inclusiva y sostenible. En contextos donde la acuicultura de pequeña escala tiene un impacto social significativo, la evaluación de su viabilidad no puede depender exclusivamente de criterios financieros tradicionales. La capacidad del modelo para reducir la incertidumbre y optimizar los recursos lo convierte en un instrumento clave para el desarrollo de proyectos acuícolas sostenibles, alineados con objetivos de seguridad alimentaria, generación de empleo y fortalecimiento de economías locales.

ABSTRACT

This study develops and validates a dimensioning model for small-scale aquaculture projects, specifically applied to the suspended cultivation of triploid Pacific oysters (*Magallana gigas*). Its objective is to optimize infrastructure planning by accurately calculating the number of lantern nets and longlines required at each stage of the production process. The model was validated through the monitoring of a batch of 600,000 triploid oysters in a 40-week experimental cultivation, where survival, growth, and changes in stocking density were assessed. The accumulated mortality rate was 42.37%, closely aligning with the theoretical estimate of 40.64%, thereby confirming the model's accuracy.

From an economic perspective, a financial analysis was conducted using data from both the model and the experimental cultivation, demonstrating the feasibility of a project of this nature in Spain, with an Internal Rate of Return (IRR) exceeding 10%. However, sensitivity analysis revealed that sales price and production levels are critical factors for profitability, whereas operating costs have a relatively lower impact. The application of this model not only optimizes initial investment but also enables precise forecasting of reinvestment in cultivation materials and evaluation of growth scenarios without compromising system sustainability.

Beyond serving as a technical tool for improving production efficiency, this model also addresses the need for designing aquaculture projects with a more inclusive and sustainable perspective. In contexts where small-scale aquaculture has a significant social impact, its viability assessment cannot rely solely on conventional financial criteria. The model's ability to reduce uncertainty and optimize resource allocation makes it a key instrument for the development of sustainable aquaculture projects aligned with food security objectives, job creation, and the strengthening of local economies.

LISTA DE ABREVIATURAS Y ACRÓMIMOS

Af	Largo final de la concha
Ag	Largo de cabo para guarda cabos
Ai	Largo inicial de la concha
Ap	Metros de cabo para amarrar boyas
Bp	Número de boyas de profundidad
Bs	Número de boyas superficie
CL	Capacidad de linternas por <i>longline</i>
Do	Densidad inicial ostras por piso
Di	Densidad de ostras por piso en el momento i
Dn	Número de ostras por pisos en el volteo n
Epv	Equivalente Peso Vivo
Eph	Equivalente Peso Húmedo
ET	Extensión total de cabo
ETb	Extensión total de cabos para boyas
ETbp	Extensión total de cabos para boyas de profundidad
F	Factor de ajuste ecuación 1
Fr	Factor de relación
i	Número de volteos en una fase específica del cultivo
IRN	Índice de Rentabilidad Neto
L	Linternas
Li	Número inicial de linternas sembradas de cualquier diámetro y forma
Lmáx	Número máximo de linternas colgadas en el <i>longline</i>
Ln	Número de linternas que serán sembradas tras el volteo n
m	Tasa de mortalidad semanal
máx	Valor máximo ecuación 1
Mv	Porcentaje de mortalidad entre volteos
No	Número inicial de ostras calculado
NL	Numero de <i>longlines</i> necesarios
NVa	Número inicial de ostras sembradas en el volteo anterior
NVf	Número inicial de ostras sembradas en el volteo actual
NVn	Cantidad de estimadas en el volteo n
Np	Número de linternas que serán sembradas tras el volteo n
P	Número de pisos por linterna
r	Porcentaje de reducción de densidad
s	Número de semanas entre volteos
SL	Separación entre linternas en un <i>longline</i>
Stf	Sobrevivencia total de la fase
ROE	Rentabilidad sobre el Patrimonio Neto
ROA	Rentabilidad sobre los Activos
T	Número de días

TC	Tasa de crecimiento diaria
TIR	Tasa Interna de Retorno
ts	Número total de semanas que dura la fase de cultivo
VAN	Valor Actual Neto
ZL	Profundidad de trabajo del <i>longline</i>
Zm	Profundidad en metros de la zona de instalación.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 ESTADO ACTUAL DE LA ACUICULTURA	10
1.2 EL ROL DE LOS BIVALVOS EN LA ALIMENTACIÓN GLOBAL	15
1.3 ACUICULTURA DE PEQUEÑA ESCALA - APE	16
1.4 LOS MOLUSCOS BIVALVOS Y SU POTENCIALIDAD EN LA APE	18
1.5 POTENCIAL DE <i>MAGALLANA GIGAS</i> TRIPLOIDE	20
2. OBJETIVO GENERAL	25
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE CULTIVO CON <i>LONGLINE</i>	26
3.2 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA <i>LONGLINE</i> UTILIZADO EN ESTE ESTUDIO	27
3.2.1 <i>Metodología básica de trabajo con longlines</i>	31
3.3 MODELO DE CÁLCULO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE <i>LONGLINES</i>	33
3.3.1 <i>Número de linternas</i>	33
3.4 SOBREVIVENCIA TOTAL POR FASE DE CULTIVO	36
3.4.1 <i>Número de longlines</i>	36
3.4.2 <i>Cálculo de la extensión total de cabo para longline</i>	37
3.5 APLICACIÓN DEL MODELO PARA UN CENTRO DE CULTIVO	39
3.5.1 <i>Supuestos para el cálculo del número de linternas</i>	39
3.5.1.1 Linternas 3 mm	39
3.5.1.2 Linterna 7 mm	41
3.5.1.3 Linterna 12 mm	42
3.5.1.4 Linterna 21 mm	43
3.6 CULTIVO DE <i>MAGALLANA GIGAS</i> TRIPLOIDE EN <i>LONGLINE</i>	45
3.6.1 <i>Ubicación y condiciones del estudio</i>	45
3.6.2 <i>Fase de cultivo</i>	45
3.6.2.1 Estimación de la Mortalidad	47
3.6.2.1 Fase Inicial: Linternas de 3 mm	47
3.6.2.2 Fase Intermedia I: Linternas de 7 mm	48
3.6.2.3 Fase Intermedia II: Linternas de 12 mm	49
3.6.2.4 Fase de Engorde: Linternas de 21 mm	49
3.7 EVALUACIÓN ECONÓMICO-FINANCIERA DEL CULTIVO	49
4. RESULTADOS	53
4.1 DIMENSIONAMIENTO DE LINTERNAS Y <i>LONGLINES</i>	53
4.2 FASE DE CULTIVO	55
4.3 EVALUACIÓN ECONÓMICO-FINANCIERA DEL CULTIVO	64
4.3.1 <i>Inversiones</i>	64
4.3.1 <i>Costos fijos y variables</i>	66
4.3.2 <i>Ingresos</i>	67
4.3.3 <i>Cuenta de resultados</i>	68

4.3.4	<i>Evaluación de rentabilidad</i>	70
4.3.5	<i>Punto de equilibrio</i>	70
4.3.6	<i>Análisis de sensibilidad</i>	71
4.3.6.1	Análisis univariante	71
4.3.6.2	Impacto Financiero por mortalidad sorpresiva	73
5.	DISCUSIÓN	76
5.1	MODELO DE CÁLCULO DE DIMENSIONAMIENTO.....	76
5.2	CULTIVO	79
5.3	EVALUACIÓN ECONÓMICA-FINANCIERA	84
6.	CONCLUSIONES	92
7.	REFERENCIAS.	94
	ANEXOS	110
	ANEXO I. MEMORIA DE CÁLCULO.....	110

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ESTADO ACTUAL DE LA ACUICULTURA

En los últimos 70 años la producción mundial de la pesca y acuicultura ha mantenido un crecimiento positivo aportando alimentos de alta calidad para el consumo mundial. De acuerdo al último reporte de la FAO sobre el estado mundial de la pesca y la acuicultura (tabla 1), en el 2022 se batió un nuevo récord de producción alcanzando los 223,2 millones de toneladas epv¹, que en valor representan algo más 448.258 millones €. La producción mundial se distribuye en 185,4 millones de toneladas de animales acuáticos y 37,8 millones de toneladas eph² de algas, lo que supone un aumento de un 4,4% en comparación con el 2020 (figura 1). La producción de origen marino alcanzó los 115 millones de toneladas, aportados en un 69,3% por la pesca y en un 30,7% por la acuicultura. Un poco más de 70,4 millones de toneladas provienen de aguas continentales, aportados mayoritariamente por la acuicultura (83,9%) y seguidos por la pesca (16,1%). Si bien la cifra global nos indica que en el 2022 la producción mundial de animales por acuicultura superó a la pesca alcanzando los 94,4 millones de toneladas, equivalente al 50,9% de la oferta mundial de productos pesqueros, lo cierto es que la acuicultura continental fue la que aportó la mayor cantidad de toda la oferta acuícola con 59,1 millones de toneladas (62,6%). Por otra parte, la pesca marina con un aporte de 79,4 millones de toneladas continúa siendo la principal fuente de suministros de animales acuáticos (FAO, 2024a). De la producción total de pescados y mariscos por pesca y acuicultura en el 2022, algo más de 164,6 millones de toneladas; equivalentes al 88,8%, fue

¹ Epv: Equivalente en peso vivo

² Eph: Equivalente en peso húmedo

utilizada para consumo humano y los 20,8 millones de toneladas restantes; principalmente pescados, fueron destinados a la producción de harina y aceite de pescado.

El consumo aparente per cápita mundial calculado con la oferta total de alimentos acuáticos destinados a consumo humano (164.6 millones de toneladas) dividido por la población mundial, nos indica que en el 2022 el consumo aparente fue de 20,7 kg/persona/año, una cifra muy alejada de los 9,0 kg per cápita registrado en los años 60 (FAO, 2024a). Desde la década de los 50 el consumo aparente de alimentos de origen acuático ha crecido significativamente a una tasa de crecimiento anual superior al de la población mundial.

Tabla 1. Estado actual de la pesca y la acuicultura 2024 de acuerdo a las series estadísticas de la FAO. Elaboración propia a partir de las series estadísticas de la FAO (FAO, 2024b).

Producción mundial pesca y acuicultura	223,2 millones t.
<i>Peces y mariscos</i>	<i>185,4 millones t</i>
<i>Algas</i>	<i>37,8 millones t.</i>
Producción marina	115 millones t
<i>Pesca marina</i>	<i>79,7 millones t (69,3%)</i>
<i>Acuicultura marina</i>	<i>35,3 millones t (30,7%)</i>
Producción continental agua dulce	70,4 millones t
<i>Pesca agua dulce</i>	<i>11,3 millones t (11,3%)</i>
<i>Acuicultura agua dulce</i>	<i>59,1 millones t (83,9%)</i>
Total mundial peces y mariscos	185,4 millones t
<i>Total mundial pesca</i>	<i>91 millones t (49,1%)</i>
<i>Total mundial acuicultura</i>	<i>94.4 millones t (50,9%)</i>
Total mundial peces y mariscos	185,4 millones t
<i>Total producción para consumo humano</i>	<i>164,6 millones t (88,8%)</i>
<i>Total producción para otro uso</i>	<i>20,8 millones t (11,2%)</i>

Ciertamente, los avances tecnológicos, el aumento de las capturas, la distribución y el crecimiento constante de la acuicultura han contribuido significativamente a la seguridad alimentaria y al impulso del crecimiento continuo del consumo aparente. No obstante, el consumo presenta enormes diferencias entre los países determinados por una serie de factores; como costumbres regionales, sociales, productivos y económicos. La Unión Europea, después de China, es el segundo mayor centro comercial del mundo de pescados y mariscos, con importaciones anuales promedio de 6,1 millones de toneladas y desembolsos que superan los 25 mil millones de € de media (figura 2). Este volumen sumado a su producción interna, ha elevado el consumo aparente per cápita de la región a una media de 23,5 kg. Sin embargo, los 27 países miembros presentan marcadas diferencias en sus niveles de consumo aparente. Portugal lidera la lista como el mayor consumidor de la Unión, con cifras que oscilan entre 55 y 60 kg per cápita, seguido de España con 42 kg y Francia con 32,5 kg. Por otro lado, ocho países de la Unión presentan consumos inferiores a 12,5 kg per cápita y uno por debajo de 6,0 kg (EUMOFA, 2024).

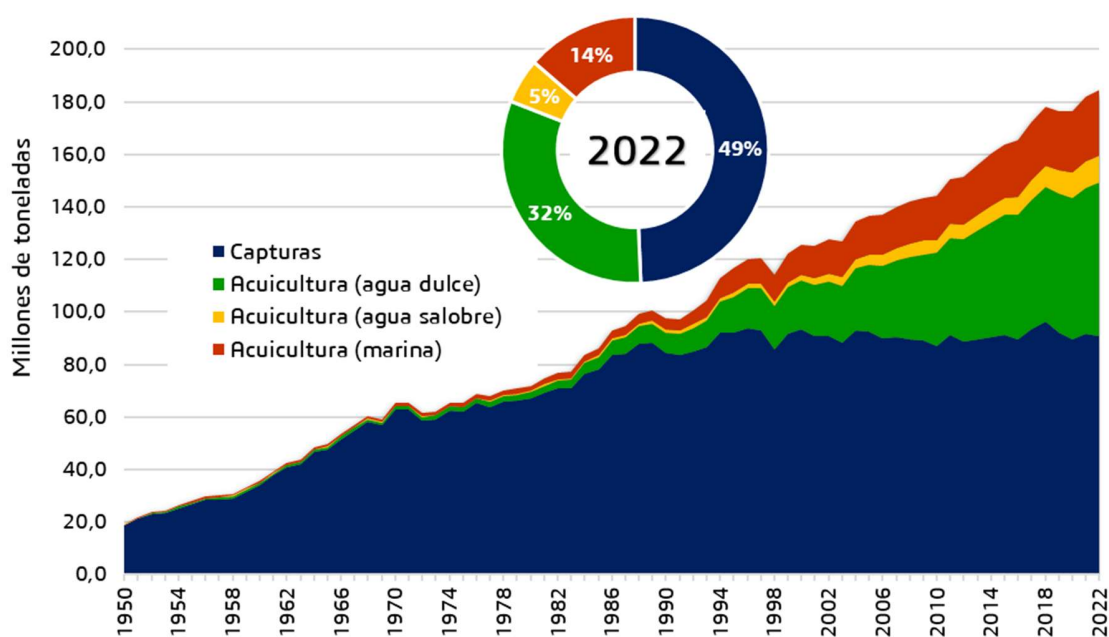


Figura 1. Producción mundial de pescados y mariscos en millones de toneladas provenientes de la pesca y la acuicultura (sin contabilizar las algas, plantas acuáticas, mamíferos marinos, anfibios y reptiles). Elaboración propia a partir de las series estadísticas de la FAO (FAO, 2024b).

Estos valores son similares al consumo aparente que podemos observar en países de ingresos medios (12,5 kg/año) y de ingresos bajos (5,5 kg/año) situados en América latina – el Caribe y África. Las diferencias en el consumo aparente entre países reflejan no solo variaciones en el ingreso disponible, sino también la diversidad de especies disponibles en los mercados locales. En Asia, por ejemplo, la alta accesibilidad a peces de agua dulce debido a la expansión de la acuicultura ha permitido un consumo sostenido en sectores de bajos ingresos, mientras que, en Europa y Norteamérica, las preferencias por especies demersales y de mayor valor de mercado predominan, moldeando el consumo de acuerdo con las tradiciones culturales y la capacidad adquisitiva (Naylor et al., 2021).

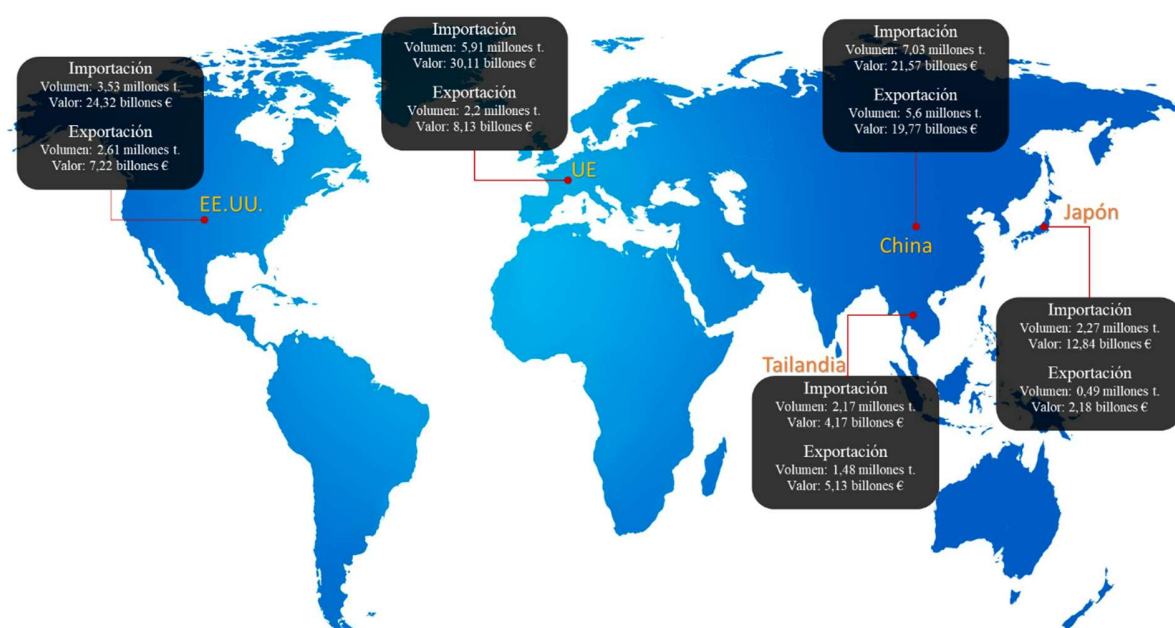


Figura 2. Flujos comerciales en volumen (millones toneladas) y valor (miles de millones de euros) de los 5 principales mercados de los productos de la pesca y de la acuicultura en el mundo. Elaboración propia a partir de los datos de EUMOFA (2024).

Las diferencias entre ambos escenarios con niveles de ingresos muy diferentes se pueden atribuir a varios factores tales como, el volumen de la población, la disponibilidad de alimento, preferencia por otras fuentes de proteína, grado de urbanización, proximidad a las zonas productivas, vías de distribución, diferencias de precios y nivel de ingresos (FAO, 2024a; Tacon & Metian, 2018). Cabe

destacar que el comercio internacional desempeña un papel crucial en equilibrar estas disparidades. Países como Nigeria han incrementado significativamente su dependencia de las importaciones de pescado congelado para satisfacer la demanda interna, dado que su producción doméstica no ha crecido al ritmo de su población. En contraste, países como India, aunque con un consumo per cápita menor, son grandes exportadores de crustáceos, lo que refleja las dinámicas de oferta y demanda en mercados globales. Lamentablemente, el consumo aparente oculta un desequilibrio aún más profundo en el acceso a la alimentación. Según estimaciones, entre el 8,9 % y el 9,4 % de la población mundial, es decir, entre 713 y 757 millones de personas, podrían haber padecido hambre en 2023 (FAO et al., 2024). Además, alrededor de 700 millones de personas subsisten con menos de 2,08 € al día, cifra que define la línea de la pobreza extrema en países de bajos ingresos (Banco Mundial, 2024). Sin duda, los cambios en los ingresos disponibles influyen en el poder adquisitivo de las personas, lo que a su vez afecta el comportamiento de consumo de alimentos como el pescado. Issifu et al. (2022) en un análisis global sobre el consumo de pescados en 151 países determinaron que un aumento del 10% en el ingreso disponible per cápita se asocia con un incremento del 5% en el consumo aparente de pescado. Por el contrario, un aumento del 10% en el precio del pescado doméstico genera una reducción del 8% en el consumo per cápita.

Las proyecciones de la ONU sobre el crecimiento de la población mundial indica que se alcanzarán los 9,8 billones de personas en el 2050, pero con crecimientos completamente asimétricos entre países, concentrándose más de la mitad del aumento de la población mundial en solo 8 países, clasificados todos ellos como países de bajos y medios ingresos. En general, se prevé que los países del África subsahariana contribuyan con más de la mitad del aumento previsto para el 2050 (Zarocostas, 2022).

Ciertamente es la acuicultura la que asume el gran desafío de mantener el actual nivel de consumo aparente per cápita para el 2050 junto con la pesca y la explotación de nuevos recursos, momento en el cual se requerirán más de 30 millones de toneladas extras de productos pesqueros si se quiere mantener el actual consumo per cápita. Sin embargo, estudios recientes muestran que las tasas de crecimiento de la acuicultura han alcanzado su pico y están en declive, con un promedio global actual de crecimiento del 2% anual, insuficiente para satisfacer la demanda proyectada.

Entre 2000 y 2019, la tasa de crecimiento global de la producción acuícola disminuyó significativamente, pasando de un promedio anual del 6.1 % en la primera década al 4.9 % en la segunda, lo que refleja un agotamiento de los factores que impulsaron el crecimiento inicial (Verdegem et al., 2023). Para que la acuicultura cubra las necesidades globales, su producción tendría que triplicarse respecto a las proyecciones actuales para el 2030, lo cual se considera poco realista debido a limitaciones biológicas, económicas y técnicas, como el espacio, la dependencia de aceites y harinas de pescado, y la presión por enfermedades en cultivos intensivos (Sumaila et al., 2022). Además, el cambio climático añade presión a los sistemas acuícolas al alterar las temperaturas del agua y los ciclos de producción, exacerbando la vulnerabilidad de los cultivos intensivos a enfermedades y reduciendo la viabilidad en algunas regiones costeras.

A pesar de estas limitaciones, los alimentos provenientes del mar podrían contribuir entre el 12 % y el 25% del aumento necesario en la producción global de proteínas animales para alimentar a los 9.8 billones de personas en 2050, siempre y cuando se adopten estrategias sostenibles y tecnológicas en la acuicultura (Costello et al., 2020). Se prevé que todos los grupos de especies cultivadas actualmente continúen aumentando en producción, pero a velocidades diferentes entre los grupos. Tampoco podemos perder de vista que el 50% de la producción acuícola mundial está soportada por solo 12 especies; incluidas tres algas, seis especies de peces, dos moluscos y un crustáceo (Mair et al., 2023).

1.2 EL ROL DE LOS BIVALVOS EN LA ALIMENTACIÓN GLOBAL

Los bivalvos tienen un gran potencial para crecer significativamente y contribuir de manera sostenible a la seguridad alimentaria al proporcionar alimentos a un costo relativamente bajo con un reducido impacto ambiental (Vélez-Henao et al. 2021), en comparación con la producción de peces. Aquellas especies de niveles tróficos más complejos y que requieran mayores proporciones de aceite y harina de pescado crecerán más lentamente. Esto subraya la necesidad de diversificar los sistemas de producción hacia opciones más sostenibles, como la acuicultura multitrófica integrada, que combina especies alimentadas y no alimentadas para maximizar la eficiencia y reducir el impacto ambiental (Ahmed & Thompson, 2019; Verdegem et al., 2023). La misión de la acuicultura para garantizar el abastecimiento futuro de alimentos y contribuir al alivio del hambre

está profundamente ligada a una visión de sostenibilidad. Este sector desempeña un papel crucial en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030. Su impacto puede abarcar los 17 ODS, aunque su contribución más destacada se centra en tres áreas principales: Alivio de la pobreza, la erradicación del hambre y la mejora de la salud (ODS 1, 2 y 3), sin descartar los restantes (Bartley, 2022; Troell et al., 2023). El impacto de la acuicultura sobre la economía rural ha sido ampliamente analizado en la literatura científica, económica y en las políticas públicas y de cooperación internacional (Béné et al., 2016; Naldi, 2015). Es evidente la vinculación que se ha hecho en muchos de estos estudios entre la acuicultura y la reducción de la pobreza (Belton, 2013; Bondad-Reantaso & Subasinghe, 2013; Naldi, 2015; Nguyen et al., 2016).

Filipski & Belton (2018) creen que esta vinculación está compuesta por dos narrativas diferentes: La primera es la **acuicultura de pequeña escala (APE)** que utilizan pequeños productores de peces para su consumo propio, vendiendo los excedentes en el mercado local para conseguir ingresos extras. Y una segunda narrativa son los pequeños y medianos emprendimientos en la cual se pueden distinguir claramente inversiones en capital y tecnología que promueve la asociación entre productores con mayor habilidad comercial y el desarrollo del empleo en las comunidades locales. Bajo el paraguas de las APE podemos definir modelos de inclusión de pequeños actores en la producción acuícola, el cual ha sido un elemento diferenciador en muchos países de Asia, donde el 80% de los productores son clasificados como pequeña escala. Algunos estudios en países de bajos recursos han revelado que las pequeñas piscifactorías generan mayores impactos económicos en la economía rural, que las piscifactorías más grandes (Filipski & Belton, 2018). Los modelos de negocio inclusivo nacen como un mecanismo de desarrollo para la agricultura de pequeña escala con el fin de mejorar sus rendimientos económicos, acceso a los mercados y cadenas de valor (FAO, 2015) y su adaptación a la acuicultura está tomando cada vez mayor relevancia, acentuando la necesidad de mejorar las oportunidades económicas de los más pobres por medio de una mejor integración de sus emprendimientos (FAO, 2022; Kaminski et al., 2020).

1.3 ACUICULTURA DE PEQUEÑA ESCALA - APE

La Acuicultura de Pequeña Escala (APE) es un término que ha ganado relevancia en la literatura técnica, científica y en programas gubernamentales nacionales y de cooperación internacional de

apoyo al emprendimiento en acuicultura para pequeños productores y el sector pesquero artesanal. Sin embargo, carece de una definición clara y universalmente aceptada (Belton, 2013). La definición y clasificación que utilizamos en acuicultura pueden variar dependiendo de diferentes criterios, como las especies cultivadas (por ejemplo, cultivo de camarones, peces, ostras, etc.); los entornos de cultivo (agua dulce, agua salobre o cultivo marino); las tecnologías de producción (extensiva, semi-intensiva, intensiva e hiperintensiva); la escala de operación (pequeña, mediana y gran escala); y los objetivos de cultivo (subsistencia o producción comercial) (FAO, 2016). Sin embargo, integrar todos estos conceptos en una única definición de APE que incluya la diversidad global de productores, sistemas de cultivo y modelos de negocio es complejo.

Edwards (2013) realizó una extensa revisión de la definición de la APE, proporcionando perspectivas sobre cómo este modelo puede contribuir a la visión de la FAO de aliviar el hambre y la malnutrición. Actualmente, el 70% de la producción mundial de acuicultura proviene de Asia, sustentada en gran medida por pequeños productores. En el taller internacional de la FAO sobre APE, celebrado en Nha Trang, Vietnam, en 2008 (FAO, 2024a; Kusakabe & Thongprasert, 2022), se desprende una definición de Acuicultura de Pequeña Escala que podemos entenderla como un conjunto diverso de sistemas acuícolas caracterizados por bajos niveles de inversión en infraestructura, uso intensivo de mano de obra familiar y una orientación tanto hacia el autoconsumo como hacia el mercado. Este enfoque incluye prácticas que van desde sistemas simples integrados en actividades agrícolas hasta sistemas especializados en los que la acuicultura constituye la principal fuente de sustento económico.

En esta definición se distinguen dos tipos o modelos:

- **Tipo I:** Sistemas que implican una inversión limitada en activos y pequeños costos operativos, en los que predomina el uso de mano de obra familiar. En este caso, la acuicultura es solo una de varias actividades económicas dentro del hogar, conocidos previamente como "acuicultura rural".

- **Tipo II:** Sistemas en los que la acuicultura es la principal fuente de sustento, con inversiones significativas en tiempo, infraestructura y capital por parte de los emprendedores.

1.4 LOS MOLUSCOS BIVALVOS Y SU POTENCIALIDAD EN LA APE

La producción mundial de bivalvos ha crecido a un ritmo más bajo que la producción de peces durante los últimos 50 años. En el 2022 la producción total de bivalvos por pesca y acuicultura alcanzó el 10% del volumen total, equivalentes a un poco más 18,3 millones de toneladas (figura 3). Si nos enfocamos exclusivamente en la producción acuícola global, los bivalvos representan más de 18,1% del volumen total (figura 4).

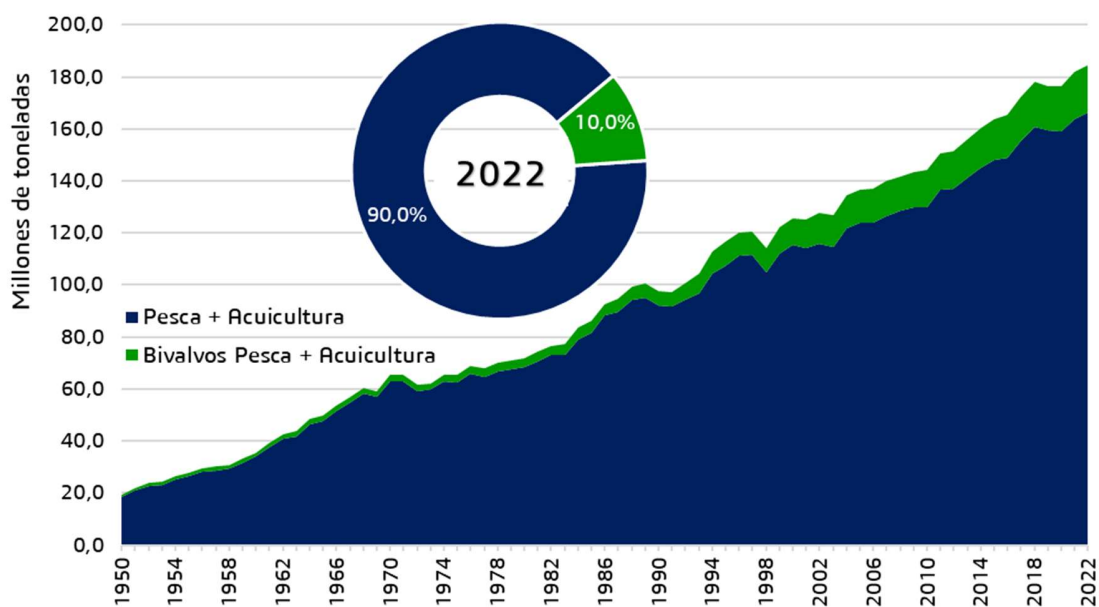


Figura 3. Evolución de la oferta mundial de bivalvos y global de pescados y mariscos por pesca y acuicultura (sin contabilizar las algas, plantas acuáticas, mamíferos marinos, anfibios y reptiles). Elaboración propia utilizando las series estadísticas de la FAO (FAO, 2024b).

Varias especies de bivalvos han sido utilizadas en modelos de negocio inclusivos para superar la pobreza, la seguridad alimentaria y mejorar los ingresos de las comunidades a través de proyectos APE utilizando; almejas (Mohamed et al., 2016), mejillones (Kripa & Surendranathan, 2008),

pectínidos (Cancino, 2015), ostras perlíferas (Fong et al., 2005) y ostra japonesa (Chen et al., 2017). Los bivalvos constituyen un conjunto de especies con un enorme potencial de crecimiento en el futuro a nivel global. Gentry et al. (2017) estimaron que en el mundo hay alrededor de 1.500.000 km² de línea de costa “virgen” potencialmente aptas para el cultivo de bivalvos y dos tercios de estas áreas están en los trópicos. Por otra parte, Willer & Aldridge (2020) calcularon que, si solo se utilizara el 1% de esta área potencialmente apta para producir bivalvos, se podría alcanzar los 120 millones de toneladas anuales de carne, suficiente para satisfacer la demanda de proteínas de 715 millones de personas.

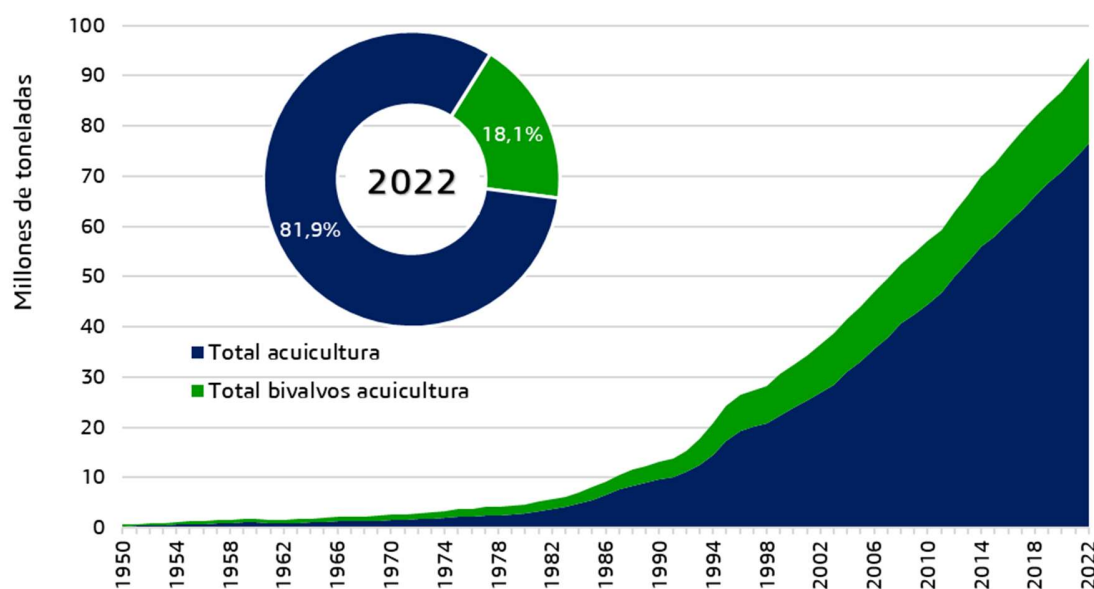


Figura 4. Evolución de la oferta mundial de bivalvos y el global de pescados y mariscos por acuicultura (sin contabilizar las algas, plantas acuáticas, mamíferos marinos, anfibios y reptiles). Elaboración propia utilizando las series estadísticas de la FAO (FAO, 2024b).

En la misma línea, Oyindola et al. (2018) fueron aún más optimista estimando que el océano global cuenta con 31 millones de km² ambientalmente aptos para el cultivo de moluscos, lo que representa el 43% del área total identificada como viables para acuicultura. Grandes áreas subutilizadas se encuentran a lo largo de la costa de América del Sur y África occidental.

1.5 POTENCIAL DE *MAGALLANA GIGAS* TRIPLOIDE

Las ostras del género *Crassostrea* y *Magallana* son las especies de bivalvos con mayor producción a nivel mundial. El género *Crassostrea*, perteneciente a la familia Ostreidae, fue descrito por Sacco en 1897 (WoRMS, 2022). Recientemente, Salvi & Mariottini (2017) sugirieron, a través del análisis genómico, un nuevo género para la ostra del Pacífico, cambiándolo de *Crassostrea gigas* a *Magallana gigas*. De acuerdo a las series estadísticas de la FAO, hay ocho especies comerciales en el grupo *Crassostrea-Magallana*; siete especies en el género *Crassostrea* más *Magallana gigas*. Estas especies aportaron por pesca y acuicultura en el 2022; 7,1 millones t (figura 5), seguidos por las almejas con 6,5 millones t, pectínidos con 2,7 millones t y mejillones con 1,98 millones t. En términos de origen de producción, la participación de la acuicultura en la oferta total de estas especies de ostras fue de un 98,8% (figura 6). China lidera la producción mundial de *Crassostrea* por acuicultura, con una producción de 6,2 millones de toneladas, lo que representa el 90,3% del total global. Le siguen la República de Corea (4,7%), Japón (2,4%) y Francia (1,2%) (figura 7). Por otra parte, la producción china de ostra la lideran tres especies; la ostra Suminoe (*C. ariakensis*), la ostra Zhe (*C. plicatula*) y la ostra del Pacífico (*M. gigas*). No obstante, existe una considerable confusión en la clasificación taxonómica de algunas especies cultivadas, lo que dificulta determinar con precisión qué volumen se produce de cada una de estas especies, lo que ha generado discrepancias en los datos estadísticos disponibles y recogidos por la FAO (Botta et al., 2020).

Las ostras triploides de *M. gigas* comenzaron a utilizarse en acuicultura en la década de los 90 (Nell, 2002) y desde entonces han sido consideradas como un importante recurso que ha dado viabilidad económica al sector de la ostricultura. Esta especie se ha introducido en más 64 países abarcando todos los continentes impulsando la ostricultura (Buestel et al., 2009; Lavoie, 2009; Martínez-García et al., 2022). Las semillas de ostras triploides han ganado mucha popularidad debido a sus ventajas sobre las ostras diploides. En Francia, por ejemplo, la producción total de semillas triploides en el 2021 fue de 2.900 millones (Agreste, 2023); mientras que en la costa oeste de América del Norte abarcan aproximadamente la mitad de la producción acuícola (Yang et al., 2018) y en Marruecos el 100% de la producción de ostras está basada en *M. gigas* con semillas triploides importadas desde Francia.

La alta demanda de semillas de *M. gigas* triploide se debe principalmente a su mejor tasa de crecimiento, que es en promedio un 30 % superior a la de las ostras diploides. Además, ofrecen una calidad de carne consistentemente alta, atribuida a su condición de “estériles” (Maldonado-Amparo et al., 2016; Nell, 2002). El crecimiento más rápido observado en las ostras triploides se atribuye a una reasignación energética, donde la energía que normalmente se destina a la reproducción se redirige hacia el crecimiento somático (Allen & Downing, 1986).

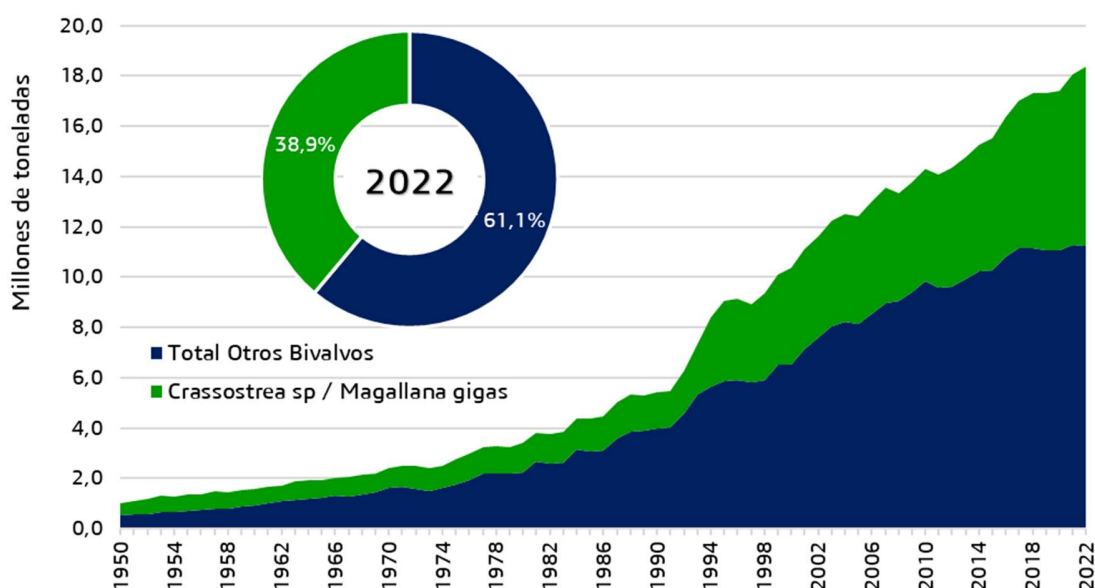


Figura 5. Evolución de producción mundial de bivalvos y el grupo de ostras *Crassostrea* y *Magallana gigas* provenientes de la pesca y la acuicultura. Elaboración propia utilizando las series estadísticas de la FAO (FAO, 2024b).

Wadsworth et al. (2019) en un metaanálisis sobre las tasas crecimiento de ostras diploides y triploides de varias especies de ostras, encontraron que, las ostras triploides pueden crecer hasta un 49 % más rápido en peso húmedo total en comparación con las diploides, mientras que en largo de la concha el incremento puede alcanzar el 20 %.

La combinación de un crecimiento acelerado y una calidad uniforme resulta en beneficios claros para los productores, con mayores rendimientos de carne (Ascencio-Michel et al., 2022) y la posibilidad de alcanzar tamaños de mercado varios meses antes.

El cultivo de ostras se clasifica en tres métodos según su ubicación en el medio acuático:

1. Cultivo en el fondo (*On-bottom cultivation*): Las ostras crecen directamente sobre el lecho marino, como en su estado natural.
2. Cultivo elevado sobre el fondo (*Off-bottom cultivation*): Se crían en estructuras elevadas como mesas, jaulas o bandejas.
3. Cultivo suspendido (*Suspended cultivation*): Las ostras se suspenden en la columna de agua utilizando *longlines* y linternas de cultivo o cuerdas.

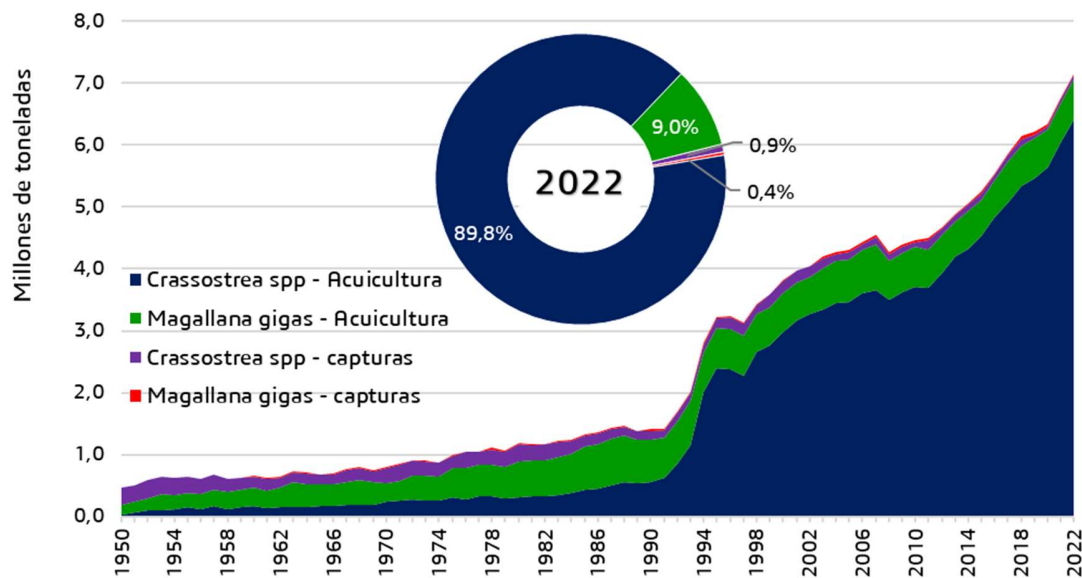


Figura 6. Evolución de la producción mundial de *Crassostrea spp* y *Magallana gigas* por pesca y acuicultura en millones de toneladas. Elaboración propia utilizando las series estadísticas de la FAO (FAO, 2024b).

El sistema de cultivo con *longline* y linternas es uno de los más utilizados a nivel mundial debido a su facilidad de instalación y operación. Actualmente, se emplea en la producción de diversas especies de bivalvos, como ostras (Lodeiros et al., 2024; Matarazzo, 2021), pectínidos (Cisneros et al., 2008; Mao et al., 2018) y almejas (Bordignon et al., 2021), además de su aplicación en policultivos con peces y otros invertebrados (Parsons et al., 2002; Zhou et al., 2006).

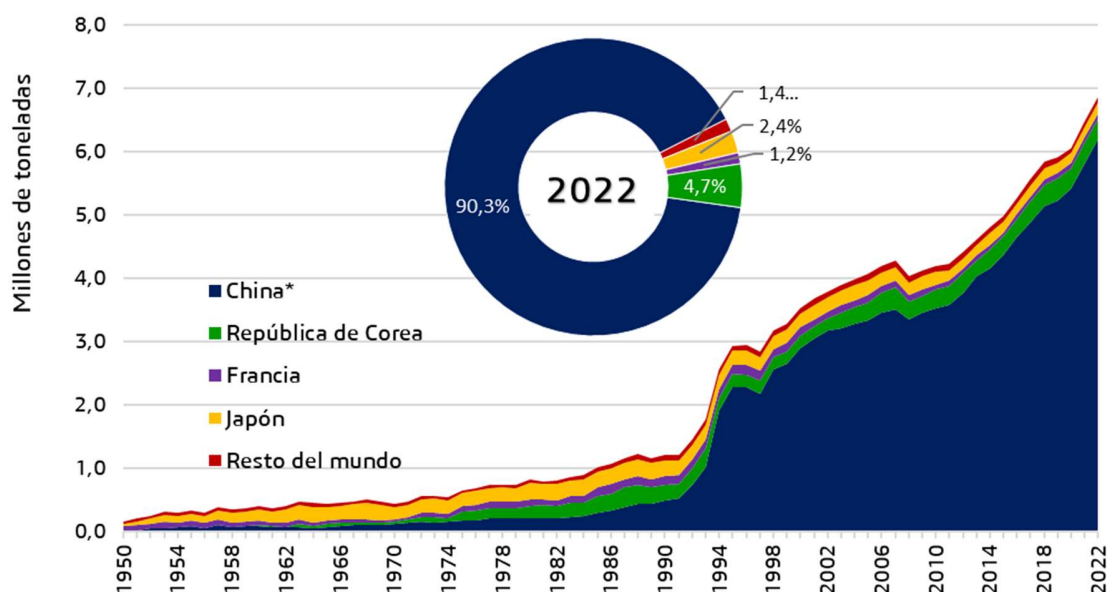


Figura 7. Evolución de los principales países productores de *Crassostrea sp* y *Magallana gigas* en millones de toneladas provenientes de la pesca y la acuicultura. Elaboración propia utilizando las series estadísticas de la FAO (FAO, 2024b).

En términos de diseño y dimensionamiento, en la literatura científica encontramos numerosos estudios sobre distintos aspectos técnicos del sistema *longline* y linternas. Existen investigaciones enfocadas en la hidrodinámica de las instalaciones frente a las corrientes marinas (Wang et al., 2023; Zhao et al., 2019), así como en el análisis numérico del diseño y configuración estructural en respuesta al oleaje (Feng et al., 2021; Mu et al., 2024), en el dimensionamiento teórico y cálculo de fondeos, flotabilidad y tensiones en las líneas madres (Merino, 1997; Merino et al., 2001; Trujillo et al., 2007). No obstante, no se han desarrollado metodologías específicas que permitan calcular con precisión la cantidad de linternas y *longlines* necesarios para un cultivo de bivalvos. Asimismo, los estudios económicos sobre estos sistemas siguen siendo limitados, lo que dificulta la planificación y optimización de la inversión en este tipo de proyectos.

Si bien *M. gigas* y otras especies de ostras se han utilizado en programas de cultivo de pequeña escala y reducción de la pobreza en diferentes países de bajos y medios recursos (A. Asare, 2017;

B. Asare et al., 2019; Chuku et al., 2020; Kripa et al., 2004; Mahu et al., 2022; Medeiros, 2006), hasta la fecha, no se han utilizado ostras triploides de ninguna especie en este tipo de proyectos.

En síntesis, los sistemas de producción basados en ostras triploides presentan un gran potencial para ser implementados en proyectos de acuicultura de pequeña escala. Estos proyectos no solo podrían contribuir al alivio de la pobreza y el hambre en países de bajos recursos, sino que también representan una oportunidad para fomentar modelos de negocio inclusivos, especialmente en comunidades costeras. Sin embargo, persisten barreras para su implementación, como la falta de metodologías claras para el dimensionamiento de instalaciones y evaluaciones económicas simples que permitan garantizar la viabilidad de los proyectos a largo plazo.

2. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar y proponer una metodología técnica y económica para el diseño, dimensionamiento y evaluación de proyectos de acuicultura de pequeña escala basados en el cultivo suspendido con *longlines* de la ostra triploide *M. gigas*, con el propósito de proporcionar herramientas prácticas que permitan a pequeños inversores, organizaciones de pescadores artesanales y programas de desarrollo social evaluar y planificar proyectos económicamente sostenibles y socialmente inclusivos en el alivio de la pobreza y el hambre.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. **Formular un modelo técnico para el dimensionamiento de instalaciones** en proyectos de cultivo suspendido con *longlines* y linternas de ostras triploides *M. gigas*.
2. **Desarrollar herramientas de evaluación económica** que permitan analizar la viabilidad financiera de los proyectos, incluyendo costos iniciales, operativos y potenciales ingresos.
3. **Validar la metodología propuesta a través de experiencias de campo**, integrando las fórmulas desarrolladas y evaluando su aplicabilidad en distintos contextos.
4. **Establecer directrices prácticas** para pequeños inversores, organizaciones de pescadores artesanales y programas de desarrollo social, que faciliten la adopción de proyectos de acuicultura con enfoque en la sostenibilidad y el impacto social.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se estructuró en tres fases:

a) Dimensionamiento teórico: Se aplicó un modelo de cálculo para el dimensionamiento empleando criterios iniciales y metodologías utilizadas en un cultivo de ostras con *longlines*.

b) Cultivo en sistema suspendido (*longline*): Se llevó a cabo el seguimiento de un cultivo de semillas triploides de *M. gigas* desde la talla 6 mm de largo de concha (T6) hasta la talla comercial (≈ 90 mm de largo de concha), siguiendo un cronograma y procedimiento previamente establecido. Con los valores reales de mortalidad obtenidos, fueron reajustadas las mortalidades semanales y se recalcularon el número de linternas y *longlines* utilizando el modelo de calculo propuesto en este estudio

c) Evaluación económico-financiera: Con los datos que fueron obtenidos en las dos etapas anteriores, se realizó un análisis de la viabilidad económica del sistema de producción de ostras triploides en España.

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE CULTIVO CON *LONGLINE*

El cultivo suspendido *Longlines* estándar utilizado en este estudio consiste en un sistema compuesto por una línea madre o cabo principal, mantenida a flote a una profundidad que puede variar desde 0 a 5 metros, mediante boyas, cuya configuración y cantidad puede variar según las condiciones del entorno y las necesidades del cultivo (figura 8).

La línea madre está anclada al fondo marino en ambos extremos mediante fondeos, generalmente de hormigón armado, conectados por líneas de anclaje. En cada extremo, se instalan boyas principales o boyas madre, que proporcionan estabilidad y flotabilidad al sistema. A lo largo de su

recorrido, la línea madre cuenta con boyas de superficie para mantener la flotabilidad y boyas de profundidad que ayudan a sostener el sistema.

De la línea madre se amarran las linternas de cultivo, estructuras cilíndricas confeccionadas con mallas plásticas diseñadas para albergar a las ostras mientras crecen en la columna de agua, garantizando un acceso óptimo a los nutrientes y una adecuada oxigenación.

Los *longlines* pueden implementarse con diferentes longitudes de línea madre, siendo la configuración más común aquella que utiliza una línea de 100 metros de largo. Esta configuración estándar permite la instalación de 100 linternas distribuidas uniformemente a intervalos de un metro.

3.2 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA *LONGLINE* UTILIZADO EN ESTE ESTUDIO

Un *longline* estándar está compuesto por varios componentes que definimos continuación.

- **Línea madre:** Cabo de *polysteel*³ de Ø 28 mm de 100 m de largo con 100 puntos de amarre para las linternas.
- **Líneas de anclaje:** Cabo de *polysteel* de Ø 28 mm con un largo determinado por la relación 1:3 con respecto a la profundidad media de la zona (Merino et al., 2001).
- **Fondeos de anclaje**⁴: Bloques de hormigón armado de 2,5 t con azas de amarre de acero galvanizado.
- **Boyas madres:** Boyas cilíndricas de 200 L.
- **Boyas de superficie:** Boyas esféricas de plástico resistente de 60 L

³ *Polysteel* es un polímero sintético de alta resistencia utilizado en la fabricación de cabos marinos que combina propiedades mecánicas del polietileno y polipropileno. Esta combinación proporciona mayor resistencia a la tracción, flexibilidad, flotabilidad y durabilidad. Su aplicación en la acuicultura es ampliamente conocida.

⁴ Recientemente se están incorporando otros sistemas de anclaje, como las anclas helicoidales, que evitan el uso de grandes bloques de hormigón reduciendo los tiempos de instalación y coste.

- **Boyas de fondo:** Boyas esféricas de plástico 60 L con capacidad mínima de resistencia de 25 m.
- **Accesorios metálicos:** Guardacabos, grilletes rectos o de campana y anillas maestras.
- **Linternas de cultivo:** Linternas de 50 cm de diámetro y 10 pisos fabricadas con aros galvanizados con cobertura plástica y tirantes de cabo de 6 mm de polietileno y confeccionadas con diferentes mallas con aberturas de 3 mm, 7 mm, 12 mm y 21 mm (tablas 1 y 2).

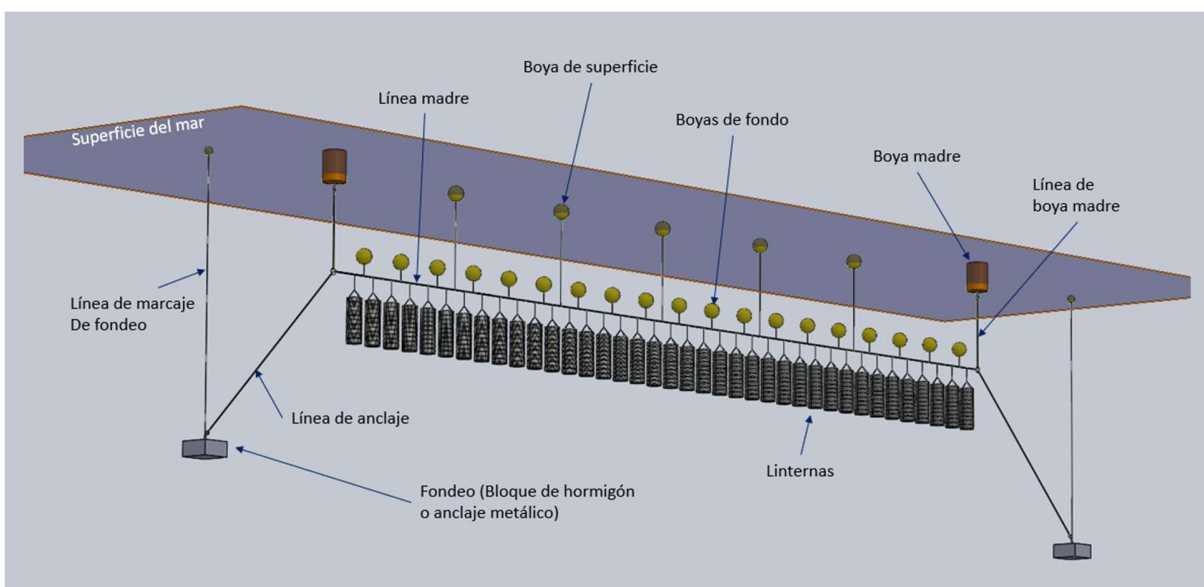


Figura 8. Vista 3D descriptiva de un *longline* estándar. Elaboración propia.

Tabla 2. Descripción técnica de las linternas de mallas de 3 y 7 mm. Elaboración propia.

Tipo de malla	Raschell sin nudo
Número de pisos	10
Diámetro linterna	50 cm
Altura cada piso	20 cm
Aros superior e inferior	Metálico de Ø 6,6 mm de con recubierta plástica
Aros intermedios	Metálico de Ø 4,8 mm con recubierta plástica
Crucetas aros superior e inferior	Metálico de Ø 5,6 mm con recubierta plástica
Crucetas aros intermedios	Metálico de Ø 4,8 mm con recubierta plástica
Cabos de unión y colgado	Cabo Ø 5,5 mm PE
Tipo de cierre	85% cremallera 15% velcro

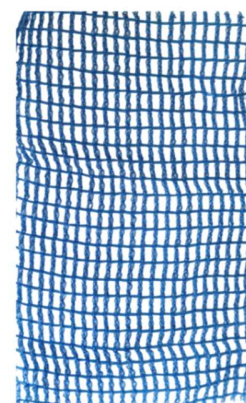
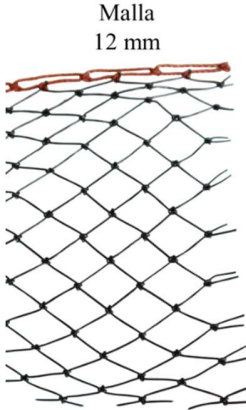
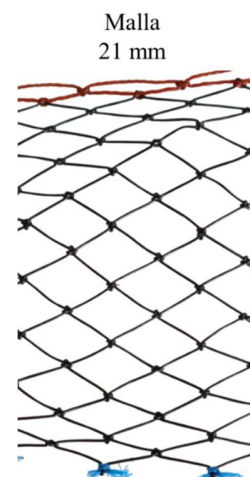
Malla
3 & 7 mm

Tabla 3. Descripción técnica de las linternas de mallas de 12 y 21 mm. Elaboración propia.

Tipo de malla	Malla con nudo	 <p>Malla 12 mm</p>
Número de pisos	10	
Diámetro linterna	50 cm	
Altura cada piso	20 cm	
Aros superior e inferior	Metálico de Ø 6,6 mm de con recubierta plástica	
Aros intermedios	Metálico de Ø 4,8 mm con recubierta plástica	
Crucetas aros superior e inferior	Metálico de Ø 5,6 mm con recubierta plástica	
Crucetas aros intermedios	Metálico de Ø 4,8 mm con recubierta plástica	
Cabos de unión y colgado	Cabo Ø 5,5 mm PE	
Tipo de cierre	90% monofilamento 10% velcro	



3.2.1 Metodología básica de trabajo con *longlines*

El proceso de cultivo comienza con la siembra de semillas de *M. gigas* en talla T6, utilizando linternas con malla de 3 mm de luz y una densidad de siembra previamente determinada. A medida que las ostras crecen, se reduce la densidad de cultivo y se trasladan progresivamente a linternas con mallas de mayor tamaño (7 mm, 12 mm y 21 mm) para garantizar un desarrollo óptimo en cada fase del cultivo.

Para mantener condiciones óptimas de crecimiento, mejorar la forma y calidad de la concha y minimizar los efectos negativos del *biofouling* que reduce el flujo de agua, se lleva a cabo un procedimiento que denominaremos como **volteo**.

El volteo consiste en retirar las linternas del *longline* y trasladarlas a tierra o a una balsa equipada con maquinaria diseñada para cultivos de bivalvos, mesones e idealmente cintas mecánicas de inspección. Las linternas son vaciadas y las ostras son sometidas a un proceso mecánico conocido como *tumbling*. Este procedimiento implica un movimiento mecánico intenso en una máquina diseñada para hacer rodar las ostras con el fin de romper los bordes de crecimiento de la concha, favoreciendo la formación de una ostra más cóncava y con mayor proporción de carne. Además, en esta fase, las ostras son cribadas por talla y reubicadas en linternas limpias, con una densidad de siembra reducida, optimizando así su crecimiento.

El volteo se realiza de manera periódica, con una frecuencia variable de 2 a 4 semanas, dependiendo de las condiciones del cultivo, la zona geográfica, las tasas de crecimiento de *biofouling* sobre las linternas y la disponibilidad de recursos materiales lo cual debe estar definido en el manual de operaciones adoptado por la empresa.

Acciones clave durante el volteo:

- *Tumbling* (proceso mecánico para moldear la forma de la concha) realizada en tierra mediante una máquina para *tumbling* de ostras, la cual, además, permite cribar por talla las ostras (figura 9).

- Cribado de las ostras por talla, generalmente en tres categorías: grande, mediana y pequeña. Este proceso se realiza mediante cribado mecánico o manual.
- Eliminación de ostras muertas y retiro de conchas vacías.
- Extracción de predadores, como cangrejos, caracoles, estrellas de mar y camarones.
- Reducción de la densidad por piso, optimizando el espacio disponible para el crecimiento.
- Cambio a linternas con mallas limpias o de mayor tamaño, cuando la talla media de las ostras lo justifique. Si hay un cambio de linterna con mallas más grandes, se considera como una nueva fase dentro del ciclo productivo.
- Toma de muestra para registrar las medidas de las ostras.

Para la correcta ejecución de este procedimiento, es fundamental contar con un *stock* adecuado de linternas para los reemplazos. Las linternas retiradas del *longline* se lavan con agua a presión y se almacenan para su reutilización en el siguiente volteo.

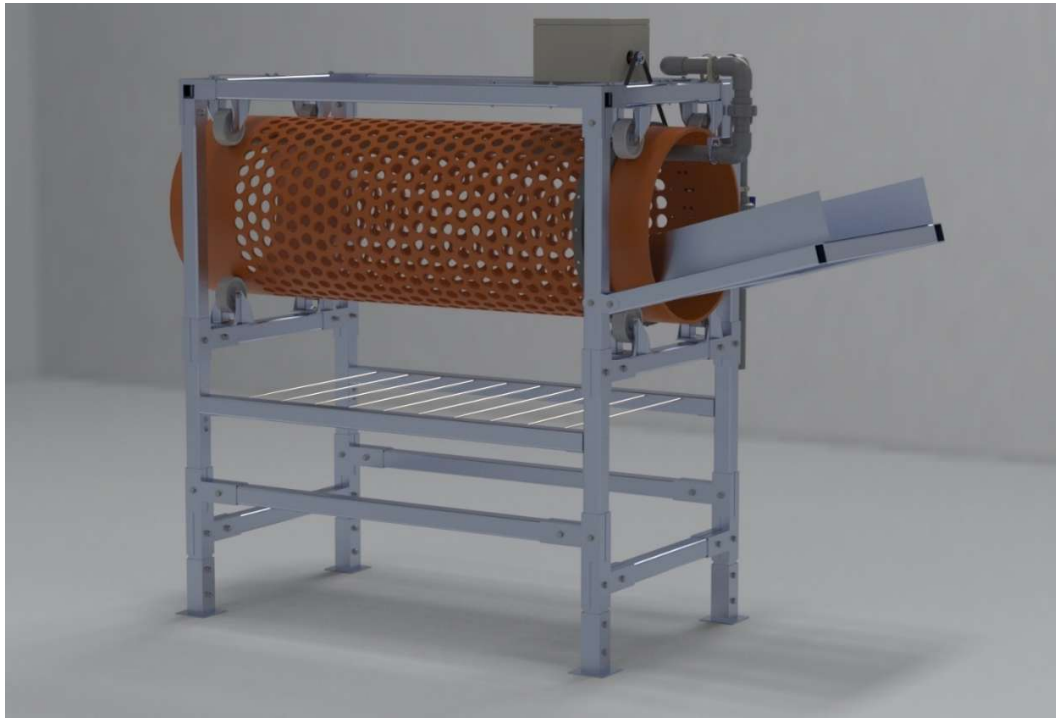


Figura 9. Diseño de una máquina portátil para *tumbling* de ostras para explotaciones de pequeña escala. Elaboración propia.

3.3 MODELO DE CÁLCULO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE *LONGLINES*

3.3.1 Número de linternas

Se desarrolló una metodología de cálculo para determinar el número total de linternas y *longlines* requeridos en un sistema de cultivo suspendido de ostras. El modelo integra variables operativas, como la mortalidad, densidad de siembra, número de volteos y duración de cada etapa del cultivo, junto con los parámetros biológicos asociados a cada fase del proceso productivo.

La ecuación principal determina el número total por tipo de linternas (L) necesarias:

$$L = F \times \text{máx} \{L_i\} \text{ para } i = 0, 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Donde

F = Factor de ajuste
Li = Número inicial de linternas sembradas de cualquier diámetro y forma en la fase i

El factor de ajuste (F) depende de la mortalidad semanal (m) y la tasa de reducción de densidad de las ostras por piso entre volteos (r), calculado como:

$$F(m,r) = (-0.00034 \times r + 0.0335) \times m + (-0.01 \times r + 2) \quad (2)$$

Donde

m = Tasa de mortalidad semanal
r = Porcentaje de reducción de densidad de ostras por pisos

El número de linternas necesarias en cada momento (L_i) se calcula mediante:

$$L_i = [N_0 \times (1-m)^{(i \cdot s)}] / (P \times D_i) \quad (3)$$

Donde

N_0 = Número inicial de ostras calculado según la siguiente expresión: $(L_i \cdot P \cdot D_0)$.
Li = Número inicial de linternas sembradas de cualquier diámetro y forma.
P = Número de pisos por linterna (1 a 25 pisos).
Do = Densidad inicial de ostras por piso (número de ostras).
Di = Densidad de ostras por piso en el momento i.
m = Tasa de mortalidad semanal constante (en decimal).
s = Número de semanas entre volteos.

i = Número de volteos en una fase específica del cultivo. El conteo de volteos (0, 1, 2, ..., n) se aplica cuando se mantiene el mismo tamaño de malla en la linterna. Cuando se cambia a un tamaño de malla diferente, se considera el inicio de una nueva fase y por tanto, los cuales deben ser hechos con los datos de la nueva fase. El número total de volteos de la fase anterior determina la cantidad de linternas necesarias solo para ese tamaño de malla específico.

Los límites para la aplicación de este modelo son:

- Mortalidad semanal (m) entre 0% y 7%.
- Reducción de densidad por piso (r) entre 0% y 50%.
- Frecuencias de volteos entre 2 y 4 semanas.
- Número de volteos entre 1 y 5 en una fase de cultivo o linterna.

Para la aplicación correcta del modelo, se deben considerar las siguientes restricciones:

- Las tasas de reducción de densidad entre volteos consecutivos en una misma fase o tipo de linterna deben ser iguales.
- La tasa de mortalidad semanal estimada no debe exceder el 7% y se considera constante en todas las semanas de esa fase de cultivo.
- La reducción de densidad no debe superar el 50% entre volteos.

La precisión del modelo fue validada mediante comparación con cálculos manuales en Excel para el dimensionamiento de plantas de acuicultura, obteniendo diferencias menores al 0,2% cuando se cumplen las restricciones establecidas.

3.4 SOBREVIVENCIA TOTAL POR FASE DE CULTIVO

Se define como sobrevivencia total de fase al porcentaje de organismos que sobreviven durante el período completo de uso de un determinado tipo de linterna. Esta sobrevivencia se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Stf = (1 - m)^{ts} \quad (4)$$

Donde

Stf	=	Sobrevivencia total de la fase.
m	=	Tasa de mortalidad semanal expresada en decimal.
ts	=	Número total de semanas que dura la fase de cultivo.

Esta ecuación considera una tasa de mortalidad constante aplicada semanalmente sobre la población, permitiendo estimar el porcentaje final de organismos sobrevivientes al término de cada fase específica del cultivo, definida por el uso de un mismo tipo de linterna.

3.4.1 Número de *longlines*

El número de *longlines* necesarios para el sistema de cultivo se determina considerando el número máximo de linternas ocupadas simultáneamente y la capacidad de carga establecida para cada *longline*. Este cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$NL = [Lmáx / CL] \quad (5)$$

Donde

NL	=	Número de <i>longlines</i> necesarios.
Lmáx	=	Número máximo de linternas colgadas en el <i>longline</i> .
CL	=	Capacidad de linternas por <i>longline</i> .
[]	=	Función techo (redondeo hacia arriba al siguiente número entero).

La función techo se utiliza para asegurar que el número de *longlines* sea suficiente para soportar todas las linternas ocupadas, considerando que no es posible implementar fracciones de *longline*. Este cálculo garantiza la capacidad total del sistema de cultivo, optimizando la infraestructura necesaria para sostener la producción.

3.4.2 Cálculo de la extensión total de cabo para *longline*

Un *longline* requiere cabos de diferentes diámetros los cuales dependen de su función. La extensión requerida se calculó de acuerdo a las siguientes fórmulas.

- Cabo de línea madre y anclaje

El cabo principal que se utilizará en la línea madre y cabos de anclaje se calcula con la siguiente ecuación:

$$ET = (CL \times SL + 1) + 2 \times (Fr \times Zm) \quad (6)$$

Donde

ET	=	Extensión total de cabo requerido en metros.
CL	=	Capacidad de linternas por <i>longline</i> .
SL	=	Separación entre linternas en metros (= 1 m valor máximo límite de esta fórmula).
Fr	=	Factor de relación con la profundidad (entre 3 y 5,5) (Merino et al., 2001).
Zm	=	Profundidad en metros del sitio de instalación.

La ecuación está compuesta por dos términos. El primer término $(CL \times SL + 1)$ representa la longitud de la línea madre, la cual depende del número de linternas instaladas y considera un espacio de separación fijo de hasta 1 m como valor máximo recomendado.

El segundo término $2 \times (Fr \times Zm)$ calcula la longitud total de las dos líneas de anclaje, donde el factor de relación (Fr) determina la interacción de fuerzas entre la línea madre, la línea de fondeo

y la boya madre. Este factor varía entre 3 y 5,5, dependiendo de las condiciones del sitio de instalación.

Un valor más alto del factor de relación (Fr) implica una mayor extensión del cabo de fondeo, lo que reduce el efecto de las fuerzas verticales sobre los fondeos y aumenta la longitud total de instalación del longline.

- Cabo para boyas madres y de superficie

Esta fórmula calcula los metros totales de cabo para cada tipo de boya que se requieren.

$$ETb = Bs \times (ZL + 2 \times Ag) \quad (7)$$

Donde

ETb	=	Extensión total de cabo requerido en metros para boyas.
Bs	=	Número de boyas.
ZL	=	Profundidad de trabajo en metros del <i>longline</i> .
Ag	=	Metros de cabo necesario para instalar guarda cabos.

- Cabo de para boyas de profundidad

Esta fórmula calcula la los metros totales de cabo para la boya de profundidad unidas al *longline*.

$$ETbp = Bp \times Ap \quad (8)$$

Donde

ETbp	=	Extensión total de cabo requerido en metros.
Bp	=	Número de boyas.
Ap	=	Metros para amarrar la boya

3.5 APLICACIÓN DEL MODELO PARA UN CENTRO DE CULTIVO

El dimensionamiento teórico del sistema de cultivo suspendido para *M. gigas* triploides se estableció a partir de los parámetros que fueron planificados para el ciclo productivo. El proceso comienza con la siembra de semillas y el cálculo de la infraestructura necesaria fue realizado considerando los siguientes criterios generales:

- Fase inicial del cultivo: semillas T6 (tamaño inicial de 6 mm).
- Cantidad de semillas: 600.000 unidades.
- Duración del ciclo de cultivo: 40 semanas.
- Tasa de supervivencia estimada: 60%, basada en la experiencia del autor.
- Talla objetivo para la cosecha: entre 9 y 10 cm de largo de concha.
- Tipos de linternas proyectadas: estructuras de 10 pisos con mallas progresivas de 3 mm, 7 mm, 12 mm y 21 mm, adaptadas a las diferentes etapas de crecimiento.

3.5.1 Supuestos para el cálculo del número de linternas

3.5.1.1 Linternas 3 mm

Para la etapa inicial del cultivo, se utilizó un sistema de linternas con mallas de 3 mm, considerando los siguientes supuestos teóricos:

Densidad inicial de siembra (D_0)	:	450 ostras por piso.
Características de las linternas:	:	Linternas de 10 pisos (P). Diámetro de 50 cm.
Número de volteos programados (i)	:	1
Tiempo transcurrido hasta el primer volteo	:	3 semanas.

Reducción de densidad en el primer volteo (r):	:	33%.
Duración total del uso de linternas de 3 mm	:	6 semanas.
Tasa de mortalidad semanal estimada (m):	:	0,75% (valor constante basado en la experiencia del autor).

Se estimó que, al finalizar las seis semanas de cultivo en linternas de 3 mm, las ostras alcanzan un tamaño adecuado para ser transferidas a linternas con una malla de 7 mm.

Cálculo del número de *longlines* y materiales.

Para determinar el cálculo de la cantidad de *longlines* necesarios para la etapa de cultivo de linternas de 3 mm, se consideraron los siguientes supuestos teóricos:

Separación entre linternas (SL)	:	1 m
Número de linternas por longlines (CL)	:	100
Factor de relación (Fr)	:	3
Profundidad media	:	19,8 m
Total boyas madres	:	2 de 200 litros por <i>longlines</i>
Total boyas de superficie	:	1 cada 10 m de línea madre (9 x <i>longline</i>).
Total boyas sumergibles	:	100 (1 por cada de linterna en el <i>longline</i>).
Cantidad total de fondeos	:	2 de 2,5 t por <i>longlines</i> .
Profundidad de operación del longline	:	2 m.
Metros de amarre Ag y Ap	:	0,8 m.

3.5.1.2 Linterna 7 mm

Para la etapa siguiente con linternas con mallas de 7 mm, fueron considerados los siguientes supuestos teóricos:

Densidad inicial de siembra (D_0)	:	250 ostras por piso.
Características de las linternas:	:	Linternas de 10 pisos (P). Diámetro de 50 cm.
Número de volteos programados (i)	:	1
Tiempo transcurrido hasta el primer volteo	:	4 semanas.
Reducción de densidad en el primer volteo (r):	:	40%.
Duración total del uso de linternas de 3 mm	:	8 semanas.
Tasa de mortalidad semanal estimada (m):	:	1,25% (valor constante basado en la experiencia del autor).

Se estimó que, al finalizar las 8 semanas de cultivo en linternas de 7 mm, las ostras alcanzan un tamaño adecuado para ser transferidas a linternas con una malla de 12 mm.

Cálculo del número de *longlines* y materiales.

Para determinar el cálculo de la cantidad de *longlines* necesarios para la etapa de cultivo de linternas de 7 mm, se consideraron los siguientes supuestos teóricos:

Separación entre linternas (SL)	:	1 m
Número de linternas por longlines (CL)	:	100
Factor de relación (Fr)	:	3
Profundidad media	:	19,8 m
Total boyas madres	:	2 de 200 litros por <i>longlines</i>

Total boyas de superficie	:	1 cada 10 m de línea madre (9 x <i>longline</i>).
Total boyas sumergibles	:	100 (1 por cada de linterna en el <i>longline</i>).
Cantidad total de fondeos	:	2 de 2,5 t por <i>longlines</i> .
Profundidad de operación del longline	:	2 m.
Metros de amarre Ag y Ap	:	0,8 m.

3.5.1.3 Linterna 12 mm

Para la etapa siguiente con linternas con mallas de 12 mm, fueron considerados los siguientes supuestos teóricos:

Densidad inicial de siembra (D_0)	:	120 ostras por piso.
Características de las linternas:	:	Linternas de 10 pisos (P). Diámetro de 50 cm.
Número de volteos programados (i)	:	2
Tiempo transcurrido hasta el primer volteo	:	4 semanas.
Tiempo transcurrido hasta el segundo volteo	:	4 semanas.
Reducción de densidad en el primer volteo (r):	:	20%.
Duración total del uso de linternas de 3 mm	:	12 semanas.
Tasa de mortalidad semanal estimada (m):	:	1,30% (valor constante basado en la experiencia del autor).

Se estimó que, al finalizar las 12 semanas de cultivo en linternas de 12 mm, las ostras alcanzan un tamaño adecuado para ser transferidas a linternas finales de proceso con una malla de 21 mm.

Cálculo del número de *longlines* y materiales.

Para determinar el cálculo de la cantidad de *longlines* necesarios para la etapa de cultivo de linternas de 12 mm, se consideraron los siguientes supuestos teóricos:

Separación entre linternas (SL)	:	1 m
Número de linternas por longlines (CL)	:	100
Factor de relación (Fr)	:	3
Profundidad media	:	19,8 m
Total boyas madres	:	2 de 200 litros por <i>longlines</i>
Total boyas de superficie	:	1 cada 10 m de línea madre (9 x <i>longline</i>).
Total boyas sumergibles	:	100 (1 por cada de linterna en el <i>longline</i>).
Cantidad total de fondeos	:	2 de 2,5 t por <i>longlines</i> .
Profundidad de operación del longline	:	2 m.
Metros de amarre Ag y Ap	:	0,8 m.

3.5.1.4 Linterna 21 mm

Fase final de engorda con linternas con mallas de 21 mm, fueron considerados los siguientes supuestos teóricos:

Densidad inicial de siembra (D_0)	:	70 ostras por piso.
Características de las linternas:	:	Linternas de 10 pisos (P). Diámetro de 50 cm.
Número de volteos programados (i)	:	2
Tiempo transcurrido hasta el primer volteo	:	4 semanas.

Tiempo transcurrido hasta el segundo volteo	:	4 semanas.
Reducción de densidad en el primer volteo (<i>r</i>):	:	10%.
Duración total del uso de linternas de 3 mm	:	12 semanas + 2 semanas de cosecha.
Tasa de mortalidad semanal estimada (<i>m</i>):	:	1,55% (valor constante basado en la experiencia del autor).

Cálculo del número de *longlines* y materiales.

Para determinar el cálculo de la cantidad de *longlines* necesarios para la etapa de cultivo de linternas de 21 mm, se consideraron los siguientes supuestos teóricos:

Separación entre linternas (SL)	:	1 m
Número de linternas por longlines (CL)	:	100
Factor de relación (Fr)	:	3
Profundidad media	:	19,8 m
Total boyas madres	:	2 de 200 litros por <i>longlines</i>
Total boyas de superficie	:	1 cada 10 m de línea madre (9 x <i>longline</i>).
Total boyas sumergibles	:	100 (1 por cada de linterna en el <i>longline</i>).
Cantidad total de fondeos	:	2 de 2,5 t por <i>longlines</i> .
Profundidad de operación del longline	:	2 m.
Metros de amarre Ag y Ap	:	0,8 m.

El **Anexo I** contiene la memoria de cálculo de todos estos parámetros.

3.6 CULTIVO DE *MAGALLANA GIGAS* TRIPLOIDE EN *LONGLINE*

3.6.1 Ubicación y condiciones del estudio

El presente estudio fue realizado en una región con un clima seco y subtropical. La temperatura del aire alcanza los 50 °C en verano. Se registraron aspectos clave del cultivo con el fin de evaluar la implementación de cultivos a pequeña escala de *M. gigas* triploide, empleando un sistema de cultivo suspendido con longline y linternas, según la configuración previamente descrita.

El estudio tuvo una duración de 10 meses, iniciado en septiembre de 2019 con la siembra de semillas de *M. gigas* y finalizando en junio de 2020. Las linternas fueron suspendidas en *longlines* preinstaladas dentro de un polígono de 2,5 ha, ubicado a una distancia aproximada de 1,1 km de la costa y con una profundidad media de 19,8 m. Este polígono se encuentra en una zona semi-expuesta, con un fondo predominantemente arenoso.

Para el monitoreo de la temperatura del agua en la zona de cultivo, se utilizó un registrador de datos (*datalogger*) HOBO, instalado a 2 m de profundidad y sumergido de manera continua durante toda la fase experimental.

RESTRICCIONES LEGALES

Por razones legales que pueden comprometer datos estrictamente confidenciales de interés técnico, económico y comercial de una empresa, no se indica la zona geográfica ni la empresa donde fueron validados estos cálculos y experiencias.

3.6.2 Fase de cultivo

El cultivo de *M. gigas* triploide fue programada con una duración total de 40 semanas, abarcando desde la siembra de las semillas hasta la obtención de individuos con talla comercial de 9 – 10 cm de largo de concha. El estudio fue desarrollado en condiciones reales de un cultivo

comercial mediante el seguimiento de un ciclo productivo completo, utilizando un lote conformado por una siembra inicial 600.000 semillas triploides de *M. gigas*, cultivadas en *longline* y empleando linternas de distintos tamaños de malla.

Para el seguimiento del cultivo, se estableció un cronograma de actividades (figura 10), en el que fue definida la duración del uso de cada tipo de linterna, la frecuencia de los volteos y los intervalos entre ellos. En cada volteo, fue recolectada una muestra aleatoria de 125 ostras desde distintas linternas del lote, en las cuales fueron registradas las dimensiones largo, ancho y alto (figura 11), mediante el uso de un calibre electrónico con una precisión de 0,05 mm.

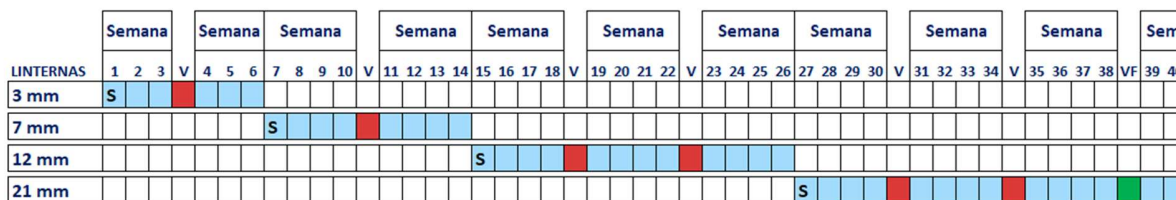


Figura 10. Configuración del cronograma de cultivo en semanas (Gantt de cultivo). Siembra o cambio a linternas con malla más grande (S). Cuadro de color rojo indica el momento del volteo (V). Cuadro verde (VF) indica el volteo final dos semanas antes de la cosecha final. Elaboración propia.

La tasa de crecimiento de la largo de la concha se calculó aplicando la siguiente ecuación:

$$TC = (Af - Ai) / t \quad (\text{Wadsworth et al., 2019}) \quad (9)$$

Donde

- TC = Tasa de crecimiento diaria (mm)
- Af = Largo final de la concha en mm
- Ai = Largo inicial de la concha en mm
- T = Tiempo en días.

3.6.2.1 Estimación de la Mortalidad

La mortalidad entre volteos fue estimada mediante un método indirecto, basado en el número de linternas y la densidad de individuos, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Mv = ((NVa - NVf) / NVa) \times 100 \quad (10)$$

Donde

Mv	=	Porcentaje de mortalidad.
NVa	=	Número inicial de ostras sembradas en el volteo anterior.
NVf	=	Número inicial de ostras sembradas en el volteo actual.

Para la estimación de NVa y NVf fue utilizada la siguiente ecuación:

$$NVn = Ln \times Np \times Dn \quad (11)$$

Donde

NVn	=	Cantidad de ostras estimadas en el volteo n.
Ln	=	Número de linternas que serán sembradas tras el volteo n.
Np	=	Número de pisos de las linternas utilizadas.
Dn	=	Número de ostras por pisos.

3.6.2.1 Fase Inicial: Linternas de 3 mm

El estudio comenzó con la siembra de un total estimado de 600.000 semillas triploides de *M. gigas* en talla T6, adquiridas en un criadero comercial de Francia. Las semillas fueron sembradas en linternas de 3 mm de malla, con una densidad de 450 unidades por piso, en linternas de 10 pisos.

Para caracterizar la población inicial, fueron medidas las dimensiones de largo, ancho y alto de 150 semillas. Esta fase tuvo una duración de 6 semanas, con un volteo programado en la tercera

semana, en el cual fue aplicada una reducción de densidad del 33%, alcanzando así una nueva densidad de 302 semillas por piso.

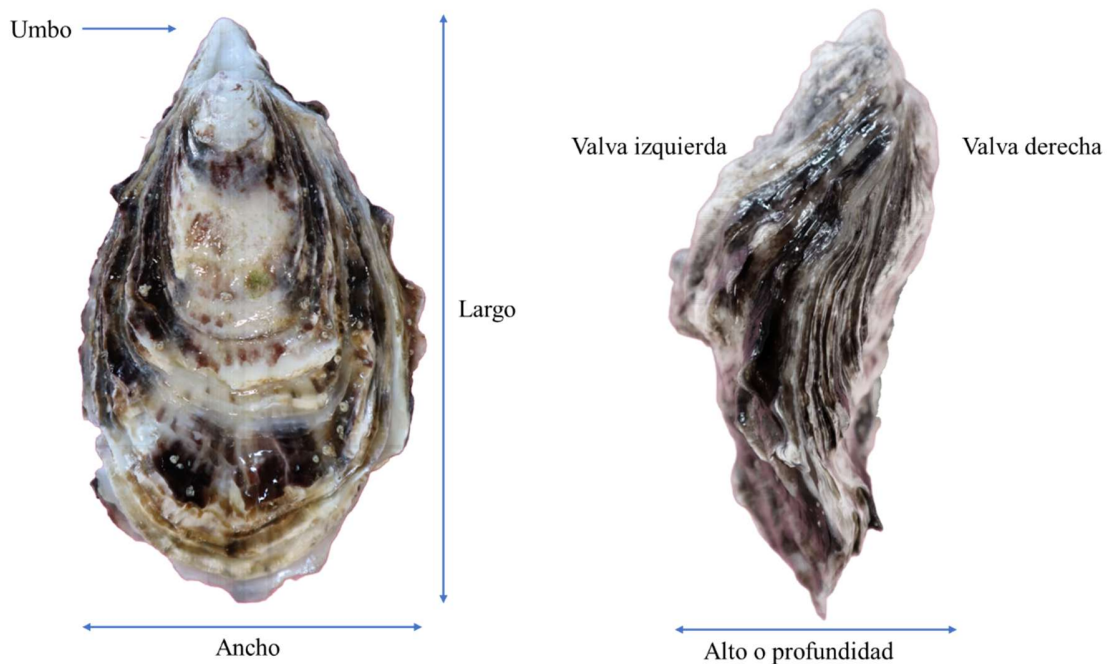


Figura 11. Medidas de la concha de un ejemplar de cultivo de *M. gigas* triploide adoptadas en este trabajo en vista frontal y lateral. Elaboración propia siguiendo la definición de las medidas de la concha propuesta por Mizuta & Wikfors (2019).

3.6.2.2 Fase Intermedia I: Linternas de 7 mm

En la semana 7, las ostras fueron transferidas a linternas con malla de 7 mm, estableciendo una densidad inicial de 250 ostras por piso. Esta fase tuvo una duración total de 8 semanas. Un volteo fue programado en la cuarta semana, en el cual fue aplicada una reducción adicional del 40%, resultando en una densidad final de 150 ostras por piso.

3.6.2.3 Fase Intermedia II: Linternas de 12 mm

En la semana 12, las ostras fueron trasladadas a linternas con malla de 12 mm, estableciendo una densidad inicial de 120 ostras por piso. Esta fase tuvo una duración total de 12 semanas, con dos volteos programados cada 4 semanas. En cada volteo, fue aplicada una reducción de densidad del 20%, ajustando así el número de individuos por piso.

3.6.2.4 Fase de Engorde: Linternas de 21 mm

En la semana 27, las ostras fueron transferidas a linternas con malla de 21 mm, iniciando así la fase final de engorde. La densidad inicial se estableció en 70 ostras por piso. Esta fase tuvo una duración total de 12 semanas, con dos volteos planificados. En cada volteo, fue aplicada una reducción de densidad del 10%, con el objetivo de optimizar el crecimiento y mejorar la uniformidad de los individuos hasta el momento de la cosecha.

3.7 EVALUACIÓN ECONÓMICO-FINANCIERA DEL CULTIVO

Para determinar la viabilidad económico-financiera de un cultivo de *M. gigas* triploide utilizando *longline*, se realizó un estudio de rentabilidad basado en los datos biológicos de producción obtenidos en el cultivo y el dimensionamiento de las instalaciones y los requerimientos de materiales (*longlines*, linternas, entre otros) los que fueron calculados aplicando la metodología descrita en este trabajo.

El análisis económico-financiero se llevó a cabo utilizando el modelo informático de evaluación de proyectos MODELEVA (Rodríguez, 2013), el cual fue adaptado para el análisis de proyectos acuícolas. El análisis financiero se realizó con base en los principales indicadores de rentabilidad utilizados en la evaluación de proyectos de inversión (Engle, 2007, 2010), entre ellos:

- **Valor Actual Neto (VAN):** Representa la diferencia entre el valor presente de los flujos de caja generados por el proyecto y la inversión inicial. Un VAN positivo indica que el proyecto es rentable, ya que los ingresos descontados superan los costos.
- **Tasa Interna de Retorno (TIR):** Corresponde a la tasa de descuento que iguala el VAN a cero. Es un indicador clave para determinar la rentabilidad relativa del proyecto,

permitiendo comparar su desempeño con la tasa de descuento o costo de oportunidad del capital.

- **Índice de Rentabilidad Neto (IRN):** Relaciona el valor actual neto con la inversión inicial, expresando cuántas unidades monetarias se generan por cada unidad invertida. Un IRN superior a 1 indica que el proyecto es viable.
- **Rentabilidad sobre los Activos (ROA, *Return on Assets*):** Mide la eficiencia con la que el proyecto utiliza sus activos para generar beneficios, calculado como la relación entre el beneficio neto y el total de activos.
- **Rentabilidad sobre el Patrimonio Neto (ROE, *Return on Equity*):** Indica la rentabilidad obtenida por los inversores o propietarios del proyecto, expresando la relación entre el beneficio neto y el patrimonio neto invertido.

El estudio consideró un horizonte temporal de 7 años, aplicando las tasas impositivas y fiscalidad vigentes en España para instalaciones acuícolas (MAPA, 2024) y estableciendo los salarios de los trabajadores de acuerdo con el Convenio de Acuicultura español (BOE, 2024). Además, fueron calculados el punto de equilibrio y se realizó un análisis de sensibilidad univariante del proyecto considerando cinco parámetros clave: inversión, precio, producción, costos variables y costos fijos. Para el escenario pesimista, cada una de estas variables fue ajustada de manera individual hasta que la Tasa Interna de Retorno (TIR) alcanzara un valor igual a la tasa de descuento o coste de capital (10%), lo que implica que el Valor Actual Neto (VAN) sea igual a cero. En el escenario optimista las cinco variables fueron sometidas a una variación uniforme de un 10%. Además, se somete el proyecto a un análisis de impacto financiero por mortalidad sorpresiva que consiste en simular un 75% de mortalidad o baja de producción en el segundo año y un 50% en el tercer año, para evaluar su efecto en la rentabilidad y principalmente en su cuadro de tesorería.

El modelo productivo contempla la siembra de 600.000 semillas de *M. gigas* triploide cada dos meses, comenzando en el mes 4 (abril) del primer año, lo que equivale a cuatro siembras en el primer año y seis en los años posteriores, alcanzando un total de 2,4 millones y 3,6 millones de semillas sembradas, respectivamente. Se consideró que las semillas son adquiridas a un criadero

comercial francés en talla T6. La talla comercial objetivo corresponde a un largo medio de la concha de 9-10 cm.

El ciclo de producción se estimó en 40 semanas (9,3 meses) y la primera venta se estimó a principios del segundo año. Considerando una mortalidad media total del 40%, se estimó que el proyecto pondrá en el mercado aproximadamente 2,21 millones de ostras anuales a partir del segundo año. Los límites y factores considerados en esta evaluación se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Muestra los parámetros y límites utilizados en la evaluación económica y financiera. Elaboración propia.

MATERIA	DESCRIPCIÓN
Generales	
Evaluación temporal	6 meses construcción (año 0) + 7 años.
Financiación	100% capital sin deuda ni subvenciones.
Biológicas y productivas	
Especie y tamaño	<i>M. gigas</i> triploide, T6
Duración del ciclo productivo	40 semanas
Cantidad por siembra	600.000 semillas cada dos meses.
Siembra total por año	2,4 millones año 1 y 3,6 millones año siguientes
Primera siembra	Primera semana de abril del año 1
Sobrevivencia	60%
Talla y peso estimado de cosecha	Largo medio 90 mm y 83 g
Sistema de cultivo	<i>Longline</i> de 100 m estándar (figura 8)
Formato de venta	Vivo - depurado en instalaciones propias
Incrementos de producción	Crecimiento de 1% anual durante los 7 años

Tabla 4. Continuación. Elaboración propia.

Parámetros económicos	
Inversiones e instalación	6 meses. Inicio 1 oct del año 0 hasta mazo del año 1
Primera venta	Enero del año 2, año 1 sin venta.
IPC estimado anual fijo	2,7% aplicado en 100% al precio de venta y costes.
IVA	10% aplicado a la venta del producto 21% aplicado en inversiones y costes
Impuesto de sociedades	25%
Amortización variable	5% a 10% dependiendo del activo
Costo recursos propios	10%
Reparto de beneficio	Todos los beneficios se mantienen en la cuenta de la empresa durante todo el proyecto.
Ingresos financieros	2,5% de los excedentes de tesorería
Salarios	De acuerdo al convenio de acuicultura España 2024.

4. RESULTADOS

4.1 DIMENSIONAMIENTO DE LINTERNAS Y *LONGLINES*

El modelo de dimensionamiento teórico desarrollado fue aplicado para calcular el número de linternas necesarias para un cultivo suspendido de *M. gigas*, considerando una siembra inicial de 600.000 semillas en talla T6. Con base a las variables asumidas, como tasas de mortalidad semanal estimadas, número de volteos, duración y densidades, fue determinada con el modelo la cantidad de linternas requeridas en cada fase del proceso productivo (tabla 5).

En la primera fase, correspondiente a linternas de 3 mm de luz de malla, fue calculada una necesidad de 328 linternas. Durante esta etapa, la mortalidad semanal fue de 0,75%, lo que resultó en una mortalidad acumulada del 4,42%, concluyendo esta etapa con 573.480 ostras vivas para la siguiente fase.

Al trasladar las ostras a linternas de 7 mm, el modelo estimó un requerimiento de 591 linternas. En esta etapa, la mortalidad semanal utilizada fue de 1,25%, alcanzando una mortalidad acumulada del 9,57%, con lo que se estimó que 518.698 ostras avanzaron a la siguiente fase.

En la fase de crecimiento en linternas de 12 mm, fueron calculadas 1.116 linternas necesarias para la población de ostras restantes. La mortalidad semanal adoptada en esta etapa fue de 1,3%, con una acumulada del 14,35%, lo que redujo la población a 444.179 ostras para la última fase del cultivo.

Finalmente, en la fase con linternas de 21 mm, el modelo determinó que se requerían 1.406 linternas. La mortalidad semanal fue de 1,55%, acumulando un 17,09%, con lo que 368.269 ostras completaron el proceso de cultivo. En términos generales, el modelo permitió estimar con las necesidades de linternas para el cultivo suspendido, considerando las tasas de mortalidad y la reducción de densidad en cada etapa. La mortalidad total acumulada en el proceso fue del 40,64%.

Los resultados del cultivo real de *M. gigas* utilizando el mismo esquema de linternas del modelo teórico, con un ciclo productivo de 40 semanas, desde la talla T6 hasta la talla comercial de 9 a 10 cm, en la fase inicial, con linternas de 3 mm de luz de malla, fueron utilizadas 325 unidades para una siembra inicial estimada de 589.500 semillas. Al término de esta etapa, la mortalidad acumulada fue de 1,06%, manteniéndose 583.200 ostras para la siguiente fase.

En la fase con linternas de 7 mm, fueron empleadas 601 unidades, registrándose una mortalidad acumulada de 5,04%, lo que redujo el stock a 553.800 ostras.

Durante la etapa intermedia con linternas de 12 mm, requirió un *stock* total de 1.127 linternas, con una mortalidad acumulada del 15,84%, quedando 466.000 ostras para la última fase del proceso.

En la fase final, con linternas de 21 mm, se necesitó tener en *stock* total de 1.311 unidades, alcanzando una mortalidad acumulada del 27,10%. Como resultado, 339.700 ostras completaron el ciclo de cultivo y alcanzaron la talla comercial. En términos generales, la mortalidad total a lo largo del cultivo fue del 42,37%, evidenciando las pérdidas progresivas en cada etapa.

Con los valores de mortalidad ajustados y utilizando la cantidad real de semillas sembradas, fue recalculada la cantidad de linternas necesarias para cada fase del cultivo. De esta forma, para la etapa inicial, con linternas de 3 mm de luz de malla, el modelo ajustado indicó la necesidad de 325 linternas, en la fase intermedia con linternas de 7 mm, el cálculo ajustado determinó un requerimiento de 609 linternas, mientras que, en la fase con linternas de 12 mm, el modelo ajustado estimó 1.170 linternas necesarias. Para la fase final del cultivo, en linternas de 21 mm, el modelo ajustado sugirió la adquisición de 1.313 linternas.

La cantidad de *longlines* se resume en la tabla 6. La cantidad de *longlines* que fueron calculados cumplen con las necesidades reales del cultivo. En este caso, para un plantel de ostras con una mortalidad estimada en un 40%, una siembra de 600.000 semillas requiere como mínimo para un ciclo productivo de 7 *longlines*.

Tabla 5. Muestra los valores teóricos del número de linternas calculados con el modelo, la cantidad de linternas que fueron utilizadas en el cultivo y el recálculo teórico del número de linternas. %Mt: Mortalidad semanal utilizada en el modelo. %Mp: Mortalidad estimada por fase de cultivo calculada a partir de la mortalidad semanal teórica. %Mob: Mortalidad registrada por fase en el cultivo (utilizada para el recálculo teórico). Elaboración propia.

Linternas	Cálculo teórico inicial				Cantidad real de linternas utilizadas en el cultivo			Recálculo teórico linternas
	linternas	% Mt	% Mp	Cantidad teórica ostras vivas	linternas	% Mob	Cantidad estimada ostras vivas	
Siembra				600.000			≈ 589.500	
3 mm	328	0,75%	4,42%	573.480	325	1,06%	≈ 583.200	325
7 mm	591	1,25%	9,57%	518.598	601	5,04%	≈ 553.800	609
12 mm	1.116	1,30%	14,35%	444.179	1.127	15,84%	≈ 466.000	1.170
21 mm	1.406	1,55%	17,09%	368.269	1.311	27,10%	≈ 339.700	1.313
Linternas totales	3.441				3.364			3.417
	Mortalidad teórica total			40,64% 368.269	Mortalidad real total 42,37% ≈ 339.700			

Tabla 6. Muestra la cantidad de *longlines* teóricos calculados y los que realmente se ocuparon. Elaboración propia.

	Cálculo teórico inicial	Cantidad real
3 mm	2	1,9
7 mm	4	3,7
12 mm	6	6,0
21 mm	7	6,6

4.2 FASE DE CULTIVO

Esta fase se inició con la recepción de las semillas de tamaño T6 (6 mm) y la posterior siembra en linternas de 3 mm (figura 12). La Tabla 7 presenta la tasa de crecimiento en largo de la concha de las ostras triploides *M. gigas* cultivadas en *longline*, registradas en cada volteo junto con las

densidades utilizadas. Se observa una disminución progresiva de la tasa de crecimiento a medida que las ostras aumentan en tamaño y edad (figura 13), alcanzando la talla comercial de 9 a 10 cm de largo de concha aproximadamente en la semana 38.

Durante las primeras seis semanas de cultivo, la temperatura del agua se mantuvo en torno a 30°C (figura 14), periodo en el que se registraron las tasas de crecimiento más altas, entre los meses de septiembre y octubre. Posteriormente, la temperatura mostró una tendencia descendente hasta la primera semana de marzo, alcanzando un valor medio de 24,5°C, para luego aumentar gradualmente hasta 27,5°C en junio, fecha en la que finalizó el estudio.

Las tasas de crecimiento disminuyeron conforme descendió la temperatura del agua y, aunque en marzo comenzó a subir gradualmente la temperatura (días 210), este no tuvo un impacto positivo en la tasa de crecimiento de las ostras.



Figura 12. Muestra el inicio de la etapa de cultivo. (A) Recepción de las semillas de *M. gigas* triploides enviadas desde el criadero francés. (B) Siembra de las semillas en linternas de 3 mm con cierre con cremallera. Elaboración propia.

Tabla 7. Tasa de crecimiento (mm/d) de la largo de la concha de *M. gigas* obtenida en cultivo a diferentes densidades durante un periodo de cultivo de 280 días (40 semanas). Elaboración propia.

Tiempo (días)	Tiempo acumulado (días)	Tasa crecimiento largo (mm/d)	Densidad (ind/piso)
21	21	0,589 ± 0,15	450
21	42	0,476 ± 0,3	302
28	70	0,414 ± 0,37	250
28	98	0,412 ± 0,47	150
28	126	0,367 ± 0,43	120
28	154	0,314 ± 0,33	96
28	182	0,207 ± 0,26	77
28	210	0,203 ± 0,22	70
28	238	0,152 ± 0,27	63
28	266	0,206 ± 0,26	57
28	280	0,086 ± 0,45	57
Tasa de crecimiento promedio:		0.311 ± 0,26	

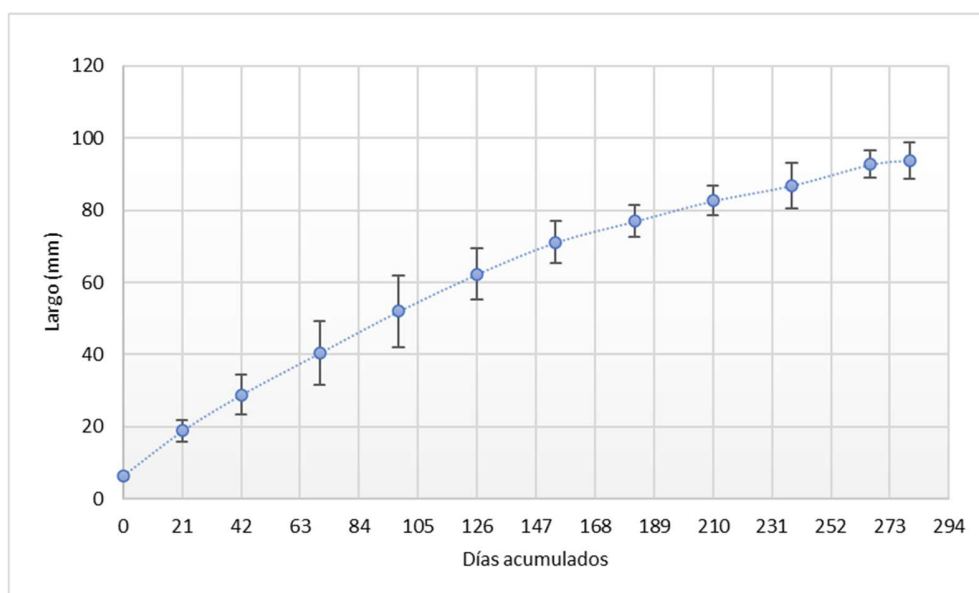


Figura 13. Evolución del largo de la concha de *M. gigas* obtenida en cultivo. Los círculos celestes indican el largo promedio de la concha obtenida en cada volteo y las líneas verticales corresponde a la desviación estándar. Elaboración propia.

Las relaciones largo vs ancho, largo vs. alto y ancho vs. alto, obtenidas a partir de las mediciones de la concha de *M. gigas* en cultivo (n=2500), se presentan en las figuras 15, 16 y 17. Se observa que estas relaciones no siguen un patrón estrictamente lineal, sino que se ajustan mejor a una función cuadrática, lo que indica que el crecimiento de estas dimensiones no ocurre de manera proporcional a lo largo del desarrollo de la ostra.

En particular, la relación de las dimensiones de la concha: largo vs. ancho y largo vs. alto presentan una curvatura en su tendencia, lo que sugiere que el largo de la concha aumenta de manera acelerada en las primeras etapas de crecimiento, pero luego se estabiliza o incluso disminuye en relación con el ancho y el alto. Este comportamiento podría estar asociado a cambios en la morfología de la concha a medida que la ostra madura.

Por otro lado, la relación ancho vs. alto muestra un comportamiento próximo a una función lineal, lo que indica que estas dos dimensiones crecen de forma más proporcional a lo largo del desarrollo de la ostra, con menos variabilidad en la relación entre ellas en comparación con la altura.



Figura 14. Temperatura media del agua indicando los meses y los días de volteo. Elaboración propia.

Este análisis sugiere que el crecimiento de *M. gigas* no es completamente uniforme en todas sus dimensiones, lo que podría estar influenciado por factores biológicos, ambientales o de manejo en el cultivo.

A lo largo del cultivo de *M. gigas* que fue desarrollado durante un período de 40 semanas, fueron realizados un total de 10 volteos (figura 18-19). Las tasas de mortalidad en los volteos mostraron una tendencia creciente, con valores iniciales bajos y un incremento progresivo a medida que avanzó el cultivo y las ostras aumentaban de tamaño (tabla 8 y figura 20). En las primeras semanas, la mortalidad en los volteos fue baja, con 1,07% en la semana 3 y 1,36% en la semana 6. A partir de la semana 10, la mortalidad registrada en los volteos comenzó a aumentar significativamente, alcanzando 3,73% en la semana 10, 5,68% en la semana 18 y 6,69% en la semana 22. El pico de mortalidad se contabilizó en el último volteo en la semana 38, con 8,04%. En la última semana (semana 40) no se contabilizó mortalidad. El cultivo finalizó con una mortalidad estimada total acumulada de 42,37%.

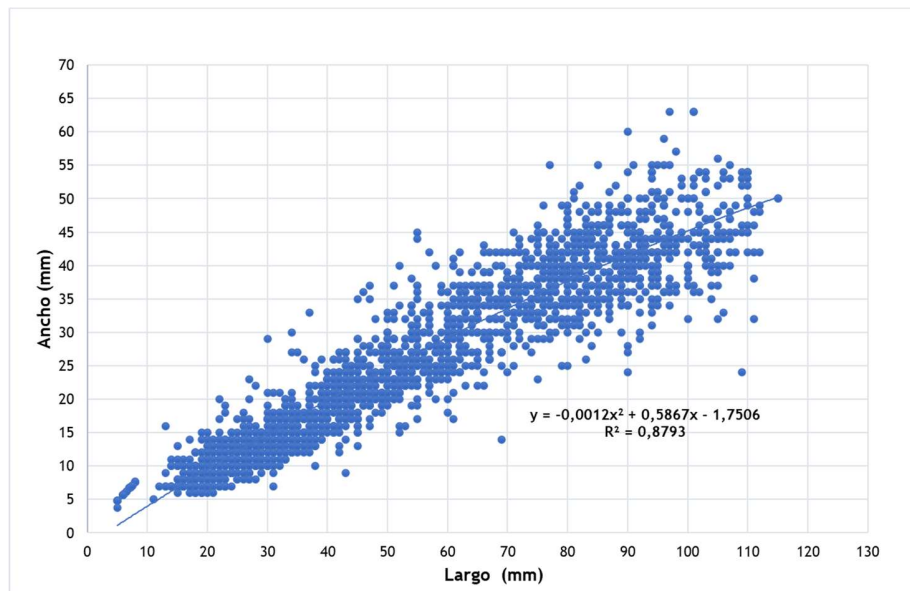


Figura 15. Relación largo y ancho de la concha de *M. gigas* obtenida en cultivo (n=2500). Elaboración propia.

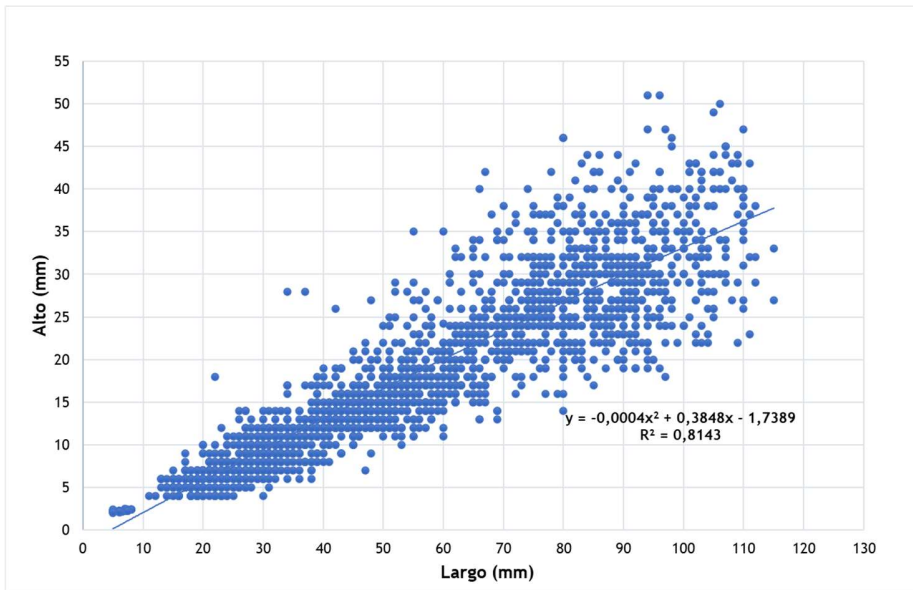


Figura 16. Relación largo y alto de la concha de *M. gigas* obtenida en cultivo (n=2500). Elaboración propia.

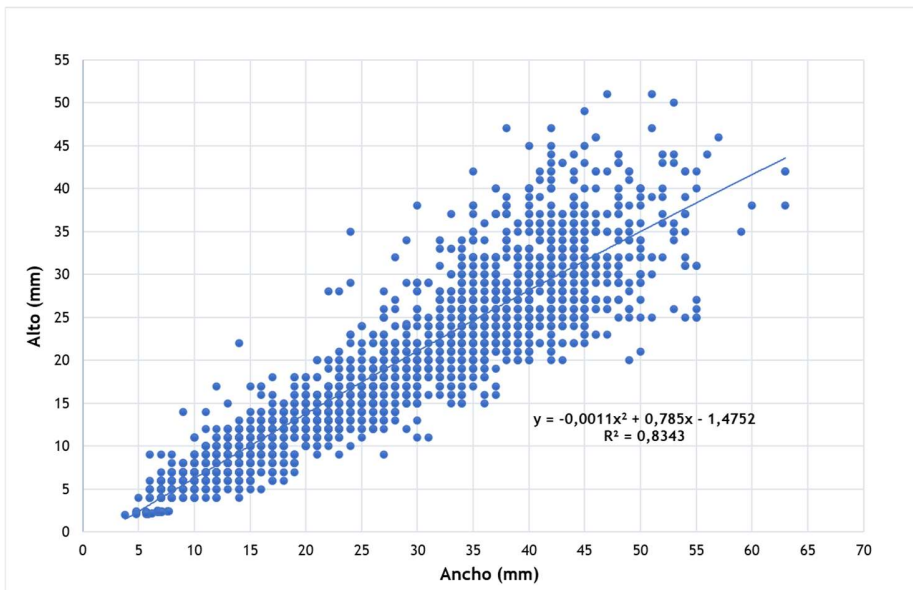


Figura 17. Relación de ancho y alto de la concha de *M. gigas* obtenida en cultivo (n=2500). Elaboración propia.

El tipo de linternas (tamaño de malla) y la cantidad fue creciendo de acuerdo al cronograma planteado y el ajuste de densidad previsto. El cultivo comenzó con la siembra de 131 linternas y terminó trabajando con 667 linternas colgadas en 7 *longlines*.

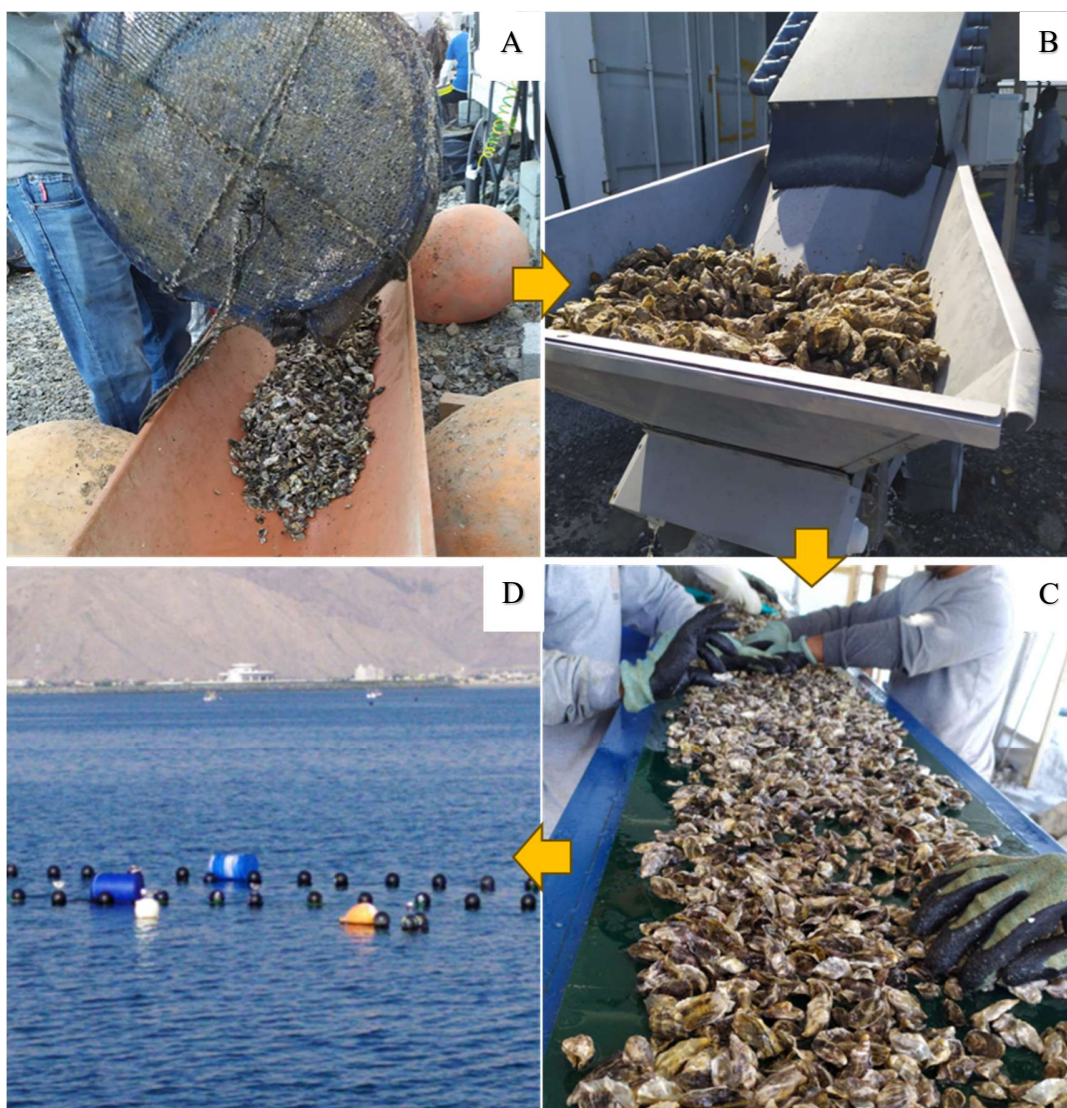


Figura 18. Proceso de Volteo. (A) Inicio de un volteo vaciando las linternas de 7 mm. (B) Cinta elevadora y lavadora de ostras para descargar en la máquina de *tumbling*. (C) Cinta de inspección de las ostras una vez que han pasado por el *tumbling*. (D) Las ostras en linternas nuevas de regreso al *longline*. Elaboración propia.



Figura 19. Linternas sucias que se van acumulando durante el día tras el volteo. Este proceso se realiza todos los días durante el cultivo atendiendo los diferentes lotes. Elaboración propia.

Tabla 8. Tasa de mortalidad registrada en cada volteo y semana correspondiente, mortalidad acumulada crecimiento y tipo de linterna utilizada en cada etapa. Elaboración propia.

Volteos	Siembra	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	
Semana	<i>Sem 0</i>	<i>Sem 3</i>	<i>Sem 6</i>	<i>Sem 10</i>	<i>Sem 14</i>	<i>Sem 18</i>	<i>Sem 22</i>	<i>Sem 26</i>	<i>Sem 30</i>	<i>Sem 34</i>	<i>Sem 38</i>	<i>Sem 40</i>
% Mortalidad calculada en volteos	0,00%	1,07%	1,36%	3,73%	4,40%	5,68%	6,69%	7,72%	7,55%	7,07%	8,04%	0,00%
Mortalidad acumulada	0,00%	1,07%	2,42%	6,06%	10,19%	15,29%	20,95%	27,06%	32,56%	37,33%	42,37%	
Tipo de linterna	3mm	3mm	7mm	7mm	12mm	12mm	12mm	21 mm	21mm	21 mm	21mm	21mm

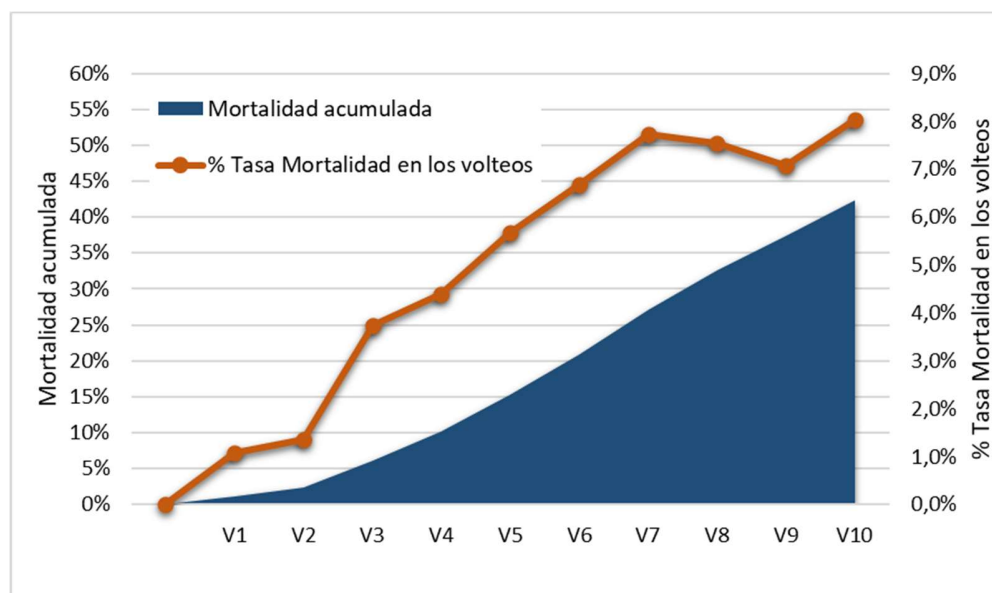


Figura 20. Tasa de mortalidad en los volteos y mortalidad acumulada durante el cultivo de *M. gigas*. Elaboración propia.

4.3 EVALUACIÓN ECONÓMICO-FINANCIERA DEL CULTIVO

Los cálculos de dimensionamiento permitieron estimar los costes de inversión en los sistemas de cultivo, de acuerdo con la planificación productiva establecida en este proyecto.

4.3.1 Inversiones

Las inversiones se dividieron en inmovilizado material e inmaterial (tabla 9). La inversión total proyectada para el año 0 ascendió a 992.700 €. En este tipo de proyectos, los sistemas de cultivo suelen representar una proporción significativa de la inversión total. En este caso, se estimó en 440.000 €, lo que equivale al 45,4% de la inversión en inmovilizado material.

El costo de los 30 longlines instalados durante el año 0 se estimó en 258.000 €, compuesto por los bloques de anclaje de hormigón, cabos y todas las boyas previamente descritas. El precio unitario de las linternas varía según el fabricante, la calidad, el tipo de malla y el sistema de cierre. En España, el costo unitario promedio de las linternas importadas se estimó en 33 €/unidad.

Otro componente relevante de la inversión en inmovilizado material corresponde a la adquisición de maquinaria. Por un lado, se contemplaron equipos necesarios para el proceso de cultivo, como sistemas de *tumbling* y elevadores, así como los sistemas de depuración, cuya inversión total asciende a 194.400 €, representando el 20% del total de la inversión en inmovilizado material.

Dado que el proyecto se consideró que no cuenta con acceso a la red eléctrica, se incluyó la adquisición de un grupo electrógeno. Asimismo, se consideró la compra de dos vehículos: una furgoneta equipada con una cámara isotérmica para el transporte de ostras empacadas y otra furgoneta para tareas operativas. Finalmente, se proyectó la adquisición de dos embarcaciones diseñadas específicamente para el cultivo de ostras (bivalvos), con una inversión total de 129.000€.

Tabla 9. Cuadro resumido de inversiones estimadas (sin IVA). Elaboración propia.

		Año 0	Año 3	Año 5	Año 7
TOTAL PROYECTO		992.700 €	62.123 €	61.717 €	89.174 €
Inmovilizado material		967.800 €	62.123 €	61.717 €	89.174 €
Sistemas de cultivo		440.000 €	62.123 €	61.717 €	89.174 €
• Linternas	Valor	181.500 €	50.205 €	61.694 €	65.355 €
	Cantidad	5.852	1.551	1.551	1.551
• Longlines	Valor	258.500 €	11.918 €	22.917 €	23.819 €
	Cantidad	30			
• Otros accesorios de cultivo		5.900 €			
Maquinarias		435.100 €			
• Maquinarias de cultivo y proceso		194.400 €			
• Grupo electrógeno y sistema distribución eléctrica		40.600 €			
• Vehículos		70.700 €			
• Embarcaciones tipo 1 y 2		129.400 €			
Otras inversiones e imprevisto		92.700 €			
• Construcciones y talleres		64.500 €			
• Mobiliario e informática		5.700 €			
• Imprevistos		22.500 €			
Inmovilizado inmaterial		24.900 €			
• Estudios técnicos e impacto ambiental		13.000 €			
• Licencias, permisos		6.900 €			
• Imagen corporativa y otros		5.000 €			

4.3.1 Costos fijos y variables.

La Tabla 10 presenta los costos fijos y variables estimados por año. Los costos fijos aumentan progresivamente debido al impacto de actualización anual del Índice de Precios al Consumo (IPC). Dentro de esta categoría, los salarios representan el 93,1% y el 92,3% en el primer y séptimo año, respectivamente, manteniendo una proporción estable a lo largo del período de estudio (figura 20). El proyecto contempla una plantilla total de 20 trabajadores a jornada completa, contratados según su categoría profesional, con costes salariales ajustados al convenio laboral vigente (Tabla 11).

Por su parte, los costos variables, que están directamente relacionados con el nivel de producción, representan el 27% del costo total del proyecto. Entre ellos, el consumo de combustible y energía, junto con la adquisición de semillas, constituyen los principales componentes (tabla 10 y figura 21).

Tabla 10. Muestra los costes fijos y variables calculados en €. Elaboración propia.

Costos totales	Año1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Costos fijos	363.956	378.678	388.902	399.402	410.186	421.261	432.635
Costos variables	49.367	80.418	82.660	84.964	87.333	89.769	92.274
Total	422.931	467.088	479.770	492.796	506.177	519.922	534.040

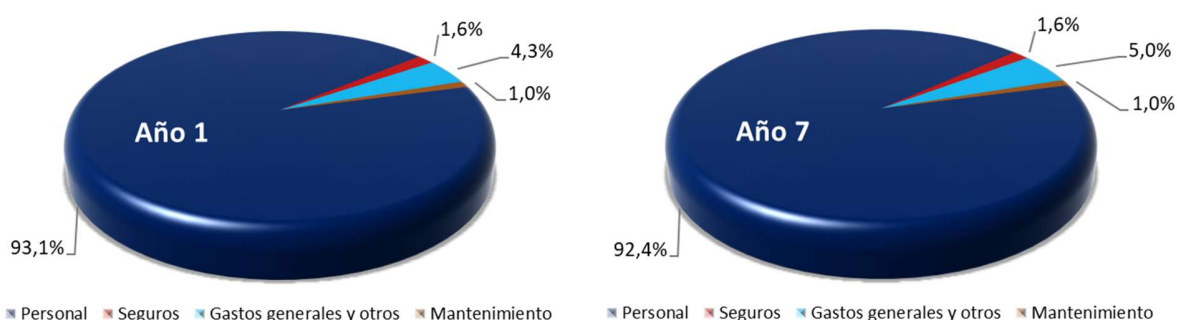


Figura 21. Muestra los costes fijos en los años 1 y 7 en porcentaje. Elaboración propia.

Tabla 11: Muestra el número de personas en el plantel y el coste unitario de acuerdo al VII Convenio colectivo estatal para la acuicultura en España. Elaboración propia.

	Número	Costo anual unitario
Director técnico	1	30.491,12 €
Oficial administrativo 2º	1	19.484,18 €
Patrón de embarcación	2	20.671,96 €
Personal buceador 2º	2	18.812,31 €
Personal auxiliar acuicultor	14	15.633,10 €

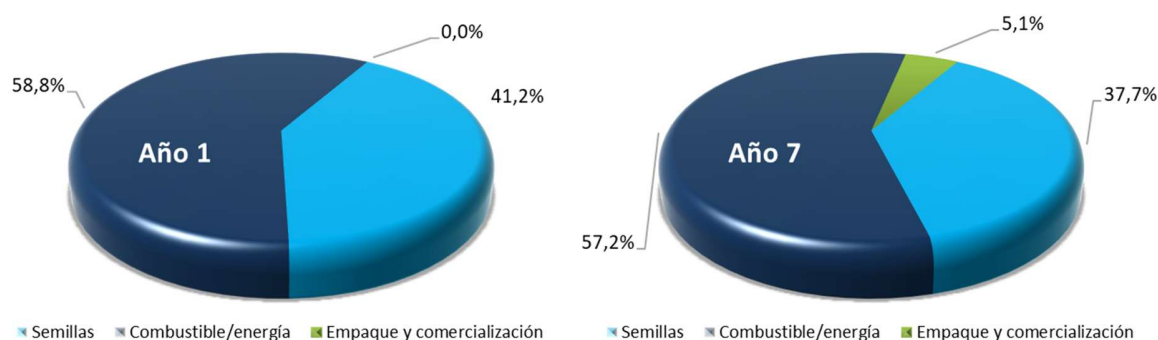


Figura 22. Muestra los costes variables en los años 1 y 7 en porcentaje. Elaboración propia.

4.3.2 Ingresos

La evolución de los ingresos fue calculada con un precio neto de partida por ostra de 0,36 € / unidad, equivalente a 4,32 €/kg, aproximadamente. Los ingresos crecen por la actualización anual del precio de venta con el IPC (tabla 12).

Tabla 12. Estructura de ingresos. Elaboración propia.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Precio venta por ostra	0,36 €	0,37 €	0,38 €	0,39 €	0,40 €	0,41 €	0,42 €
Ingresos	0 €	798.965 €	828.742 €	859.630 €	891.668 €	924.900 €	959.371 €

4.3.3 Cuenta de resultados.

La Cuenta de Resultados del proyecto se presenta en la tabla 13, donde se detallan los ingresos, costos y principales indicadores económicos durante los siete años de evaluación.

En el primer año, no se registran ingresos debido a la fase de inversión, siembra y crecimiento de los primeros ciclos del proyecto. A partir del segundo año, los ingresos alcanzan 798.965 €, con un crecimiento progresivo hasta 959.371 € en el séptimo año, reflejando la estabilización del proceso productivo.

Los costes variables presentan un incremento moderado, comenzando en 49.367 € en el segundo año y aumentando hasta 92.226 € en el séptimo año. En consecuencia, el margen bruto mejora progresivamente, alcanzando 867.146 € en el último año.

Los costes fijos se mantienen relativamente constantes, oscilando entre 376.564 € en el segundo año y 441.767 € en el séptimo año. La amortización, que inicialmente es de 155.690 €, disminuye progresivamente hasta 97.135 €, lo que refleja la depreciación de los activos a lo largo del tiempo y las reinversiones en material de cultivo.

El BAIT (Beneficio Antes de Intereses e Impuestos) muestra un resultado negativo de -581.621 € en el primer año, debido a la inversión inicial. Sin embargo, a partir del segundo año, se observa una recuperación progresiva, alcanzando 328.244 € en el séptimo año.

Los ingresos financieros, aunque marginales, contribuyen al beneficio total, aumentando de 8.624 € en el segundo año a 49.668 € en el séptimo año. Como resultado, el BAT (Beneficio Antes de Tributos) presenta un comportamiento positivo a partir del segundo año, con un incremento hasta 377.912 € en el último año de evaluación.

La base imponible refleja las ganancias sujetas a impuestos, mostrando una evolución similar al BAT. En los primeros tres años, debido a la recuperación de pérdidas iniciales, no se aplican impuestos. Sin embargo, a partir del cuarto año, se generan pagos fiscales que alcanzan 94.478 € en el séptimo año.

Finalmente, el BDT (Beneficio Después de Tributos) sigue la misma tendencia de crecimiento, alcanzando 283.434 € en el último año. No se registran dividendos distribuidos, por lo que la totalidad del beneficio se mantiene como beneficio retenido, contribuyendo al crecimiento del capital de la empresa.

Tabla 13. Muestra la cuenta de resultados previsional del proyecto en €. BAIT: Beneficio antes de impuestos y tributos. BAT: Beneficio antes de tributos y BDT: Beneficios después de tributos. Elaboración propia.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Ingresos	0	798.965	828.742	859.630	891.668	924.900	959.371
Costes Variables	49.367	80.378	82.618	84.921	87.289	89.723	92.226
Margen Bruto	-49.367	718.587	746.124	774.709	804.379	835.178	867.146
Costes Fijos	376.564	386.670	397.110	407.832	418.844	430.152	441.767
Amortización	155.690	155.690	171.681	136.835	139.927	81.072	97.135
BAIT	-581.621	176.226	177.333	230.041	245.609	323.953	328.244
Imputación de Subvención	0	0	0	0	0	0	0
Gastos Financieros	0	0	0	0	0	0	0
Ingresos Financieros	8.624	8.419	15.756	25.149	32.961	42.418	49.668
BAT	-572.998	184.646	193.088	255.191	278.570	366.372	377.912
Base Imponible	-572.998	-388.352	-195.264	59.927	278.570	366.372	377.912
Impuestos	0	0	0	14.982	69.642	91.593	94.478
BDT	-572.998	184.646	193.088	240.209	208.927	274.779	283.434
Dividendos		0	0	0	0	0	0
Beneficio Retenido	-572.998	184.646	193.088	240.209	208.927	274.779	283.434

Estos resultados indican que el proyecto requiere una fase inicial de inversión sin retorno en el primer año, pero logra alcanzar la rentabilidad a partir del segundo año, con una mejora sostenida en los indicadores económicos y financieros hasta el séptimo año de operación.

4.3.4 Evaluación de rentabilidad

El análisis financiero determinó un Valor Actual Neto (VAN) de 1.125.700 €, lo que indica la generación de valor del proyecto descontando los flujos futuros a la tasa establecida del 10%. La Tasa Interna de Retorno (TIR) alcanzó el 23,2%, superando la tasa de descuento utilizada en la evaluación. En términos de rentabilidad, el Índice de Rentabilidad Neta se situó en 108%, reflejando la relación entre los beneficios netos generados y la inversión inicial. Asimismo, el análisis de los últimos seis años del período evaluado muestra un Retorno sobre Activos (ROA) promedio del 14,3% y un Retorno sobre el Patrimonio (ROE) promedio del 14,2%, indicadores clave de la eficiencia en el uso de los recursos del proyecto (tabla 14).

Tabla 14. Principales parámetros de rentabilidad del proyecto. Elaboración propia

Indicador	Valor
VAN (10%) x 1000	1.125,7 €
Índice rentabilidad neto	108 %
TIR	23,2%
ROA	14,3%
ROE	14,2%

4.3.5 Punto de equilibrio

La tabla 15 presenta el coste de producción unitario, el porcentaje de equilibrio, y el volumen de equilibrio en € y unidades a lo largo del período evaluado. El coste de producción unitario muestra variaciones a lo largo de los siete años, oscilando entre 0,267 y 0,298 € por unidad, registrando el valor más bajo en el sexto año (0,267 €/unidad).

El punto de equilibrio, expresado como porcentaje sobre la capacidad productiva total, presenta una tendencia decreciente, pasando del 75% en el año 2 a un 62% en el año 7, por el efecto de la reducción de las amortizaciones.

En términos monetarios, el equilibrio en € refleja el ingreso necesario para alcanzar el punto de equilibrio. Este valor varía entre 603.026 € en el segundo año y 596.217 € en el séptimo año.

Por último, el equilibrio en unidades indica la cantidad mínima de ostras que deben venderse para cubrir los costos de operación. Esta cifra sigue una tendencia similar, disminuyendo desde 1.631 millones ostras en el segundo año hasta 1.411 millones en el séptimo año.

Tabla 15. Muestra el coste de producción unitario y el equilibrio en unidades y €. Elaboración propia.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Ingresos	0	798.965	828.742	859.630	891.668	924.900	959.371
Costes variables	49.367	80.378	82.618	84.921	87.289	89.723	92.226
Margen bruto	- 49.367	718.587	746.124	774.709	804.379	835.178	867.146
Costes fijos	-	542.360	568.792	544.667	558.770	511.224	538.902
Coste producción unitario	-	0,288 €	0,298 €	0,286 €	0,290 €	0,267 €	0,278 €
Equilibrio (%)	-	75%	76%	70%	69%	61%	62%
Equilibrio (€)	-	603.026 €	632.774 €	604.372 €	619.406 €	566.145 €	596.217 €
Equilibrio en Unidades x 1.000	-	1.631	1.664	1.550	1.547	1.376	1.411

4.3.6 Análisis de sensibilidad

4.3.6.1 Análisis univariante

La tabla 16 presenta los resultados del análisis de sensibilidad univariante, en el que se evaluaron los efectos de variaciones en la inversión, el precio de venta, la producción, los costos variables y los costos fijos sobre la rentabilidad del proyecto.

Bajo un escenario optimista, los resultados muestran que un incremento del 10% en el precio de venta o en la producción tiene un impacto más significativo en la rentabilidad en comparación con una reducción del 10% en los costos de inversión, costos variables o costos fijos.

En un escenario pesimista (figura 23), se identificaron los niveles de variación en cada variable que llevan la Tasa Interna de Retorno (TIR) al 10%, equivalente a la tasa de descuento, y el Valor Actual Neto (VAN) a cero. Los resultados muestran que una reducción del 19,4% en el precio de venta o en la producción es suficiente para alcanzar este umbral. En contraste, para que el proyecto alcance el mismo punto de equilibrio se requeriría un incremento del 185,5% en los costos variables, un 72,3% en la inversión inicial o un 38,1% en los costos fijos.

Estos resultados evidencian que el precio de venta y la producción tienen un impacto significativamente mayor en la rentabilidad del proyecto en comparación con las variaciones en los costos o en la inversión.

Tabla 16. Muestra tres escenarios y las variaciones indicadas que llevan a la variable VAN = 0 y TIR = Coste de capital. VAN en miles de €. Elaboración propia.

	OPTIMISTA		PESIMISTA		BASE	
	VAN	TIR	VAN	TIR	VAN	TIR
Inversión	1.249,6	25,7%	0,0	10,00%	1.125,7	23,2%
% variación	- 10,0%		+72,3%		0,0%	
Precio	1.784,7	29,1%	0,0	10,00%	1.125,7	23,2%
% variación	+10,0%		-19,4%		0,0%	
Producción	1.782,5	29,1%	0,0	10,00%	1.125,7	23,2%
% variación	+10,0%		-19,4%		0,0%	
Costes Variables	1.193,9	23,9%	0,0	10,00%	1.125,7	23,2%
% variación	-10,0%		+185,5%		0,0%	
Costes fijos	1.462,6	26,6%	0,0	10,00%	1.125,7	23,2%
% variación	-10,0%		+38,1%		0,0%	

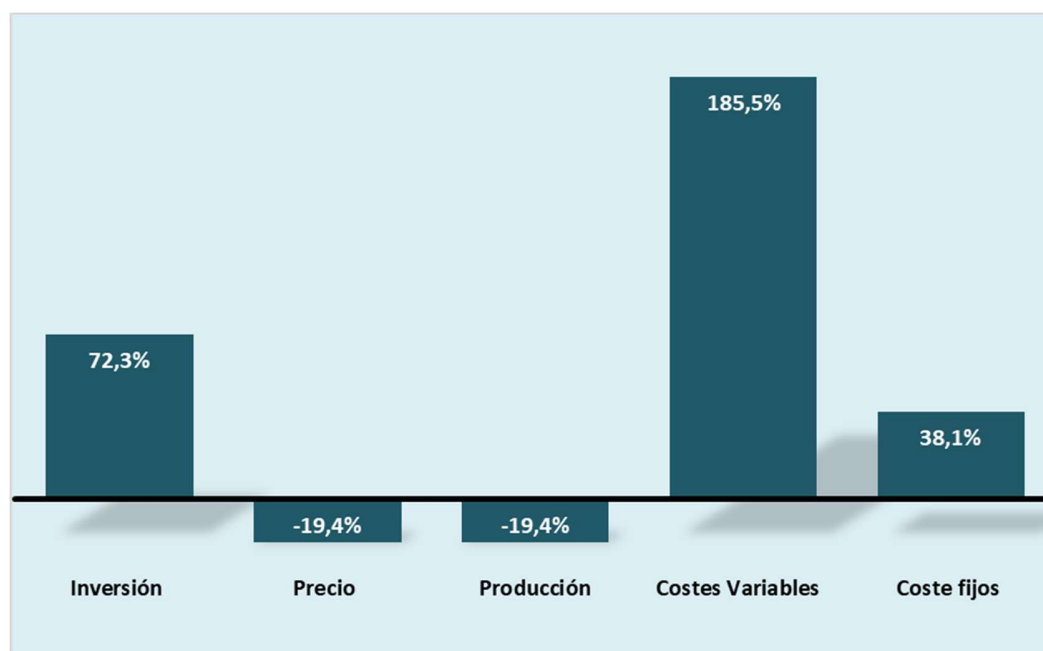


Figura 23. Muestra en un escenario pesimista la disminución o el aumento de las variables para que la TIR sea igual a la tasa de descuento (10%) y el VAN = 0. Elaboración propia

4.3.6.2 Impacto Financiero por mortalidad sorpresiva

La Tabla 18 muestra la evolución de la cuenta de tesorería (*cash flow*) del proyecto bajo un escenario de mortalidad sorpresiva del 75% en el segundo año y 50% en el tercero. Este impacto severo se refleja en las fluctuaciones del cash flow operativo, cash flow extra operativo y el excedente de tesorería, afectando los parámetros financieros del proyecto.

Cash flow operativo

El cash flow operativo, que representa los ingresos y egresos derivados de la actividad productiva, se ve afectado significativamente en los años 2 y 3, cuando ocurre la mortalidad masiva. En el año 2, alcanza 525,6 mil €, pero en el año 3, desciende drásticamente a 136,3 mil €, reflejando la fuerte reducción en la producción. A partir del año 4, el cash flow operativo muestra una recuperación progresiva, alcanzando 631,1 mil € en el año 7, lo que indica la capacidad del proyecto para restablecerse tras el impacto.

Cash flow extra operativo

El cash flow extra operativo, que incluye ingresos y egresos no directamente relacionados con la actividad productiva principal, también presenta fluctuaciones importantes. En los años 2 y 3, se registran pérdidas de -45,0 mil € y -44,5 mil €, respectivamente, debido a los costos adicionales generados por la crisis de mortalidad, como reposición de insumos y ajustes operativos. Aunque en el año 7 aún muestra un valor negativo (-41,8 mil €), la recuperación del cash flow operativo ayuda a compensar estas pérdidas.

Excedente de tesorería y acumulado

El excedente de tesorería, que representa la liquidez neta disponible cada año, muestra una caída significativa en el año 1 (-274,4 mil €) y, en especial, en el año 3 (-221,0 mil €), confirmando el fuerte impacto del evento de mortalidad. A partir del año 4, la tesorería se estabiliza y retorna a valores positivos, alcanzando 238,0 mil € en el año 7.

El excedente de tesorería acumulado, que refleja la acumulación de liquidez a lo largo del período de evaluación, muestra una recuperación tras la crisis. Aunque en el año 3 cae hasta 126,5 mil €, para el año 7 alcanza 818,7 mil €, lo que evidencia la resiliencia del proyecto en el largo plazo.

Indicadores de rentabilidad

A pesar del fuerte impacto en los flujos de caja durante los años críticos, los indicadores de rentabilidad del proyecto reflejan una capacidad de recuperación significativa (tabla 17):

- Valor Actual Neto (VAN): 874.000 €, lo que indica que el proyecto sigue siendo rentable en términos absolutos.
- Índice de Rentabilidad Neto (IRN): 83,8%, lo que significa que, por cada euro invertido, se generan 0,83 € de beneficio neto, evidenciando una rentabilidad positiva.

- Tasa Interna de Retorno (TIR): 18,7%, superior a la tasa de descuento utilizada en el análisis, lo que confirma la viabilidad del proyecto a pesar de la crisis de mortalidad.

Tabla 17. Resultados de los parámetros de rentabilidad del proyecto frente a un impacto financiero por mortalidad sorpresiva. Elaboración propia.

Indicador	Valor
VAN (10%) x 1000	874 €
Índice rentabilidad neto	83,8 %
TIR	18,7%

Tabla 18. Cuenta de tesorería (*cash flow*) del proyecto frente a un impacto financiero por mortalidad sorpresiva (x 1.000 €). Elaboración propia.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Cash flow operativo	0,0	0,0	525,6	136,3	282,7	586,5	608,4	631,1
Cobros operativos	2,2	277,7	305,8	312,4	321,7	332,7	342,0	351,3
Pagos operativos	-2,2	-277,7	219,8	-176,0	-38,9	253,8	266,4	279,8
Cash flow extra operativo	386,9	3,3	17,5	-45,0	6,3	-44,5	11,1	-41,8
Cobros extra operativos	1.181,8	13,3	60,5	28,0	31,2	63,6	71,5	80,2
Pagos extra operativos	794,9	10,0	43,0	73,0	24,9	108,1	60,4	122,0
Excedente de tesorería	384,6	-274,4	237,3	-221,0	-32,6	209,3	277,5	238,0
Excedente de tesorería acumulada	384,6	110,2	347,6	126,5	93,9	303,2	580,7	818,7

5. DISCUSIÓN

5.1 MODELO DE CÁLCULO DE DIMENSIONAMIENTO

El modelo de cálculo para el dimensionamiento que ha sido desarrollado en este estudio representa una herramienta inédita para la planificación de cultivos suspendidos de bivalvos utilizando linternas y *longlines*. Tradicionalmente, el cálculo en infraestructura en cultivos de ostras u otro tipo bivalvos se ha basado en estimaciones y experiencias previas, lo que puede generar errores en la adquisición de materiales. Si bien el dimensionamiento puede realizarse mediante planificaciones complejas hechas en Excel, este enfoque requiere un alto nivel de personalización y demanda una cantidad significativa de tiempo para la elaboración, introducción y procesamiento de datos.

Actualmente hay varios modelos que abordan distintos aspectos del cultivo, desde la evaluación de la capacidad de carga hasta la predicción del crecimiento individual de los organismos en función de variables ambientales. Modelos como FARM (*Farm Aquaculture Resource Management*), ShellSIM (*Shellfish Simulation Model*) y ShellGIS han sido diseñados para optimizar la producción considerando factores como la calidad del agua, la disponibilidad de alimento y el impacto ecológico del cultivo (Ferreira et al., 2007; Hawkins et al., 2013; Newell et al., 2018). Sin embargo, estos enfoques no proporcionan herramientas específicas para la planificación operativa de las infraestructuras de un cultivo, lo que es crucial para la gestión eficiente de los insumos y la cuantificación de inversiones.

En este contexto, el modelo de dimensionamiento desarrollado en este estudio responde a una necesidad distinta, proporcionando una metodología cuantificable para determinar la cantidad de linternas y *longlines* necesarias en cada etapa del proceso productivo. Este modelo permite estimar tanto las linternas en uso como el stock requerido para garantizar la continuidad del cultivo. A diferencia de los modelos biofísicos y bioeconómicos existentes, el presente modelo no depende

de variables ambientales ni requiere calibraciones específicas para diferentes ubicaciones, lo que lo hace aplicable a distintos sistemas de producción y especies de bivalvos sin necesidad de ajustes basados en condiciones locales, siempre que sea la factibilidad biológica viable para el cultivo. Las variables requeridas por el modelo de cálculo son completamente independientes, como la densidad inicial de siembra, el tipo de linterna y el número de pisos. En este estudio, se utilizaron densidades de siembra iniciales de 450 ostras/piso con semillas T6. El método de cálculo funcionó sin inconvenientes incluso para densidades más altas, como las recomendadas en algunos manuales de cultivo de ostras, que sugieren valores entre 1.000 y 2.000 ostras/piso (Suplicy, 2022) o entre 1.450 y 2.500 ostras/piso (Mercer et al., 2024). Además, el modelo es independiente tanto del número de volteos/*tumbling* como del intervalo en semanas entre cada uno, lo que permite su aplicación en distintos esquemas de producción. Por otra parte, al recalcular la cantidad de linternas utilizando los valores de mortalidad registrados en el cultivo y ajustados al modelo, los resultados obtenidos fueron ligeramente más altos. Esto valida la utilidad del modelo, ya que, de haber sido utilizado para la planificación de compras de material para la empresa, habría garantizado un *stock* suficiente considerando los niveles de mortalidad observados.

- **Comparación con modelos existentes**

El modelo FARM ha sido ampliamente utilizado para evaluar la capacidad de carga y la sostenibilidad de la acuicultura de bivalvos, integrando procesos biogeoquímicos para estimar el crecimiento y los impactos ambientales de la actividad acuícola (Ferreira et al., 2007). Si bien su enfoque es útil para maximizar la eficiencia productiva dentro de un ecosistema determinado, no proporciona información sobre la cantidad de insumos físicos necesarios en la operación diaria de una granja ostrícola o en el cultivo de otro tipo de bivalvo con linternas y *longlines*. Del mismo modo, ShellSIM ha demostrado ser una herramienta eficaz para la predicción del crecimiento individual de *M. gigas*, permitiendo simular variaciones en función de la temperatura y la calidad del seston (Graham et al., 2020; Hawkins et al., 2013). Sin embargo, su aplicabilidad se restringe a la evaluación del desempeño biológico del cultivo, sin abordar aspectos logísticos o financieros.

Por otra parte, los modelos a escala de granja, como los descritos en Newell et al. (2018), han incorporado herramientas geoespaciales (*GIS-based models*) para optimizar la ubicación y la productividad de las granjas de bivalvos. Estos enfoques permiten evaluar la viabilidad de distintos sitios de cultivo y predecir el impacto del cultivo en el medio, pero no contemplan el dimensionamiento de la infraestructura requerida para sostener la producción a largo plazo. En contraste, el modelo de dimensionamiento aquí desarrollado proporciona una herramienta operativa para gestionar la adquisición y el reemplazo de materiales, facilitando la toma de decisiones en términos de inversión y reinversión.

- **Aplicabilidad en la planificación económica-financiera**

El conocimiento preciso de la cantidad de linternas y *longline* requeridas en un cultivo tiene un impacto directo en la planificación económica-financiera de un proyecto acuícola. La inversión en linternas representa una parte significativa del costo en inmovilizado material, el cual puede suponer más de 45% de la inversión total de un proyecto acuícola de pequeña escala, por tanto, su correcta estimación es esencial para cuantificar el capital necesario para la puesta en marcha y operación del sistema *longline*. Además, dado que las linternas tienen una vida útil de 3 a 5 años, el modelo desarrollado facilita calcular la cantidad de unidades que deberán ser reemplazadas en ciclos de producción futuros o conocer la cantidad de unidades que serán requeridas en ampliaciones de producción.

A diferencia de los modelos basados en simulaciones bioenergéticas, el presente enfoque permite estimar de manera directa las necesidades de insumos físicos, lo que facilita la planificación financiera a corto y largo plazo, especialmente útiles en proyectos de acuicultura de pequeña escala (APE). Esta capacidad es particularmente relevante en estudios de factibilidad económica, como el desarrollado en este trabajo, donde se han utilizado los datos generados por el modelo para evaluar la inversión en un sistema *longline* de *M. gigas*.

- **Integración y complementariedad de modelos**

Si bien el modelo de dimensionamiento no busca optimizar el crecimiento biológico ni evaluar la capacidad de carga ambiental, su integración con herramientas como FARM, ShellSIM o modelos GIS podría ofrecer un enfoque más completo y complementario para la planificación del cultivo de bivalvos. Por un lado, los modelos biofísicos pueden ayudar a determinar la mejor ubicación y las condiciones óptimas de crecimiento y por otro, el modelo de dimensionamiento permite traducir estas proyecciones en requerimientos concretos de infraestructura, especialmente útil en el desarrollo de programas de desarrollo de comunidades costeras en base a proyectos de acuicultura de pequeña escala. Esta complementariedad podría mejorar la precisión en la planificación de proyectos acuícolas y las inversiones.

5.2 CULTIVO

En el cultivo de ostras, la tasa de crecimiento es uno de los criterios más utilizados para evaluar el rendimiento productivo. En el presente estudio, las tasas de crecimiento fueron determinadas en condiciones reales en un cultivo comercial, a través del seguimiento de un lote específico manejado bajo un protocolo definido, que incluyó el uso de diferentes tipos de linternas, variaciones en la densidad y ajustes en los tiempos de cultivo.

Al finalizar el ciclo productivo, la tasa de crecimiento promedio del largo de la concha fue de $0,311 \pm 0,26$ mm/d, un valor significativamente superior a las tasas de crecimiento reportadas en el metaanálisis de Wadsworth et al. (2019), el cual evaluó el desempeño de ostras triploides a partir de 29 publicaciones y 148 experimentos. En dicho estudio, las tasas de crecimiento variaron entre $0,158 \pm 0,116$ mm/d y $0,167 \pm 0,107$ mm/d, valores considerablemente menores al obtenido en el presente trabajo. Asimismo, la tasa de crecimiento observada se encuentra dentro de las más altas registradas en la revisión realizada por Chávez-Villalba (2014), quien analizó 12 estudios sobre *M. gigas* diploides en cinco zonas productoras de México, considerando diferentes sistemas de cultivo. En su análisis, las tasas de crecimiento oscilaron entre 0,098 y 0,5 mm/d, aunque la mayoría de los valores fueron inferiores a 0,4 mm/d, con solo un registro alcanzando los 0,5 mm/d. Estas altas

tasas de crecimiento son coincidentes con las tasas que obtuvimos en los primeros 100 días de cultivo (Treviño et al., 2020).

Nuestro resultado sugiere que las condiciones ambientales y las estrategias de manejo utilizadas en el presente estudio podrían haber favorecido un mejor rendimiento. La temperatura es uno de los principales factores ambientales que afectan a las tasas de crecimiento en invertebrados. Al inicio del cultivo, la temperatura se mantuvo por encima de 30 °C durante aproximadamente 18 días y sobre los 27 °C por un período de tres meses y medio, aproximadamente. En este intervalo, las ostras presentaron las tasas de crecimiento más altas del ciclo productivo, lo que sugiere que las temperaturas elevadas podrían haber favorecido las tasas de crecimiento. No obstante, Bourlès et al. (2009) determinaron que *M. gigas* presenta un umbral térmico superior de 25 °C para la ingestión y 32 °C para la respiración, lo que indica que temperaturas elevadas pueden generar un aumento en la demanda metabólica sin una ingesta proporcional de alimento. Este desbalance energético puede llevar a una reducción del crecimiento o al incremento del estrés térmico y la mortalidad. Sin embargo, en el presente estudio, las tasas de crecimiento más altas se registraron a temperaturas superiores a 28 °C, lo que sugiere que la disponibilidad de alimento pudo haber compensado el mayor gasto energético, permitiendo a las ostras mantener un crecimiento acelerado incluso en condiciones térmicas elevadas. Por su parte, Bertolini et al. (2021) destacan que el crecimiento de *M. gigas* no solo está determinado por la temperatura, sino que también depende de la disponibilidad de fitoplancton (medida como clorofila-a). En su estudio, se observaron que, en regiones con alta productividad primaria, las ostras fueron capaces de mantener tasas de crecimiento elevadas incluso cuando la temperatura superó los 25-28 °C. Estos resultados coinciden con los obtenidos en el presente estudio, donde la combinación de altas temperaturas y disponibilidad de alimento pudo haber generado un ambiente propicio para un crecimiento acelerado. No obstante, también advierten que temperaturas sostenidas por encima de 30 °C pueden representar un umbral crítico que afecta la homeostasis de la especie, lo que podría explicar la variabilidad observada en la respuesta de *M. gigas* en diferentes estudios (Góngora-Gómez et al., 2017).

Lamentablemente, en el presente estudio no fue posible medir directamente la concentración de alimento disponible en la columna de agua. Sin embargo, estudios previos realizados en la zona

han reportado una concentración promedio de clorofila-a de $6,89 \pm 12,73 \mu\text{g/L}$, lo que, a pesar de representar un valor relativamente alto, presenta una variabilidad considerable, reflejada en su elevada desviación estándar (Al Shehhi et al., 2017). No obstante, este valor es ligeramente superior a los $5,43 \mu\text{g/L}$ registrados en la principal zona productora de *M. gigas* en la Prefectura de Miyagi, Japón (Kamiyama et al., 2021), y se encuentra dentro del rango de $0,39 - 10,96 \mu\text{g/L}$ reportado en la Bahía de Marennes-Oléron, Francia, una de las principales áreas de cultivo de ostras en Europa (Barillé et al., 1997).

La triploidía también puede tener un efecto sobre la tasa de crecimiento y los rendimientos productivos. Ibarra et al. (2017) en su análisis comparativo entre ostras diploides y triploides en ambientes tropicales y templados, observaron que las triploides mostraron un mejor desempeño en ambientes cálidos en comparación con las diploides, resultados que fueron confirmados con la aplicación de un modelo dinámico de desempeño productivo entre diploides y triploides (Ascencio-Michel et al., 2022). Este resultado sugiere que la triploidía podría conferir una ventaja adaptativa en condiciones de temperatura elevada, posiblemente debido a la reducción en la inversión energética destinada a la reproducción (Nell, 2002). De hecho, en los sitios tropicales evaluados, las ostras triploides exhibieron un crecimiento superior, a pesar de que su fecundidad y volumen gonadal fueron mayores en comparación con las diploides. Esto sugiere que, aunque las triploides pueden presentar cierto grado de actividad reproductiva, la menor inversión en gametogénesis en comparación con las diploides podría permitir una mayor asignación de energía al crecimiento somático (Ibarra et al., 2017).

En este contexto, los resultados del presente estudio podrían atribuirse a la combinación de triploidía y alta temperatura, factores que, en conjunto con una adecuada disponibilidad de alimento, habrían favorecido el crecimiento de las ostras. Estos hallazgos son coherentes con los reportados por Shpigel et al. (1992), quienes, en una evaluación de laboratorio de 35 días, observaron que las ostras triploides de *M. gigas* (10 g) experimentaron un crecimiento significativo a $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Asimismo, coinciden con estudios de cultivo en condiciones naturales, donde se han registrado las mayores tasas de crecimiento de juveniles de *M. gigas*, pero en este caso diploides, en periodos en los que la temperatura del agua superó los $30 \text{ }^\circ\text{C}$ (Chávez-Villalba et al., 2010; Treviño et al., 2020). No obstante, temperaturas sostenidas por encima de $30 \text{ }^\circ\text{C}$ pueden

incrementar la mortalidad de *M. gigas* en cultivo, lo que sugiere la existencia de un umbral térmico crítico para la especie en condiciones prolongadas de exposición (Flores-Vergara et al., 2004). Ibarra et al. (2017) encontraron que la supervivencia de las ostras triploides disminuyó considerablemente en sitios tropicales, lo que indica que, a pesar del beneficio en crecimiento, existe un límite térmico en el que la triploidía podría dejar de ser una ventaja y la fisiología del organismo se vería comprometida.

La mortalidad acumulada registrada en el presente estudio alcanzó un 42,37% al final del ciclo productivo (semana 38-40), mostrando una tendencia creciente a lo largo del cultivo. Este patrón sugiere una posible relación positiva entre el tamaño de las ostras, la edad del cultivo y el incremento en la tasa de mortalidad. Las tasas de mortalidad en cultivos de ostras pueden variar considerablemente dependiendo de factores ambientales, el manejo aplicado durante el cultivo y la ploidía de los organismos. Sturmer et al. (2022) documentaron eventos de mortalidad inusualmente altos en primavera y verano de 2018 y 2019 en Florida y Luisiana, con pérdidas que oscilaron entre 50% y 80% en ostras triploides. De manera similar, Wadsworth (2018) reportó tasas de mortalidad en cuatro granjas de la Costa del Golfo, donde los valores para ostras triploides superaron el 50%, mientras que en diploides fueron menores al 25%. Otros estudios han reportado tasas de mortalidad más moderadas. Bodenstein et al. (2021) registraron mortalidades que fluctuaban entre 0 y 40% en ostras diploides, mientras que en las triploides se observaron valores entre 5% y 60%, lo que sugiere que estas últimas pueden ser más susceptibles a ciertas condiciones ambientales, mientras que Walton et al. (2012) reportaron una mortalidad media del 29%, sin diferencias significativas entre ambas ploidías, de forma similar, Melo et al. (2020) reportaron diferencias significativas en la mortalidad acumulada de *M. gigas* entre dos sitios de cultivo evaluados en la costa sur de Brasil, con valores de 61% y 33%. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en la mortalidad entre ostras diploides y triploides. Ellos concluyeron que las condiciones ambientales del sitio de cultivo tuvieron un impacto más determinante en la supervivencia de las ostras que la ploidía, lo que resalta la importancia de la selección del sitio para mitigar las pérdidas productivas.

Actualmente, no existe un consenso claro sobre qué nivel de mortalidad puede considerarse aceptable en el cultivo de *M. gigas*. Parker et al. (2020) recopilaron diversos estudios sugiriendo que una mortalidad del 50% desde la fase de semilla (5-10 mm) hasta la talla comercial puede

clasificarse como moderada dentro de la variabilidad natural de los cultivos. En particular, los registros de mortalidad en la Bahía de Chesapeake han mostrado una amplia variabilidad, con valores que oscilan entre 8% y más del 70%, lo que indica que las tasas de mortalidad pueden verse significativamente afectadas por las condiciones ambientales y las operaciones de cultivo. Treviño et al. (2020) en un estudio de cultivo suspendido con *M. gigas* obtuvieron una sobrevivencia mensual sobre el 90% sugiriendo que una sobrevivencia acumulada de un 71,5% es adecuada para un cultivo, el cual tuvo una duración de 5 meses. Por otra parte, Walton et al. (2012) propusieron una mortalidad teórica del 10%, mientras que otros modelos consideran un valor esperado del 25% desde la siembra hasta la cosecha. El manual de cultivo de ostras *M. gigas* de la FAO sugiere considerar tasas de mortalidad en cultivo con linternas desde T6 a talla comercial de un 70% a 80% (Mercer et al., 2024). Finalmente, Chávez-Villalba (2014) considera que una tasa de mortalidad inferior al 40% al final del cultivo estaría dentro de los estándares de producción de la especie. Sin embargo, cuando la mortalidad total alcanza entre 40-50%, o se observan valores elevados (>30%) en una fase específica del ciclo productivo (juveniles o adultos) o en un periodo crítico, como el verano, estos niveles son indicativos de eventos atípicos, que podrían estar relacionados con factores ambientales adversos o deficiencias en el manejo del cultivo. Estos estudios evidencian la alta variabilidad en la mortalidad del cultivo de ostras, lo que ha llevado a los productores a adoptar estrategias para mitigar las pérdidas y optimizar la producción. Una práctica común en el sector es ajustar la cantidad de semilla sembrada, asumiendo una mortalidad esperada que puede oscilar entre 40% y 50% antes de que las ostras alcancen la talla comercial. Además de las pérdidas naturales durante el cultivo, este cálculo contempla un porcentaje de ostras que serán rechazadas en el mercado debido a malformaciones en la concha, alteraciones en el aspecto o variaciones en la coloración, lo que afecta su valor comercial en mercados especializados.

La morfometría de la concha, definida por parámetros como el largo, ancho y alto, está influenciada por múltiples factores ambientales y de manejo. Entre ellos, destacan el hábitat, la forma en que la ostra se asienta sobre el sustrato, la densidad poblacional y, en el caso de la acuicultura, las prácticas de manejo y manipulación aplicadas durante el cultivo (Harding, 2007; Stone et al., 2013). En este estudio, los datos obtenidos a partir de las mediciones de largo, ancho y alto en 2500 ostras muestran correlaciones consistentes entre estas dimensiones, lo que coincide con los patrones

previamente descritos en la literatura. Según Mizuta & Wikfors (2019), la forma ideal de la concha, caracterizada por una proporción equilibrada entre longitud, ancho y alto, es altamente valorada en el mercado de ostras enteras, mientras que individuos con morfologías alargadas o estrechas pueden ser considerados de menor calidad comercial en mercados altamente especializados. Además, este estudio confirma la plasticidad morfológica de la concha, la cual puede ser modificada en cultivo mediante estrategias como la selección del sitio de cultivo, la densidad de siembra, el uso de estructuras flotantes y el *tumbling*, que permite mejorar la proporción de la concha y generar ejemplares con mayor profundidad y robustez. La capacidad de adaptación de la morfología a distintas condiciones ambientales y prácticas de manejo refuerza la importancia de optimizar estos factores para producir ostras con características comerciales deseables (Mercer et al., 2024). Sin duda, las correlaciones morfométricas de las conchas de las ostras pueden ser una herramienta útil para seleccionar el tipo de malla en las linternas y determinar el momento óptimo para su uso en el cultivo. Esto es especialmente relevante si se cuenta con registros que relacionen el tiempo con las tasas de crecimiento y el tamaño que las ostras alcanzan en cada etapa del cultivo.

5.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA-FINANCIERA

Los estudios económico-financiero de cultivos de ostras son muy escasos y difíciles de comparar en muchos de los casos, dada la enorme cantidad de variables en aspectos productivos, sistemas de cultivo, geográficos, mercados y costes.

El análisis financiero del cultivo de *M. gigas* en *longline* ha demostrado que la rentabilidad del proyecto depende de múltiples factores, entre ellos la escala de producción, la estructura de costos, la estrategia de comercialización y la capacidad de resiliencia financiera ante eventos adversos. Para evaluar la solidez del modelo económico, se han comparado los resultados con estudios previos, incluyendo el análisis de cinco granjas ostrícolas en Brasil (Matarazzo, 2021), el impacto económico de la industria en Maryland (Senten et al., 2019) y la evaluación de costos en sistemas de cultivo en EE.UU. (Petrolia & Caffey, 2024).

La escala de producción ha sido identificada como un factor determinante en la rentabilidad de la ostricultura. Matarazzo (2021) muestra que granjas con mayor volumen de producción logran

mejores márgenes debido a la dilución de costos fijos. En su análisis, la granja con mayor producción (200.000 docenas de ostras/año) presenta un margen neto del 30,5%, mientras que la más pequeña (20.000 docenas/año) opera con márgenes negativos de -15,7%. Un patrón similar fue observado en EE.UU. por Petrolia & Caffey (2024), quienes concluyeron que las granjas con menos de 720.000 ostras/año tienen dificultades para alcanzar la rentabilidad, mientras que las de mayor escala (1-1,5 millones de ostras/año) logran beneficios sostenibles.

En este contexto, el proyecto analizado en este estudio presenta una producción de 2,16 millones de ostras cosechadas anualmente, superando ampliamente los umbrales mínimos de rentabilidad identificados en Brasil y EE.UU. Este volumen de producción no solo permite aprovechar economías de escala, sino que también sitúa el proyecto en una posición cómoda en términos financieros. Sin embargo, la rentabilidad no depende exclusivamente del volumen de producción, sino también de la estrategia de comercialización. Matarazzo (2021) destaca que las granjas que venden ostras directamente a mayoristas tienen menores costos operativos, pero también reducidos márgenes de ganancia. En contraste, aquellas que controlan su propia cadena de procesamiento y venta directa logran mejores precios por unidad, aunque requieren una mayor inversión en infraestructura. En EE.UU., Petrolia & Caffey (2024) encuentran que la comercialización directa al consumidor final puede aumentar los ingresos hasta en un 35%, aunque a costa de mayores costos logísticos y administrativos.

El modelo financiero de este estudio contempla la venta de ostras vivas depuradas en instalaciones propias y asume un coste por comercialización, lo que permite un mayor control sobre el precio de venta y, en teoría, una mejora en los márgenes de rentabilidad. Sin embargo, esto implica costos adicionales de mantenimiento y operación de la infraestructura de depuración, además, de costes de calidad, seguridad alimentaria y análisis de laboratorio. El estudio sobre la industria en Maryland (Senten et al., 2019) sugiere que, en algunos casos, la viabilidad de estos modelos puede mejorar con esquemas de infraestructura compartida, optimizando los costos sin perder control sobre la comercialización, punto muy importante para aplicar en modelos de acuicultura de pequeña escala (APE), lo que reduciría el lucro de los intermediarios que aprovechan las escasas capacidades de organización y comercialización de los productores APE (Lagno et al., 2023).

La estructura de costos es otro elemento clave para determinar la viabilidad financiera de un cultivo ostrícola. Matarazzo (2021) señala que los costos laborales representan entre 42% y 44% de los costos totales de producción en Brasil. En contraste, en el presente estudio, los costos laborales constituyen más del 90% de los costos operativos, evidenciando una diferencia sustancial. Esta disparidad puede atribuirse a varios factores, entre ellos, el tamaño y estructura de las granjas en Brasil, donde muchas unidades de producción son de menor escala y dependen en gran medida de mano de obra familiar, reduciendo así los costos laborales directos. Además, el salario mínimo en España es casi cinco veces superior al de Brasil, lo que contribuye significativamente a esta brecha en los costos laborales.

Otro aspecto relevante en la estructura de costos es la depreciación de infraestructura. Matarazzo (2021) enfatiza que la reposición de linternas y equipamiento debe ser planificada para evitar caídas en la productividad. En este sentido, el modelo financiero desarrollado en este estudio ya contempla una reinversión parcial en linternas en los años 3, 5 y 7, calculadas con el modelo de dimensionamiento propuesto en este trabajo, lo cual asegura la continuidad operativa sin generar déficits de insumos.

Además de la estructura de costos, la resiliencia financiera ante eventos adversos es fundamental para garantizar la viabilidad del proyecto a largo plazo. Petrolia & Caffey (2024) analizan escenarios donde la mortalidad alcanza el 100% en un año y el 50% en el siguiente, concluyendo que estos eventos pueden llevar a la quiebra técnica de las granjas ostrícolas si no cuentan con reservas de tesorería suficientes. En nuestro análisis, se simuló un escenario donde la mortalidad aumentaba al 75% en el tercer año y al 50% en el cuarto año, lo que redujo la TIR del 23,2% al 18,69% y el VAN de 1.125.700 € a 874.433 €.

A pesar de esta caída en la rentabilidad, el proyecto logró mantenerse viable gracias a su estrategia de aprovisionamiento de tesorería, que fue incluido en el capital inicial para cubrir los costos operativos del primer año. Sin embargo, si este mismo evento hubiese ocurrido en los años 1 y 2, cuando la empresa aún no había acumulado suficiente capital de reserva, habría entrado en quiebra técnica, requiriendo financiamiento externo o una ampliación de capital. Este resultado es consistente con los hallazgos de Senten et al. (2019) en la industria de Maryland, que recomienda

la acumulación de reservas financieras en los primeros años de operación para evitar insolvencias ante caídas inesperadas en la producción.

Otro factor que influye en la viabilidad del proyecto es la sensibilidad a variaciones en el precio de venta. Matarazzo (2021) encontró que una reducción del 10% en el precio de venta puede hacer que algunas granjas pequeñas se vuelvan no rentables, mientras que en granjas más grandes la rentabilidad se mantiene estable hasta con una caída del 20% en el precio. En nuestro estudio, el precio de venta estimado fue 0,36 € por ostra (4,32 €/kg), el cual está dentro del rango de precios observados en Brasil y EE.UU.

Finalmente, la comparación con los estudios de Brasil y EE.UU. permite situar nuestro modelo dentro de un contexto global. Matarazzo (2021) reporta márgenes netos del 30-40% en Brasil, mientras que en Australia estos valores son 10-17%, en EE.UU. promedian el 13% y en Francia superan el 40% debido a precios más altos por unidad. En nuestro caso, la TIR es del 23,2% en condiciones normales y 18,69% en un escenario de alta mortalidad, lo que sitúa la rentabilidad del proyecto dentro de los valores esperados en la industria ostrícola internacional.

El análisis de sensibilidad univariante realizado permite evaluar la robustez financiera del proyecto ante variaciones en variables clave como la inversión inicial, el precio de venta, la producción, los costos variables y los costos fijos. En este caso, cada variable en un escenario pesimista, se buscó el valor mínimo que llevaba al proyecto a alcanzar la mínima rentabilidad posible fijada con un VAN = 0 y una TIR igual a 10%, es decir, el mismo valor del costo del capital. Los resultados muestran que la rentabilidad del proyecto es más sensible a cambios en el precio de venta y la producción, mientras que variaciones en los costos e inversión tienen un impacto relativamente menor.

- **Impacto de Variaciones en el Precio y la Producción**

El análisis indica que una reducción del 19,4% en el precio de venta o en la producción llevaría la Tasa Interna de Retorno (TIR) al 10% y el Valor Actual Neto (VAN) a cero, lo que implica que el proyecto perdería atractivo financiero como inversión. Por otro lado, en un escenario optimista, un incremento del 10% en el precio de venta o en la producción genera un impacto positivo

significativo, aumentando la TIR hasta 29,1% y elevando el VAN a un poco más de 1.780.000 € para ambos casos.

- **Impacto de Variaciones en los Costos**

En comparación con la sensibilidad al precio y a la producción, los resultados muestran que el impacto de los costos variables y fijos es menos crítico. Para que el proyecto alcance el punto de equilibrio, los costos variables tendrían que aumentar un 185,5%, los costos fijos un 38,1% y la inversión inicial un 72,3%.

Estos valores indican que el proyecto tiene cierto margen de absorción ante incrementos de costos, lo que es una señal positiva en términos de estabilidad financiera, no obstante, puede poner en riesgos la ejecución del mismo si no encuentra financiación para cubrir estos incrementos, dada la dificultad que normalmente se encuentra para financiar el activo circulante. Sin embargo, el hecho de que los costos laborales representen una proporción significativa de los costos operativos sugiere que una optimización en la gestión de recursos humanos y eficiencia operativa podría contribuir a mejorar la rentabilidad y disminuir las necesidades financieras.

- **Comparación con Estudios Previos**

Los hallazgos de este análisis son consistentes con estudios previos, como el de Matarazzo (2021) en Brasil, donde se observó que la variación en el precio de venta tiene un impacto decisivo en la rentabilidad de las granjas ostrícolas. En ese estudio, se encontró que una reducción del 10% en el precio de venta afectaba la rentabilidad de pequeñas granjas, mientras que, en operaciones más grandes, el efecto era menos drástico.

Asimismo, en el análisis de Petrolia & Caffey (2024) sobre la acuicultura en EE.UU., se determinó que los costos operativos tienen una influencia menor en comparación con las variaciones en el precio y la producción, lo que refuerza la importancia de mantener un modelo productivo eficiente y optimizar la estrategia comercial para garantizar precios estables y competitivos.

- **Implicaciones para la Gestión Financiera**

Dado que el precio de venta y la producción son los factores más críticos para la rentabilidad del proyecto, la estrategia comercial debe enfocarse en:

- Garantizar canales de distribución estables que permitan mantener precios competitivos en el mercado.
- Diversificar mercados de venta, reduciendo la dependencia de un único segmento de clientes.
- Monitorear la capacidad de carga del cultivo para optimizar la producción y minimizar impactos ambientales que puedan afectar la tasa de crecimiento de las ostras.

Por otro lado, la menor sensibilidad del proyecto a los costos fijos y variables implica que la estrategia operativa debe centrarse en la eficiencia de costos sin comprometer la calidad del producto. Acciones como la automatización de algunos procesos o la optimización de la logística de producción pueden contribuir a mejorar aún más los márgenes de rentabilidad.

- **Evaluación Financiera de Proyectos de Acuicultura de Pequeña Escala: Consideraciones sobre Rentabilidad y Sostenibilidad Social.**

En la evaluación de proyectos de inversión, se emplean métricas financieras como la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN), las cuales están reguladas por la tasa de descuento o costo del capital (Engle, 2007, 2010). Tradicionalmente, cuando la TIR se iguala a la tasa de descuento, el VAN se vuelve cero, lo que indica que el proyecto no genera una rentabilidad superior al costo del capital. Sin embargo, este resultado no significa que el proyecto sea inviable en términos de flujo de caja, ya que aún podría ser capaz de cubrir sus costos operativos, incluyendo salarios, energía y mantenimiento.

Si bien este marco de análisis es adecuado para inversiones de carácter puramente comercial, su aplicación directa a proyectos con objetivos sociales y de desarrollo requiere una reconsideración metodológica. En el caso de la acuicultura de pequeña escala (APE), que busca

mejorar la seguridad alimentaria, generar empleo local y reducir la pobreza, la rentabilidad financiera no es el único criterio de éxito. En este contexto, la Tasa Social de Descuento (TSD) se presenta como una alternativa metodológica más apropiada, al permitir la incorporación explícita de beneficios sociales y ambientales en la evaluación económica de estos proyectos.

Bajo este enfoque, un proyecto cuya TIR iguale a la TSD podría considerarse viable, siempre que cumpla con sus objetivos de impacto social y mantenga su sostenibilidad operativa. Este análisis reconoce que la creación de valor en la acuicultura de pequeña escala no se limita a los beneficios financieros directos, sino que abarca dimensiones más amplias del desarrollo socioeconómico. La aplicación de la TSD en la evaluación de proyectos representa así un puente metodológico entre la rigurosidad del análisis financiero tradicional y la necesidad de incorporar objetivos de desarrollo en la toma de decisiones de inversión en acuicultura de pequeña escala.

- **Definiciones y Enfoques para la Acuicultura de Pequeña Escala**

El concepto de acuicultura de pequeña escala (APE) varía según el país y la organización que la defina. En la Unión Europea, el Consejo Asesor para la Acuicultura (Aquaculture Advisory Council - AAC, 2022) establece que la APE corresponde a empresas con menos de 10 empleados y un volumen de negocios o balance anual inferior a 2 millones de €. Se enfatiza además que estas explotaciones suelen ser empresas familiares donde los propietarios trabajan directamente en las granjas.

En otros países, la definición de APE se basa en distintos criterios:

- Chile: No existe una definición oficial, pero la legislación clasifica como APE a personas jurídicas, naturales u organizaciones de pescadores artesanales en función de la producción anual y la superficie destinada a la acuicultura. Los límites combinan superficies de entre 10 y 50 hectáreas y producciones de 100 a 2.000 toneladas anuales (MINECON - Chile, 2021).
- Brasil: Se establecen dos categorías: Acuicultura de Recursos Limitados (AREL) y Acuicultura de Micro y Pequeña Empresa (AMYPE). La diferencia radica en los ingresos:

los productores AREL ganan hasta un salario mínimo, mientras que los AMYPE generan entre uno y cinco salarios mínimos.

- Perú: Se reconocen categorías como "acuicultura de subsistencia" (menos de 2 toneladas/año) y "acuicultura de menor escala" (entre 2 y 50 toneladas/año), caracterizadas por el uso de mano de obra familiar y una producción orientada tanto al autoconsumo como al mercado (Rodríguez & Flores, 2014).

- **Relevancia de la Evaluación Financiera en la APE**

Las diferencias en la definición de acuicultura de pequeña escala reflejan la diversidad de estructuras económicas y productivas en distintas regiones. Mientras que en economías industrializadas la acuicultura de pequeña escala se define por límites financieros y organizacionales, en países en desarrollo se consideran factores como la capacidad productiva, el acceso a recursos y el nivel de ingresos de los productores. En general es un sector caracterizado por generar bajos niveles de ingreso, escasa inversión con limitado acceso a la tecnología y a la financiación. No obstante, la FAO reconoce su amplia capacidad para generar empleo y alimentos a nivel local (Lagno et al., 2023).

Esta heterogeneidad implica que la evaluación económica y financiera de los proyectos de APE no puede basarse exclusivamente en los parámetros de rentabilidad utilizados en modelos de inversión convencionales. Si bien en proyectos comerciales la viabilidad se mide principalmente a través de la maximización del VAN y la TIR, en proyectos de desarrollo es fundamental considerar indicadores que midan su sostenibilidad social y económica en el tiempo.

Desde esta perspectiva, el uso de la Tasa Social de Descuento (TSD) permite reflejar mejor los beneficios de la acuicultura de pequeña escala en términos de seguridad alimentaria, generación de empleo, empoderamiento de comunidades y desarrollo local. De este modo, se evita la exclusión de proyectos con alto impacto social simplemente porque no cumplen con los umbrales de rentabilidad financiera tradicionalmente establecidos en modelos de inversión capitalista.

6. CONCLUSIONES

El presente estudio ha desarrollado y validado un modelo de dimensionamiento para proyectos de acuicultura de pequeña escala, específicamente aplicado al cultivo suspendido de *Magallana gigas* triploide. Los resultados obtenidos demuestran que el modelo es una herramienta precisa y eficaz para la planificación de la infraestructura, permitiendo calcular con exactitud la cantidad de linternas y longlines necesarios en cada fase del proceso productivo. La validación del modelo a través del seguimiento de un lote de 600.000 ostras en un cultivo experimental de 40 semanas confirmó su fiabilidad, con una diferencia mínima entre la mortalidad acumulada estimada (40,64%) y la observada en el cultivo (42,37%).

Desde un enfoque financiero, la aplicación del modelo permitió realizar una evaluación económica detallada, demostrando la viabilidad del proyecto con una Tasa Interna de Retorno (TIR) superior al 10%. Sin embargo, el análisis de sensibilidad evidenció que la rentabilidad está fuertemente influenciada por el precio de venta y el nivel de producción, mientras que los costos operativos tienen un impacto menor. Estos hallazgos subrayan la importancia de estrategias comerciales y de gestión que garanticen estabilidad en los precios y optimización en la producción para mitigar riesgos financieros.

Más allá de su utilidad técnica y económica, este modelo ofrece un marco metodológico adaptable a diferentes contextos de producción, facilitando la toma de decisiones tanto en la planificación inicial como en la gestión operativa de cultivos ostrícolas y otras especies de bivalvos cultivados con linternas. Su capacidad para proyectar la reinversión en materiales de cultivo y evaluar escenarios de crecimiento lo convierte en una herramienta clave para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sector.

En el ámbito de la acuicultura de pequeña escala, donde el impacto social es un factor determinante, este modelo proporciona una alternativa viable para diseñar proyectos más resilientes y sostenibles. Su aplicación no solo optimiza el uso de recursos, sino que también puede contribuir a fortalecer economías locales, generar empleo y mejorar la seguridad alimentaria en comunidades costeras.

Finalmente, este estudio establece una base sólida para futuras investigaciones enfocadas en la optimización de modelos de gestión acuícola. Se recomienda su aplicación en diferentes condiciones ambientales y productivas para validar su adaptabilidad a otras especies de bivalvos y mejorar su integración en programas de desarrollo acuícola sostenible.

7. REFERENCIAS.

- Agreste. (2023). Enquête Aquaculture 2021. In *Sustainability (Switzerland)* (Issues 2023–8). <https://agreste.agriculture.gouv.fr>
- Ahmed, N., & Thompson, S. (2019). The blue dimensions of aquaculture: A global synthesis. *Science of the Total Environment*, 652, 851–861. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.163>
- Al Shehhi, M. R., Gherboudj, I., & Ghedira, H. (2017). In situ spectral response of the Arabian Gulf and Sea of Oman coastal waters to bio-optical properties. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 175, 235–243. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.09.007>
- Allen, S. K., & Downing, S. L. (1986). Performance of triploid Pacific oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg). I. Survival, growth, glycogen content, and sexual maturation in yearlings. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 102(2–3), 197–208. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(86\)90176-0](https://doi.org/10.1016/0022-0981(86)90176-0)
- Aquaculture Advisory Council - AAC. (2022). *Recommendation on the definition and realities of small- scale aquaculture*. <https://goo.su/uBFuq>
- Asare, A. (2017). Profiling of oyster fisheries report. In *The USAID/Ghana Sustainable Fisheries Management Project (SFMP)*. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00T4GH.pdf
- Asare, B., Obodai, E., & Acheampong, E. (2019). Mangrove oyster farming: Prospects as supplementary livelihood for a Ghanaian fishing community. *Journal of Fisheries and Coastal Management*, 1(1), 7–14. <https://doi.org/10.5455/jfcom.20190311090846>
- Ascencio-Michel, R., Ibarra, A. M., Araneda-Padilla, M., Ponce-Díaz, G., & Vergara-Solana, F. J. (2022). Dynamic simulation of diploid vs. triploid Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) productive performance in northwestern Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 50(3), 467–478. <https://doi.org/10.3856/vol50-issue3-fulltext-2771>
- Banco Mundial. (2024). *Pobreza, panorama general*. Web Page. <https://www.bancomundial.org/es/topic/poverty/overview#1>
- Barillé, L., Prou, J., Héral, M., & Razet, D. (1997). Effects of high natural seston concentrations on the feeding, selection, and absorption of the oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Journal*

- of Experimental Marine Biology and Ecology*, 212(2), 149–172. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(96\)02756-6](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(96)02756-6)
- Bartley, D. M. (2022). World Aquaculture 2020 – A brief overview. In *FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1233*. <https://doi.org/10.4060/cb7669en>
- Belton, B. (2013). Small-scale aquaculture, development and poverty: a reassessment. In M. G. Bondad-Reantaso & R. P. Subasinghe (Eds.), *Enhancing the contribution of small-scale aquaculture to food security, poverty alleviation and socio-economic development*. (Vol. 31, pp. 93–108). FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings.
- Béné, C., Arthur, R., Norbury, H., Allison, E. H., Beveridge, M., Bush, S., Campling, L., Leschen, W., Little, D., Squires, D., Thilsted, S. H., Troell, M., & Williams, M. (2016). Contribution of Fisheries and Aquaculture to Food Security and Poverty Reduction: Assessing the Current Evidence. *World Development*, 79, 177–196. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.11.007>
- Bertolini, C., Brigolin, D., Porporato, E. M. D., Hattab, J., Pastres, R., & Tiscar, P. G. (2021). Testing a model of pacific oysters' (*Crassostrea gigas*) growth in the adriatic sea: Implications for aquaculture spatial planning. *Sustainability (Switzerland)*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/su13063309>
- Bodenstein, S., Walton, W. C., & Steury, T. D. (2021). Effect of farming practices on growth and mortality rates in triploid and diploid eastern oysters *Crassostrea virginica*. *Aquaculture Environment Interactions*, 13(75 mm), 33–40. <https://doi.org/10.3354/aei00387>
- BOE. (2024). Resolución de 23 de abril de 2024, de la Dirección General de Trabajo, por la que se registra y publica el VII Convenio colectivo estatal para la acuicultura. *Boletín Oficial Del Estado*, 3 mayo(108), 50598–50647.
- Bondad-Reantaso, M. G., & Subasinghe, R. P. (2013). Enhancing the contribution of small-scale aquaculture to food security, poverty alleviation and socio-economic development. In M. G. Bondad-Reantaso & R. P. Subasinghe (Eds.), *FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings* (31; 31st ed., Vol. 31). FAO.
- Bordignon, F., Trocino, A., Rossetti, E., Zomeño, C., Pascual, A., Birolo, M., Llorens, S. M., & Xiccato, G. (2021). Effect of stocking density on growth and survival of juvenile Manila clams (*Ruditapes philippinarum*) farmed in suspended lanterns in a North Italian lagoon. *Aquaculture Reports*, 20(March). <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100719>
- Botta, R., Asche, F., Borsum, J. S., & Camp, E. V. (2020). A review of global oyster aquaculture production and consumption. *Marine Policy*, 117(July 2019), 103952. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103952>
- Bourlès, Y., Alunno-Bruscia, M., Pouvreau, S., Tollu, G., Leguay, D., Arnaud, C., Gouilletquer, P., & Kooijman, S. A. L. M. (2009). Modelling growth and reproduction of the Pacific oyster

- Crassostrea gigas: Advances in the oyster-DEB model through application to a coastal pond. *Journal of Sea Research*, 62(2–3), 62–71. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2009.03.002>
- Buestel, D., Ropert, M., Prou, J., & Gouletquer, P. (2009). History, status, and future of oyster culture in France. *Journal of Shellfish Research*, 28(4), 813–820. <https://doi.org/10.2983/035.028.0410>
- Cancino, J. (2015). Proyecto FIP 2013-24. Estudio de emplazamiento de áreas de acuicultura de pequeña escala en la zona sur (vi a xiv regiones). In *Subsecretaria Pesca y Acuicultura* (Issues 2013–24).
- Chávez-Villalba, J. (2014). Cultivo de ostión *Crassostrea gigas*: Análisis de 40 años de actividades en México. *Hidrobiologica*, 24(3), 175–190.
- Chávez-Villalba, J., Arreola-Lizárraga, A., Burrola-Sánchez, S., & Hoyos-Chairez, F. (2010). Growth, condition, and survival of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* cultivated within and outside a subtropical lagoon. *Aquaculture*, 300(1–4), 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.01.012>
- Chen, J. Q., Haws, M. C., Fong, Q. S. W., & Leung, P. S. (2017). Economic feasibility of producing oysters using a small-scale Hawaiian fishpond model. *Aquaculture Reports*, 5, 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2016.12.001>
- Chuku, E. O., Yankson, K., Obodai, E. A., Acheampong, E., & Boahemaa-Kobil, E. E. (2020). Effectiveness of different substrates for collecting wild spat of the oyster *Crassostrea tulipa* along the coast of Ghana. *Aquaculture Reports*, 18, 100493. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100493>
- Cisneros, R., Bautista, J., & Argüelles, J. (2008). Crecimiento comparativo de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en sistemas suspendidos. *Ecología Aplicada*, 7(1–2), 81–87.
- Costello, C., Cao, L., Gelcich, S., Cisneros-Mata, M., Free, C. M., Froehlich, H. E., Golden, C. D., Ishimura, G., Maier, J., Macadam-Somer, I., Mangin, T., Melnychuk, M. C., Miyahara, M., de Moor, C. L., Naylor, R., Nøstbakken, L., Ojea, E., O'Reilly, E., Parma, A. M., ... Lubchenco, J. (2020). The future of food from the sea. *Nature*, 588(7836), 95–100. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2616-y>
- Edwards, P. (2013). Review of small-scale aquaculture: definitions, characterization, numbers. In R. P. Bondad-Reantaso, M.G. and Subasinghe (Ed.), *Enhancing the contribution of small-scale aquaculture to food security, poverty alleviation and socio-economic development*. *FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings No. 31* (Issue 31, pp. 37–61). FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings.
- Engle, C. (2007). Investment and Farm Modeling for Feasibility Assessment and Decision Making in Aquaculture. In P. Leung, C.-S. Lee, & P. O'Bryen (Eds.), *Species and System Selection for*

- Sustainable Aquaculture* (pp. 67–82). Blackwell Publishing.
<https://doi.org/10.1002/9780470277867.ch6>
- Engle, C. (2010). *Aquaculture Economics and Financing - Management and analysis* (Wiley-Blackwell, Ed.). Wiley-Blackwell.
- EUMOFA. (2024). El mercado pesquero de la UE. In *UE Commission*.
<https://doi.org/10.2771/5051082>
- FAO. (2015). Inclusive Business Models. Guidelines for improving linkages between producer groups and buyers of agricultural produce. In *Organization, Food and Agriculture Nations, the United (FAO)* (Issue by Kelly, S., Vergara, N. & Bammann, H. Rome, Italy, p. 128). FAO.
- FAO. (2016). Aquaculture big numbers. In *FAO Fisheries and Aquaculture Technical paper n° 601*.
- FAO. (2022). *International year of artisanal fisheries and aquaculture 2022 - Global Action Plan*.
- FAO. (2024a). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción. In *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024*.
- FAO. (2024b). Estadísticas mundiales de capturas y producción de acuicultura. FishStat-FAO-v2024.1.1. Consultado en 10/01/25. En FAO - Div. Pesca y Acuicultura. Actualización 2024. www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/es
- FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF. (2024). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2024: Financiación para acabar con el hambre, la inseguridad alimentaria y la malnutrición en todas sus formas*. <https://doi.org/10.4060/cd1254es>
- Feng, D., Meng, A., Wang, P., Yao, Y., & Gui, F. (2021). Effect of design configuration on structural response of longline aquaculture in waves. *Applied Ocean Research*, 107(December 2020), 102489. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2020.102489>
- Ferreira, J. G., Hawkins, A. J. S., & Bricker, S. B. (2007). Management of productivity, environmental effects and profitability of shellfish aquaculture - the Farm Aquaculture Resource Management (FARM) model. *Aquaculture*, 264(1–4), 160–174. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.12.017>
- Filipski, M., & Belton, B. (2018). Give a Man a Fishpond: Modeling the Impacts of Aquaculture in the Rural Economy. *World Development*, 110, 205–223. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.05.023>
- Flores-Vergara, C., Cordero-Esquivel, B., Cerón-Ortiz, A. N., & Arredondo-Vega, B. O. (2004). Combined effects of temperature and diet on growth and biochemical composition of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) spat. *Aquaculture Research*, 35(12), 1131–1140. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01136.x>

- Fong, Q. S. W., Ellis, S., & Haws, M. (2005). Economic feasibility of small-scale black-lipped pearl oyster (*Pinctada margaritifera*) pearl farming in the Central Pacific. *Aquaculture Economics and Management*, 9(3), 347–368. <https://doi.org/10.1080/13657300500234359>
- Gentry, R. R., Froehlich, H. E., Grimm, D., Kareiva, P., Parke, M., Rust, M., Gaines, S. D., & Halpern, B. S. (2017). Mapping the global potential for marine aquaculture. *Nature Ecology and Evolution*, 1(9), 1317–1324. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0257-9>
- Góngora-Gómez, A. M., Aragón-Noriega, E. A., Domínguez-Orozco, A. L., & Villanueva-Fonseca, B. P. (2017). Modelando el crecimiento individual de la ostra japonesa *Crassostrea gigas* cultivado en el Golfo de California mediante el modelo de von Bertalanffy. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52(1), 181–185. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572017000100017>
- Graham, P., Brundu, G., Scolamacchia, M., Giglioli, A., Addis, P., Artioli, Y., Telfer, T., & Carboni, S. (2020). Improving pacific oyster (*Crassostrea gigas*, Thunberg, 1793) production in Mediterranean coastal lagoons: Validation of the growth model “ShellSIM” on traditional and novel farming methods. *Aquaculture*, 516, 734612. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734612>
- Harding, J. (2007). Comparison of growth rates between diploid deby eastern oysters (*Crassostrea virginica*, Gmelin 1791), triploid eastern oysters, and triploid suminoe oysters (*C. ariakensis*, fugita 1913). *Journal of Shellfish Research*, 26(4), 961–972. <https://scholarworks.wm.edu/vimsarticleshttps://scholarworks.wm.edu/vimsarticles/439>
- Hawkins, A. J. S., Pascoe, P. L., Parry, H., Brinsley, M., Black, K. D., McGonigle, C., Moore, H., Newell, C. R., O’Boyle, N., Ocarroll, T., O’Loan, B., Service, M., Smaal, A. C., Zhang, X. L., & Zhu, M. Y. (2013). Shellsim: A generic model of growth and environmental effects validated across contrasting habitats in bivalve shellfish. *Journal of Shellfish Research*, 32(2), 237–253. <https://doi.org/10.2983/035.032.0201>
- Ibarra, A. M., Ascencio-Michel, R., Ramírez, J. L., Manzano-Sarabia, M., & Rodríguez-Jaramillo, C. (2017). Performance of diploid and triploid *crassostrea gigas* (thunberg, 1793) grown in tropical versus temperate natural environmental conditions. *Journal of Shellfish Research*, 36(1), 119–139. <https://doi.org/10.2983/035.036.0113>
- Issifu, I., Deffor, E. W., Deyshappriya, N. P. R., Dahmouni, I., & Sumaila, U. R. (2022). Drivers of Seafood Consumption at Different Geographical Scales. *Journal of Sustainability Research*, 4(3), 1–22. <https://doi.org/10.20900/jsr20220012>
- Kaminski, A. M., Kruijssen, F., Cole, S. M., Beveridge, M. C. M., Dawson, C., Mohan, C. V., Suri, S., Karim, M., Chen, O. L., Phillips, M. J., Downing, W., Weirowski, F., Genschick, S., Tran, N., Rogers, W., & Little, D. C. (2020). A review of inclusive business models and their application in aquaculture development. *Reviews in Aquaculture*, 12(3), 1881–1902. <https://doi.org/10.1111/raq.12415>

- Kamiyama, R., Miyata, T., & Takahashi, H. (2021). Bioeconomic modeling of oyster farming in Miyagi Prefecture, Japan. *Journal of the World Aquaculture Society*, 52(2), 418–434. <https://doi.org/10.1111/jwas.12771>
- Kripa, V., Appukuttan, K. K., Velayudhan, T. S., Mohamed, K. S., Alloyciuos, P. S., Radhakrishnan, P. R., Joseph, M., & Sharma, J. (2004). Oyster Farming-a rural development programme in Kerala. In *Marine Fisheries Information Service* (Issue 180).
- Kripa, V., & Surendranathan, V. G. (2008). Social impact and women empowerment through mussel farming in Kerala, India. *Development*, 51(2), 199–204. <https://doi.org/10.1057/dev.2008.5>
- Kusakabe, K., & Thongprasert, S. (2022). Women and men in small-scale fisheries and aquaculture in Asia - Barries, constraints and opportunities towards equality and secure livelihoods. In FAO (Ed.), *Women and men in small-scale fisheries and aquaculture in Asia*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9527en>
- Lagno, G., Aguilar-Manjarrez, J., R, N. C., Mienert R., A., & Ivanovic W., C. (2023). Caracterización de la pesca y la acuicultura artesanal en pequeña escala en América del Sur y recomendaciones de políticas públicas. In *Documento Técnico de Pesca y Acuicultura de la FAO N.º 692*. <https://doi.org/10.4060/cc4612es>
- Lavoie, R. (2009). Oyster Culture in North America History, Present and Future. *The 1st International Oyster Symposium Proceedings*, 24, 14–21. http://www.kakiken.or.jp/html-2/kakinews_pdf/news24.pdf#page=14
- Lodeiros, C., Ati, E., Añazco-Correa, Y., Aguilar-Román, P., Mazón-Suástegui, J. M., Vélez-Falcones, J., Treviño, L., García-Bermúdez, A., & Zapata-Vívenes, E. (2024). Suspended culture of the Manabí oyster *Crassostrea cf. corteziensis* in a tropical estuary. *Aquaculture Reports*, 38(April). <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102318>
- Mahu, E., Sanko, S., Kamara, A., Chuku, E. O., Effah, E., Sohoun, Z., Zounon, Y., Akinjogunla, V., Akinnigbagbe, R. O., Diadhiou, H. D., & Marchant, R. (2022). Climate Resilience and Adaptation in West African Oyster Fisheries: An Expert-Based Assessment of the Vulnerability of the Oyster *Crassostrea tulipa* to Climate Change. *Fishes*, 7(4), 205. <https://doi.org/10.3390/fishes7040205>
- Mair, G. C., Halwart, M., Derun, Y., & Costa-Pierce, B. A. (2023). A decadal outlook for global aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 54(2), 196–205. <https://doi.org/10.1111/jwas.12977>
- Maldonado-Amparo, R., Verdugo, C. A. R., Ibarra, A. M., Rueda-Puente, E. O., Del Toro Sánchez, C. L., & Félix, F. R. (2016). Poliploidía En Moluscos De Importancia Comercial. A Review. *European Scientific Journal, ESJ*, 12(33), 69. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n33p69>

- Mao, Y., Lin, F., Fang, J., Fang, J., Li, L., Du, M., & Abstract. (2018). Bivalve production China. In A. C. Smaal, J. Ferreira, J. Grant, J. Petersen, & Ø. Strand (Eds.), *Goods and Services of Marine Bivalves* (pp. 51–72).
- MAPA. (2024). *Fiscalidad agraria y pesquera en España*. https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/fiscalidadagrariapesqueraenespanamarzo2024_tcm30-686415.pdf
- Martínez-García, M. F., Ruesink, J. L., Grijalva-Chon, J. M., Lodeiros, C., Arreola-Lizárraga, J. A., de la Re-Vega, E., Varela-Romero, A., & Chávez-Villalba, J. (2022). Socioecological factors related to aquaculture introductions and production of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) worldwide. *Reviews in Aquaculture*, 14(2), 613–629. <https://doi.org/10.1111/RAQ.12615>
- Matarazzo, F. (2021). Economic analysis of five oyster farms in Southern Brazil. *Agropecuária Catarinense*, 34(3), 52–56.
- Medeiros, D. (2006). *Poverty Alleviation and Biodiversity Conservation in Rural Brazil: A Case Study of the Cananéia Oyster Producers Cooperative*. University of Manitoba.
- Melo, E. M. C., Sühnel, S., Oliveira, A. C. S. de, Lopes, B. de O., Bachi, G. C., & De Melo, C. M. R. (2020). Growth, mortality and reproductive traits of diploid and triploid Pacific oysters (*Crassostrea gigas*, THUNBERG, 1793) in Southern Brazil. *Aquaculture Research*, 51(9), 3631–3640. <https://doi.org/10.1111/are.14713>
- Mercer, M., Gennari, L., & Lovatelli, A. (2024). Pacific oyster farming - A practical manual. In *FAO Fisheries and Aquaculture. Technical paper n° 696*. <https://doi.org/10.4060/cc9396en>
- Merino, G. (1997). Considerations for longline Culture Systems Design : Scallops production. In C. Helsley (Ed.), *Open Ocean Aquaculture 97. Charting the future of ocean farming. Proceeding International Conference* (pp. 145–154).
- Merino, G., Cortés-Monroy, J., Abarca, A., & Barraza, J. (2001). Diseño y Operación de sistemas de cultivo. In A. N. M.-M. (ed.) (Ed.), *Los Moluscos Pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura* (Issue April, pp. 375–404).
- MINECON - Chile. (2021). *Reglamento de Acuicultura de Pequeña Escala. DS N° 45* (p. 32). https://www.subpesca.cl/portal/617/articles-114979_recurso_1.pdf
- Mizuta, D. D., & Wikfors, G. H. (2019). Seeking the perfect oyster shell: a brief review of current knowledge. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 586–602. <https://doi.org/10.1111/raq.12247>
- Mohamed, K. S., Kripa, V., Asokan, P. K., Sasikumar, G., Venkatesan, V., Sharma, J., Alloyicious, P. S., Chinnadurai, S., Sharma, R., & Prema, D. (2016). Development of bivalve farming as a source of income generation for women's self-help groups in coastal India. In K. K. Miao, W.

- and Lal (Ed.), *FAO. Sustainable intensification of aquaculture in the Asia-Pacific region. Documentation of successful practices* (pp. 82–92).
- Mu, Y., Liang, G., Chen, C., Zhang, R., Teng, F., & Tan, Y. (2024). Numerical Simulation Analysis of an Offshore Multi-Row Arrangement Longline Aquaculture Facility with Lantern Nets Under Environmental Loads. *Fishes*, *9*(12). <https://doi.org/10.3390/fishes9120523>
- Naldi, R. (2015). *The Relationship between Aquaculture Production and Poverty Reduction in Indonesia*. ISS.
- Naylor, R. L., Kishore, A., Sumaila, U. R., Issifu, I., Hunter, B. P., Belton, B., Bush, S. R., Cao, L., Gelcich, S., Gephart, J. A., Golden, C. D., Jonell, M., Koehn, J. Z., Little, D. C., Thilsted, S. H., Tigchelaar, M., & Crona, B. (2021). Blue food demand across geographic and temporal scales. *Nature Communications*, *12*(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25516-4>
- Nell, J. A. (2002). Farming triploid oysters. *Aquaculture*, *210*(1–4), 69–88. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00861-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00861-4)
- Newell, C., Brady, D., & Richardson, J. (2018). Farm-Scale Production Models. In A. Smaal, J. Ferreira, J. Grant, J. Petersen, & O. Strand (Eds.), *Goods and Services of Marine Bivalves* (pp. 485–506). Springer Open. <https://doi.org/10.4324/9780429044243-4>
- Nguyen, K. A. T., Jolly, C. M., Bui, C. N. P. T., & Le, T. T. H. (2016). Aquaculture and poverty alleviation in Ben Tre Province, Vietnam. *Aquaculture Economics and Management*, *20*(1), 82–108. <https://doi.org/10.1080/13657305.2016.1124938>
- Oyindola, M. A., Reygondeau, G., Wabnitz, C. C. C., Troell, M., & Cheung, W. W. L. (2018). Global estimation of areas with suitable environmental conditions for mariculture species. *PLoS ONE*, *13*(1), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191086>
- Parker, M., Lipton, D., & Harrell, R. M. (2020). Impact financing and aquaculture: Maryland oyster aquaculture profitability. *Journal of the World Aquaculture Society*, *51*(4), 874–895. <https://doi.org/10.1111/jwas.12702>
- Parsons, G. J., Shumway, S. E., Kuenstner, S., & Gryska, A. (2002). Polyculture of sea scallops (*Placopecten magellanicus*) suspended from salmon cages. *Aquaculture International*, *10*(1), 65–77. <https://doi.org/10.1023/A:1021324610930>
- Petrolia, D. R., & Caffey, R. H. (2024). Economic analysis of off-bottom oyster culture. *Aquaculture Economics and Management*, *28*(4), 704–732. <https://doi.org/10.1080/13657305.2024.2365203>
- Rodríguez, A. (2013). *Modelos de análisis y valoración de proyectos de inversión*. (Andavira, Ed.).
- Rodríguez, H., & Flores, A. (2014). Acuicultura de pequeña escala y recursos limitados en América Latina y el Caribe. Hacia un enfoque integral de políticas públicas. In *FAO - Red Acuicultura de las Américas* (pp. 1–105). FAO. www.fao.org/publications

- Salvi, D., & Mariottini, P. (2017). Molecular taxonomy in 2D: A novel ITS2 rRNA sequence structure approach guides the description of the oysters' subfamily Saccostreinae and the genus *Magallana* (Bivalvia: Ostreidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 179(2), 263–276. <https://doi.org/10.1111/zoj.12455>
- Senten, J. van, Engle, C., Parker, M., & Webster, D. (2019). Analysis of the economic benefits of the Maryland shellfish aquaculture industry. In *Final Project Report*. <https://www.cbf.org/document-library/non-cbf-documents/analysis-of-the-economic-benefits-of-the-maryland-shellfish-aquaculture-industry-full-report.pdf>
- Shpigel, M., Barber, B. J., & Mann, R. (1992). Effects of elevated temperature on growth, gametogenesis, physiology, and biochemical composition in diploid and triploid Pacific oysters, *Crassostrea gigas* Thunberg. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 161, 15–25.
- Stone, B. W., Hadley, N. H., & Kingsley-Smith, P. R. (2013). Evaluating the potential growth advantage of triploid eastern oysters (*Crassostrea virginica*) in South Carolina relative to commercially cultured diploid native stocks. *Journal of Shellfish Research*, 32(3), 647–655. <https://doi.org/10.2983/035.032.0304>
- Sturmer, L., Kane, A., Philips, E., Lovestrand, E., Harris, H., & Anderson, N. (2022). Addressing Oyster Mortalities in Florida's Off-Bottom Oyster Aquaculture Industry. In *UF-IFAS Support for Emerging Enterprise Development Integration Teams (SEEDIT) Program* (Issue June 2020-Dec 2021, p. 65). <https://shellfish.ifas.ufl.edu/wp-content/uploads/Oyster-Culture-SEEDIT-Final-Report-3.07.22-compressed.pdf>
- Sumaila, U. R., Pierruci, A., Oyinlola, M. A., Cannas, R., Froese, R., Glaser, S., Jacquet, J., Kaiser, B. A., Issifu, I., Micheli, F., Naylor, R., & Pauly, D. (2022). Aquaculture over-optimism? *Frontiers in Marine Science*, 9(November), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.984354>
- Suplicy, F. M. (2022). Manual do Cultivo de ostras. In Governo de Santa Catarina (Ed.), *Florianópolis: Epagri*.
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2018). Food Matters: Fish, Income, and Food Supply—A Comparative Analysis. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*, 26(1), 15–28. <https://doi.org/10.1080/23308249.2017.1328659>
- Treviño, L., Lodeiros, C., Vélez-Falcones, J., Chávez-Alcivar, C., Isea-León, F., Bermúdez-Medranda, A. E., Vélez-Chica, J. C., Cruz-Quintana, Y., Leal, D., Santana-Piñeros, A. M., & Rodríguez-Pesantes, D. (2020). Suspended culture evaluation of Pacific oyster *Crassostrea gigas* in a tropical estuary. *Aquaculture Research*, 51(5), 2052–2061. <https://doi.org/10.1111/are.14556>
- Troell, M., Costa-Pierce, B., Stead, S., Cottrell, R. S., Brugere, C., Farmery, A. K., Little, D. C., Strand, Å., Pullin, R., Soto, D., Beveridge, M., Salie, K., Dresdner, J., Moraes-Valenti, P., Blanchard, J., James, P., Yossa, R., Allison, E., Devaney, C., & Barg, U. (2023). Perspectives on aquaculture's contribution to the Sustainable Development Goals for improved human and

- planetary health. *Journal of the World Aquaculture Society*, 54(2), 251–342. <https://doi.org/10.1111/jwas.12946>
- Trujillo, E., Martínez, G., & León, L. (2007). Dimensionamiento y configuración teórica de una línea de cultivo de ostra perla (*Pinctada imbricata* Mollusca: Bivalvia), en la bahía de Charagato, isla de Cubagua, Venezuela. *Investigaciones Marinas*, 35(1), 39–54. <https://doi.org/10.4067/s0717-71782007000100004>
- Verdegem, M., Buschmann, A. H., Latt, U. W., Dalsgaard, A. J. T., & Lovatelli, A. (2023). The contribution of aquaculture systems to global aquaculture production. *Journal of the World Aquaculture Society*, 54(2), 206–250. <https://doi.org/10.1111/jwas.12963>
- Vélez-Henao J. A., Weinland F., Reintjes N. (2021). Life cycle assessment of aquaculture bivalve shellfish production — a critical review of methodological trends. *International Journal of Life Cycle Assessment* 26(10): 1943-1958. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01978-y>
- Wadsworth, P. (2018). *Comparing triploid and diploid growth and mortality in farmed oysters, Crassostrea virginica, in the Northern Gulf of Mexico* [Master of Science, Auburn University]. <https://etd.auburn.edu/handle/10415/6074>
- Wadsworth, P., Wilson, A. E., & Walton, W. C. (2019). A meta-analysis of growth rate in diploid and triploid oysters. *Aquaculture*, 499(January 2018), 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.09.018>
- Walton, C., Davis, J., Chaplin, G., Rikard, F. S., Swann, D. L., & Hanson, T. (2012). Gulf Coast off-bottom oyster farming gear types. In *MASGP Publication No. 12-013-04*. (p. 8).
- Wang, X., Xie, J., Luo, Y., Wang, X., Guo, G., & You, X. (2023). Experimental Investigation of the Hydrodynamic Characteristics of Longline Aquaculture Facilities under Current and Wave Conditions. *Fishes*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/fishes8040204>
- Willer, D. F., & Aldridge, D. C. (2020). Sustainable bivalve farming can deliver food security in the tropics. *Nature Food*, 1(July), 384–388. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0116-8>
- WoRMS. (2022). *WoRMS - World Register of Marine Species*. https://www.marinespecies.org/about.php#cite_worms
- Yang, H., Simon, N., & Sturmer, L. N. (2018). Production and Performance of Triploid Oysters for Aquaculture. *Edis*, 2018(4), 1–9. <https://doi.org/10.32473/edis-fa208-2018>
- Zarocostas, J. (2022). The UN reports global asymmetries in population growth. *Lancet (London, England)*, 400(10347), 148. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)01323-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)01323-X)
- Zhao, Y. P., Yang, H., Bi, C. W., Chen, Q. P., Dong, G. H., & Cui, Y. (2019). Hydrodynamic responses of longline aquaculture facility with lantern nets in waves. *Aquacultural Engineering*, 86(January), 101996. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2019.101996>

Zhou, Y., Yang, H., Zhang, T., Qin, P., Xu, X., & Zhang, F. (2006). Density-dependent effects on seston dynamics and rates of filtering and biodeposition of the suspension-cultured scallop *Chlamys farreri* in a eutrophic bay (northern China): An experimental study in semi-in situ flow-through systems. *Journal of Marine Systems*, 59(1–2), 143–158. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2005.11.002>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Producción mundial de pescados y mariscos en millones de toneladas provenientes de la pesca y la acuicultura (sin contabilizar las algas, plantas acuáticas, mamíferos marinos, anfibios y reptiles). Elaboración propia a partir de las series estadísticas de la FAO (FAO, 2024b).	12
Figura 2	Flujos comerciales en volumen (millones toneladas) y valor (miles de millones de euros) de los 5 principales mercados de los productos de la pesca y de la acuicultura en el mundo. Elaboración propia a partir de los datos de EUMOFA (2024).	13
Figura 3	Figura 3. Evolución de la oferta mundial de bivalvos y global de pescados y mariscos por pesca y acuicultura (sin contabilizar las algas, plantas acuáticas, mamíferos marinos, anfibios y reptiles). Elaboración propia utilizando las series estadísticas de la FAO (FAO, 2024b).	18
Figura 4	Evolución de la oferta mundial de bivalvos y el global de pescados y mariscos por acuicultura (sin contabilizar las algas, plantas acuáticas, mamíferos marinos, anfibios y reptiles). Elaboración propia utilizando las series estadísticas de la FAO (FAO, 2024b).	19
Figura 5	Evolución de producción mundial de bivalvos y el grupo de ostras <i>Crassostrea</i> y <i>Magallana gigas</i> provenientes de la pesca y la acuicultura. Elaboración propia utilizando las series estadísticas de la FAO (FAO, 2024b).	21
Figura 6	Evolución de la producción mundial de <i>Crassostrea</i> spp y <i>Magallana gigas</i> por pesca y acuicultura en millones de toneladas. Elaboración propia utilizando las series estadísticas de la FAO (FAO, 2024b).	22
Figura 7	Evolución de los principales países productores de <i>Crassostrea</i> sp y <i>Magallana gigas</i> en millones de toneladas provenientes de la pesca y la acuicultura. Elaboración propia utilizando las series estadísticas de la FAO (FAO, 2024b).	23
Figura 8	Vista 3D descriptiva de un <i>longline</i> estándar. Elaboración propia	28

Figura 9	Diseño de una máquina portable para <i>tumbling</i> de ostras para explotaciones de pequeña escala. Elaboración propia	33
Figura 10	Configuración del cronograma de cultivo en semanas (Gantt de cultivo). Siembra o cambio a linternas con malla más grande (S). Cuadro de color rojo indica el momento del volteo (V). Cuadro verde (VF) indica el volteo final dos semanas antes de la cosecha final. Elaboración propia.	46
Figura 11	Medidas de la concha de un ejemplar de <i>M. gigas</i> triploide adoptadas en este trabajo en vista frontal y lateral. Elaboración propia siguiendo la definición de las medidas de la concha propuesta por Mizuta & Wikfors (2019).	48
Figura 12	Muestra el inicio de la etapa de cultivo. (A) Recepción de las semillas de <i>M. gigas</i> triploides enviadas desde el criadero francés. (B) Siembra de las semillas en linternas de 3 mm con cierre con cremallera. Elaboración propia	56
Figura 13	Evolución del largo de la concha de <i>M. gigas</i> obtenida en cultivo. Los círculos celestes indican el largo promedio de la concha obtenida en cada volteo y las líneas verticales corresponde a la desviación estándar. Elaboración propia.	57
Figura 14	Temperatura media del agua indicando los meses y los días de volteo. Elaboración propia.	58
Figura 15	Relación largo y ancho de la concha de <i>M. gigas</i> obtenida en cultivo (n=2500). Elaboración propia.	59
Figura 16	Figura 16. Relación largo y alto de la concha de <i>M. gigas</i> obtenida en cultivo (n=2500). Elaboración propia.	60
Figura 17	Relación de ancho y alto de la concha de <i>M. gigas</i> obtenida en cultivo (n=2500). Elaboración propia.	60

Figura 18	Proceso de Volteo. (A) Inicio de un volteo vaciando las linternas de 7 mm. (B) Cinta elevadora y lavadora de ostras para descargar en la máquina de <i>trumbling</i> . (C) Cinta de inspección de las ostras una vez que han pasado por el <i>tumbling</i> . En la inspección se eliminan los predadores, conchas vacías y ostras dañadas o malformadas. (D) Las ostras en linternas nuevas de regreso al <i>longline</i> . Elaboración propia.	61
Figura 19	Linternas sucias que se van acumulando durante el día tras el volteo. Este proceso se realiza todos los días durante el cultivo atendiendo los diferentes lotes. Elaboración propia.	62
Figura 20	Tasa de mortalidad en los volteos y mortalidad acumulada durante el cultivo de <i>M. gigas</i> . Elaboración propia.	63
Figura 21	Muestra los costes fijos en los años 1 y 7 en porcentaje. Elaboración propia.	66
Figura 22	Muestra los costes variables en los años 1 y 7 en porcentaje. Elaboración propia.	67
Figura 23	Muestra en un escenario pesimista la disminución o el aumento de las variables para que la TIR sea igual a la tasa de descuento (10%) y el VAN = 0. Elaboración propia	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Estado actual de la pesca y la acuicultura 2024 de acuerdo a las series estadísticas de la FAO. Elaboración propia a partir de las series estadísticas de la FAO (FAO, 2024b).	11
Tabla 2	Descripción técnica de las linternas de mallas de 3 y 7 mm. Elaboración propia.	29
Tabla 3	Descripción técnica de las linternas de mallas de 12 y 21 mm. Elaboración propia.	30
Tabla 4	Muestra los parámetros y límites utilizados en la evaluación económica y financiera. Elaboración propia.	51-52
Tabla 5	Muestra los valores teóricos del número de linternas calculados con el modelo, la cantidad de linternas que fueron utilizadas en el cultivo y el recálculo teórico del número de linternas. %Mt: Mortalidad semanal utilizada en el modelo. %Mp: Mortalidad estimada por fase de cultivo calculada a partir de la mortalidad semanal teórica. %Mob: Mortalidad registrada por fase en el cultivo (utilizada para el recálculo teórico). Elaboración propia.	55
Tabla 6	Muestra la cantidad de longlines teóricos calculados y los que realmente se ocuparon. Elaboración propia.	55
Tabla 7	Tasa de crecimiento (mm/d) de la largo de la concha de <i>M. gigas</i> obtenida en cultivo a diferentes densidades durante un periodo de cultivo de 280 días (40 semanas). Elaboración propia.	57
Tabla 8	Tasa de mortalidad registrada en cada volteo y semana correspondiente, mortalidad acumulada crecimiento y tipo de linterna utilizada en cada etapa. Elaboración propia.	63
Tabla 9	Cuadro resumido de inversiones estimadas (sin IVA). Elaboración propia.	65
Tabla 10	Muestra los costes fijos y variables calculados en €. Elaboración propia.	66
Tabla 11	Muestra el número de personas en el plantel y el coste unitario de acuerdo al VII Convenio colectivo estatal para la acuicultura en España. Elaboración propia.	67

Tabla 12	Estructura de ingresos. Elaboración propia.	68
Tabla 13	Muestra la cuenta de resultados previsional del proyecto en €. BAIT: Beneficio antes de impuestos y tributos. BAT: Beneficio antes de tributos y BDT: Beneficios después de tributos. Elaboración propia	69
Tabla 14	Principales parámetros de rentabilidad del proyecto. Elaboración propia	70
Tabla 15	Muestra el coste de producción unitario y el equilibrio en unidades y €. Elaboración propia.	71
Tabla 16	Muestra tres escenarios y las variaciones indicadas que llevan a la variable VAN = 0 y TIR = Coste de capital. VAN en miles de €. Elaboración propia.	72
Tabla 17	Resultados de los parámetros de rentabilidad del proyecto frente a un impacto financiero por mortalidad sorpresiva. Elaboración propia.	75
Tabla 18	Cuenta de tesorería (cash flow) del proyecto frente a un impacto financiero por mortalidad sorpresiva (x 1.000 €). Elaboración propia.	75

ANEXOS

ANEXO I. MEMORIA DE CÁLCULO

Procedimiento de cálculos y resultados de linternas de 3 mm.

Cálculo del número total de linternas. Ecuación 1, 2 y 3

1. Factor $F = (-0,00034 \times 33 + 0,0335) \times 0,75 + (-0,01 \times 33 + 2,0) = 1,6867$
2. $N_0 = 133 \times 10 \times 450 = 598.500$ ostras iniciales
3. $L_0 = 598.500 / (10 \times 450) = 133$ linternas de 3 mm
4. $D_1 = 450 \times (1 - 0,33) = 301,5$ ostras/piso
5. $L_1 = [598.500 \times (1 - 0,0075)^3] / (10 \times 301,5) = 194,07$ linternas
6. $L = 1.6867 \times \text{máx}\{133, 194,07\} = 327,3$ linternas

Resultado: Se necesitan en existencias 328 linternas de 3 mm.

Cálculo de sobrevivencia total. Ecuación 4

1. $Stf = (1 - 0,0075)^6 = 0,9558$
2. Ostras sobrevivientes = $598.500 \times 0,9558 = 572.046$

Resultado: Sobrevivencia del 95,58% con 572.046 ostras vivas.

Cálculo de número de *longlines*. Ecuación 5

1. $L_{\text{max}} = 194,10$ linternas ocupadas
2. $NL = [194,10 / 100] = 1,94$

Resultado: Se necesitan 2 *longlines*.

Cálculo de la cantidad de cabo total. Ecuación 6
<ol style="list-style-type: none"> 1. $ET = (CL \times SL + 1) + 2 \times (Fr \times Zm)$ 2. $ET = (100 \times 1 + 1) + 2 \times (3 \times 19,8)$ 3. $ET = 101 + 2 \times (59,4)$ 4. $ET = 101 + 118,8$
Resultado: Se requieren 219,8 metros (\approx 220 metros) de cabo por <i>longline</i>

Procedimiento de cálculos y resultados de linternas de 7 mm.

Cálculo del número total de linternas. Ecuación 1, 2 y 3
<ol style="list-style-type: none"> 1. Factor $F = (-0,00034 \times 40 + 0,0335) \times 1,25 + (-0,01 \times 40 + 2,0) = 1,6249$ 2. $N_0 = 229,39 \times 10 \times 250 = 573.480$ ostras iniciales 3. $L_0 = 573.480 / (10 \times 250) = 229,39$ linternas 4. $D_1 = 250 \times (1 - 0,40) = 150$ ostras/piso 5. $L_1 = [573.480 \times (1 - 0,0125)^4] / (10 \times 150) = 363,55$ linternas 6. $L = 1,6249 \times \text{máx}\{229,39, 363,55\} = 590,7$ linternas.
Resultado: Se necesitan en existencias 591 linternas de 7 mm.

Cálculo de sobrevivencia total. Ecuación 4
<ol style="list-style-type: none"> 1. $Stf = (1 - 0,0125)^8 = 0,9043$ 2. Ostras sobrevivientes = $572.500 \times 0,9043 = 517,711$
Resultado: Sobrevivencia del 90,43% con 517.711 ostras vivas.

Cálculo de número de longlines. Ecuación 5
<ol style="list-style-type: none"> 1. $L_{max} = 362,9$ linternas ocupadas 2. $NL = [362,9 / 100]$
Resultado: Se necesitan 4 <i>longlines</i> .

Cálculo de la cantidad de cabo total. Ecuación 6
<ol style="list-style-type: none"> 1. $ET = (CL \times SL + 1) + 2 \times (Fr \times Zm)$ 2. $ET = (100 \times 1 + 1) + 2 \times (3 \times 19,8)$ 3. $ET = 101 + 2 \times (59,4)$ 4. $ET = 101 + 118,8$
Resultado: Se requieren 219,8 metros (\approx 220 metros) de cabo por <i>longline</i> .

Procedimiento de cálculos y resultados linternas de 12 mm

Cálculo del número total de linternas. Ecuación 1, 2 y 3
<ul style="list-style-type: none">• Cálculo del número total de linternas<ol style="list-style-type: none">1. Factor $F = (-0,00034 \times 20 + 0,0335) \times 1,30 + (-0,01 \times 20 + 2) = 1,8347$2. $N_0 = 432.165 \times 10 \times 120 = 518.598$ ostras iniciales3. $L_0 = 518.598 / (10 \times 120) = 432,165$ linternas4. $D_1 = 120 \times (1 - 0,20) = 96$ ostras/piso5. $D_2 = 96 \times (1 - 0,20) = 76,8$ ostras/piso6. $L_1 = [518.598 \times (1 - 0,0130)^4] / (10 \times 96) = 512,66$ linternas $L_2 = [518.598 \times (1 - 0,0130)^8] / (10 \times 76,8) = 608,14$ linternas7. $L = 1,8347 \times \text{máx} \{432, 512,66, 608,14\} = 1.115,7$ linternas
Resultado: Se necesitan en existencias 1.116 linternas de 12 mm.

Cálculo de sobrevivencia total. Ecuación 4
<ol style="list-style-type: none">1. $Stf = (1 - 0,0130)^{12} = 0,8547$2. Ostras sobrevivientes = $518.400 \times 0,8547 = 443.076$
Resultado: Sobrevivencia del 85,47% con 443.076 ostras vivas

Cálculo de número de <i>longlines</i>. Ecuación 5
<ol style="list-style-type: none">1. $L_{max} = 607,91$ linternas ocupadas2. $NL = [607,91 / 100]$
Resultado: Se necesitan 6 <i>longlines</i>

Cálculo de la cantidad de cabo total. Ecuación 6
<ol style="list-style-type: none">1. $ET = (CL \times SL + 1) + 2 \times (Fr \times Zm)$2. $ET = (100 \times 1 + 1) + 2 \times (3 \times 19,8)$3. $ET = 101 + 2 \times (59,4)$4. $ET = 101 + 118,8$
Resultado: Se requieren 219,8 metros (\approx 220 metros) de cabo por <i>longline</i> .

Procedimiento de cálculos y resultados linternas de 21 mm

Cálculo del número total de linternas. Ecuación 1, 2 y 3
<ol style="list-style-type: none">1. Factor $F = (-0,00034 \times 10 + 0,0335) \times 1,55 + (-0,01 \times 10 + 2) = 1,9466$2. $N_0 = 634,54 \times 10 \times 70 = 444.179$ ostras iniciales3. $L_0 = 444.179 / (10 \times 70) = 634,54$ linternas4. $D_1 = 70 \times (1 - 0,10) = 63$ ostras/piso5. $D_2 = 63 \times (1 - 0,10) = 56,7$ ostras/piso6. $L_1 = [444.179 \times (1 - 0,0155)^4] / (10 \times 63) = 662,33$ linternas.7. $L_2 = [444.179 \times (1 - 0,0155)^8] / (10 \times 56,7) = 691,35$ linternas8. $L_3 = [444.179 \times (1 - 0,0155)^{12}] / (10 \times 51,3) = 722,065$ linternas9. $L = 1,9466 \times \text{máx} \{634,5, 662,33, 691,35, 722,065\} = 1.405,6$ linternas
Resultado: Se necesitan en existencias 1.406 linternas de 21 mm.

Cálculo de sobrevivencia total. Ecuación 4
<ol style="list-style-type: none">1. $Stf = (1 - 0,0155)^{12} = 0,8291$2. Ostras sobrevivientes = $443.100 \times 0,8291 = 367.374$
Resultado: Sobrevivencia del 83,01% con 367.374 ostras vivas.

Cálculo de número de <i>longlines</i>. Ecuación 5
<ol style="list-style-type: none">1. $L_{\text{max}} = 689,67.61$ linternas ocupadas2. $NL = [689,67 / 100]$
Resultado: Se necesitan 7 <i>longlines</i> .

Cálculo de la cantidad de cabo total. Ecuación 6
<ol style="list-style-type: none">1. $ET = (CL \times SL + 1) + 2 \times (Fr \times Zm)$2. $ET = (100 \times 1 + 1) + 2 \times (3 \times 19,8)$3. $ET = 101 + 2 \times (59,4)$4. $ET = 101 + 118,8$
Resultado: Se requieren 219,8 metros (\approx 220 metros) de cabo por <i>longline</i> .



Instituto de Investigación
del Medio Acuático
para Una Salud Global

Este estudio desarrolla y valida un modelo de dimensionamiento para proyectos de acuicultura de pequeña escala, aplicado al cultivo suspendido de la ostra rizada triploide (*Magallana gigas*). Su propósito es optimizar la planificación de infraestructura mediante el cálculo de la cantidad de linternas y longlines necesarios en cada fase del proceso productivo. Este modelo no solo representa una herramienta técnica para mejorar la eficiencia productiva, sino que también responde a la necesidad de diseñar proyectos de acuicultura con una visión más inclusiva y sostenible. En contextos donde la acuicultura de pequeña escala tiene un impacto social significativo, la evaluación de su viabilidad no puede depender exclusivamente de criterios financieros tradicionales.