

Optimization of Production Process of Oysters *Crassostrea gigas* in the Gulf of Nicoya: An Analysis for Identifying Opportunities for Improvement.

Abstract:

This study analyzes the production process of the Japanese oyster (Crassostrea gigas) in the Gulf of Nicoya, Costa Rica, aiming to evaluate its efficiency and sustainability. A qualitative methodology was employed, consisting of structured interviews with small-scale producers and the development of flow diagrams representing all stages of cultivation, from seed acquisition in laboratories to harvest and commercialization. The results estimate an annual production of 114 tons; however, various challenges affect this activity, including water contamination, climate variability, limited infrastructure, and a shortage of skilled labor, which hinder optimal development. The analysis identified key areas for improvement, such as proper seed management, infrastructure maintenance, and efficient waste management. To address these challenges, the study proposes strengthening environmental management, implementing continuous training programs for workers, establishing monitoring systems for more precise control of the production process, and promoting financial support mechanisms to facilitate access to resources and technology. These measures aim to enhance the competitiveness and sustainability of the aquaculture sector, ensuring its long-term viability. In conclusion, the findings of this study provide valuable insights for optimizing production and fostering stronger socio-economic development in the region.

Keywords:

Aquaculture, sustainability, environmental management, production optimization, processes.

Optimización del proceso productivo de ostras *Crassostrea gigas* en el Golfo de Nicoya: Un análisis para la identificación de oportunidades de mejora.

Resumen:

*El presente estudio analiza el proceso productivo de la ostra japonesa (*Crassostrea gigas*) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, con el propósito de evaluar su eficiencia y sostenibilidad. Se empleó una metodología cualitativa basada en entrevistas estructuradas con pequeños productores y la elaboración de diagramas de flujo que representan todas las etapas del cultivo, desde la obtención de la semilla en laboratorio hasta la cosecha y comercialización. Los resultados obtenidos estiman una producción anual de 114 toneladas, aunque esta se ve afectada por diversos desafíos, como la contaminación del agua, la variabilidad climática, la limitada infraestructura y la escasez de mano de obra calificada, lo que dificulta el desarrollo óptimo de la actividad. A partir del análisis realizado, se identificaron áreas clave para la mejora del cultivo, entre ellas el manejo adecuado de la semilla, el mantenimiento de las estructuras y la gestión eficiente de residuos. Como estrategias para enfrentar estos desafíos, se propone fortalecer la gestión ambiental, implementar programas de capacitación continua para los trabajadores, establecer sistemas de monitoreo que permitan un control más preciso del proceso productivo y fomentar mecanismos de apoyo financiero que faciliten el acceso a recursos y tecnología. Estas medidas buscan incrementar la competitividad y sostenibilidad del sector acuícola, asegurando su viabilidad a largo plazo. En conclusión, los hallazgos de este estudio proporcionan información valiosa para optimizar la producción y promover un desarrollo socioeconómico más sólido en la región.*

Palabras clave:

Acuicultura, sostenibilidad, optimización de la producción, gestión ambiental, procesos.

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto contemporáneo, bancos de suministros marinos se ven afectados por la alta demanda global por alimentos, lo que también se manifiesta en la producción de bivalvos. [1] Según se indica en The State of World Fisheries and Aquaculture, 2024, en 2022 la demanda experimentó un incremento en 94.4 millones de toneladas, de las cuales más de 6 millones de toneladas corresponden a ostras [2].

La acuicultura sostenible, en su calidad de componente del sistema productivo global de alimentos, se presenta como un posible sustento para la seguridad alimentaria, la salud ambiental y humana. Este sector se fundamenta en tres pilares

de la sostenibilidad: la economía, el ambiente y la sostenibilidad social. Estos tres pilares se encuentran interconectados, estableciendo una relación más estrecha entre los aspectos ambientales y sociales [3].

Una de las especies con mayor distribución en el mercado global es la *Crassostrea gigas*, esto se debe a la crianza selectiva que ha sufrido la especie que se ha enfocado en resistencia a las enfermedades, crecimiento, color de la concha y eficiencia [4]. Es nativa del Noreste de Asia, donde se extendía desde Japón, China y la península de Corea; para en la actualidad esta distribuida por diferentes partes del mundo como Francia, Australia y Norteamérica [5].

Su aplicabilidad puede trascender la industria alimentaria, ya que sus conchas contienen alrededor de un 95% de carbonato de calcio, lo que ha generado su estudio en aplicabilidad como materia prima en diferentes áreas. Estos estudios se dirigen a dar manejo alternativo de 13 millones de desechos producidos en Europa que no cumplen con las directrices de gestión y terminan en terrenos o depositados al mar [6].

Otro de los roles que desempeñan las ostras es de ingenieros ecosistémicos, debido a su directa o indirecta influencia en los recursos de otros organismos. Al alimentarse mediante filtración contribuyen al ecosistema manteniendo las aguas con menos residuos libres y aclarando los ecosistemas donde se encuentran [7].

Las comunidades que practican la acuicultura de ostras en el Golfo de Nicoya son consideradas productores en pequeña escala, esto por ser manejados por familias y requieren una baja inversión [8]. El Instituto Mixto de Ayuda Social (IMAS) ha realizado una inversión económica que respalda a cada granja de la zona, contribuyendo a la transformación de actividades pesqueras de 24 familias. Además, se ha puesto en marcha el Laboratorio Nacional Producción de Semilla de Ostras, ubicado en la Estación Nacional de Ciencias Marinas y Costeras (ECMAR), en Punta Morales [9].

Este estudio pretende caracterizar el cultivo de ostras a través de análisis de procesos enfocado en productores locales de la zona del Golfo de Nicoya con la finalidad de identificar oportunidades de mejora en los procesos de gestión de acuicultura.

II. METODOLOGIA

El estudio se desarrolló en el periodo comprendido entre junio y agosto 2024, en fincas productoras de ostras ubicadas en el Golfo de Nicoya Costa Rica. Se aplicó un enfoque cualitativo a través de entrevistas estructuradas dirigidas a cuatro productores de Ostra Japonesa (*Crassostrea gigas*), localizadas en Costa Pájaros, Isla Chira y Colorado de Abangares. Se optó por entrevistas estructuradas porque permiten estandarizar la recolección de datos, facilitando la comparación entre diferentes actores de la cadena de comercialización y reduciendo la ambigüedad en las respuestas.

Este es un estudio descriptivo, exploratorio y de nivel cualitativo, orientado a caracterizar en profundidad las prácticas productivas de pequeños acuicultores en el área designada. La elección de un enfoque cualitativo permite obtener información rica y contextualizada sobre procesos y desafíos, alineada con el objetivo de identificar oportunidades de mejora en la gestión de acuicultura.

Los datos obtenidos fueron sistematizados mediante síntesis descriptivas y analizados mediante metodologías de análisis de procesos. La información fue representada a través de diagrama de flujo con el software Visio® y el diagrama Causa-Efecto con el software Minitab®. Estos diagramas fueron desarrollados conjuntamente con los productores durante las visitas de campo y permiten identificar cuellos de botella, puntos críticos de decisión y oportunidades de mejora técnica y organizativa.

A. CARACTERIZACIÓN SOCIODEMOGRÁFICA Y PRODUCTIVA

El estudio reflejó que los productores de ostras en el Golfo de Nicoya responden a agrupaciones de productores con características sociodemográficas homogéneas en la composición de sus integrantes como se detalla a continuación:

- 1) **Dimensión poblacional:** Los grupos dedicados a la producción de ostras son pequeños, compuestos por de tres a diez integrantes.
- 2) **Edad:** Los productores de ostras son adultos que superan los 40 años de edad e incluyen, en varios casos, adultos mayores que superan los 65 años.
- 3) **Género:** Los grupos de objeto de análisis se caracterizan por presentar condiciones de equidad de género con una composición de integrantes que oscila desde un 50% y una dominancia de la participación femenina.

- 4) **Condiciones laborales:** Los productores tienen acceso a una fuente de empleo fijo con opción de contratación de personal parcial para tareas ocasionales.
- 5) **Formación académica:** El nivel de formación académica de los productores es mínimo. Destaca que en algunos casos presentan solo primaria completa o secundaria incompleta. Esto representa una limitación declarada por los productores a la hora de adaptarse a nuevos conocimientos.
- 6) **Producción total:** Se estima una producción de 118 mil ostras anuales por finca, lo que se traduce en una producción estimada de 114 toneladas anuales.
- 7) **Cantidad de trabajadores:** Las labores operativas de mantenimiento son realizadas por los integrantes de los grupos. Se presenta una contratación ocasional de trabajadores externos. La contratación de trabajadores varía según la producción y temporada del año. Destaca que durante el verano hay mayor tendencia a contratación.
- 8) **Áreas de producción:** Se estima un área productiva activa de 9 hectáreas, todas ubicadas en el Golfo de Nicoya.
- 9) **Permisos de acuicultura de ostras:** La totalidad de las fincas cuentan con los permisos legales de INCOPECA, SENASA, permiso de aguas y viabilidad ambiental.
- 10) **Disponibilidad de servicios:** Se determina que el acceso a disponibilidad de servicios es limitado en las zonas de producción. La mayoría de los productores obtienen luz por medio de plantas de energía solar y otros están limitados a los servicios, afectando la calidad de las comunidades.
- 11) **Comercialización:** Las ostras se comercializan en el mercado nacional dirigidos a restaurantes, comunidades locales o intermediarios que deseen obtener el producto. Su comercio responde a un nicho de mercado de tipo gourmet.

B. PROCESO PRODUCTIVO.

Se determinó que el proceso productivo está compuesto por seis etapas desde que la semilla sale del laboratorio de producción. En la Figura 1 se presenta un diagrama de flujo en el que se representan las etapas. A continuación, se detallan cada una de ellas.

- 1) **Siembra:** La semilla se adquiere en el Laboratorio de Ostras de la Universidad Nacional ECOMAR. Se realizan siembras de entre 300 a 1200 millares con una frecuencia bimensual. Los animales se colocan en bolsas de malla fina, dispuestos dentro de las linternas para la etapa inicial. Al cumplir 45 días se procede a el traslado de los animales a las linternas.
- 2) **Desdoble:** Los animales son extraídos de las linternas, para brindar el mantenimiento operativo. Se hacen mediciones de cantidad, estado de asentamiento de epibiontes y sobrevivencia. Conforme los animales aumentan de tamaño se colocan reparten en más linternas que son colocadas nuevamente en el mar. El proceso aumenta el espacio disponible para cada animal y regulando la competencia interespecífica por recursos.
- 3) **Mantenimiento:** A lo largo del proceso de crecimiento de la ostra se procede a realizar, limpiezas de sedimentos e impurezas, limpieza de detritos y algas. También, se realiza un baño de agua dulce durante 20 minutos para ser empacadas en sistemas limpios y se ponen 20 minutos al sol. Seguidamente se seleccionan por tamaños, enjuagan y eliminan todas las Ostras que estén muertas. El proceso se realiza con una frecuencia de 15- 22 días máximo después de haber cumplido el mes y medio.
- 4) **Proceso de cosecha:** Luego de 7 meses, donde ya alcanzan el tamaño comercial deseado, se procede a recolectar las ostras que están en sistemas suspendidos como jaulas, redes o linternas en mar abierto.
- 5) **Purificación:** Este paso consta de colocar las ostras en tanques de depuración con agua de mar filtrada y especialmente esterilizada para que se pueda eliminar algún tipo de contaminación o bacterias. Al realizar este proceso se debe estar pendientes, se monitorea la calidad del agua y como se encuentre la salud de la ostra. Esta etapa se desarrolla en el Laboratorio de Ostras de la Universidad Nacional, la cual facilita la infraestructura para brindar el servicio.
- 6) **Proceso de empaque y distribución:** Antes de empacar, se debe hacer una selección final para verificar los tamaños de cada ostra. Luego se empaquetan para que puedan mantener la frescura hasta el momento de su consumo. Se debe mantener la línea de frio para los bivalvos durante su distribución, ya sea en restaurantes y comercios que desean obtener el producto.

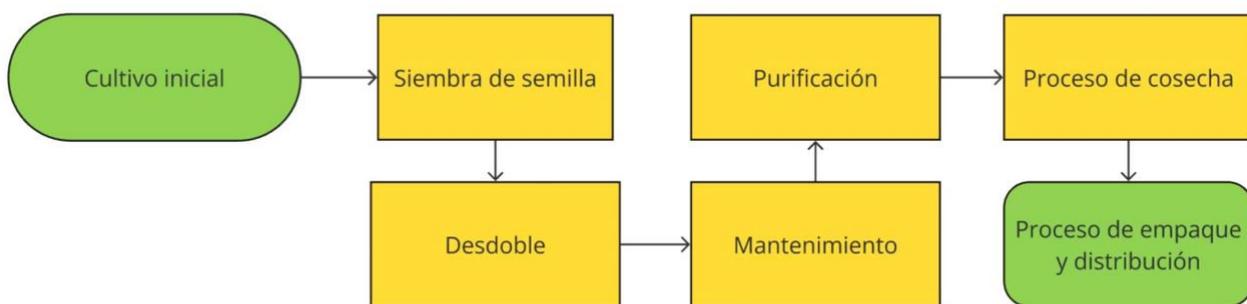


Figura 1 Diagrama de flujo de proceso productivo de Ostra Japonesa (*Crassostrea gigas*) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica.

A través de la metodología de Diagrama Causa y Efecto se identificaron las problemáticas potenciales presentes en el

proceso de cultivo de ostras, para el caso del Golfo de Nicoya. En la Figura 2, se presenta una representación gráfica del

análisis realizado. A continuación, se detallan las problemáticas identificadas.

Medio Ambiente

- 1) **Contaminación:** Por tratarse de un sistema abierto el cultivo de ostras está expuesto a recibir contaminantes de origen antrópico y natural presentes en las aguas del Golfo de Nicoya. Adicionalmente, las ostras por ser organismos filtradores son vulnerables a bioacumulación en sus tejidos. Eventos de mareas rojas, eutrofización, y descargas de pesticidas de otras actividades pueden impactar la producción de ostras. .
- 2) **Eventos climáticos:** Las estructuras flotantes para el cultivo de ostras suelen verse afecta por fenómenos climáticos como tormentas y huracanes. Estos generan pérdidas económicas por daño a la infraestructura, e incluso pérdidas de animales cultivados.
- 3) **Cambios en el pH:** El aumento de la acidez el agua debilita y evitan el crecimiento de las ostras debido a que afecta el carbonato que necesita para poder llegar a su tamaño de cosecha.

Prácticas de manejo

- 1) **Manejo de la ostra:** Alteraciones en la frecuencia y eficacia del proceso de desdoble derivan en estrés en los animales de cultivo por competencia de espacio y recurso. Como resultado se presenta un aumento de la vulnerabilidad a eventos patológicos.
- 2) **Infraestructura no adecuada:** Se observan deficiencias en las instalaciones de manejo y procesamiento de las ostras. En general, son infraestructuras de espacio reducido y con inmobiliaria limitada. Carecen de sistemas de drenaje para evacuación de agua de proceso. En algunos casos el área de proceso carece de pisos y techos.
- 3) **Daños y mortalidad en las ostras:** Factores presentes en el agua y la mala manipulación son algunos factores que influyen en la mortalidad de las ostras. Principales factores son los siguientes, condiciones ambientales, enfermedades y prácticas de manejo mal adecuados. Los parásitos como protozoos y helmintos son los principales provocantes de la mortalidad de la ostra.

Recursos Humanos

- 1) **Falta de recursos humanos:** Las fincas cuentan con pocos trabajadores, lo que limita su capacidad de proceso.
- 2) **Falta de preparación educativa:** Falta de estudios en la mayoría de los productores y trabajadores, el no contar con los estudios necesarios genera un impacto negativo tanto en calidad y eficiencia de la producción.
- 3) **Falta de seguro social en los trabajadores:** El estudio determina que más de 80% de colaboradores que trabajan en las fincas no cuentan con CCSS, el no contar con seguro perjudica a los trabajadores en su salud, ya que si sucede un accidente dentro del área productora no cuenta con un respaldo de seguro social.
- 4) **Manejo de desechos:** Los sitios de cultivo y manejo, presentan limitaciones en el manejo de desechos. En muchos de ellos no cuentan con sistemas de colecta de residuos ordinarios ni sistemas de reciclaje. Se observan prácticas no adecuadas de disposición como entierro y quema.

Administrativos

- 1) **Falta de control de registro:** Las unidades acuícolas no disponen registros de cosecha. La mayor parte de las fincas estudiadas carecen de un sistema de documentación de animales sembrados y desdoblados donde se respalde que la producción, control de calidad y cumplimiento de los estándares esperados. Esto limita el seguimiento en el crecimiento de las ostras y de la producción a lo largo del tiempo.
- 2) **Falta de identificación de la marca del negocio:** Las granjas se encuentran actualmente sin una marca que identifique su producto. El no contar con una marca hace que la producción limita su valor competitivo con respecto a otros productos del mercado.
- 3) **Falta de recursos financieros:** La limitación en la disponibilidad de recursos financieros constituye una de las principales problemáticas, dado que numerosos productos aspiran a ampliar su capacidad productiva. Sin embargo, la ausencia de capital, de condiciones propicias y de alianzas que financien los proyectos limita su capacidad de incrementar su producción más allá del margen actual.



Figura 2 Diagrama de causa y efecto de las problemáticas asociadas a la producción de ostras en el Golfo de Nicoya Costa Rica.

C. **ESTRATEGIAS DE MEJORAS EN LOS PROCESOS DE LA PRODUCCION DE OSTRAS EN LA ZONA DEL GOLFO DE NICOYA**

Basado en las causas y efecto (Figura 2) se determinan diversas estrategias de mejoras para la producción de *Crassostrea gigas*. A continuación se determinan estrategias específicas para cada área del diagrama de causa y efecto.

Medio Ambiente.

- 1) **Reducción de contaminación:** Realizar un plan de acción con los productores y comunidades para reducir

la contaminación que son originados mediante las fuentes agrícolas.

- 2) **Cuidado de las áreas marinas:** Incentivar a los productores a mantener el área costera libre de materiales que generan basura y desechos, también el proponer campañas de recolección de basura en las playas.
- 3) **Elaboración de planes de emergencia:** Realizar planes de emergencias, para actuar cuando se presentan condiciones adversas para el cultivo.

Mejoras en prácticas de manejo.

- 1) **Planificación de cosecha:** Realizar planes de control desde el momento de la siembra hasta el momento de

cosecha de la *Crassostrea gigas*, para medir la madurez y el tamaño de la ostra.

- 2) **Mejoras en las técnicas de recolección:** Implementar métodos de recolección, equipos y herramientas especializados para el buen manejo a la hora de recolectar la ostra, disminuyendo tiempos y daños.

Mantenimiento y equipos.

Gestión y Planificación

- 1) **Capacitación de gestión:** Realizar capacitaciones donde se incluyan, tanto al gerente como trabajadores, brindándoles técnicas de mejoras, control de monitoreo, planificación y calidad.
- 2) **Mejora en los recursos financieros:** Identificar y reducir los costos que están generando gastos de manera innecesaria, así como buscar asociaciones y entidades que puedan ser de apoyo financiero y técnico. Implementación de la oferta del producto a más áreas del país, para que su producto sea reconocido y genere más ingresos.

IV. DISCUSIÓN

Con respecto al estudio realizado acerca del proceso en la acuicultura de ostras, se determina que su producción conlleva varias etapas, desde la obtención de la ostra, la siembra, cría hasta su cosecha y comercialización en el mercado. El éxito de la producción depende de factores clave como la gestión ambiental, la calidad del agua y la capacitación efectiva de los trabajadores [7].

En la zona del Golfo de Nicoya se están haciendo esfuerzos para impulsar diferentes actividades que generen un desarrollo económico para los habitantes del golfo. Entidades como la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA), el Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social (MTSS), la Fundación Parque Marino y el IMAS en conjunto el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) contribuyeron a la creación un laboratorio de semilla de ostra [9].

La implementación de prácticas sostenibles, como el control de desechos que genera la producción, por ejemplo, el uso de las conchas para obtener carbonato de calcio como relleno plástico sostenible utilizado en los compuestos de acetato de etileno-vinilo [10]. La capacidad de ser usado en el área de la construcción como arena, polvo y polvo calcinado, estas tres mostraron capacidades mecánicas, resistencia y

durabilidad comparable o mejor que los materiales normales de construcción [11].

Para fortalecer la sostenibilidad del cultivo de *C. gigas* en el área del Golfo de Nicoya, la incorporación de herramientas tecnológicas con eficiencia en proyectos acuícolas comparables. Mantener los parámetros de la calidad de agua es fundamental, la adopción de sensores multiparamétricos como el YSI EXO2 o el Aqua TROLL 600. Esto permitiría tener un control y tiempos más precisos con el oxígeno disuelto, pH, salinidad, temperatura y niveles de amonio, lo cual es fundamental para anticipar condiciones de estrés ambiental [22, 23].

Un caso en Ghana, con tilapias, donde implementaron por un año capacitaciones en buen manejo de las prácticas, recolección de datos, medidas de bioseguridad y calidad del agua dio varios beneficios. Los kilogramos cosechados por metro cuadrado aumentaron en 4.5 ton/ha, adicionalmente las capacitaciones colaboraron con una tasa de retorno de la inversión del 300% - 600% después del año [18].

Al igual que mantener la capacitación constante, la implementación de plataformas de gestión ha probado ser efectiva en otras regiones para facilitar la toma de decisiones basado en datos, optimizar procesos de alimentación, registro de variables productivas y la trazabilidad del proyecto. Tales plataformas pueden ser AquaManager o eFishery [24, 25].

La producción de ostras es desarrollada en jaulas marinas, por lo que comprobar su eficiencia es importante. En el caso de la trucha arcoíris y el lucioperca, se realizó un estudio para ver la eficiencia de sistemas de producción en jaulas contra sistemas de recirculación (RAS). Encontrando consistentemente mayores beneficios netos en jaulas marinas, dada la normativa ambiental europea, las inversiones en compensaciones o mejoras en tecnologías en jaula pueden ofrecer mayores retornos económicos que ampliar RAS bajo las condiciones estudiadas [21].

En un estudio que compara métodos visuales contra moleculares para diferenciar comunidades biológicas en los sedimentos, se encontró que en granjas de salmón la mayor ventaja es el tiempo. Los enfoques moleculares muestran una mejora en el tiempo necesario para obtener resultados en comparación con el enfoque de macrofauna, por lo tanto, los investigadores estiman que el método de eDNA fue un 56% más eficiente en el tiempo, mientras que el modelo de macrofauna fue un 38% más barato. Hay que tomar en cuenta que el estudio utilizó 36 muestras en total [19].

Estudios recientes demuestran las vulnerabilidades de *C. gigas* al cambio de temperatura, en comparación a la ostra de roca de Sídney, la ostra del Pacífico no logra soportar en su

etapa de juvenil las olas de calor marinas. Hay que tomar en cuenta la inmersión en aire, acidificación de las aguas, enfermedades, parásitos y nutrientes del ambiente, que son factores fundamentales para el desarrollo de los individuos [12, 15, 16].

En Hong Kong un modelo económico para granjas de peces marinos mostró en temas de bioseguridad, que sólo en escenarios de alto riesgo sanitario con mortalidades de 46% o mayor y poblaciones de más de 100.000 individuos resulta rentable un plan integral de bioseguridad. En condiciones típicas de mortalidad baja o medianas la estrategia más costo-efectiva puede ser eliminar los individuos muertos rápidamente y tratar brotes pronto. En pocas palabras, los programas estrictos de bioseguridad son caros y solo sirven cuando las pérdidas por enfermedad son altas [20].

Por otra parte, las enfermedades con mayor presencia con respecto a *C. gigas*, son el Síndrome de Mortalidad de la Ostra del Pacífico causado por la variante del tipo de herpes virus ostreide y la vibriosis por la infección por *Vibrio aestuarianus* que generan mortalidades altas [13]. Hay una relación directa con respecto a los cambios de temperatura y las enfermedades, pero el factor que mas destaca es la constancia de días calientes. Es decir, un día de calor extremo no afecta, pero una constante de calor por varios días crea mayor riesgo de muerte [14].

Los procesos de mejora en la producción han demostrado la eficiencia que se puede tener con incluir mejores procesos a la línea de trabajo. Por ejemplo, en el sector de la acuicultura de Europa se está implementando una estrategia circular con respecto a modelos de negocio que concreten las metas en sectores como el económico, social y de sostenibilidad ecológica [17].

V. CONCLUSIONES

El estudio muestra que la producción de ostras en le Golfo de Nicoya presenta características sociodemográficas compatibles con un modelo de acuicultura sostenible. El proceso de productivo refleja áreas de mejora que potenciaría un aumento de las posibilidades de éxito del proyecto, asegurado la sostenibilidad y contribuyendo al desarrollo socioeconómicos de las regiones productoras.

1) **Optimización de la gestión ambiental:** Resulta pertinente que se implementen y fortalezcan las prácticas de gestión ambiental en todas las etapas del proceso de cultivo. Ya que asegura tener un control de la calidad del producto final y el buen manejo de desechos, garantizando la sostenibilidad y contribución al medio ambiente en las zonas del Golfo de Nicoya.

2) **Capacitación continua a los trabajadores:** Se recomienda implementar programas de capacitación continúa para los trabajadores involucrados en el cultivo de ostras. La información que debe tener los programas debe centrarse en puntos claves como: el manejo adecuado de las ostras y incorporación de practicas sostenibles que promuevan tanto la eficiencia, como la calidad de la producción.

3) **Monitoreo y control continuo:** Se concluye que sería beneficioso establecer sistemas de monitoreo continuos de las condiciones climáticas del agua en las áreas de siembra. Al utilizar un sistema de control permite anticipar y poder mitigar los efectos del estrés en las ostras, al igual que mantener un ambiente favorable para su desarrollo.

4) **Fomento de prácticas sostenibles para la producción:** Sería oportuno la adopción de prácticas sostenibles a lo largo de toda la cadena de producción, desde la siembra hasta la comercialización. Esto abarca la incorporación de tecnologías ecológicas, el reciclaje de materiales y la minimización del impacto ambiental, con el fin de asegurar la sostenibilidad a largo plazo de la acuicultura en la Zona del Golfo de Nicoya.

VI. RECOMENDACIONES

Para optimizar el manejo productivo se puede implementar planes de gestión y control de producción, garantizando registros detallados sobre el crecimiento y cosecha. Esto facilitará la toma de decisiones basado en datos, reduciendo así fallos por mala planificación y anticipando la toma de medidas correctivas a tiempo.

Deben desarrollarse programas de capacitación continua sobre manejo de enfermedades y optimización de procesos para fomentar el progreso del proyecto desde una perspectiva interna. La participación en alianzas con instituciones gubernamentales y académicas proporciona apoyo técnico, acceso a nuevas tecnologías y conexiones. Este modelo beneficia al trabajador, ya que fomenta una cultura de innovación en el sector.

A nivel comercial, se aconseja crear una marca colectiva que permita diferenciar las ostras del Golfo de Nicoya en el mercado gourmet. Esto puede aumentar su valor comercial y fortalecer la competitividad del sector. Del mismo modo, se recomienda explorar oportunidades de exportación y certificaciones de sostenibilidad, que podrían abrir nuevos mercados y generar mayor confianza en los consumidores.

En última instancia, con el propósito de garantizar la viabilidad económica de los productores, resulta imperativo facilitar el acceso a financiamiento y respaldo institucional. Se recomienda identificar fuentes de financiamiento, tales como

fondos gubernamentales o cooperaciones internacionales, que permitan optimizar la infraestructura productiva. Asimismo, fomentar la organización de los productores en cooperativas o asociaciones facilitaría la gestión de recursos y la negociación con compradores, lo que redundaría en una mejora de las condiciones del mercado para los acuicultores de la región.

REFERENCIAS

- [1] R. Radulovich and J. P. Fuentes-Quesada, "Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) artisanal production in floating cages at sea and polyculture with oyster (*Crassostrea gigas*)," *Aquaculture*, vol. 512, p. 734354, 2019. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734354>.
- [2] F. Chiefa, P. Tedeschi, M. Cescon, V. Costa, L. Aguiari, y L. Pasti, "Comparative analysis of two different immersion times in the farming systems for *Ostrea edulis* and *Magallana* (*Crassostrea*) *gigas* in a brackish basin of Valli di Comacchio (northern Italy)," *Aquaculture*, vol. 598, p. 742009, 2025. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.742009>.
- [3] Garlock, T.M., Asche, F., Anderson, J.L. *et al.* Environmental, economic, and social sustainability in aquaculture: the aquaculture performance indicators. *Nat Commun* **15**, 5274 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49556-8>.
- [4] L. Dégremont y P. Boudry, "Inheritance and temporal plasticity of simultaneous hermaphroditism in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*," *Aquaculture*, vol. 599, p. 742106, 2025. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.742106>.
- [5] Y. Chi, C. Xu, y Q. Li, "Influence of ploidy, genetic and environment on production traits of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*," *Aquaculture*, vol. 586, p. 740756, 2024. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740756>.
- [6] L. Carosco, B. De Pascale, P. Tataranni, C. Chiavetta, C. Lantieri, y A. Bonoli, "Preliminary study on the application of waste bivalve shells as biofiller for the production of asphalt concrete," *Cleaner Engineering and Technology*, vol. 20, p. 100743, 2024. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100743>.
- [7] J. Iitembu, D. Fitzgerald, T. Altintzoglou, P. Boudry, P. Britz, C. Byron, D. Delago, S. Girard, C. Hannon, M. Kafenszok, F. Squella, J. Legat, A. Puchnick-Legat, A. Michaelis, I. Pley, S. Sühnel, W. Walton, y Å. Strand, "Comparative description and analysis of oyster aquaculture in selected Atlantic regions: Production, market dynamics, and consumption patterns," *Fishes*, vol. 8, p. 584, 2023. Disponible: <https://doi.org/10.3390/fishes8120584>.
- [8] N. Dorji, S. Yamazaki, y P. Thinley, "Commercialisation and productivity: Evidence from small-scale aquaculture in Bhutan," *Aquaculture*, vol. 596, parte 1, p. 741794, 2025. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741794>.
- [9] Instituto Mixto de Ayuda Social (IMAS), "Granjas para cultivo de ostras en Isla Venado, Chira y Costa de Pájaros estarán listas en 2023," 2020. Disponible: <https://www.imas.go.cr/es/comunicado/granjas-para-cultivo-de-ostras-en-isla-venado-chira-y-costa-de-pajaros-estaran-listas-en>.
- [10] M. L. Basile, C. Triunfo, S. Gärtner, S. Fermani, D. Laurenzi, G. Maoloni, M. Mazzon, C. Marzadori, A. Adamiano, M. Iafisco, D. Montroni, J. Gómez Morales, H. Cölfen, y G. Falini, "Stearate-coated biogenic calcium carbonate from waste seashells: A sustainable plastic filler," *ACS Omega*, vol. 9, pp. 11232-11242, 2024. Disponible: <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c06186>.
- [11] P. Bellei, I. Torres, R. Solstad, y I. Flores-Colen, "Potential use of oyster shell waste in the composition of construction composites: A review," *Buildings*, vol. 13, p. 1546, 2023. Disponible: <https://doi.org/10.3390/buildings13061546>.
- [12] N. Howarth, E. Scanes, M. Byrne, et al., "Ocean warming and Marine Heatwaves unequally impact juvenile introduced and native oysters with implications for their coexistence and future distribution," *Scientific Reports*, vol. 14, p. 20688, 2024. Disponible: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71534-9>.
- [13] L. Dantan, P. Carcassonne, L. Degrémont, et al., "Microbial education plays a crucial role in harnessing the beneficial properties of microbiota for infectious disease protection in *Crassostrea gigas*," *Scientific Reports*, vol. 14, p. 26914, 2024. Disponible: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-76096-4>.
- [14] J. Shi, J. B. Kajtar, H. Hayashida, y S. C. Ugalde, "Relationships between high temperatures and Pacific Oyster disease and mortality in southeast Tasmania, Australia," *Continental Shelf Research*, vol. 273, p. 105173, 2024. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2024.105173>.
- [15] P. M. Ross, C. Pine, E. Scanes, M. Byrne, W. A. O'Connor, M. Gibbs, y L. M. Parker, "Meta-analyses reveal climate change impacts on an ecologically and economically significant oyster in Australia," *iScience*, vol. 27, no. 12, p. 110673, 2024. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.110673>.
- [16] A. F. Rowley, C. Baker-Austin, A. S. Boerlage, C. Caillon, C. E. Davies, L. Duperret, S. A. M. Martin, G. Mitta, F. Pernet, J. Pratoomyot, J. D. Shields, A. P. Shinn, W. Songsunthong, G. Srijuntongsiri, K. Sritunyalucksana, J. Vidal-Dupirol, T. M. Uren Webster, S. Taengchaiyaphum, R. Wongwaradechkul, y C. J. Coates, "Diseases of marine fish and shellfish in an age of rapid climate change," *iScience*, vol. 27, no. 9, p. 110838, 2024. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.110838>.
- [17] M. Masi, F. Adinolfi, E. S. Marrocco, y Y. Vecchio, "A circular transition model for the European aquaculture sector," *Aquaculture*, vol. 596, parte 1, p. 741819, 2025. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741819>.
- [18] C. Ragasa, B. M. Chimatiro, y M. G. Genschick, "Training farmers in good aquaculture practices: Evidence from a randomized experiment in Ghana," *Agricultural Economics*, vol. 53, no. 5, pp. 683–699, Sept. 2022. doi: 10.1111/agec.12754.
- [19] A. Coutts, D. Zimmermann, A. Davey, J. P. Bowman, D. J. Ross, y E. M. A. Strain, "A comparison of visual and molecular methods for inferring biological communities in aquaculture enriched sediments - Impact assessment and cost-benefit analysis," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 209, Pt A, p. 117172, Dec. 2024. doi: 10.1016/j.marpolbul.2024.117172.

- [20] L. Jahangiri, S. Shum, D. U. Pfeiffer, C. F. Leung, A. R. P. Marques y S. St-Hilaire, "An economic model to assess biosecurity management strategies for marine fish farms in Hong Kong SAR," *Aquaculture*, vol. 567, p. 739294, 2023. doi: 10.1016/j.aquaculture.2023.739294.
- [21] C. Laine, M. Ollikainen, M. Kankainen, J. Setälä y J. Vielma, "Social net benefits from aquaculture production: A comparison of net cage cultivation and recirculating aquaculture systems," *Aquaculture Economics & Management*, vol. 27, no. 1, pp. 1–31, 2023. doi: 10.1080/13657305.2023.2222681.
- [22] In-Situ Inc., "Aqua TROLL 600 Multiparameter Sonde," In-Situ Technical Documentation, 2023. [Online]. Available: https://in-situ.com/es/aqua-troll-600-multiparameter-sonde?srsId=AfmBOoq_3j3vPKe-zE4QOvFBu2RP7rdSxtr7sjAUZNbRsDGSsyafLipM
- [23] YSI, "EXO2 Multiparameter Sonde," YSI, 2025. [Online]. Available: https://www.ysi.com/exo2?srsId=AfmBOo-dU7Y1_c5qLYmvCwBohtcQNTZVWCda0qCI1BIANw7hMQ9IrZC
- [24] AquaManager, "Página principal," AquaManager, 2025. [Online]. Available: <https://www.aqua-manager.com/es/pagina-principal/>
- eFishery, "Home," eFishery, 2025. [Online]. Available: <https://efishery.com/en/>