



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

CENTRO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS, SOCIALES Y
TECNOLÓGICAS DE LA AGROINDUSTRIA Y LA AGRICULTURA MUNDIAL

DOCTORADO EN CIENCIAS EN PROBLEMAS ECONÓMICO
AGROINDUSTRIALES

ANÁLISIS DE LA SUSTENTABILIDAD DE SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN CAMARONÍCOLA EN MÉXICO

TESIS

que como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN PROBLEMAS ECONÓMICO
AGROINDUSTRIALES

Presenta

IRMA MALDONADO HERNÁNDEZ

bajo la supervisión de:

JUAN ANTONIO LEOS RODRÍGUEZ, DOCTOR



Chapingo, Estado de México, marzo de 2024

ANÁLISIS DE LA SUSTENTABILIDAD DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CAMARONÍCOLA EN MÉXICO

Tesis realizada por **IRMA MALDONADO HERNÁNDEZ**, bajo la dirección del Comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS EN PROBLEMAS ECONÓMICO
AGROINDUSTRIALES**

DIRECTOR:



DR. JUAN ANTONIO LEOS RODRÍGUEZ

ASESOR:



DR. NORMAN AGUILAR GALLEGOS

ASESOR:



DRA. LETICIA MYRIAM SAGARNAGA VILLEGAS

LECTOR EXTERNO:



DRA. CRISTINA ISABEL IBARRA ARMENTA

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vi
DEDICATORIAS.....	vii
AGRADECIMIENTOS.....	viii
DATOS BIOGRÁFICOS	x
RESUMEN GENERAL	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 Justificación.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.2.1 Objetivos de investigación.....	4
1.2.2 Preguntas de investigación	5
1.2.3 Hipótesis de investigación.....	6
1.3 Estructura de la tesis	6
1.4 Literatura citada	7
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO Y DE REFERENCIA	11
2.1 Intensificación sostenible.....	11
2.2 Evaluación de la sostenibilidad	13
2.2.1 Marco de Evaluación de la Sostenibilidad de la Agricultura y el Medio Ambiente (SAFE)	13

2.2.2	Marco para la Evaluación de la Sostenibilidad de los Sistemas de Manejo de Recursos Naturales (MESMIS)	14
2.3	Acuacultura en el mundo	17
2.4	Camaronicultura en México	18
2.4.1	Trayectoria tecnológica de la camaronicultura en México	21
2.5	Literatura citada	30
CAPÍTULO 3. TRANSICIÓN A LA INTENSIFICACIÓN SOSTENIBLE EN EL CULTIVO DE CAMARÓN: RETOS Y OPORTUNIDADES		40
3.1	Introducción.....	41
3.2	Metodología.....	45
3.2.1	Área de estudio y selección de casos.....	45
3.3	Resultados y discusión	53
3.4	Conclusiones.....	64
3.5	Literatura citada	66
CAPÍTULO 4. EL GRADO DE INTENSIFICACIÓN COMO FACTOR DE SOSTENIBILIDAD DE LA CAMARONICULTURA EN MÉXICO		73
4.1	Introducción.....	74
4.2	Metodología.....	76
4.2.1	Área de estudio.....	76
4.3	Resultados y discusión	82
4.4	Conclusiones.....	92
4.5	Literatura citada	93

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES GENERALES Y
PROSPECTIVA 97

5.1	Principales hallazgos	97
5.1.1	Prácticas de intensificación sostenible en la camaronicultura y limitaciones en la adopción	98
5.1.2	Factores que mejoran al grado de sostenibilidad económica, social y ambiental en los sistemas de producción.....	100
5.1.3	Acciones de mejora en la intensificación sostenible	100
5.2	Limitaciones y pautas para futuras investigaciones	101
5.3	Literatura citada	102

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Indicadores económicos, ambientales y sociales	15
Cuadro 2. Etapas de la trayectoria tecnológica de la camaronicultura en México	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura capitular de la tesis.....	7
Figura 2. Países productores de especies acuícolas en 2017	17
Figura 3. Producción mundial de camarón 2008-2017	18
Figura 4. Producción nacional de camarón en 2020.....	19
Figura 5. Participación de especies en la producción acuícola en 2018.....	20
Figura 6. Vías de producción en camarón.....	21
Figura 7. Trayectoria tecnológica de la camaronicultura en México 1989-2018	24

DEDICATORIAS

Al universo por brindarme una segunda oportunidad de vivir esta gran experiencia, por permitirme culminar esta etapa de mi vida académica, por demostrarme que todo es posible y enseñarme que la vida se vive una vez.

A mis padres Teresa y Martín, les dedico este logro por todo su apoyo, amor, comprensión y motivación en mis días más difíciles.

A mis hermanos Alejandro, Pablo y Marco, por su motivación y apoyo en los momentos más complicados, por confiar en mí y por todas sus enseñanzas.

A mis sobrinos por ser una de mis mayores inspiraciones y alegrías.

Con todo mi cariño y reconocimiento:

Irma

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)** por el financiamiento otorgado para realizar mis estudios de posgrado tanto de maestría como de doctorado y permitirme alcanzar este grado académico.

A mi alma mater, la **Universidad Autónoma Chapingo (UACH)** y al **Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM)** por el apoyo institucional brindado a lo largo de seis años.

Al **Dr. Juan Antonio Leos Rodríguez**, por inspirarme a superar mis metas, por sus sabios consejos dentro y fuera de las aulas, pero sobre todo por confiar en mí. Agradezco su tiempo, dedicación y contribuciones que guiaron esta tesis.

A la **Dra. Leticia Myriam Sagarnaga Villegas**, por su asesoría en este trabajo, por sus valiosos consejos y por su motivación a explorar nuevas oportunidades académicas.

Al **Dr. Norman Aguilar Gallegos**, por su asesoría, tiempo dedicado, y contribuciones al trabajo de investigación.

Al **Dr. Kenneth Boyle**, por compartir sus conocimientos, motivarme a superar mis metas y por confiar en mi proyecto de estancia, en Technological University Dublín, Irlanda.

A **los profesores de CIESTAAM**, por compartir sus conocimientos y por aportar en mi formación académica.

Al **Ing. Gilberto Ferrer Álvarez**, por su tiempo, vinculación con productores, asesorías e importantes aportes a esta investigación.

A **los administrativos del CIESTAAM**, por su apoyo en los trámites que se requirieron.

Al Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Sinaloa (**CESASIN**), por la vinculación con productores de Sinaloa y apoyo para el desarrollo de actividades de investigación.

Al Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Sonora (**COSAES**), por la vinculación con productores de Sonora, asesoramiento y apoyo en las visitas de campo

A **Víctor Hugo Villaseñor Carmona**, por su apoyo incondicional, motivación para cumplir mis metas y alentarme a ir por más.

A mis amigos **Diana, Josué, Monroy, Axel, Miriam, Asael, Edgar y Soledad**, por todos sus consejos, apoyo incondicional y por todos momentos tan agradables y desafiantes que hemos compartido, gracias por siempre estar.

A mis compañeros de generación, por los buenos momentos que pasamos juntos dentro y fuera de las aulas, por ser un gran equipo y ser parte de esta experiencia.

A todos los productores por todos los aportes a esta investigación, por su valioso tiempo y experiencias compartidas para hacer posible la presente tesis.

DATOS BIOGRÁFICOS

Irma Maldonado Hernández, nació en San Vicente Chicoloapan, Edo. de México, el 03 de diciembre de 1993. Cursó la licenciatura de Ingeniería Agroindustrial en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) del periodo de 2011-2015.

Del periodo de 2017-2019, cursó la Maestría en Ciencia en Estrategia Agroempresarial en CIESTAAM, UACH. Realizó una estancia de investigación en la Universidad de la Rioja, España. En 2019 obtiene el grado de Maestro en Ciencias en Estrategia Agroempresarial.



De 2020-2023 estudió el Doctorado en Ciencias en Problemas Económico Agroindustriales. En 2023 realizó una estancia de investigación en Technological University Dublín, Irlanda.

RESUMEN GENERAL

ANÁLISIS DE LA SUSTENTABILIDAD DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CAMARONÍCOLA EN MÉXICO¹

La creciente demanda de productos acuícolas ha llevado a la intensificación de la producción de camarón. Sin embargo, surgen preocupaciones sobre la sostenibilidad, específicamente sobre prácticas que dañan el medio ambiente. El desafío de la intensificación sostenible (IS) en la producción de camarón es mejorar el rendimiento y, al mismo tiempo, minimizar los impactos ambientales. El objetivo fue analizar las principales prácticas de intensificación sostenible realizadas por pequeños y medianos productores, con el propósito de identificar los factores que favorecen el grado de sustentabilidad económica, social y ambiental, mediante el cálculo de un índice de sustentabilidad de los sistemas productivos para formular acciones de mejora que promuevan el desarrollo sostenible. Se adoptó la metodología de estudio de caso para analizar el proceso de producción e identificar las prácticas de IS. La evaluación de sostenibilidad incluyó 24 granjas (extensivas, semi-intensivas e intensivas) en los estados de Sonora y Sinaloa. Los resultados evidencian una limitada incorporación de prácticas de IS, debido al deficiente marco institucional y regulatorio, la ausencia de electricidad, baja adopción de tecnologías, ineficiente manejo y suministro de alimentos y uso excesivo de antibióticos en algunas granjas. La adopción de los criterios en los atributos de innovación, productividad, estabilidad y autogestión mejoran la sostenibilidad. Estos hallazgos sugieren que la implementación de buenas prácticas de manejo es fundamental para avanzar hacia la intensificación sostenible; el uso de tecnologías como los alimentadores automáticos marca una diferencia significativa en términos económicos, sociales y ambientales. La producción de camarón seguirá aumentando, debido a la creciente demanda en el consumo, por lo tanto, se requiere avanzar hacia la intensificación sostenible.

Palabras clave: acuacultura, camaronicultura, intensificación sostenible, marco MESMIS, sostenibilidad.

¹Tesis de Doctorado en Ciencias en Problemas Económico Agroindustriales, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Irma Maldonado Hernández

Director de tesis: Dr. Juan Antonio Leos Rodríguez

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE SUSTAINABILITY OF SHRIMP PRODUCTION SYSTEMS IN MEXICO²

The growing demand for aquaculture products has led to the intensification of shrimp farming production. However, concerns arise about sustainability, specifically over practices that harm the environment. The challenge of sustainable intensification (SI) in shrimp production is to improve performance while minimizing environmental impacts. The objective of this research was to analyze the main sustainable intensification practices carried out by small and medium-sized producers, with the purpose of identifying the factors that favor the degree of economic, social, and environmental sustainability, by calculating a sustainability index of productive systems to formulate improvement actions that promote sustainable development. The case study methodology was adopted to analyze the production process and identify SI practices. The sustainability evaluation included 24 farms (extensive, semi-intensive and intensive) in the states of Sonora and Sinaloa. The results show a limited incorporation of SI practices, due to the deficient institutional and regulatory framework, the absence of electricity, low adoption of technologies, inefficient management and supply of food and excessive use of antibiotics in some farms. The adoption of the criteria in the attributes of innovation, productivity, stability and self-management improve sustainability. These findings suggest that the implementation of good management practices is essential to move towards sustainable intensification; the use of technologies such as automatic feeders makes a significant difference in economic, social and environmental terms. Shrimp production will continue to increase, due to growing consumer demand, therefore, it is necessary to move towards sustainable intensification.

Keywords: aquaculture, shrimp farming, sustainable intensification, MESMIS framework, sustainability.

²Doctoral thesis in Agroindustrial Economic Problems, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Irma Maldonado Hernández

Supervisor: Dr. Juan Antonio Leos Rodríguez

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

En las últimas décadas, el crecimiento y la expansión de la acuicultura han sido uno de los cambios más significativos en la producción de alimentos. Además, es una alternativa para reducir la sobreexplotación de especies pesqueras; por lo tanto, implementar prácticas acuícolas es una estrategia notable. Se espera que la participación mundial acuícola en el consumo humano aumente del 52% (promedio de 2016-2018) al 58% en 2028, lo que significa que superará al sector pesquero de captura como la principal fuente de pescado para consumo humano (OCDE-FAO, 2019).

En los últimos años, México ha destacado como un importante productor en la industria acuícola, especialmente de camarón a pesar del declive experimentado en 2004, debido a un brote de enfermedades en la producción, la cría de camarones ha representado una oportunidad y una excelente alternativa para la conversión de tierras, ya que las granjas se han establecido en terrenos salinos infértiles, que no son adecuados para actividades agrícolas y ganaderas. Además, se reconoce como una actividad con un fuerte potencial económico, que ha generado empleo y seguridad alimentaria.

La creciente demanda de alimentos de origen acuícola, la tendencia, así como el éxito de granjas camaroneras, genera un aumento en la producción, por ello, el interés de la presente investigación está encaminado hacia la intensificación sostenible, considerada como un marco para incrementar los rendimientos al mismo tiempo que se minimizan los impactos negativos (David C. Little et al., 2018a).

Los principales hallazgos sugieren que la implementación de buenas prácticas de manejo es fundamental para avanzar hacia la intensificación sostenible; el uso de tecnologías como los alimentadores automáticos marca una diferencia significativa en términos económicos, sociales y ambientales.

Este estudio contribuye al avance sostenible de la industria camaronera al identificar las limitaciones en los sistemas de producción y las barreras para adoptar prácticas de intensificación sostenible. Además, ayuda a evaluar el nivel de sostenibilidad en los distintos niveles de intensificación y a reconocer los factores que fomentan la producción sostenible

1.1 Justificación

La industria camaronera a menudo se percibe como una actividad con impacto ambiental negativo (Martínez-Cordero & Leung, 2004); por ejemplo, la expansión del cultivo de camarón en el sudeste asiático a finales de 1990 y principios de 2000 tuvo efectos negativos, como la destrucción de los manglares (Hamilton, 2013).

Es evidente que es necesario fomentar la sostenibilidad social, económica y ambiental para avanzar hacia un futuro más sostenible. Por lo tanto, el desafío para lograr un crecimiento sostenible en la industria camaronera es mejorar el rendimiento de la producción y al mismo tiempo minimizar los impactos ambientales. (Ponce-Palafox et al., 2011).

La intensificación de la acuicultura es esencial para alimentar a la creciente población mundial, y se reconoce ampliamente la necesidad de que este crecimiento se lleve a cabo de manera sostenible y responsable (Engle, 2017).

Hasta el momento, no ha habido un estudio que evalúe el nivel de sostenibilidad económica, social y ambiental de la producción de camarón en granja, bajo diferentes sistemas de intensificación. Aunque existen estudios que evalúan los rendimientos y el nivel de intensificación a nivel de granja, considerando distintas concentraciones de alimento, no tienen en cuenta explícitamente el impacto ambiental y social.

1.2 Planteamiento del problema

La acuicultura conlleva riesgos y desafíos relacionados con el impacto ambiental y el riesgo ecológico asociado a esta actividad productiva (Varela, 2019). El aumento en tamaño e intensidad de algunas granjas, como el cultivo de camarón a gran escala o el cultivo de salmón, podría tener efectos más allá de los límites de la granja, extendiéndose a todo el cuerpo de agua, como sería el caso de un lago (Soto et al., 2007).

Asegurar, que la acuicultura sea sostenible se ha convertido en un factor primordial para la OCDE (Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo), principalmente en América del Norte y Europa, y gobernanza del sector privado donde la certificación se ha convertido en una fuerza importante (D. Little et al., 2016).

Aunque la literatura ha destacado la importancia de promover el crecimiento sostenible de la camaronicultura (Martínez-Cordero & Leung, 2004; Béné, 2005; Páez-osuna, 2005; Martínez-Córdova et al. 2009; Alexander et al. 2015), se ha prestado poca atención a la formulación de indicadores prácticos que involucran a la sostenibilidad a nivel de granja, como señala Westers et al. (2017), donde las percepciones y comportamientos individuales de los productores influyen en sus prácticas de manejo, debido a la gran cantidad de definiciones de sostenibilidad y al escaso reconocimiento de los parámetros que la rigen (Masera et al., 2000; Astier et al., 2012).

Se acepta generalmente que una granja debe incluir las tres dimensiones de la sostenibilidad: social, ecológica y económica, para ser considerada sostenible (Pretty, 2008; Gómez-Limón & Sanchez-Fernandez, 2010).

Los impactos ambientales de la acuicultura están determinados en gran medida por especies, sistemas, métodos de producción (es decir, extensivos, semi-intensivos o intensivos), ubicación y calidad de la gestión (D. C. Little et al., 2016). A pesar de la heterogeneidad de los sistemas de producción, la acuicultura

mundial requiere cada vez más coherencia de políticas y armonización de instrumentos para la expansión sostenible (Brug, 2019).

El sector del camarón ha sido uno de los sistemas agroalimentarios de más rápido crecimiento en las últimas décadas, pero éste ha tenido repercusiones ambientales y sociales negativas (por esta razón es necesaria y viable la intensificación sostenible). Esta intensificación requerirá innovación en múltiples elementos del sistema de producción de camarón y su cadena de valor (Joffre et al., 2018). Este crecimiento fue posibilitado por la expansión del área dedicada a la producción acuícola y la intensificación de los sistemas de acuicultura luego de importantes inversiones en el sector (Joffre et al., 2017).

Existe un interés creciente en la intensificación sostenible de la producción acuícola. Sin embargo, se han realizado pocos análisis económicos sobre los efectos a nivel de explotación de la sostenibilidad económica, social y ambiental de la intensificación de la producción (Engle, 2017).

En México, la creciente demanda en la camaronicultura está llevando a una intensificación en la producción. Martínez-Córdova et al. (2009) encontraron que la camaronicultura aún no es una actividad sostenible, pero podría llegar a serlo si se maneja adecuadamente, teniendo en cuenta aspectos económicos, ecológicos, financieros y sociales. Además, en México no se ha evaluado el grado de sostenibilidad en los tres sistemas de producción acuícola, lo que significa que no se han identificado las prácticas que contribuyen a un manejo sostenible.

Se requiere investigar los sistemas de producción de camarón en granja desde la perspectiva de la intensificación sostenible, considerando los tres pilares de la sostenibilidad (económica, social y ambiental). También es necesario evaluar el nivel de sostenibilidad en cada uno de los sistemas de producción en México, ya que actualmente no hay evidencia documentada al respecto. En este contexto, se aborda el concepto de intensificación sostenible.

1.2.1 Objetivos de investigación

Los objetivos que enmarcan la presente investigación son:

Objetivo general

Analizar las principales prácticas de intensificación sostenible realizadas por pequeños y medianos productores de camarón, con el propósito de identificar los factores que favorecen el grado de sustentabilidad económica, social y ambiental, mediante el cálculo de un índice de sustentabilidad de los sistemas productivos para formular acciones de mejora que promuevan el desarrollo sostenible en la camaronicultura.

Objetivos particulares

1. Analizar las prácticas de intensificación sostenible en la camaronicultura a través del método de estudio de caso para identificar las limitaciones principales en la implementación de prácticas de IS.
2. Identificar los factores que mejoran al grado de sostenibilidad económica, social y ambiental en los sistemas de producción (extensivo, semi intensivo, intensivo) a través de la evaluación de la sostenibilidad.
3. Proponer acciones de mejora en la intensificación basadas en la evidencia nacional e internacional para mejorar la sostenibilidad.

1.2.2 Preguntas de investigación

El tema de investigación se aborda de acuerdo con las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Qué prácticas de intensificación se llevan a cabo actualmente en los sistemas de producción camaronícola con impacto en la sostenibilidad?
2. ¿El grado de intensificación en el sistema camaronero conduce a la sostenibilidad desde las perspectivas económica, social y ambiental?
3. ¿De qué manera las acciones de mejora en la intensificación benefician la sostenibilidad económica, social y ambiental?

1.2.3 Hipótesis de investigación

1. Las prácticas a nivel de granja que conducen al impacto en la sostenibilidad económica, social y ambiental en la camaronicultura son las siguientes: a) Destrucción de manglares b) La contaminación potencial de las aguas por incremento de carga de materia orgánica o microbiana y la liberación de residuos de químicos o medicamentos al entorno natural c) Ineficiencia en códigos de conducta para la producción de especies acuícolas, ordenamiento costero, mejoramiento genético, alimentos amigables, manejo de la productividad natural, manejo de los efluentes, incluyendo prácticas de biorremediación, sistemas de recirculación y policultivo.
2. En los sistemas de producción los atributos que contribuyen a mejorar el grado de sostenibilidad son: Productividad, Estabilidad, Confiabilidad, Resiliencia, Adaptabilidad, Equidad, Autosuficiencia (auto empoderamiento, en la parte económica, social y ambiental).
3. Las acciones de mejora en la intensificación benefician la sostenibilidad económica, social y ambiental a partir de: maximizar ingresos y rendimientos de los cultivos; maximizar las buenas prácticas de gestión; conservar los recursos naturales, humanos y económicos; maximizar el conocimiento, maximizar las condiciones de la tierra, legales y de ingresos

1.3 Estructura de la tesis

La tesis está estructurada en siete capítulos (Figura 1). El capítulo contiene la introducción general la cual integra; justificación, planteamiento del problema, objetivos, preguntas de investigación e hipótesis que guiaron la investigación. El capítulo 2 integra los fundamentos teóricos y conceptuales empleados en el desarrollo de la investigación; el capítulo 3 presenta el marco de referencia en el que se establece y desarrolla el estudio. A partir del capítulo 4 se presentan los principales resultados de investigación; en este apartado se analiza la transición hacia la intensificación sostenible del cultivo de camarón. En el capítulo 5 se

evalúa la sostenibilidad y se identifican los principales factores que guían la sostenibilidad. Finalmente se abordan la discusión, conclusiones generales y prospectiva en el capítulo 6.

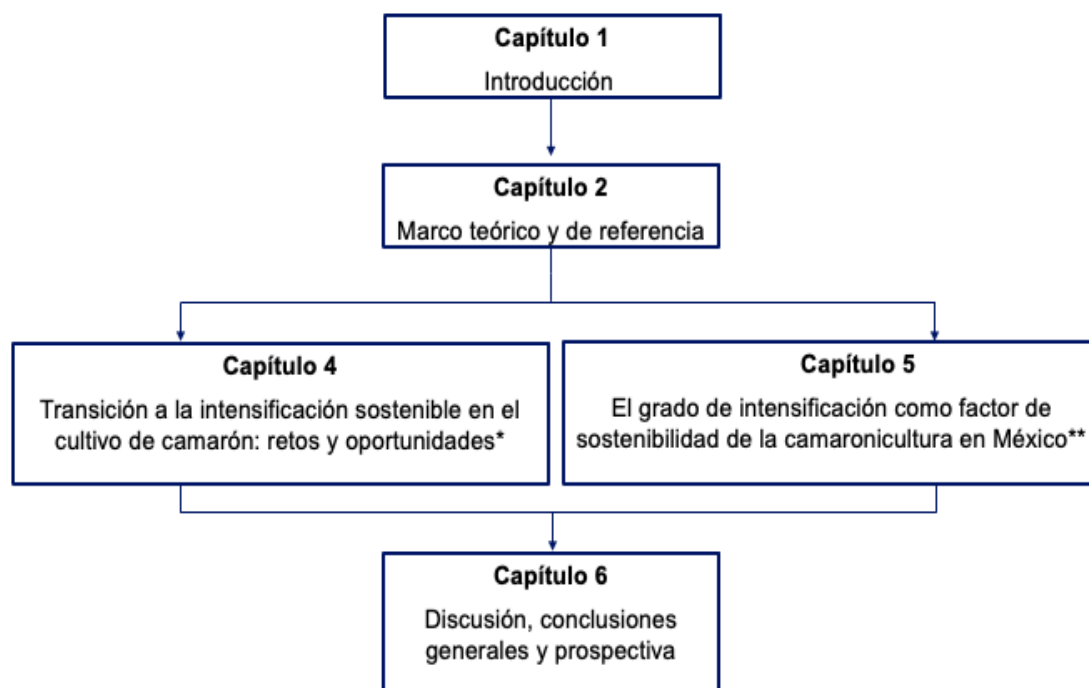


Figura 1. Estructura capítular de la tesis

*Artículo publicado en la revista Economía Agraria y Recursos Naturales

** Artículo enviado a la revista Sociedad y Ambiente

Fuente: Elaboración propia

1.4 Literatura citada

Alexander, K. A., Potts, T. P., Freeman, S., Israel, D., Johansen, J., Kletou, D., Meland, M., Pecorino, D., Rebours, C., Shorten, M., & Angel, D. L. (2015). The implications of aquaculture policy and regulation for the development of integrated multi-trophic aquaculture in Europe. *Aquaculture*, 443, 16–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.03.005>

Astier, M., García-Barrios, L., Galván-Miyoshi, Y., González-Esquivel, C. E., &

- Masera, O. R. (2012). Assessing the sustainability of small farmer natural resource management systems. A critical analysis of the MESMIS program (1995-2010). *Ecology and Society*, 17(3). <https://doi.org/10.5751/ES-04910-170325>
- Béné, C. (2005). The good, the bad and the ugly: discourse, political controversies and the role of science in the politics of shrimp farming development. *Development policy review*, 23, 585–614. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1467-7679.2005.00304.x>
- Brug, C. (2019). The ecosystem approach to aquaculture 10 years on – a critical review and consideration of its future role in blue growth. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 493–514. <https://doi.org/10.1111/raq.12242>
- Engle, C. R. (2017). Economics of Sustainable Intensification of Aquaculture: Evidence from Shrimp Farms in Vietnam and Thailand. *Journal of the World Aquaculture society*, 48(2), 227–239. <https://doi.org/10.1111/jwas.12423>
- Gómez-Limón, J., & Sanchez-Fernandez, G. (2010). Empirical evaluation of agricultural sustainability using composite indicators. *Ecological Economics*, 69, 1062–1075. <https://doi.org/doi:10.1016/j.ecolecon.2009.11.027>
- Hamilton, S. (2013). Assessing the role of commercial aquaculture in displacing mangrove forest. *Bulletin of Marine Science*, 89(2), 585–601. <https://doi.org/10.5343/bms.2012.1069>
- Joffre, O., Klerkx, L., Dickson, M., & Verdegem, M. (2017). How is innovation in aquaculture conceptualized and managed? A systematic literature review and reflection framework to inform analysis and action. *Aquaculture*, 470, 129–148. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.12.020>
- Joffre, O., Klerkx, L., & Khoa, T. N. (2018). Aquaculture innovation system analysis of transition to sustainable intensification in shrimp farming. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(34), 1–11.
- Little, D. C., Newton, R. W., & Beveridge, M. C. M. (2016). Aquaculture: A rapidly

growing and significant source of sustainable food? Status, transitions and potential. *Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3), 274–286.
<https://doi.org/10.1017/S0029665116000665>

Little, D., Newton, R., Beveridge, M., & Fk, S. (2016). Aquaculture: An Important and Fast-Growing Source of Sustainable Food? Status, transitions and potential. *Actas de la Sociedad de Nutrición*, 75(3), 274–286.
<https://doi.org/10.1017/S0029665116000665>

Little, David C., Young, J. A., Zhang, W., Newton, R. W., Al Mamun, A., & Murray, F. J. (2018). Sustainable intensification of aquaculture value chains between Asia and Europe: A framework for understanding impacts and challenges. *Aquaculture*, 493, 338–354.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.12.033>

Martínez-Cordero, F. J., & Leung, P. S. (2004). Sustainable aquaculture and producer performance: Measurement of environmentally adjusted productivity and efficiency of a sample of shrimp farms in Mexico. *Aquaculture*, 241(1–4), 249–268.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.07.028>

Martínez-Córdova, L., Martínez Porchas, M., & Cortés-Jacinto, E. (2009). Camaronicultura mexicana y mundial: ¿actividad sustentable o industria contaminante? *Contaminación ambiental*, 25(3), 181–196.

Masera, O., Astier, M., & López-Ridaura. (2000). *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS* (Vol. 80, Número 1). Grupo Interdisciplinario de Tecnología rural apropiada.
<http://agroecology.pbworks.com/f/biodyn-indicators.pdf>

OCDE-FAO. (2019). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2019-2028* (O. Publishing (ed.)). <https://doi.org/doi.org/10.1787/7b2e8ba3-es>.

Páez-Osuna, F. (2005). Retos y perspectivas de la camaronicultura en la zona costera. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 1, 21–31.

- Ponce-Palafox, J. T., Ruiz-Luna, A., Castillo-Vargasmachuca, S., García-Ulloa, M., & Arredondo-Figueroa, J. L. (2011). Technical, economics and environmental analysis of semi-intensive shrimp (*Litopenaeus vannamei*) farming in Sonora, Sinaloa and Nayarit states, at the east coast of the Gulf of California, México. *Ocean and Coastal Management*, 54(7), 507–513. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.03.008>
- Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *The Royal Society*, 363, 447–465. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2163>
- Soto, D., Aguilar-Manjarrez, J., Brugère, C., Angel, D., Bailey, C., Black, K., Edwards, P., Costa-Pierce, B., Chopin, T., Deudero, S., Freeman, S., Hambrey, J., Hishamunda, N., Knowler, D., Silvert, W., Marba, N., Mathe, S., Norambuena, R., Simard, F., ... Wainberg. (2007). Applying an ecosystem-based approach to aquaculture: principles, scales and some management measures. En *Building an ecosystem approach to aquaculture*. (Número 14, pp. 7–11).
- Varela, A. (2019). La camaronicultura como fuente sustentable de alimentos de origen animal. Logros, retos y oportunidades. *Ecología y Desarrollo Sostenible*, 1(1–13).
- Westers, T., Ribble, C., Daniel, S., Checkley, S., Wu, J. P., & Stephen, C. (2017). Assessing and comparing relative farm-level sustainability of smallholder shrimp farms in two Sri Lankan provinces using indices developed from two methodological frameworks. *Ecological Indicators*, 83, 346–355. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.08.025>

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO Y DE REFERENCIA

La sostenibilidad se vinculó por primera vez a un concepto de desarrollo sostenible que tenía como objetivo incorporar preocupaciones ambientales dentro del marco del crecimiento económico convencional (Astier et al., 2012).

El concepto de sostenibilidad es complejo debido a la existencia de numerosas definiciones de sostenibilidad, Masera et al. (2000) mencionan que la primera definición de sustentabilidad se creó por la necesidad de definir límites físicos para la explotación de una clase de recursos renovables biológicos, como los bosques o los recursos pesqueros. En este contexto, sustentabilidad (cosecha sostenida) significa utilizar el recurso sin reducir su stock físico. Esta definición se complica cuando se incluyen los aspectos sociales y económicos que influyen.

Por lo anterior, aún prevalece la polémica del concepto de agricultura sostenible, no existe una definición consensuada actualmente, dado que varía por la disciplina y de la escala del sistema de estudio (Pretty, 2008; Masera et al., 2000; Astier et al., 2012). Masera et al. (2000) identifican los atributos sistemáticos de la sostenibilidad para que se conciben los sistemas de manejo como un todo, es decir, integrando aspectos sociales, económicos y ambientales o tecnológicos.

Actualmente, las preocupaciones sobre la sostenibilidad se enfocan en la necesidad de desarrollar tecnologías y prácticas agrícolas que: (i) no tengan efectos adversos sobre el medio ambiente (en parte porque el medio ambiente es un activo importante para la agricultura), (ii) sean accesibles y eficaces para agricultores, y (iii) conducir a mejoras en la productividad de los alimentos y tener efectos secundarios positivos en los bienes y servicios ambientales (Pretty, 2008).

2.1 Intensificación sostenible

Existe un acuerdo generalizado de que la creciente demanda para la alimentación demanda intensificación agrícola. La agricultura de baja intensidad

no podrá satisfacer la demanda, lo tanto se requiere intensificar la producción de manera sostenible (Struik & Kuyper, 2014). La combinación de intensificación y sostenibilidad en una intensificación sostenible, lo convierte en un concepto aún más ambiguo y, por lo tanto, controvertido, a menudo suele confundirse este concepto con la intensificación ecológica y con la intensificación agroecológica (Kuyper & Struik, 2014; Wezel et al., 2015).

El término intensificación sostenible se remonta a un informe de un taller de 1983 sobre la intensificación sostenible de los pantanos de las mareas en Indonesia por el Grupo de Investigación sobre Agro-ecosistemas (Wezel et al., 2015). Pretty et al. (2011), por primera vez en 1986, definen intensificación sostenible como “crecimiento sustancial de los rendimientos en áreas actualmente degradadas o no mejoradas; mientras que, al mismo tiempo se protegen o incluso se regeneran los recursos naturales”

Wezel et al. (2015) identifican los principios de aumentos en la producción con la menor conversión de tierra adicional posible y un mayor uso de recursos renovables como mano de obra, luz y conocimiento. Por su parte Bos et al. (2013) atribuyen otros principios como: son aumentar la eficiencia en el uso de recursos y optimizar la aplicación de insumos externos.

Se describe la producción de cultivos sostenibles como Intensificación sostenible: producir más en la misma área de tierra mientras se conservan los recursos, se reducen los impactos ambientales negativos y se mejora el capital natural y el flujo de servicios ambientales (Pretty et al. 2011;Wezel et al., 2015).

La intensificación agrícola se ha definido de tres formas diferentes: aumentando los rendimientos por hectárea, aumentando los cultivos (es decir, dos o más cultivos) por unidad de tierra u otros insumos (agua), y cambiar el uso de la tierra de cultivos o productos básicos de bajo valor a aquellos que reciben mayores precios (Pretty et al., 2011). Sin embargo, el desafío consiste en buscar la intensificación sostenible de todos los recursos para mejorar la producción de alimentos y representa, en muchos casos, una categoría bastante generalizada

en la que se pueden incluir la mayoría de las prácticas agrícolas actuales siempre que se aborde de alguna manera la sostenibilidad.

La intensificación sostenible se ha promovido como un marco para centrarse en el aumento de los rendimientos como parte de un enfoque más amplio de los cambios en el sistema alimentario que satisface la necesidad de los mercados en crecimiento, urbanización y globalización (David C. Little et al., 2018a).

Aunque la intensificación sostenible se propuso originalmente en el contexto de los sistemas de agricultura a pequeña escala en África Pretty et al. (2011) ha ganado popularidad mundial porque integra múltiples disciplinas, tecnologías y recursos disponibles localmente para desarrollar soluciones específicas de contexto (Tseng et al., 2020).

2.2 Evaluación de la sostenibilidad

Existen un consenso de condiciones que están relacionadas con el carácter multidimensional inherente a el concepto de desarrollo sostenible, que requiere esta actividad ser sostenible desde la triple perspectiva de la economía (rentable operación), justicia social (distribución justa y equitativa de la riqueza genera) y respeto al medio ambiente (compatible con el mantenimiento de ecosistemas naturales) (Gómez-Limón & Sanchez-Fernandez, 2010).

El desarrollo de indicadores compuestos transparentes ofrece la oportunidad de identificar qué aspectos de la agricultura sostenible son relevantes en la práctica. La literatura muestra cómo hay una plétora de técnicas disponibles para construir índices de sostenibilidad (Gómez-Limón & Sanchez-Fernandez, 2010).

2.2.1 Marco de Evaluación de la Sostenibilidad de la Agricultura y el Medio Ambiente (SAFE)

El marco SAFE, descrito por Van Cauwenbergh et al. (2007) es jerárquico ya que se compone de principios, criterios, indicadores y valores de referencia de forma estructurada. Los principios están relacionados con las múltiples funciones del agroecosistema, que van claramente más allá de la función de producción,

engloba los tres pilares de la sostenibilidad: los pilares ambiental, económico y social. Los indicadores y valores de referencia son los productos finales del marco.

2.2.2 Marco para la Evaluación de la Sostenibilidad de los Sistemas de Manejo de Recursos Naturales (MESMIS)

Descrito por López-Ridaaura et al. (2002) donde la sostenibilidad se evalúa desde una perspectiva multidimensional. El objetivo principal del MESMIS es brindar un marco metodológico para evaluar la sustentabilidad de diferentes sistemas de manejo de recursos naturales a escala local (parcela, unidad productiva, comunidad). La sostenibilidad se define por siete atributos generales:

Productividad. Es la habilidad del agroecosistema para proveer el nivel requerido de bienes y servicios.

- **Estabilidad.** Este término se refiere a la propiedad del sistema de tener un estado de equilibrio dinámico estable. Es decir, que se mantenga la productividad del sistema en un nivel no decreciente a lo largo del tiempo bajo condiciones promedio o normales.
- **Resiliencia.** Es la capacidad de retornar al estado de equilibrio o mantener el potencial productivo después de que el sistema ha sufrido perturbaciones graves.
- **Confiabilidad.** Se refiere a la capacidad del sistema de mantenerse en niveles cercanos al equilibrio ante perturbaciones normales del ambiente
- **Adaptabilidad (o flexibilidad).** Es la capacidad del sistema de encontrar nuevos niveles de equilibrio, es decir, de continuar siendo productivo- ante cambios de largo plazo en el ambiente.
- **Autodependencia (o autogestión, en términos sociales).** Es la capacidad del sistema de regular y controlar sus interacciones con el exterior.

2.2.2.1 Indicadores económicos, ambientales y sociales

Existen varios indicadores convencionales, que normalmente se dirigen a evaluar la rentabilidad económica, social y ambiental; algunos de los indicadores propuestos por López-Ridaura et al. (2002) se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Indicadores económicos, ambientales y sociales

Indicadores económicos genéricos		
Atributo	Criterios de diagnóstico	Indicador
Productividad	Eficiencia (rentabilidad)	Relación Beneficio Costo
		Valor presente neto VPN
		Tasa interna de retorno (TIR).
		Ingresos netos.
Estabilidad, resiliencia, confiabilidad	Diversificación de actividades productivas	Índice de valor equivalente (IVE)
		Índice de sustitución de insumos (ISI)
	Mecanismos de distribución del riesgo	Porcentaje de ingresos derivado de distintos cultivos o compradores.
		Acceso a créditos y seguros
Adaptabilidad	Fragilidad del sistema	Evaluación de los precios e insumos y de principales productos del sistema
Equidad	Opciones de ingreso y tecnologías	Número y tipo de opciones de manejo disponible
	Adaptabilidad de tecnologías	Costo de inversión
		Relación entre costos de inversión e ingreso de productores
	Evolución de empleos	Demanda o desplazamiento de trabajos

Autodependencia	Autosuficiencia	Nivel de autofinanciamiento Índice de dependencia de insumos externos (DIE) Grado de endeudamiento, ahorro interno Porcentaje del gasto en alimentos cubierto con la producción propia.
-----------------	-----------------	--

Indicadores ambientales genéricos

Productividad	Eficiencia	Rendimiento Eficiencia energética
Estabilidad, resiliencia, confiabilidad	Diversidad en el tiempo y espacio	Evolución y variación de rendimientos Patrón de uso de suelo Índice de diversidad Índice de complementariedad
	Conservación de recursos	Calidad de suelo y agua Degradación de suelos
	Fragilidad del sistema	Incidencia de plagas, enfermedades y siniestros
Autogestión	Autosuficiencia	Subsidio energético Grado de dependencia externa

Indicadores sociales genéricos

Equidad	Distribución de costos, beneficios y toma de decisiones	Beneficios del sistema Grado de democratización
Estabilidad, resiliencia, confiabilidad	Fragilidad del sistema	Capacidad de superar eventos grandes Mecanismos de resolución de conflictos
	Calidad de vida	Índices de calidad de vida
Adaptabilidad	Capacidad de cambio e innovación	Capacitación y generación de conocimientos

Autodependencia	Participación	Involucramiento de productores en el diseño, implementación y monitoreo del sistema
	Control	Derechos de propiedad (individuales o colectivos) reconocidos Poder de decisión sobre aspectos críticos del sistema de manejo
	Organización	Tipo de estructura y permanencia de las organizaciones locales

Fuente: Masera et al. (2000).

2.3 Acuicultura en el mundo

La producción mundial de pescado, crustáceos, moluscos y otros animales acuáticos muestra un comportamiento creciente, alcanzando los 172.6 millones de toneladas en 2017, un incremento del 4.1% en comparación con e2016. De este total, la producción de capturas fue de 92.55 millones de toneladas, un incremento del 3.5% en comparación con el año anterior (FAO, 2017a). En 2017, los principales países productores en acuicultura fueron China, Indonesia, India, y Vietnam, México ocupó el lugar número 24 (Figura 2).

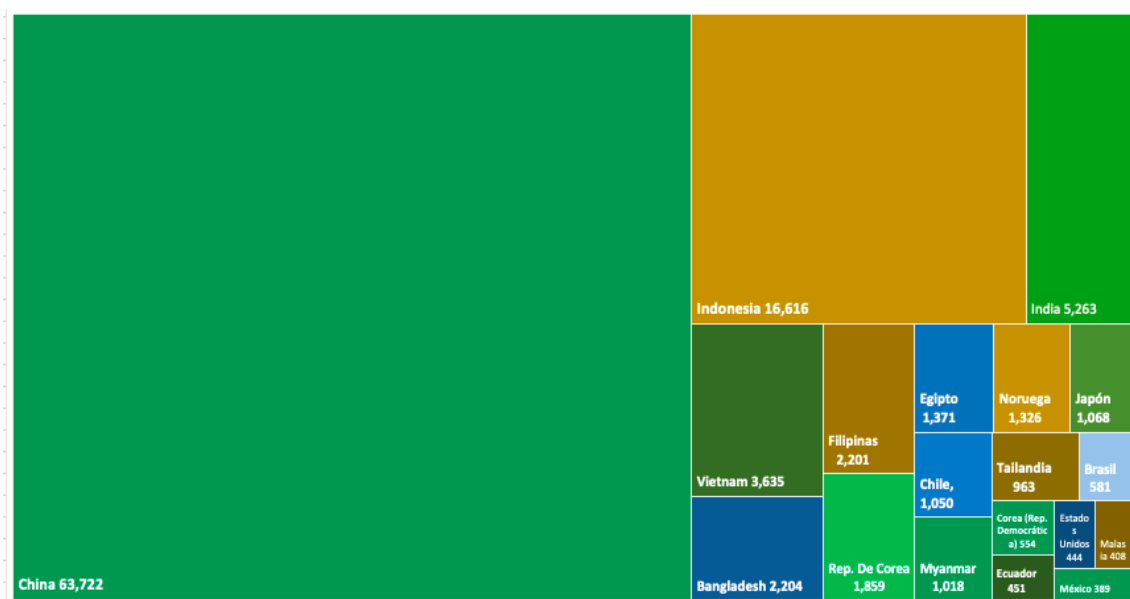


Figura 2. Países productores de especies acuícolas en 2017

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO (2017).

En la acuicultura, se reconoce la importante participación de los crustáceos, en particular los camarones, que dominan la producción y son una fuente importante de ingreso de divisas para varios países en desarrollo de Asia y América Latina (FAO, 2022).

Desde 1991, China ha destacado como el principal productor de camarón, seguido por Indonesia y Vietnam (Figura 3). En América Latina, Ecuador y México son los principales países productores, ocupando el séptimo lugar a nivel mundial (FAO, 2017b).

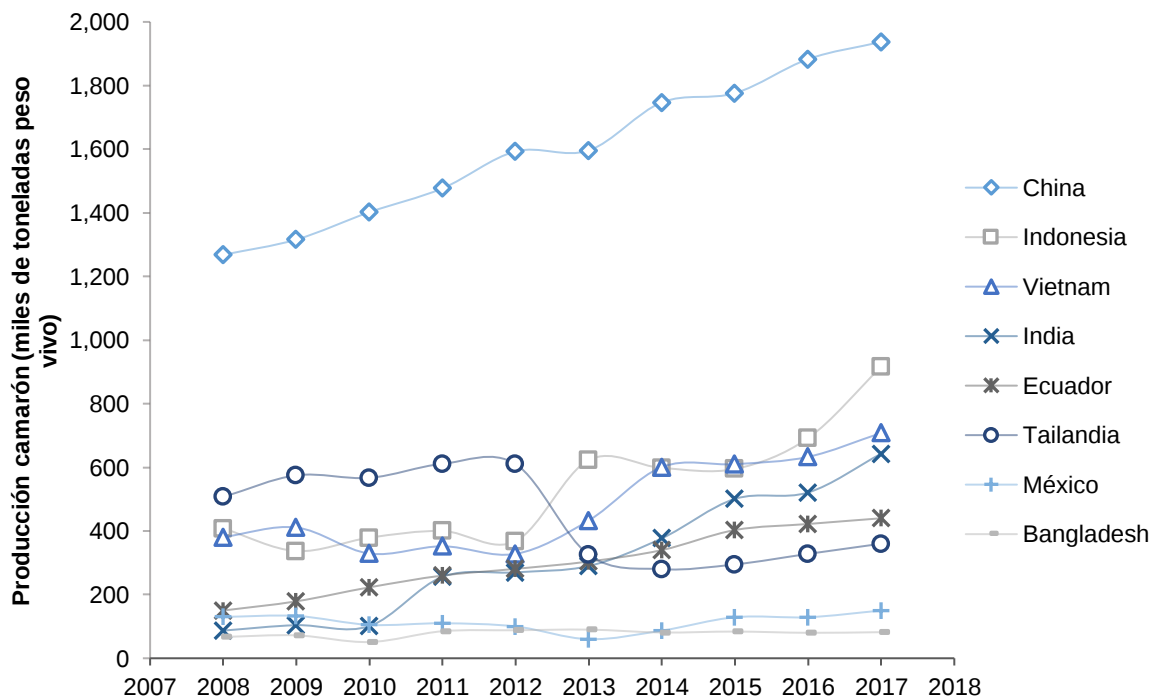


Figura 3. Producción mundial de camarón 2008-2017

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO (2017b).

2.4 Camaronicultura en México

Según CONAPESCA (2020), en México, el camarón se ubica en segundo lugar en volumen de producción pesquera y en el primer lugar en valor. En los últimos diez años, la tasa media de crecimiento anual de la producción es de 1.67%. En cuanto a las exportaciones, el camarón ocupa el cuarto lugar entre las especies

pesqueras, siendo los principales destinos los Estados Unidos de América, China y Holanda.

En la Figura 4, se muestran los principales estados productores de camarón en el país, resaltando la contribución de Sinaloa con 114,053 toneladas representando el 42.12%, seguido por Sonora con 105,166 toneladas con 38.83% en 2020, juntos representan el 81% de la producción total.



Figura 4. Producción nacional de camarón en 2020

Fuente: Elaboración propia a partir de CONAPESCA (2020).

En la Figura 5, se muestran las principales áreas productivas en la acuacultura, que son principalmente: Sin litoral, el Pacífico y el Golfo y Caribe. La especie con mayor participación en la zona del Pacífico es el camarón con 155,281 toneladas en 2018.

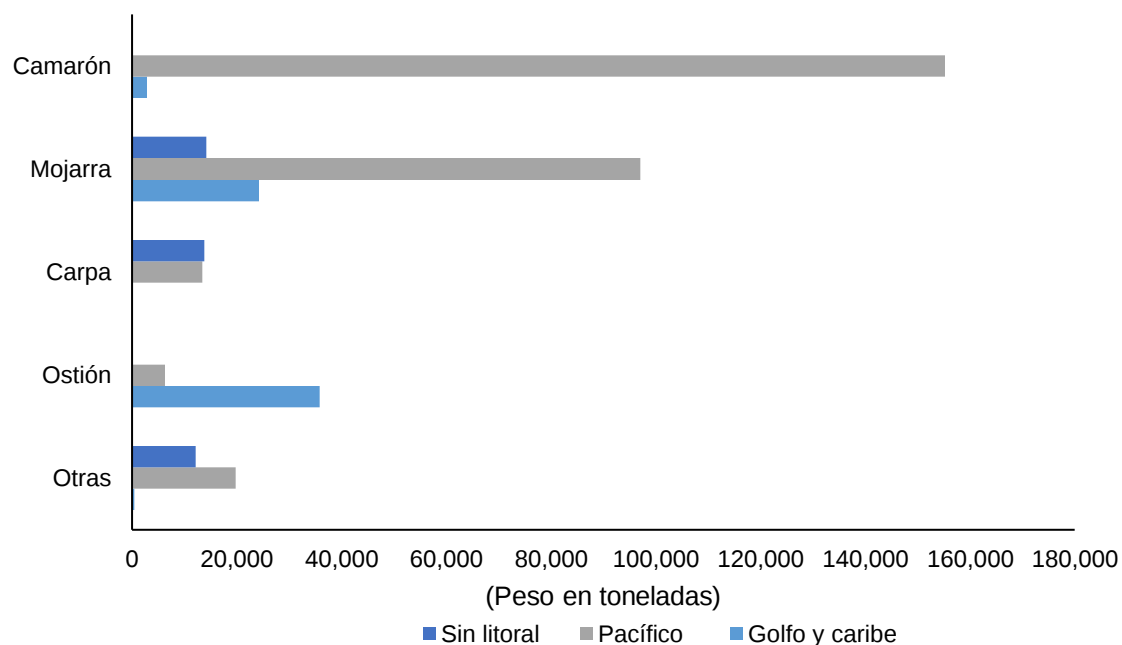


Figura 5. Participación de especies en la producción acuícola en 2018

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPESCA (2018).

La producción de camarón se obtiene a través de tres métodos: a) captura de camarón en el mar; b) captura de camarón en sistemas lagunares; y c) mediante cultivo en acuicultura (Figura 6). En 2006-2018, en términos de volumen de producción, la producción bajo cultivo, fue la que mayor participación tuvo en el volumen total obtenido.

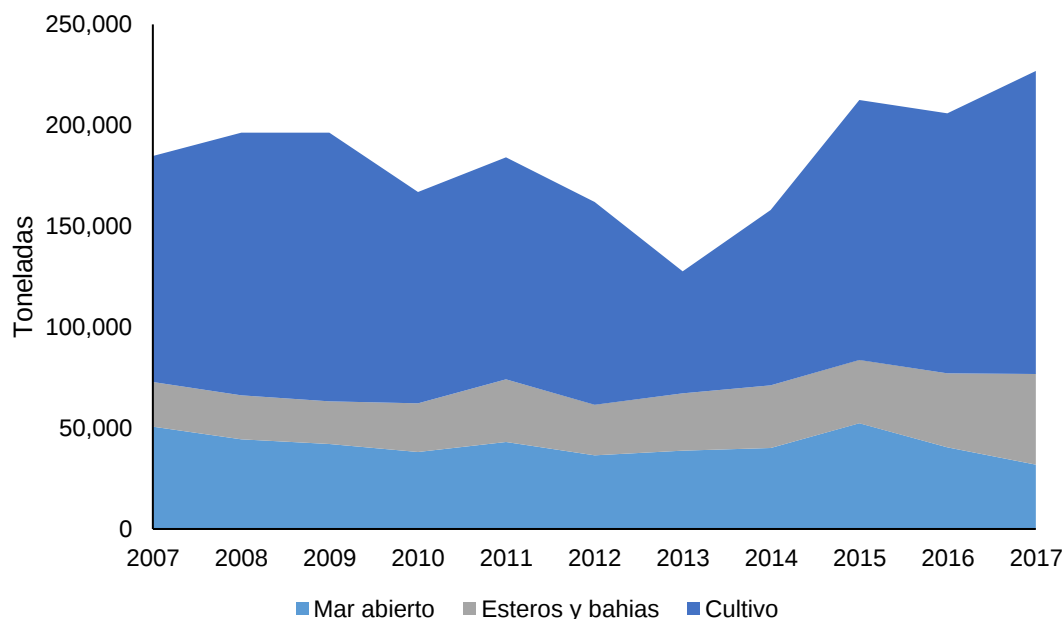


Figura 6. Vías de producción en camarón

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPESCA (2018).

2.4.1 Trayectoria tecnológica de la camaronicultura en México

El cultivo de camarón inició en los años 30, de manera rústica, con especies capturadas en el medio silvestre, cuando se detectaron importantes poblaciones en las aguas protegidas del Pacífico. En 1947, se iniciaron las pesquerías en el Golfo de México en Ciudad del Carmen, Campeche (Bortolini-Rosales & Torres-García, 2004).

En 1967, se llevaron a cabo las primeras pruebas a través del programa de investigación para el cultivo de camarón, respaldado por la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos en colaboración con el Instituto de Investigaciones Biológico Pesqueras, de la Dirección General de Pesca, de la Secretaría de Industria y Comercio, la Universidad de Sonora, el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México y el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. El primer éxito en el cultivo intensivo de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) se logró en Puerto Peñasco, Sonora Bortolini-Rosales & Torres-García (2004), y los resultados fueron favorables. Estas instituciones

son consideradas pioneras en México en el cultivo de camarón en sistema controlado (Arredondo, 2002).

En la década de los setenta, se establecieron los primeros estanques experimentales en la laguna de Huizache, ubicada en el sur de Sinaloa. Las operaciones formales iniciaron en 1978 en coordinación con la Universidad Norteamericana de Arizona y con financiamiento parcial de la empresa Coca-Cola. En Sinaloa se construyó una granja laboratorio para reproducir postlarvas de camarón y langostino en el municipio del Rosario. Sin embargo, años después quedó sin funcionamiento y se destinó a la producción de alevines de tilapia (FAO, 1992).

Al inicio de la década de los ochenta, se observó la experiencia de Ecuador por lo que se establecieron granjas experimentales en el estado de Nayarit, estas ayudaron a conocer la actividad de manera práctica, así como para incentivar la participación de cooperativistas a participar en la construcción y operación de granjas (FAO, 1992).

Los Ejidos y comunidades de Sinaloa iniciaron el cultivo de camarón, a partir de las modificaciones de la legislación pesquera y de sociedades cooperativas que se dieron durante los años 80 y 90, mismos ejidos que contaban con terrenos dotados por resolución presidencial colindantes a marismas, zonas de esteros, bahías o mar abierto, aptos para el desarrollo de la acuicultura, considerándose además esta naciente actividad como una labor alternativa a otras opciones productivas del campo, en algunos casos y en otros muchos como la única actividad viable, por ser terrenos salitrosos e improductivos, donde los campesinos tenían que emigrar para subsistir.

En Sonora, en la década de los ochenta, algunos ejidatarios se asociaron para demandar al gobierno estatal y federal oportunidades productivas para el desarrollo agrícola y crecimiento de la zona. A finales de la década se logró impulsar el programa agrario integral de Sonora y por decreto fueron entregadas tierras, lo que impulsó el inicio del desarrollo acuícola del estado (Panorama

Acuícola, 2020). Lo que fue referencia de lo que ya se venía realizándose en el norte de Sinaloa, donde se determinó que, al haber abundancia de tierras y terrenos nacionales a la orilla del mar, estos podían ser una opción para el cultivo de camarón; sin embargo la transición no fue fácil, dado que los ejidatarios eran jornaleros agrícolas con la idea de sembrar los cultivos básicos y no conocían nada sobre la camaronicultura. Es gracias al Programa Agrario Integral de Sonora y a la vinculación con el Instituto Tecnológico del estado que nace el pensamiento científico aplicado a la acuicultura. En los primeros años hubo complicaciones por los drenajes agrícolas y de las ciudades que pasaban por las granjas e iban a dar al mar, pese a esa situación en las primeras cosechas se obtuvieron en promedio de 668 kg por hectárea.

En 1983, en Las Grullas, municipio de Ahome, Sinaloa S.C.P.P “Acuicultores del Norte de Sinaloa” S.C.L., construyeron una granja en terrenos ejidales, con un total de 400 Has., logrando obtener las primeras cosechas de camarón a nivel comercial. Sin embargo, la actividad se enfrenó a diversas dificultades sociales con los ejidatarios (FAO, 1992).

Posteriormente, se formalizaron convenios de asociación en participación entre ejidatarios y empresas de constructores privados. Los primeros aportaban los terrenos ejidales y los segundos invertían en la construcción de la infraestructura de las granjas de camarón, con capital de trabajo, asistencia técnica, mercados, etc. generándose así millares de empleos directos entre los ejidatarios e indirectos en las cosechas de camarón entre sus familias y campesinos de poblaciones aledañas. Los convenios tenían duración de 10 años, aunque cada caso tenía sus particularidades, Este esquema tuvo un fuerte impacto socioeconómico favorable en cientos de comunidades ejidales, elevando la calidad de vida de los productores y sus familias.

Durante los primeros años, la camaronicultura ejidal recibió asesoría y capacitación de biólogos y técnicos de la antigua Secretaría de Pesca y de la Secretaría de la Reforma Agraria (SRA), así como de personal capacitado de

instituciones académicas e investigativas. La trayectoria de la camaronicultura en México se divide en cuatro etapas identificadas en la Figura 7.

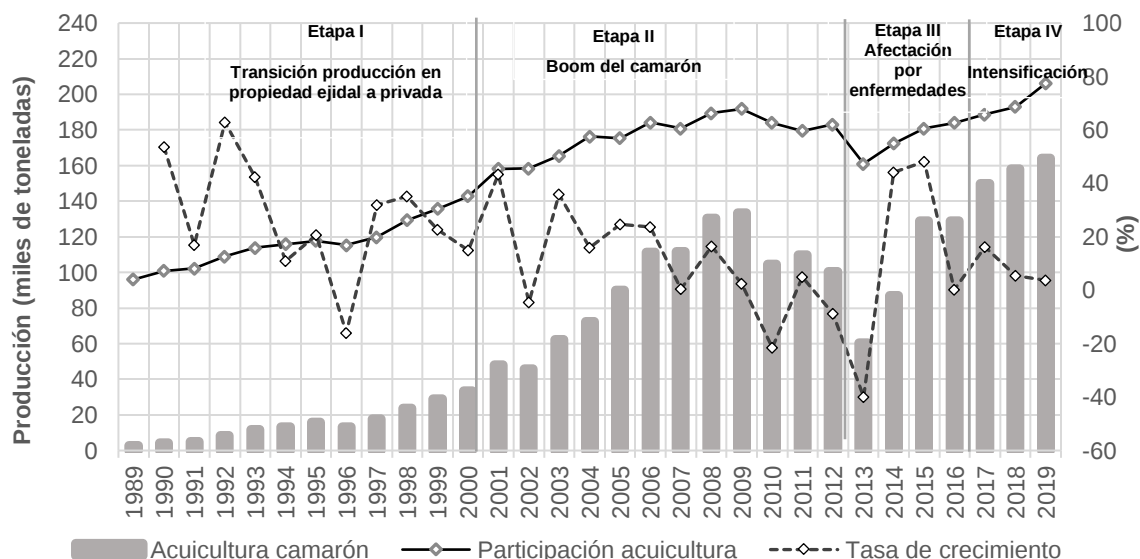


Figura 7. Trayectoria tecnológica de la camaronicultura en México 1989-2018

Fuente: Elaboración propia.

Etapas I. Transición de producción en propiedad ejidal a privada (1989-2000)

Fue a partir de los años noventa que la actividad acuícola ejidal fue sujeta de crédito por parte de la banca de desarrollo, ya que por un lado se finiquitaban los convenios y por otro en gran parte se superó la curva de aprendizaje, situación que permitió el fuerte crecimiento (22.80%) SAGARPA (2000) y consolidación de las empresas acuícolas del sector social, abonando, junto con el sector acuícola privado, al fortalecimiento de la industria acuícola en México.

En 1991, a nivel nacional se contaba con 15 laboratorios enfocados a las postlarvas de camarón, de acuerdo con Arredondo (2002) la Dirección General de Acuicultura, de la entonces Secretaría de Pesca, tenía registradas 136 granjas camaroneras en operación, ubicándose 83 en el estado de Sinaloa.

De acuerdo con FAO (1992), la camaronicultura se desarrolló principalmente en el estado de Sinaloa, debido a la calidad del suelo, aguas, clima, disponibilidad de postlarvas e insumos generales. Para 1989 existían 104 granjas en operación en México de las cuales 76 se ubicaban en Sinaloa, equivalente al 73%. La superficie nacional productiva (engorda) fue de 6,286 hectáreas., en el caso de Sinaloa aportó 5,616 hectáreas, correspondiente al 89.34%. El desarrollo de construcciones de granjas camaroneras inició en 1985.

Para 1993, se tenían registradas 10,000 hectáreas de estanquería a nivel nacional, alcanzando una producción de 11,846 toneladas (SAGARPA, 1999). En 1995, ya se contaba con 14,302 hectáreas y una producción de 15,867 toneladas, la camaronicultura alcanzaba una participación de 18.47% dentro de la actividad de pesca nacional, tal situación confirmaba el crecimiento y desarrollo significativo de la actividad (SAGARPA, 2000).

De 1990 a 1997, la producción en granjas tuvo un crecimiento estable, alcanzando un máximo de 15, 867 toneladas en 1995, con una caída en 1996 (13,315 toneladas) debido a los problemas originados por la presencia del Virus del Síndrome de Taura (TSV, por sus siglas en inglés) (Norzagaray Campos et al., 2012), repuntando nuevamente en 1997 SAGARPA (1999), finalmente, el reporte de producción en el año 2000 fue de 33,480 toneladas de las cuales 31,441 se obtuvieron en la zona del litoral del pacífico, siendo Sinaloa el estado con mayor participación a nivel nacional (50.54%), seguido de Sonora con 37.36% y Nayarit con 5.1%, mientras que la zona del Litoral del Golfo y Caribe la producción fue de 2,039, siendo Quintana Roo el mayor productor, cuya participación fue de 3.39%, seguido de Tamaulipas con 2.28% de participación nacional (SAGARPA, 2000).

A finales del año 2000, el 80% de las granjas operadas en el país eran propiedad social, de tamaño relativamente pequeño y los ciclos de producción oscilaban en cada ciclo productivo, el nivel de intensificación que se manejaba era principalmente extensivo y en menor proporción se tenían sistemas semi-

intensivos, por lo tanto el manejo era rustico (Bortolini-Rosales & Torres-García, 2004).

Las principales especies de camarón que se identificaron con potencial en el Litoral de Pacífico fueron: *Litopenaeus stylirostris*, (Camarón azul), *Litopenaeus vannamei*, (Camarón blanco) *Litopenaeus occidentalis*, (Camarón blanco del sur) *antepenaeus californiensis* (Camarón café). Mientras que en el litoral de Golfo y Caribe las principales fueron: *Litopenaeus setiferus* (Camarón blanco), *Farfantepenaeus aztecus* (Camarón café), *Farfantepenaeus duorarum* (Camarón rosado), *Farfantepenaeus brasiliensis* (Camarón blanco manchado) (Bortolini-Rosales & Torres-García, 2004).

Etapla II. Crecimiento del camarón, consolidación sector social y privado (2001-2011)

Un gran porcentaje de las granjas camaroneras en México se concentraban en las zonas costeras de Sinaloa, Sonora y Nayarit, mientras que en las granjas ubicadas en la zona del Litoral del Golfo y Caribe empezaron a consolidarse. Para 2004 cerca del 48% del camarón producido era aportado por granjas del sector social, mientras que el 51% era aportado por granjas pertenecientes al sector privado (Bortolini-Rosales & Torres-García, 2004), tal situación consolidó el crecimiento de la camaronicultura en México.

En 2004, la camaronicultura aportó 57% de la producción total en México y para 2005 la TCMA con respecto a 2004 fue de 24% cuya producción fue de 90,041 toneladas (CONAPESCA, 2018).

En 2009, el crecimiento se mantuvo estable, alcanzando un máximo de 133,209 toneladas. Sin embargo para 2010 se tuvo una caída en la producción de 21%, debido a la presencia del virus de la mancha blanca (WSSV, por sus siglas en inglés), su presencia se detectó en el estado de Tabasco, lo cual dejó como precedente la presencia del virus en el Golfo de México. Para 2010 y 2011 el

virus de la mancha blanca ya se encontraba en Sinaloa, Sonora y Nayarit causando grandes pérdidas en la producción (INAPESCA, 2018).

Etapas III. Afectación por enfermedades al cultivo (2012-2013)

Para 2013 y 2014 se presentó un problema sanitario en la mayoría de las granjas ubicadas en la zona de Noroeste del país, provocada por una bacteriosis, agente causal *Vibrio parahaemolyticus*, reconocida como Mortalidad Atípica de Camarón, y causó la pérdida de gran parte de la producción nacional, se presentaron mortalidades atípicas masivas en camarones recién sembrados, con pérdidas de hasta 90% (INAPESCA, 2018). De acuerdo con datos de CONAPESCA (2018) en 2013, se tuvo una caída en la producción del 40% con respecto a la producción de 2012. Los principales estados productores en 2013 fueron: Sinaloa alcanzando una participación del 47.84%, Sonora con 20.11%, Tamaulipas 7.21% y Nayarit 7.12% (CONAPESCA, 2013).

Además de ser mermado el crecimiento de la camaronicultura por lo anterior, también se vio afectado por factores climatológicos, lo que generó pérdidas, que obligaron a muchos productores a rentar, cerrar, vender y/o sufrir embargos en detrimento de sus familias. En estos años no se tenían avances en materia de seguros y reaseguros acuícolas, ni de fondos o fideicomisos que dispersaran las pérdidas por diferentes causas.

Etapas IV. Intensificación (2014-actualidad)

La TCMA en 2014 fue de 44% con respecto a 2013, donde los principales estados productores fueron Sinaloa con una participación de 42% seguido de Sonora con 24% y Tamaulipas con 7.14%, posiciones que se han mantenido hasta 2018 donde Sinaloa aportó a la acuicultura el 45%, Sonora 30% y Nayarit 7.6%. En conjunto la camaronicultura aportó el 68% de la producción total, mientras que la captura aportó el 14%. Tal situación se ha reinvertido a lo que sucedió en los años noventa (CONAPESCA, 2018).

En los últimos años la camaronicultura ha experimentado un crecimiento estable. En el periodo de 2014 a 2019 se observó una TCMA de 11% en la producción de camarón, la especie que mayormente se siembra es *Litopenaeus vannamei*. Además el creciente desarrollo de la camaronicultura ha traído consigo un importante costo económico debido a las enfermedades tanto virales como bacterianas que en su mayoría son ocasionadas por malas prácticas con el uso de productos químicos incluidos los antibióticos, mala calidad del suelo, deficiente manejo del medio ambiente, así como el exceso de producción (Plascencia & Berm, 2012).

Cuadro 2. Etapas de la trayectoria tecnológica de la camaronicultura en México

Etapas	Problemática	Prácticas de intensificación	Referencia
Etapas I.	Inicio de tramites de granjas ejidales de manera irregular y desordenada ocasionando destrucción de manglares.	Manejo de postlarvas (silvestres/cultivo) en laboratorio.	(Ferrer A, 1989)
			(FAO, 1992)
	Tenencia de la tierra	Empleo de técnicas parecidas a las de Ecuador pasando de sistema extensivo y artesanal a semi intensivo.	(Pérez-Enríquez et al., 2016)
			(Bortolini-Rosales & Torres-García, 2004)
	Rendimientos bajos.	Implementación de alimento balanceado "pellet".	
		Ciclos productivos: uno /año	
Etapas II.	Bajo número de especialistas, rápido desarrollo de la industria y poco conocimiento científico.	Aclimatación a postlarvas.	(De Walt, B., Ramírez, J., Noriega, L., González, 2002)
		Implementación de Manifestación de Impacto Ambiental (MIA).	
	Impacto ambiental: sobre captura de camarón silvestre, pérdida de entorno para la fauna y flora silvestres residentes; el balance que existe entre la erosión y la sedimentación	Captura de reproductores (machos y hembras) silvestres	(Arredondo, 2002)
		Acondicionamiento de reproductores en laboratorio	
		Prevención y control de enfermedades.	(Bortolini-Rosales & Torres-García, 2004)
		Selección de organismos resistentes a enfermedades.	(Plascencia & Berm, 2012)
			De Walt, B., Ramírez, J.,

	en la línea de costa y la calidad del agua.	Adición de compuestos que estimulen el crecimiento.	Noriega, L., González, 2002)
	Problemas de diseño y construcción de granjas, de índole financiero, operación técnica y administrativa.	Tres tecnologías: sistemas japones, sistema Galveston y una adaptación de técnicas francesas e innovaciones realizadas en Panamá y Ecuador.	
		Uso de sistemas cerrados de recirculación y reacondicionamiento de agua.	
Etapa III.	Abuso de uso de antibióticos genero resistencia bacteriana	Transferencia de tecnología o servicios especializados con empresas en el ámbito de la nutrición, cultivo hiperintensivo, genética y uso de probióticos.	(Arredondo, 2002) (Plascencia & Berm, 2012) (Pérez-Enríquez et al., 2016)
Etapa IV.	Deterioro en los ecosistemas acuáticos debido a efluentes. Mala planeación y diseño inapropiado de unidades de producción.	Uso de productos químicos (plaguicidas). Buenas prácticas de manejo Manejo de sistemas extensivos, semi intensivo e intensivo. Manejo de desechos. Rediseño de la toma de agua. Reconstrucción de estanques pequeños. Reducción de cambios de agua. Manejo cuidadoso del alimento en el fondo del estanque.	(SENASICA, 2016). (SENASICA, 2019)

Fuente: Elaboración propia.

2.5 Literatura citada

- Alexander, K. A., Potts, T. P., Freeman, S., Israel, D., Johansen, J., Kletou, D., Meland, M., Pecorino, D., Rebours, C., Shorten, M., & Angel, D. L. (2015). The implications of aquaculture policy and regulation for the development of integrated multi-trophic aquaculture in Europe. *Aquaculture*, 443, 16–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.03.005>
- Alvarez, M., Ochoa, E., Villalba, A., & Siu, E. (2001). *Perfil De Caracterización De Las Prácticas De Camaronicultura En Sinaloa* (ECOCOSTAS (ed.)).
- Arredondo, J. (2002). El cultivo de camarón en México, actualidades y perspectivas. *ContactoS*, 43, 41–54. <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n43ne/camaron.pdf>
- Astier, M., García-Barrios, L., Galván-Miyoshi, Y., González-Esquivel, C. E., & Maser, O. R. (2012). Assessing the sustainability of small farmer natural resource management systems. A critical analysis of the MESMIS program (1995-2010). *Ecology and Society*, 17(3). <https://doi.org/10.5751/ES-04910-170325>
- Barraza-Guardado, R. H., Martínez-Córdova, L. R., Enríquez-Ocaña, L. F., Martínez-Porchas, M., Miranda-Baeza, A., & Porchas-Cornejo, M. A. (2014). Efecto de efluentes de granjas camaronícolas sobre parámetros de la calidad del agua y del sedimento frente a la costa de Sonora, México. *Ciencias Marinas*, 40(4), 221–235. <https://doi.org/10.7773/cm.v40i4.2424>
- Béné, C. (2005). The good, the bad and the ugly: discourse, political controversies and the role of science in the politics of shrimp farming development. *Development policy review*, 23, 585–614. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1467-7679.2005.00304.x>
- Bermúdez A., María del Carmen; Santiago H., María Luisa; Espinosa P., A. (2009). Uso de antibióticos en la camaronicultura. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 40(3), 22–32. <https://www.redalyc.org/pdf/579/57912963005.pdf>

- Beveridge, M., Phillips, M., Dugan, P., & Brummet, R. (2010). Barriers to aquaculture development as a pathway to poverty alleviation and food security. En *Advancing the Aquaculture Agenda* (Número April, pp. 345–359). <https://doi.org/10.1787/9789264088726-23-en>
- Bortolini-Rosales, J. L., & Torres-García, M. D. P. (2004). La Camaronicultura en México. *Revista Ciencias*, January 2004, 58–61. http://www.revistaciencias.unam.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=612%3Ala-camaronicultura-en-mexico&catid=77&Itemid=48#arriba
- Bos, J. F. F. P., Smit, A. L., & Schröder, J. J. (2013). Is agricultural intensification in the Netherlands running up to its limits? *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 66, 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2013.06.001>
- Brug, C. (2019). The ecosystem approach to aquaculture 10 years on – a critical review and consideration of its future role in blue growth. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 493–514. <https://doi.org/10.1111/raq.12242>
- Carrasco Escalante, J. C., & León Balderrama, J. I. (2017). Capacidad de absorción y competitividad en el cultivo de camarón del municipio de Ahome, Sinaloa. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 27(50), 1–28. <https://doi.org/10.24836/es.v27i50.475>
- CESASIN. (2022). *Programa de Sanidad en Crustáceos*. Obtenido de: Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Sinaloa, México: <http://cesasin.mx/programacrustaceos/>
- CONAPESCA. (2013). Acuacultura. *Sagarpa*. Obtenido de: Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, México
- CONAPESCA. (2018). *Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca*. Obtenido de: Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, México
- CONAPESCA. (2020). Producción pesquera. En *Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2020*.

<http://arxiv.org/abs/1011.1669>
<http://dx.doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>
<http://stacks.iop.org/1751-8121/44/i=8/a=085201?key=crossref.abc74c979a75846b3de48a5587bf708>

Cortés, A., Casillas-Hernández, R., Cambeses-Franco, C., Bórquez-López, R., Magallón-Barajas, F., Quadros-Seiffert, W., Feijoo, G., & Moreira, M. T. (2021). Eco-efficiency assessment of shrimp aquaculture production in Mexico. *Aquaculture*, 544(January), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737145>

De Walt, B., Ramírez, J., Noriega, L., González, R. (2002). *Shrimp aquaculture, the people and the environment in coastal Mexico*. <https://www.researchgate.net/publication/259285149%0AShrimp>

Engle, C. R. (2017). Economics of Sustainable Intensification of Aquaculture : Evidence from Shrimp Farms in Vietnam and Thailand. *Journal of the World Aquaculture society*, 48(2), 227–239. <https://doi.org/10.1111/jwas.12423>

Engle, C. R., McNevin, A., Racine, P., Boyd, C. E., Paungkaew, D., Viriyatum, R., Tinh, H. Q., & Minh, H. N. (2017). Economics of Sustainable Intensification of Aquaculture: Evidence from Shrimp Farms in Vietnam and Thailand. *Journal of the World Aquaculture Society*, 48(2), 227–239. <https://doi.org/10.1111/jwas.12423>

FAO. (1992). *Estudio socioeconómico del cultivo del camarón realizado por sociedades cooperativas*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FAO. (2017a). El futuro de la alimentación y la agricultura, tendencias y desafíos. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Vol. 1, Número 1). <http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf>.

FAO. (2017b). *Estadísticas de pesca y acuicultura 2017*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FAO. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. En *Marine Pollution*

Bulletin (Vol. 3, Números 1–2). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.01.032><http://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2012.02.007><http://www.fao.org/publications/es>

FAO. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. En *Fao*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.01.032><http://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2012.02.007><http://www.fao.org/publications/es>

Ferrer A, G. (1989). *Explotación acuícola como alternativa económica en ejidos y comunidades*. Universidad Autónoma de Sinaloa.

Gómez-Limón, J., & Sanchez-Fernandez, G. (2010). Empirical evaluation of agricultural sustainability using composite indicators. *Ecological Economics*, 69, 1062–1075. <https://doi.org/doi:10.1016/j.ecolecon.2009.11.027>

González, F., & Martín, F. (2011). Diseño de un índice sintético de desarrollo sostenible y aplicación a la Unión Europea. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 4(7), 3–26. <https://doi.org/10.7201/earn.2004.07.01>

González, H. (2004). *Análisis de la sostenibilidad del cultivo de camarón en Sonora, México*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

González Ocampo, H. A. (2010). Efectos ambientales producidos por la camaronicultura en el norte de Sinaloa, México. *Ra Ximhai*, 1, 9–16. <https://doi.org/10.35197/rx.06.01.2010.02.hg>

Hamilton, S. (2013). Assessing the role of commercial aquaculture in displacing mangrove forest. *Bulletin of Marine Science*, 89(2), 585–601. <https://doi.org/10.5343/bms.2012.1069>

IFPRI. (2016). *Informe nutrición mundial. De la promesa al impacto: Terminar con la malnutrición de aquí a 2030*. Obtenido de: Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias:

<http://dx.doi.org/10.2499/9780896295865>

- INAPESCA. (2018). *Acuicultura Camarón blanco del Pacífico*. Instituto Nacional de Pesca. <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuicultura-camaron-blanco-del-pacifico>
- INEGI. (2019). *Pesca y acuicultura: Censos Económicos 2019*. Obtenido de: Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México: https://inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bviniegi/productos/nueva_estruc/702825198978.pdf
- Joffre, O., Klerkx, L., Dickson, M., & Verdegem, M. (2017). How is innovation in aquaculture conceptualized and managed? A systematic literature review and reflection framework to inform analysis and action. *Aquaculture*, 470, 129–148. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.12.020>
- Joffre, O., Klerkx, L., & Khoa, T. N. (2018). Aquaculture innovation system analysis of transition to sustainable intensification in shrimp farming. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(34), 1–11.
- Kuyper, T., & Struik, P. (2014). Epilogue: global food security, rhetoric, and the sustainable intensification debate. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, 71–79. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.cosust.2014.09.004>
- Lee, C., & Lee, K.-J. (2018). Dietary protein requirement of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in three different growth stages. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 21(1), 1–6. <https://doi.org/10.1186/s41240-018-0105-0>
- Little, D. C., Newton, R. W., & Beveridge, M. C. M. (2016). Aquaculture: A rapidly growing and significant source of sustainable food? Status, transitions and potential. *Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3), 274–286. <https://doi.org/10.1017/S0029665116000665>
- Little, D., Newton, R., Beveridge, M., & Fk, S. (2016). Aquaculture: An Important and Fast-Growing Source of Sustainable Food? Status, transitions and potential. *Actas de la Sociedad de Nutrición*, 75(3), 274–286.

<https://doi.org/10.1017/S0029665116000665>

- Little, David C., Young, J. A., Zhang, W., Newton, R. W., Al Mamun, A., & Murray, F. J. (2018a). Sustainable intensification of aquaculture value chains between Asia and Europe: A framework for understanding impacts and challenges. *Aquaculture*, 493, 338–354. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.12.033>
- Little, David C., Young, J. A., Zhang, W., Newton, R. W., Al Mamun, A., & Murray, F. J. (2018b). Sustainable intensification of aquaculture value chains between Asia and Europe: A framework for understanding impacts and challenges. *Aquaculture*, 493(October 2017), 338–354. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.12.033>
- López-Ridaura, S., Masera, O., & Astier, M. (2002). Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. The MESMIS framework. *Ecological Indicators*, 2(1–2), 135–148. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(02\)00043-2](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00043-2)
- Martínez-Cordero, F. J., & Leung, P. S. (2004). Sustainable aquaculture and producer performance: Measurement of environmentally adjusted productivity and efficiency of a sample of shrimp farms in Mexico. *Aquaculture*, 241(1–4), 249–268. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.07.028>
- Martínez-Córdova, L., Martínez Porchas, M., & Cortés-Jacinto, E. (2009). Camaronicultura mexicana y mundial: ¿actividad sustentable o industria contaminante? *Contaminación ambiental*, 25(3), 181–196.
- Martínez, P. (2006). El método de estudio de caso: Estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento y gestión: revista de la División de Ciencias Administrativas de la Universidad del Norte*, 20, 165–193.
- Masera, O., Astier, M., & López-Ridaura. (2000). *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS* (Vol. 80, Número 1). Grupo Interdisciplinario de Tecnología rural apropiada.

<http://agroecology.pbworks.com/f/biodyn-indicators.pdf>

- Norzagaray Campos, M., Muñoz Sevilla, P., Sánchez Velasco, L., Capurro Filograsso, L., & Llanes Cárdenas, O. (2012). Acuicultura: estado actual y retos de la investigación en México. *AquaTIC: revista electrónica de acuicultura*, 37, 20–25.
- OCDE-FAO. (2019). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2019-2028* (O. Publishing (ed.)). <https://doi.org/doi.org/10.1787/7b2e8ba3-es>.
- OECD-FAO. (2021). OECD-FAO Agricultural Outlook 2021–2030. En *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021–2030*. <http://dx.doi.org/10.1787/agr-outl-data-%0Ahttp://www.fao.org/documents/card/en/c/cb5332en>
- ONU. (2022). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Objetivo 14: Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos.
- Páez-Osuna, F. (2005). Retos y perspectivas de la camaronicultura en la zona costera. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 1, 21–31.
- Panorama Acuícola. (2020). La transición a la acuicultura. *Panorama Acuícola Magazine*, 22–23.
- Pérez-Enriquez, R., Acosta-Salmón, H., Arcos-Ortega, F., & Campa- Córdova, A. (2016). Reseña histórica y académica del cultivo de Camarón en el CIBNOR. *Recursos Naturales y Sociedad*, 2(1), 36–59. <https://doi.org/10.18242/RENAYSOC.2016.02.02.01.0004>
- Plascencia, E., & Berm, C. (2012). La acuicultura y su impacto al medio ambiente. *Estudios Sociales*, 2, 221–232.
- Ponce-Palafox, J. T., Ruiz-Luna, A., Castillo-Vargasmachuca, S., García-Ulloa, M., & Arredondo-Figueroa, J. L. (2011). Technical, economics and environmental analysis of semi-intensive shrimp (*Litopenaeus vannamei*) farming in Sonora, Sinaloa and Nayarit states, at the east coast of the Gulf of California, México. *Ocean and Coastal Management*, 54(7), 507–513. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.03.008>

- Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability : concepts , principles and evidence. *The Royal Society*, 363, 447–465. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2163>
- Pretty, J., Toulmin, C., Williams, S., Pretty, J., Toulmin, C., & Williams, S. (2011). Sustainable intensification in African agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9(1), 5–24. <https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0583>
- Rodríguez, A. (2013). *Cultivo del Camarón Blanco Penaeus vannamei en México*.
- Sagarnaga-Villegas, L. M., Salas-González, J. M., & Aguilar-Ávila, J. (2018). *Metodología para estimar costos, ingresos y viabilidad financiera y económica en unidades representativas de producción* (Volumen 6; Serie: Metodologías y herramientas para la investigación). Universidad Autónoma Chapingo (UACH).
- SAGARPA. (1999). *Anuario Estadístico de Pesca*.
- SAGARPA. (2000). *Anuario Estadístico de Pesca* (Vol. 44, Número 8). <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>
- SENASICA. (2003). *Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Camarón para la Inocuidad Alimentaria* (A. C. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (ed.)).
- SENASICA. (2016). Manual de buenas prácticas de producción acuícola de camarón para la inocuidad alimentaria. En *Instituto Nacional de Pesca* (Vol. 3, Número 4). <http://dx.doi.org/10.1016/j.biochi.2015.03.025><http://dx.doi.org/10.1038/nature10402><http://dx.doi.org/10.1038/nature21059><http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127><http://dx.doi.org/10.1038/nrmicro2577><http://>
- SENASICA. (2019). *Manual de Buenas Prácticas Acuícolas durante la Producción de Camarón*. <https://www.gob.mx/senasica/documentos/manuales-de-buenas-practicas-pecuarias-acuicolas-y-pesqueras>

- Soto, D., Aguilar-Manjarrez, J., Brugère, C., Angel, D., Bailey, C., Black, K., Edwards, P., Costa-Pierce, B., Chopin, T., Deudero, S., Freeman, S., Hambrey, J., Hishamunda, N., Knowler, D., Silvert, W., Marba, N., Mathe, S., Norambuena, R., Simard, F., ... Wainberg. (2007). Applying an ecosystem-based approach to aquaculture: principles, scales and some management measures. En *Building an ecosystem approach to aquaculture*. (Número 14, pp. 7–11).
- Struik, P. C., & Kuyper, T. W. (2014). Editorial overview: Sustainable intensification to feed the world: Concepts, technologies and trade-offs. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, vi–viii. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.10.008>
- Torres, P. A., Ram, C., Mendoza, A. O., & Regional, C. (1999). *Desarrollo de la acuacultura en mexico y perspectivas de la acuacultura rural*. 1–38.
- Tseng, M. C., Roel, A., Deambrosi, E., Terra, J. A., Zorrilla, G., Riccetto, S., & Pittelkow, C. M. (2020). Towards actionable research frameworks for sustainable intensification in high-yielding rice systems. *Scientific Reports natureresearch*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63251-w>
- Unidas, N. (2019). Creciendo a un ritmo menor, se espera que la población mundial alcanzará 9.700 millones en 2050 y un máximo de casi 11.000 millones alrededor de 2100: Informe de la ONU. *Perspectivas de la Población Mundial* 2019, 1, 1–4. https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_PressRelease_ES.pdf
- Van Cauwenbergh, N., Biala, K., Bielders, C., Brouckaert, V., Franchois, L., Garcia Ciudad, V., Hermy, M., Mathijs, E., Muys, B., Reijnders, J., Sauvenier, X., Valckx, J., Vanclooster, M., Van der Veken, B., Wauters, E., & Peeters, A. (2007). SAFE-A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120(2–4), 229–242. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.09.006>

- Varela, A. (2019). La camaronicultura como fuente sustentable de alimentos de origen animal . Logros , retos y oportunidades. *Ecología y Desarrollo Sostenible*, 1(1–13).
- Varela, A., & Varela, T. (2019). La camaronicultura como fuente sustentable de alimentos de origen animal . Logros , retos y oportunidades. *Ecología y Desarrollo Sostenible*, 1, 1–12.
- Westers, T., Ribble, C., Daniel, S., Checkley, S., Wu, J. P., & Stephen, C. (2017). Assessing and comparing relative farm-level sustainability of smallholder shrimp farms in two Sri Lankan provinces using indices developed from two methodological frameworks. *Ecological Indicators*, 83, 346–355. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.08.025>
- Wezel, A., Soboksa, G., McClelland, S., Delespesse, F., & Boissau, A. (2015). The blurred boundaries of ecological, sustainable, and agroecological intensification: a review. *Agronomy for sustainable development*, 35, 1283–1295. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0333-y>
- Yin, R. K. (1994). Case study research and application: Design and methods. Applied Social Research and Methods. Londres, Reino Unido: SAGE

CAPÍTULO 3. TRANSICIÓN A LA INTENSIFICACIÓN SOSTENIBLE EN EL CULTIVO DE CAMARÓN: RETOS Y OPORTUNIDADES³

RESUMEN

Se analizaron las principales prácticas de Intensificación Sostenible (IS) que realizan pequeños y medianos productores en la camaronicultura de Sinaloa, México. Se usó el enfoque de sostenibilidad, desde el establecimiento hasta la comercialización. El estudio muestra una limitada incorporación de las prácticas de IS y los principales factores limitantes son: el deficiente marco institucional y regulatorio, la ausencia de electricidad, baja adopción de tecnologías, ineficiente manejo y suministro de alimentos y, uso excesivo de antibióticos. Este trabajo contribuye al reconocimiento de limitaciones en la adopción de la IS en la camaronicultura, y al avance en la sostenibilidad de esta actividad.

Transition of sustainable intensification in shrimp farming: challenges and opportunities

ABSTRACT

The main practices of Sustainable Intensification (SI) carried out by small and medium producers in shrimp farming in Sinaloa, Mexico, were analyzed. The sustainability approach was used, from establishment to commercialization. The study shows a limited incorporation of SI practices and the main limiting factors are: poor institutional and regulatory framework, lack of electricity, low adoption of technologies, inefficient food management and supply, and excessive use of antibiotics. This work contributes to the recognition of limitations in the adoption of SI in shrimp farming, and to progress in the sustainability of this activity.

PALABRAS CLAVE / KEYWORDS: Acuacultura, Camaronicultura, Intensificación sostenible, Sostenibilidad / *Aquaculture, Shrimp farming, Sustainable intensification, Sustainability.*

³Artículo publicado en la revista: Economía Agraria y Recursos Naturales (2023).
<https://doi.org/10.7201/earn.2023.02.06>

3.1 Introducción

De acuerdo con proyecciones de Naciones Unidas (ONU, 2019), en 2050, la población mundial superará los 9.700 millones y la demanda de alimentos aumentará más de 50%. Además, la composición ha cambiado hacia un mayor consumo de lácteos y carnes lo cual pone en riesgo el uso sostenible de los recursos (IFPRI, 2016; FAO, 2020). La ONU aprobó la agenda 2030 para el desarrollo sostenible en donde se establecen objetivos relativos a la contribución y práctica de la pesca y acuicultura en favor de la seguridad alimentaria y nutrición de tal manera que se garantice un desarrollo sostenible en lo económico, social y ambiental (ONU, 2022). En específico, el Objetivo de Desarrollo Sostenible 14: “Conservar y utilizar de manera sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible” incluye prevenir y reducir de la contaminación marina, proteger los ecosistemas marinos y costeros, minimizar los impactos de la acidificación de los océanos y, prohibir ciertas prácticas pesqueras que contribuyen a la sobrecapacidad y la sobrepesca (ONU, 2022).

En las últimas décadas, la acuicultura mundial ha logrado un crecimiento, mayor al de cualquier otro sector ganadero (Joffre et al., 2016; Little et al., 2018). Se reconoce que la acuicultura es importante para la seguridad alimentaria, la medicina y puede ser una alternativa tanto para el mejoramiento y conservación de la biodiversidad como para reducir los efectos nocivos de la actual pesca (Beveridge et al., 2010). Actualmente, la acuicultura genera más del 50% de la producción pesquera (OECD-FAO, 2021). Por lo tanto, es necesario que el crecimiento de la acuicultura se desarrolle de manera sostenible para proporcionar alimentos (Engle, 2017)

Los principales países productores de camarón en 2018 fueron: China, Indonesia y Vietnam; mientras que México ocupó el séptimo lugar. En la acuicultura el camarón se ha ubicado como la especie de mayor importancia económica; por su volumen se posiciona en el lugar número dos y por su valor de la producción se ubica en el lugar número uno. En las exportaciones se encuentra en primer lugar de las especies pesqueras, siendo Estados Unidos de América, Vietnam y

Francia sus principales destinos (CONAPESCA, 2018). De acuerdo con Lee & Lee (2018) en el sector camaronícola, la especie que más se cultiva en el mundo, es el camarón blanco (*Penaeus vannamei*) y aporta el 53% al volumen total de producción del sector crustáceos (Cortés et al., 2021).

En México, el cultivo de camarón inició en los años de 1930, con especies silvestres, cuando se detectaron importantes poblaciones en las aguas protegidas del Pacífico Mexicano. Con posterioridad, en 1947, se iniciaron las granjas en el Golfo de México en Ciudad del Carmen, Campeche (Bortolini et al., 2004).

A medida que se posicionaba la camaronicultura como actividad económicamente importante, se iniciaron prácticas de intensificación, parecidas a las de Ecuador y Panamá, como la construcción de granjas con métodos intensivos y semi-intensivos, con tasas de producción (cantidad de kg de camarón en una determinada área de producción) de 0,77-0,81kg/m²; la siembra fue con postlarvas (estado larvario del camarón para la cría en estanques PL) de laboratorio resistentes a bacterias y enfermedades virales (FAO, 1992; Pérez et al., 2016).

El éxito de las granjas, fue motivo de críticas por ambientalistas y científicos haciendo referencia a los efectos negativos, tales como: destrucción de mangle durante la construcción de granjas del sector privado; la contaminación del agua debido a los recambios de agua que van de cinco a 20 % por día para operaciones, la sobrealimentación y exceso de nutrientes a los estanques; uso excesivo de antibióticos; pérdida de biodiversidad como las aves cormoranes depredadores de los camarones que se suelen ahuyentar con gritos, fuegos artificiales e incluso disparos (De Walt et al., 2002; Plascencia et al., 2012). Con la finalidad de atenuar los impactos ambientales se iniciaron los primeros estudios de Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) y se capacitaron como promotores, para el manejo adecuado de granjas a biólogos de diversas universidades en 1999 (De Walt et al., 2002).

Los sistemas de producción de camarón se clasifican en extensivos, semi-intensivos e intensivos en función de la densidad de siembra y del nivel de tecnificación (De Walt et al., 2002). Los sistemas extensivos, utilizan grandes extensiones en estanques, normalmente tienen formas irregulares; los costos asociados son reducidos y los rendimientos son bajos (menos de una tonelada por hectárea). Los sistemas semi-intensivos, constituyen la mayoría de las granjas en América Latina, donde aproximadamente dos tercios de las granjas camaroneras son de este tipo. En general los estanques tienen entre 4 y 10 hectáreas, la mayoría ocupan bombas para regular el intercambio de agua y, los rendimientos son de 1 a 3 t/ha. Los sistemas intensivos suelen ser estanques pequeños entre 1 y 2 hectáreas, cuentan con sistema de aireación, manejan altas densidades de población de postlarvas y los rendimientos rondan entre 5 y 15 t/ha (De Walt et al., 2002).

Se han reportado impactos positivos en la región del Noroeste de México, principalmente en el ámbito social y económico INEGI (2019), debido a que ha sido una actividad generadora de empleos en las comunidades costeras, reduce la migración a zonas urbanas, disminuye el esfuerzo pesquero, crea empleos en regiones con pocas oportunidades y, además se generan divisas (González, 2010). Sin embargo, la intensificación de la camaronicultura ha generado consecuencias negativas tanto sociales como ambientales, por lo tanto, se ha promovido la IS como un marco para incrementar los rendimientos al mismo tiempo que se minimizan los impactos negativos (Little et al., 2018). La satisfacción de la creciente demanda de alimentos requiere intensificar la producción de manera sostenible (Struik et al., 2014). La combinación de intensificación y sostenibilidad en una intensificación sostenible, lo convierte en un concepto ambiguo y controvertido (Kuyper et al., 2014; Wezel et al., 2015).

El término IS se remonta a un informe de un taller de 1983 sobre la IS de los pantanos de las mareas en Indonesia por el Grupo de Investigación sobre Agroecosistemas (Wezel et al., 2015). Pretty et al. (2011, p.7), por primera vez en 1986, definen IS como “crecimiento sustancial de los rendimientos en áreas

actualmente degradadas o no mejoradas mientras que al mismo tiempo se protegen o incluso se regeneran los recursos naturales”. Aunque la IS se propuso originalmente en el contexto de los sistemas de agricultura a pequeña escala en África (Pretty et al., 2011). Este concepto ha ganado popularidad mundial porque integra múltiples disciplinas, tecnologías y recursos disponibles localmente para desarrollar soluciones específicas de contexto (Tseng et al., 2020).

Se han generado preocupaciones en torno a los temas de sostenibilidad; éstos incluyen aspectos referentes al impacto ambiental y riesgo ecológico asociado a la actividad productiva (Martínez et al., 2009; Varela et al., 2019). Por tanto, el cuidado económico, social y ambiental debe impulsarse para liderar un escenario más sostenible. Así, el desafío para el crecimiento sostenible de la camaronicultura es mejorar el rendimiento de la producción y, al mismo tiempo, minimizar los impactos ambientales Ponce et al. (2011) y hacer una distribución equitativa de los recursos a lo largo de la cadena.

Hasta la fecha no se encuentran estudios que identifiquen prácticas de intensificación y su relación con la sostenibilidad económica, social y ambiental en la producción de camarón. Se encontraron estudios donde se evalúan los rendimientos y nivel de intensificación en granja, considerando distintas concentraciones de alimento (Álvarez et al., 2001; González, 2010; Engle, 2017); los estudios de Barraza et al. (2014) reconocen la problemática del manejo inadecuado de los efluentes, pero no tienen en cuenta explícitamente el impacto del resto de las prácticas de manejo sobre el medio ambiente. De este modo, las preguntas que guían este análisis son: ¿Cuáles han sido las principales prácticas de IS adoptadas en la camaronicultura?, ¿Cómo influye la adopción de prácticas de IS en la mejora económica-financiera?, ¿Cuáles han sido las restricciones para su adopción? por lo tanto, el objetivo de la investigación es analizar las prácticas de IS mediante el enfoque de estudio de caso para identificar las principales limitaciones en la incorporación de prácticas de IS en la camaronicultura.

La investigación está organizada en tres apartados. En el primero se presenta la metodología que se siguió para identificar las prácticas de IS, en el segundo se exponen los resultados de los tres casos estudiados, se comparan los aspectos técnicos, económico-financieros y ambientales y se discuten con otras evidencias. Finalmente, en el tercer apartado se presentan las conclusiones.

3.2 Metodología

El estudio de caso fue seleccionado como estrategia general de la investigación dado que éste tiene efectividad para responder preguntas enfocadas con el cómo y el porqué de los fenómenos estudiados (Yin, 1994). Además, describe hechos sobre una situación en particular estudiada y genera conocimiento relevante para su aplicación práctica (Martínez, 2006)

3.2.1 Área de estudio y selección de casos

Se seleccionaron tres zonas productoras en Sinaloa: Ahome, Guasave norte y Guasave sur, en conjunto aportan 52% de la producción estatal de acuerdo con datos del Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Sinaloa (CESASIN, 2022). De éstas se consideraron diferentes sistemas productivos, desde granjas integradas vertical y horizontalmente, hasta granjas extensivas de pequeña escala. Las tres zonas productivas fueron elegidas para brindar una diversidad de sistemas de producción. El número de unidades de producción camaronícola registradas en Ahome es de 96, en Guasave norte 86 y en Guasave sur 66 (CESASIN, 2022). Por lo tanto, se seleccionó una granja por zona. En el Cuadro 1, se presentan las principales variables que fueron consideradas para la selección de los casos de estudio.

La primera granja fue ubicada en la zona de Guasave norte identificada como una de las más tecnificadas, con superficie mayor a 100 ha y con rendimientos superiores a la tonelada por ha, para fines de la investigación fue catalogada con intensificación alta y denominada CA01. Esta granja fue seleccionada por ser líder en la zona, por ser referencia para otras granjas para cuestiones técnicas y productivas, por contar con todos los permisos, de fácil acceso, por contar con

sistema de alimentación con alimentadores automáticos (programados y controlados a través de un software) y por ser la única granja en la zona que ha implementado medidas para el cuidado de la biodiversidad.

La segunda granja seleccionada pertenece a la zona de Guasave sur y fue identificada como una de las más representativa de la zona debido a que la superficie sembrada corresponde al promedio en la zona, condiciones y tamaño de los estanques, fácil acceso; además de manejar los rendimientos promedios que son de 1,0 t/ha. Esta granja es la única en la zona que cuenta con sistema de alimentación con blower (soplador mecánico de alimento), el grado de tecnificación relativamente bajo, por lo tanto, fue catalogada con intensificación media y denominada como CA02.

Cuadro 1. Principales variables consideradas para la selección de los casos de estudio

Granja	Área (ha)	Rendimiento (t/ha)	Sistema de producción	Uso de Tecnología	Integración	Propiedad	Mercado de venta	Uso de antibióticos	Sistema de alimentación	Certificación de cuidado del ambiente
CA01	165	1.6	Semi intensivo	Alimentador automatizado Aireadores mecánicos Sensores de temperatura, oxígeno y pH	Vertical y horizontal	Privada	Internacional, nacional	No	Alimentador automático	Sí
CA02	100	1.0	Semi intensivo	Sensores de temperatura, oxígeno y pH	Horizontal	Privada	Nacional	Sí	Blower	No
CA03	70	0.8	Extensivo	Sensor de temperatura y oxígeno	Horizontal	Ejidal	Local, Nacional	Sí	Manual	No

Fuente: Elaboración propia.

La tercera granja fue ubicada en el municipio de Ahome seleccionada porque es una de las pocas con propiedad ejidal que aún siguen operando, además de ser una de las primeras en establecerse en la zona. En cuanto al sistema de producción es extensiva por lo tanto resultó de interés su estudio. La granja tiene rendimientos por abajo del promedio de la zona (1 t/ha), cuyas condiciones de producción son rústicas, es decir el tamaño de los estanques son de más de 5 ha, el sistema de alimentación es manual al voleo, la mayoría de los productores manejan sistema extensivo, fue catalogada con intensificación baja y denominada CA03.

Herramientas metodológicas y análisis de datos

La identificación de prácticas de IS fue a través de una revisión de literatura que incluyó artículos científicos, divulgativos, tesis de grado, memorias de congresos que reportan alternativas para reducir los impactos ambientales negativos de la camaronicultura y manuales con buenas prácticas tanto de México como de países exitosos como es el caso de Tailandia. Con base en los resultados de la revisión se construyó un catálogo de prácticas de IS, utilizado para caracterizar los aspectos técnicos de los estudios de caso e identificar las principales prácticas adoptadas (Cuadro 3). Los datos de cada caso se colectaron a partir de entrevistas a profundidad con los dueños y encargados de las granjas, entre junio de 2020 y julio de 2021. Las entrevistas se llevaron a cabo en tres sesiones que a continuación se desglosan:

Generalidades de las granjas: se llevaron a cabo preguntas a profundidad abordando aspectos generales de las granjas. Además, con apoyo del manual de prácticas de IS se identificaron las principales actividades y prácticas de intensificación tanto sostenibles como no sostenibles, para hacer una comparación entre casos.

Aspectos de sostenibilidad: la sesión incluyó los siguientes aspectos:

Aspectos técnicos: se realizaron entrevistas a profundidad a productores y encargados de las granjas para obtener información de las prácticas de producción (densidad de población, tasas de alimentación, tasas de aireación, duración del ciclo de producción, número de cultivos y tamaño promedio de camarón cosechado) el tamaño de la granja, el equipo utilizado, cantidades de insumos y costos de producción (Cuadro 2).

Aspectos económico-financieros: se elaboró un cuestionario estructurado con 24 preguntas; 10 abiertas y 14 cerradas. La recopilación de información incluyó datos de costos generales o fijos, costos de operación o variables del ciclo productivo anterior. Se estimaron costos e ingresos con la metodología propuesta por Sagarnaga et al. (2018), con ello se analizó si la adopción de prácticas de IS influye en una mejora económica-financiera. Se construyeron cuadros con variables cuantitativas y cualitativas que facilitaron el procesamiento de la información y la codificación para su análisis.

Percepción social y ambiental: la unidad muestral de la investigación fueron los trabajadores; se abordaron aspectos de equidad, salud, educación, vivienda y seguridad. Las etapas consideradas para la percepción fueron: la preparación del sitio o de los estanques, etapa operativa o engorda de postlarvas y etapa de abandono del sitio.

Cuadro 2. Variables de análisis para aspectos técnicos, económico- financiero, percepción social y ambiental.

Aspectos	Instrumento de colecta	Variables de análisis	Participantes
Técnicos	Entrevista a profundidad	Densidad de población Conversión alimenticia Sistema de aireación Rendimiento Talla de precosechas y cosecha Parámetros técnicos (oxígeno, pH, salinidad, temperatura) Equipo empleado	Encargados de la granja Dueños, Biólogos

Económico-financieros	Cuestionario estructurado	Costos generales o fijos, costos de operación o variables por hectárea	Encargado de área administrativa
		Ingresos por hectárea	Dueños
			Biólogos
Percepción social y ambiental	Entrevista a profundidad	Equidad, salud, educación, vivienda, seguridad, condiciones de trabajo	Trabajadores directos
		Situación económica	

Fuente: Elaboración propia con base en González et al. (2011).

Cuadro 3. Principales variables consideradas para la selección de los casos de estudio

Práctica IS	Acciones	Grado de implementación actual	Ventajas	Inconvenientes
1. Preparación del estanque	Vaciar el estanque y prepararlo adecuadamente antes de comenzar un nuevo cultivo.	Alto	Elimina el exceso de materia orgánica y nutrientes que degradan las cualidades del agua y los sedimentos cuando se cultivan nuevos camarones.	Mayores costos en limpieza y desinfección del estanque. Mayor tiempo de espera entre ciclo productivo.
2. Repoblación de alevines	La densidad de población debe ser apropiada para minimizar el estrés y se prefiere el cultivo de una sola especie.	Bajo	Minimiza el estrés y la mortandad.	Los alevines sanos deben obtenerse únicamente de laboratorios certificados. Aumentan los costos

					en sistemas de aireación.
3. Alimento y tasa de alimentación	En la práctica, los criadores deberían alimentar a razón de 1 a 2 kg/100.000 camarones/día dependiendo de la densidad de población de alevines y la cantidad de alimento natural disponible en el estanque.	Medio	Minimiza el desperdicio de alimento. Mejora en la conversión alimenticia. Minimiza los costos por alimento.	el de la calidad del alimento.	Malas prácticas de almacén del alimento afectan la calidad del alimento. Monitoreo constante en bandejas de alimento.
4. Calidad del agua	Instalar un aireador para mantener condiciones ambientales óptimas para el crecimiento del camarón y ubicarlo en una posición adecuada para reducir la lixiviación del suelo en el estanque.	Bajo	Reduce la lixiviación del suelo en el estanque. Adecuada oxigenación y condiciones para el crecimiento del camarón.	la del de aireadores.	Costo en la instalación de aireadores.
5. Gestión de enfermedades y salud.	Verificar periódicamente la salud de los camarones y la calidad del agua. Implementar medidas preventivas estrictas. En caso de un brote de enfermedad notificar inmediatamente a	Bajo	Una buena gestión de la salud puede reducir el estrés y mantener un crecimiento normal y una alta tasa de supervivencia.	Incurrir en uso y productos químicos o uso excesivo de antibióticos.	

	la autoridad competente.			
6. Gestión de la seguridad alimentaria	Aplicar medicamentos veterinarios registrados ante la autoridad competente. La aplicación de medicamentos veterinarios debe restringirse de acuerdo con las instrucciones del fabricante para los medicamentos relevantes, así como el tiempo de espera.	Bajo	Mejorar el entorno del estanque de cultivo es la mejor manera de mejorar la salud y recuperarse de la infección por enfermedades.	Venta de medicamentos no regulados.
7. Gestión de efluentes y sedimentos.	Mantener periódicamente los canales de entrada y salida. Usar fertilizante orgánico. Los efluentes deben ser tratados o sujetos a control de calidad antes de ser vertidos. Los efluentes no deben descargarse a canales de agua dulce ni a tierras cultivables. Los sedimentos de los estanques de cultivo, canales de salida y embalses deben reutilizarse o descargarse.	Bajo	Evita impactos ambientales adversos. Reduce la lixiviación y sedimentación del suelo.	Se requiere monitoreo y análisis de efluentes por parte de los organismos reguladores

Fuente: Elaboración propia con base en FAO (2016).

Restricciones para la adopción de prácticas IS: se elaboró una guía para revisar las instalaciones, los servicios básicos y las características relevantes para identificar restricciones para la incorporación de prácticas de IS, bajo el previo consentimiento de los dueños de que la información brindada se analizaría con fines académicos. Para la elaboración de la guía se consideraron las recomendaciones lo que indican los manuales de buenas prácticas por parte de CESASIN, FAO y CONAPESCA. Se visitaron las instalaciones en la zona de reproducción, estanques de la zona de engorda, se observaron los reservorios, área de filtrado, bombeo, bordos, caminos, tipo de vegetación y fauna de los alrededores, oficinas, comedor y bodegas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Principales variables consideradas para identificar las restricciones para la adopción de prácticas de IS

Restricciones para la adopción de prácticas de IS	Instrumento de colecta	Variables de análisis	Participantes
	Entrevista a profundidad seguimiento de guía observación	Calidad en los estanques Mantenimiento de los bordos en los estanques Calidad del agua en reservorios Calidad del área de filtrado y calidad de mallas Calidad en accesos a estanques y granja Tipo de vegetación en los alrededores de la granja Tipo de fauna en los alrededores Cumplimiento con las recomendaciones en área de oficinas, comedores y bodega.	Trabajadores, biólogos encargados y dueños

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Resultados y discusión

Se describen los hallazgos en tres secciones. Primero, para entender la dinámica de intensificación sostenible de las granjas, se muestran los aspectos relevantes. En segundo lugar, para identificar las prácticas, se comparan aspectos técnicos, económico-financiero y ambientales de las tres granjas (CA01 intensificación alta; CA02 intensificación media y CA03 intensificación baja). En tercer lugar, para fortalecer los hallazgos se presentan las principales restricciones en la camaronicultura y sostenibilidad.

Presentación de casos de estudio

En esta sección se caracterizan las tres unidades de producción definidas de acuerdo con su grado de intensificación; la información se construyó a partir de la entrevista, donde se incluyó el desarrollo histórico de las granjas, su trayectoria tecnológica, datos técnicos, principales prácticas en la actividad camaronícola, información económica financiera, aspectos ambientales y sociales.

Granja CA01 (intensificación alta)

La granja CA01, ubicada en las orillas de Guasave en la zona de la brecha Sinaloa, inició operaciones en 2001, como sociedad cooperativa con socios pescadores; el dueño recién egresado de la universidad se dedicaba a ejercer su profesión como biólogo; posteriormente, con la experiencia de algunos años y los medios económicos decidió comprar la granja, pasando a propiedad privada. En cuanto al manejo técnico, inicialmente tomaban postlarvas del medio silvestre y se depositaban directamente en estanques, no tenían filtros, por lo tanto, tenían larvas de otras especies acuícolas; esto implicaba problemas de enfermedades bacterianas y virales provenientes del medio silvestre.

Años después, se integró el negocio vertical y horizontalmente. Esto aseguró tanto la calidad como el abasto de materia prima, principalmente por la postlarva, debido a que contaban con su propio laboratorio de larvas. Posteriormente establecieron un área de reproducción de postlarvas, cuya capacidad de cada

pila es tres toneladas de biomasa donde se acondicionan las larvas con calderas para mantener la temperatura de 40-45 grados centígrados. Esta área acorta los ciclos de engorda y permite llevar a cabo tres ciclos productivos al año. La postlarva que sale de esta área alcanza un tamaño promedio de 0,8 mm y luego es depositada en los estanques.

Posteriormente, construyeron una planta procesadora, donde reciben la cosecha de sus estanques y actualmente también reciben las cosechas de productores de la zona, a los cuales se les respeta el precio de venta que se maneja en el mercado y en ocasiones dan un incentivo a las cosechas de tallas superiores al promedio de la zona (18 g). Las cosechas son compradas a pie de granja y la planta procesadora es quien se encarga de llevar el equipo y material para el tratamiento postcosecha. Actualmente la planta procesadora cuenta con certificación por parte de la Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) y se rige por las normas de calidad, donde se inspeccionan las áreas de operación. En general cuentan con cinco áreas de operación, los cuales son: recepción, clasificado, frizado, empaque y almacenado.

Los dueños iniciaron la IS luego de visitar y analizar los sistemas de producción de Tailandia y Ecuador. Con el afán de incrementar su producción incorporaron alimentadores automáticos. Los alimentadores automáticos racionan el alimento eficientemente, incrementan los rendimientos, mejoran la conversión alimenticia y aumentan la sobrevivencia de postlarvas.

La granja cuenta con la certificación de buenas prácticas de manejo establecidas por CESASIN, quienes monitorean cada mes y capacitan al personal dos veces al año. La adopción de las buenas prácticas de manejo ha mejorado la calidad del agua que sale de los estanques, debido a que no usan antibióticos y nutrientes; además de utilizar con mayor proporción fertilizante orgánico. También cuentan con la certificación del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) la cual se encarga realizar acciones a fin de prevenir, diagnosticar, controlar y erradicar enfermedades y plagas que

puedan afectar a las unidades de producción, con base en la Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentables (LGPAS). Esta certificación es válida durante tres años y se revisa cada año. La granja cuenta con una superficie de 165 ha, es una de las más grandes de la zona y es la granja con mayor densidad de siembra (15 PL/m²).

El destino de la producción es la propia planta procesadora, en algunos casos venden a intermediarios de la zona y el precio que se maneja es de MXN 85,00/kg más gramo, es decir dan un incentivo a las cosechas de tallas superiores al promedio de la zona (18 g/camarón) si superan los 18 g se acuerda el precio final.

Granja CA02 (intensificación media)

La granja CA02, se ubica en la orilla de Guasave Sur, el dueño ha rentado el área por más de diez años, el sistema que se maneja es semi intensivo, y la densidad de siembra es de 13 PL/m². Aún manejan prácticas rústicas no sostenibles ambientalmente; por ejemplo, el uso de diésel en el bombeo como sistema de aireación y en el uso del blower para la alimentación debido a que no cuentan con energía eléctrica. Por lo tanto, esta granja se consideró con intensificación media.

La granja no cuenta con certificación por parte de CESASIN ni de SENASICA, únicamente cuenta con el permiso de operación que se entrega después de los tres meses obligatorios de descanso en los estanques. Si las granjas no respetan este periodo, son sancionadas con multas por parte de La Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). Posteriormente, inician labores para la preparación de estanques, específicamente se concentran en la medición de la cantidad de materia orgánica y pH del suelo, adicionando cal y fertilizantes. Para la siembra, reciben las postlarvas de laboratorios de Sinaloa y en la granja se les da un periodo de aclimatación gradual de 24 a 72 horas con fines de aumentar el porcentaje de sobrevivencia.

La granja cuenta con una superficie de 100 ha, realizan dos ciclos de producción al año y tres precosechas (cosecha de camarón que cuente con la talla comercial, pueden realizarse 3 o 4 antes de la cosecha final) en cada ciclo. El destino de la producción es local con intermediarios locales, la venta es a pie de granja y el precio de venta se establece de acuerdo con el mercado el cual fue de MXN 85,00/kg. Esto de acuerdo con la talla que maneje la granja.

Granja CA03 (intensificación baja)

La granja CA03, se ubica en la zona de Ahome, el dueño ha rentado el área en los últimos cinco años. La granja cuenta con una superficie de 70 ha. El sistema de producción es extensivo, el nivel tecnológico es aún más bajo que en CA02. La densidad de siembra es de 8 PL/m². La forma de brindar aireación es a través del sistema de bombeo de agua, sin embargo, incrementa los costos de producción por el uso de diésel.

Debido a la ubicación de la granja, el acceso para llegar es complicado debido a que no hay caminos y los bordos de la granja no cuentan con condiciones para que entren vehículos, esto ha ocasionado que haya poco personal. Además, la granja no cuenta con electricidad lo cual dificulta la realización de actividades prioritarias. Por tal razón el dueño y encargado de la granja han optado por disminuir las actividades, por ejemplo, la toma de medidas de los parámetros técnicos, la alimentación de las postlarvas se ha reducido a una vez por día empleando el uso de panga.

Una de las principales problemáticas de la granja es la falta de acceso de electricidad porque dificulta la instalación de sistemas de aireación para controlar los niveles de oxígeno en los estanques y lo cual orilla al bombeo de agua a través de maquinaria que requieren diésel. La falta de electricidad también limita a instalar sistemas de vigilancia, por lo tanto, se enfrentan constantemente a robos tanto de camarones como de materias primas. En general operar la granja sin electricidad ha sido un obstáculo para el uso de tecnologías y ha repercutido en los rendimientos.

En cuanto a la producción, manejan dos ciclos de producción al año con una precosecha en cada ciclo. El destino de la producción es local con intermediarios y procesadoras de la zona, la venta se lleva a cabo a pie de granja y son los intermedios los que acuden con los materiales para realizar la cosecha. El precio de venta es de MXN 85,00/kg y es establecido por el mercado.

Principales prácticas en el cultivo de camarón

En el Cuadro 5 se presentan las prácticas que llevan a cabo las granjas analizadas. Se encontró similitud entre CA02 y CA03 durante la preparación de estanque, ambas emplean fertilizantes químicos; para el funcionamiento del estanque no llevan a cabo análisis de la calidad del agua y la alimentación la realizan una vez al día en pangas con sistema de voleo. En contraste la granja CA01 realiza análisis del suelo durante la preparación del estanque, análisis de calidad del agua y la alimentación es con alimentadores automáticos.

Cuadro 5. Prácticas en el cultivo de camarón

Práctica	CA01	CA02	CA03
1. Preparación del estanque	Descanso 3 meses, análisis de suelo, desinfección	Descanso 3 meses	Descanso 3 meses
1.1 Arado de la tierra	Remoción de tierra	Arado de tierra	Arado de tierra
1.2 Nivelación del fondo	Nivelación y análisis de suelo	Nivelación de fondo	Nivelación de fondo
1.3 Aplicación de fertilizantes	Fertilizantes orgánicos, y cal	Fertilizantes químicos, cal	Fertilizantes químicos, cal
1.4 Bombeo y llenado	Análisis de agua, llenado filtrado	Bombeo	bombeo
2. Funcionamiento de estanque	Análisis de calidad de agua	No realiza	No realiza
2.1 Mantenimiento postlarvas	Pre-acondicionamiento desde laboratorio, alimentación y análisis	Alimentación	Alimentación
2.2 Acondicionamiento y aclimatación de postlarvas	Aclimatación en tanques	Desde laboratorio	Desde laboratorio

2.3 Recirculación de agua	Toma de parámetros de calidad y recirculación	No realiza	No realiza
2.4 Vaciado de postlarvas	Vaciado con parámetros óptimos	Vaciado a estanques	Vaciado a estanques
2.5 Medición de postlarvas	Análisis de parámetros, alimentación automatizada		
2.6 Alimentación constante, etapa crítica	Con alimentadores automáticos 168 raciones por día proteína requerida	Alimentación 1 vez al día con blower	Alimentación 1 vez al día en panga
3. Cosecha			
3.1 Precosechas	De noche, manual, pre vaciado de estanque	De día según tamaño requerido	De día según tamaño requerido

Fuente: Elaboración propia con base en información de campo 2020-2021.

Aspectos técnicos

Frente a los parámetros técnicos, que se presentan en el Cuadro 6, se consideró como punto de referencia el caso exitoso de Tailandia, donde la camaronicultura es un buen ejemplo del desarrollo sostenible. Tailandia comenzó con el sistema extensivo y luego cambió a sistema intensivo cerrado con amplia gama de densidades. La densidad de población es de 62 PL/m² para intensificación baja, 82 para intensificación alta y 99 para intensificación muy alta; las tasas de alimentación son de 1.681 kg/ha con intensificación baja, 10.956 kg/ha y 18.666 kg/ha, respectivamente. Los rendimientos son de 1.301 kg/ha con intensificación baja, 6.982 con intensificación alta y 13.560 con intensificación muy alta (Engle et al., 2017). En CA01, el rendimiento y la tasa de alimentación aumentaron a medida que aumentaba la intensificación de la producción de camarón, debido a que al tecnificar la granja es posible aumentar la densidad de población. La granja CA03 informó tasas de sobrevivencia significativamente más bajas (50%) en comparación con las granjas en los grupos de intensidad media y alta (60-75%). El número de cultivos por año, también se asocia al nivel de intensificación, dado que los productores mencionan que a medida que se incrementa el porcentaje

de supervivencia, el camarón crece más rápido y los tiempos para agregar un nuevo ciclo productivo se favorece.

Cuadro 6. Parámetros técnicos de acuerdo con el nivel de intensificación

Parámetro	CA01	CA02	CA03
Intensificación	Alta	Media	Baja
Densidad de población (PL/m ²)	15	13	8
Temperatura (°C) (min-máx.)	20-35	20-35	20-35
Oxígeno disuelto (mg/l)	4-7	2-6	2-6
pH (min-máx.)	8-9	7-9	7-9
Salinidad (ups) (min-máx.)	30-45	25-40	20-40
Tasa de alimentación (kg/ha/cultivo)	1.200	1.000	700
Días en cultivo	60	90	100
Superficie total (ha)	165	100	70
N.º de estanques	27	10	7
Rendimiento (t/ha/cultivo)	1,6	1,0	0,8
Relación conversión alimenticia	1,7	1,2	1,0
Peso de la cosecha (camarón/g)	30	23	18
Sobrevivencia (%)	75	60	50
Precosechas por ciclo	5	3	1
Cultivos por año	3	2	2

Fuente: Elaboración propia.

Aspectos económico-financieros

Los costos de operación o variables, por su definición están asociados con la marcha de actividades durante un ciclo productivo, los cuales aumentan o disminuyen con el volumen de producción (Sagarnaga et al., 2018).

Los costos generales o fijos por hectárea en un año también aumentaron, en relación con el nivel de intensidad de producción; los costos generales mayores están dados por la adquisición de vehículos, equipos para monitoreo de

parámetros técnicos, maquinaria, bombas, etc. Este fue el caso de CA01, donde el mayor costo está representado con la adquisición de alimentadores automáticos y equipo de monitoreo.

Un estudio realizado por Engle (2017), demostró que la producción intensiva de camarón es más eficiente, porque se emplean menos recursos y tiene como resultado un menor impacto ambiental por tonelada métrica que los sistemas extensivos. Esto coincide con los resultados obtenidos, dado que CA01 maneja mayores prácticas de intensificación, por lo tanto, presenta mayores utilidades y menores impactos ambientales en comparación con CA02 y CA03. En el Cuadro 7 se presentan los ingresos y costos, así como los precios de equilibrio, considerando como referencia la explotación de 100 ha y un ciclo de producción de 3 meses.

Cuadro 7. Análisis Económico-financiero

Parámetro	CA01	CA02	CA03
Ingresos brutos (MXN/100 ha)	451.500	320.000	315.000
Costos totales (MXN/100ha)	342.663	253.693	263.200
Costo de la alimentación (MXN/t alimento)	151.801	103.872	115.900
Costo postlarvas (MXN/millones de PL)	18.774	20.351	23.700
Costo de enmiendas (MXN)	37.481	28.770	24.600
Costo electricidad y combustible (MXN)	52.007	50.500	47.800
Costo fertilizante y químicos (MXN)	1.300	1.500	2.200
Costo labor (Mantenimiento de estanques MXN)	5.500	3.700	2.500
Costos de operación totales (MXN)	266.863	208.693	216.700

Ingresos por encima de los costos de operación o variables (MXN)	22.071	15.200	12.300
Costos fijos o generales totales	75.800	45.000	46.500
Utilidad neta (MXN)	108.837	66.307	51.800
Costos unitarios			
Precio de equilibrio para recuperar los costos variables (MXN/kg)	48,07	51,70	53,45
Precio de equilibrio por encima de los costos totales (MXN/kg)	54,07	57,80	59,07
Costos de producción (MXN/kg)	57,00	60,00	63,00
Precio de venta (MXN/kg)	85,00+gramo	85,00+gramo	85,00+gramo

Fuente: Elaboración propia a partir de fase de campo 2020-2021.

Se identificó que a corto plazo si se adoptan prácticas de IS como los alimentadores automáticos, los costos de producción se incrementan debido a que cada alimentador tiene un precio aproximadamente de MXN 40.000 y en cada estanque se requieren aproximadamente 6 alimentadores. Sin embargo, en el mediano plazo la rentabilidad económica financiera se ve favorecida.

En el caso de CA01 el precio de venta se incrementa a MXN 105/kg porque manejan tallas de camarón de 30 g. Mientras que CA02 y CA03 el precio se queda en MXN 85/kg debido a que el gramaje promedio establecido es de 18-20 g. Además, al tener como referencia el precio de venta de MXN 85/kg, se observa que los precios de equilibrio de la granja CA01 rondan los MXN 54,07/kg, por lo tanto, es económica y financieramente más rentable que CA02 y CA03.

Percepción social y ambiental

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI (2019) la camaronicultura, es la segunda actividad más importante económicamente

después de la agricultura en producción de maíz en Sinaloa. CA01 ha logrado un impacto positivo ante la sociedad, porque ha sido una importante fuente de trabajo en la zona, desde la generación de empleos para la carga y descarga de alimento hasta trabajos gerenciales tanto en la planta procesadora como en las instalaciones de la granja. La granja brinda 45 trabajos directos todo el año y en temporada de cosechas se duplica la plantilla de trabajadores. En las granjas CA02 y CA03 no se tiene una valoración alta porque en la mayoría de las áreas es poco el personal que se requiere, únicamente en la cosecha se requiere más personal y son contratados por temporadas. La percepción de la población aledaña sobre estas granjas es positiva debido a que han generado empleos directos e indirectos tanto en el municipio de Guasave como en Ahome. Estudios reportan que la camaronicultura ha sido una fuente importante de generación de divisas, disminuye el esfuerzo pesquero y reduce la migración (Carrasco et al., 2017).

Los principales problemas ambientales asociados a la camaronicultura están relacionados con el agua, suelo, reducción del área de manglares y pérdida de biodiversidad (Páez-Osuna, 2005). Una de las principales afectaciones ambientales percibidas en CA02 y CA03, es la contaminación del agua, debido al uso excesivo de antibióticos. Inicialmente el establecimiento de las granjas se dio de forma irregular y ocasionó que las tomas y descargas se llevaran a cabo en el mismo cuerpo costero, esta situación afecta tanto en la proliferación de enfermedades, como a la contaminación del agua, aquejando a especies silvestres y a otras granjas que reciben esta agua contaminada.

Limitaciones para la intensificación sostenible

A través del análisis de las entrevistas realizadas los encargados de las granjas y dueños, se encontró que las principales limitaciones para la incorporación de prácticas de intensificación sostenible son: la contaminación del agua, la baja calidad de los insumos y postlarvas, prácticas locales, los requisitos de exportación y mercado.

Contaminación del agua

Se encontró que las principales causas de contaminación de agua son por el abuso en el uso de antibióticos, adición de nutrientes o fertilización, derrame de combustibles, aceites y la sobrealimentación afectando tanto en los estanques como en los efluentes. Los resultados coinciden con lo registrado por Martínez *et al.* (2009) donde se reporta que existe un deterioro de las zonas costeras porque las descargas de agua se realizan en los mismos cuerpos de agua donde muchas granjas se abastecen. Las tres granjas analizadas no realizan un manejo de efluentes lo que a su vez genera contaminación para granjas que se encuentren cerca debido a un mal ordenamiento territorial (González, 2010).

La baja calidad de insumos y postlarvas dentro de la etapa del proceso

La calidad de los insumos carece de normativas, lo que coincide con Varela *et al.* (2019) pues recomiendan contar con asistencia de un profesional que siga las normativas y los tratamientos adecuados para asegurar la vitalidad de los organismos.

El porcentaje de sobrevivencia de postlarvas es mayor en CA01, dado que la granja cuenta con su propio laboratorio para después transportarlas en contenedores y reubicarlas en espacios para la engorda donde se acondicionan. El tipo de alimento y las condiciones que se brindan a estos organismos aseguran tanto la sobrevivencia como la calidad, además de reducir el tiempo en los ciclos productivos.

Prácticas locales

En cuanto a las normativas, SENASICA (2003) estableció en el artículo 9 de Desarrollo de la Acuicultura que se promovieran los esfuerzos para seleccionar el uso apropiado de alimentos, aditivos alimentarios, fertilizantes, así como el uso de medicamentos veterinarios, hormonas, antibióticos y otros químicos para controlar enfermedades. El Servicio Nacional de Sanidad (2019) establece que en caso de emplear algún producto químico, estos deberán contar con ficha

técnica del producto utilizado de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-045-SSA1-1993, plaguicidas, productos para uso agrícola, forestal, pecuario, de jardinería, urbano e industrial. Sin embargo, no se estipula un listado de productos prohibidos, que tienen impactos en el medio ambiente, hasta la fecha no hay regulación ni sanciones económicas por el uso excesivo de estos productos, como en países asiáticos donde se han implementado sanciones para esta práctica (Joffre et al., 2018).

CA02 y CA03 emplean antibióticos para tratar problemas principalmente de *Vibrio*. No obstante, su uso y dosis no está regulado por ninguna autoridad, los productores administran con exceso estos productos y cada vez observan mayor resistencia bacteriana, esto coincide con estudios de Bermúdez et al. (2009) y de Plascencia et al. (2012) donde han demostrado que el uso de antibióticos no debe hacerse como medida preventiva dado que las bacterias generan resistencia.

Acceso al mercado

Los dueños de las granjas CA02 y CA03 se enfrentan a la dificultad de entrada al mercado y cumplir los requisitos de entrada, debido al bajo volumen de su producción y a la poca coordinación con actores de la cadena de valor, principalmente con procesadoras. En la mayoría de los casos, los productores tienen pocas opciones de venta. Normalmente el comprador es el que establece el precio de acuerdo con lo que se rige en el mercado y, si se llega a un acuerdo, la compra se realiza a pie de granja. Los compradores son los que llegan con su equipo para enfriar o bien para cocer el camarón. En los tres casos, la principal limitante para el acceso al mercado de exportación es el precio de venta y la cantidad de trámites legales.

3.4 Conclusiones

La investigación realizada en las zonas de Ahome y Guasave identifica una escasa adopción de prácticas de IS en la producción de camarón. La implementación de buenas prácticas de manejo observadas son la base para

encaminarse al marco de la IS; el uso de tecnologías como los alimentadores automáticos marcan una diferencia significativa económica, social y ambientalmente.

Se detectó que las principales limitaciones para la adopción de prácticas de IS están relacionadas con un tema de arraigo a las prácticas locales, a los escasos incentivos que existen en el mercado para adoptar tecnologías como los alimentadores automáticos y sistemas de aireación; además de la ausencia de capacitación técnica para el uso de tecnologías.

De acuerdo con la percepción de impacto ambiental, la contaminación del agua es el factor con mayor impacto negativo, principalmente por el sistema de alimentación y uso de fertilizantes químicos que termina en los fondos de los estanques generando grandes cantidades de materia orgánica aunado a la ausencia de manejo de efluentes. Frente a esta situación es recomendable que los impactos negativos se den a conocer a productores y partes interesadas para minimizar y mitigar los impactos. En términos sociales se tiene un impacto positivo principalmente por la cantidad de empleos generados en los ciclos productivos, siendo la camaronicultura la segunda actividad más importante del Estado después de la agricultura. Sin embargo, se recomienda garantizar que los trabajadores cuenten con seguro médico y con las condiciones óptimas para su desempeño.

Los resultados económico-financieros mejoraron a medida que se intensifica la actividad. Los rendimientos distribuyeron los costos generales o fijos anuales entre los volúmenes de producción, disminuyendo los costos por tonelada de camarón producido con mayor intensificación. Así, dentro de los parámetros de rendimiento y nivel de intensificación incluidos en este estudio, el sistema de producción con intensificación alta fue económica y financieramente más sostenibles.

La investigación realizada proporciona una perspectiva novedosa para el entendimiento y adopción de la IS en la camaronicultura. Esta perspectiva

contribuye a la literatura de la IS mostrando cómo los productores de camarón que llevan a cabo prácticas de IS son los que han favorecido el crecimiento del sector y a la sostenibilidad.

Se recomienda que por parte de instituciones públicas brinden apoyo con subsidios para la compra de los principales insumos, así como llevar la energía eléctrica a las zonas de producción debido a que es una condición necesaria para el desarrollo sostenible de la actividad. También se considera fundamental brindar apoyo para el mantenimiento de caminos y accesos a las granjas principalmente porque en determinadas fechas es imposible el acceso debido a la ubicación y tipo de suelo, con la finalidad de que se mejore el desempeño económico, social y ambiental en la camaronicultura en México.

La producción de camarón en granja seguirá aumentando debido a la creciente demanda en el consumo y esa tendencia seguirá en un futuro, además, de las ventajas que ofrece la producción acuícola; por lo tanto, es necesario el camino hacia la producción sostenible. En este sentido la academia y los institutos de investigación tienen retos importantes para el desarrollo de nuevas tecnologías y mejoras en el cultivo para alcanzar la intensificación sostenible y satisfacer las necesidades futuras de alimentos.

Finalmente, el trabajo contribuye a futuras investigaciones pues se han identificado elementos de interés que pueden ser ampliados en una muestra más grande con implicaciones en la cadena de valor y lineamientos de políticas públicas, con el fin de aportar más elementos en favor de la sostenibilidad.

3.5 Literatura citada

Alvarez, M., Ochoa, E., Villalba, A. & Siu, E. (2001). Perfil de caracterización de las prácticas de camaronicultura en Sinaloa. Guayaquil, Ecuador: ECOCOSTAS.

Barraza-Guardado, R.H., Martínez-Córdova, L.R., Enríquez-Ocaña, L.F., Martínez-Porchas, M., Miranda-Baeza, A. & Porchas-Cornejo, M.A. (2014).

- "Efecto de efluentes de granjas camaronícolas sobre parámetros de la calidad del agua y del sedimento frente a la costa de Sonora, México". *Ciencias Marinas*, 40(4), 221–235. <https://doi.org/10.7773/cm.v40i4.2424>
- Beveridge, M., Phillips, M., Dugan, P. & Brummet, R. (2010). "Barriers to aquaculture development as a pathway to poverty alleviation and food security". En OECD (Eds.): *Advancing the Aquaculture Agenda. Workshop Proceedings* (pp. 345–359). Paris, Francia: OECD Publishing.
- Bortolini-Rosales, J.L. & Torres-García, M.D.P. (2004). "La camaronicultura en México". *Revista Ciencias*, 76(1), 58–61.
- Carrasco Escalante, J.C. & León Balderrama, J.I. (2017). "Capacidad de absorción y competitividad en el cultivo de camarón del municipio de Ahome, Sinaloa". *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 27(50), 1–28. <https://doi.org/10.24836/es.v27i50.475>
- CESASIN. (2022). Programa de sanidad en crustáceos. Obtenido de: Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Sinaloa, México: <https://cesasin.mx/programacrustaceos/>
- CONAPESCA. (2018). Anuario estadístico de acuacultura y pesca. Obtenido de: Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, México: <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuacultura-y-pesca>
- Cortés, A., Casillas-Hernández, R., Cambeses-Franco, C., Bórquez-López, R., Magallón-Barajas, F., Quadros-Seiffert, W., Feijoo, G. & Moreira, M.T. (2021). "Eco-efficiency assessment of shrimp aquaculture production in Mexico". *Aquaculture*, 544(1), 737145. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737145>
- De Walt, B., Ramírez, J., Noriega, L., González, R. (2002). *Shrimp aquaculture, the people and the environment in coastal Mexico*. Obtenido de: ENACA:

<https://enaca.org/?id=516>

- Engle, C.R., McNevin, A., Racine, P., Boyd, C.E., Paungkaew, D., Viriyatum, R., Tinh, H.Q. & Minh, H.N. (2017). "Economics of sustainable intensification of aquaculture: evidence from shrimp farms in Vietnam and Thailand". *Journal of the World Aquaculture Society*, 48(2), 227–239. <https://doi.org/10.1111/jwas.12423>
- FAO. (1992). Estudio socioeconómico del cultivo del camarón realizado por sociedades cooperativas. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2016). Sustainable intensification of aquaculture in the Asia-Pacific region. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2017). El futuro de la alimentación y la agricultura, tendencias y desafíos. En *El futuro de la agricultura y la alimentación*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- González, F. & Martín, F. (2011). "Diseño de un índice sintético de desarrollo sostenible y aplicación a la Unión Europea". *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 4(7), 3-26 <https://doi.org/10.7201/earn.2004.07.01>
- González-Ocampo, H. A. (2010). "Efectos ambientales producidos por la camaronicultura en el norte de Sinaloa, México". *Ra Ximhai*, 1(6), 9–16. <https://doi.org/10.35197/rx.06.01.2010.02.hg>
- IFPRI. (2016). Informe nutrición mundial. De la promesa al impacto: terminar con la malnutrición de aquí a 2030. Obtenido de: Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias: <http://dx.doi.org/10.2499/9780896295865>

- INEGI. (2019). Pesca y acuicultura: Censos Económicos 2019. Obtenido de: Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México: https://inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvini/inegi/productos/nueva_estruc/702825198978.pdf
- Joffre, O., Klerkx, L. & Khoa, T.N. (2018). "Aquaculture innovation system analysis of transition to sustainable intensification in shrimp farming". *Agronomy for Sustainable Development*, 38(34), 34. <http://doi.org/10.1007/s13593-018-0511-9>
- Kuyper, T. & Struik, P. (2014). "Epilogue: global food security, rhetoric, and the sustainable intensification debate". *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8(1), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.09.004>
- Lee, C. & Lee, K.-J. (2018). "Dietary protein requirement of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in three different growth stages". *Fisheries and Aquatic Sciences*, 21(1), 30. <https://doi.org/10.1186/s41240-018-0105-0>
- Little, D.C., Young, J. A., Zhang, W., Newton, R.W., Al Mamun, A. & Murray, F.J. (2018). "Sustainable intensification of aquaculture value chains between Asia and Europe: A framework for understanding impacts and challenges". *Aquaculture*, 493, 338–354. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.12.033>
- Martínez-Córdova, L., Martínez Porchas, M. & Cortés-Jacinto, E. (2009). "Camaronicultura mexicana y mundial: ¿actividad sustentable o industria contaminante?" *Contaminación ambiental*, 25(3), 181–196.
- Martínez, P. (2006). "El método de estudio de caso: estrategia metodológica de la investigación científica". *Pensamiento y gestión: revista de la División de Ciencias Administrativas de la Universidad del Norte*, 20, 165–193.
- OECD-FAO. (2021). OECD-FAO Agricultural Outlook 2021–2030. Obtenido de: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico-Organización

de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura:
<https://doi.org/10.1787/47a9fa44-es>

ONU (2019). *Perspectivas de la Población Mundial*. Nueva York, Estados Unidos: Naciones Unidas.

ONU. (2022). *Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivo 14: Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos*. Nueva York, Estados Unidos: Naciones Unidas.

Páez-Osuna, F. (2005). "Retos y perspectivas de la camaronicultura en la zona costera". *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 1(1), 21–31.

Pérez-Enriquez, R., Acosta-Salmón, H., Arcos-Ortega, F., Ascencio, F., Campa-Córdova, A.I., Campos-Ramos, R., Cierva-Cerecedo, R., Cruz-Hernández, P., Hernández-Llamas, A., Ibarra-Humphries, A.M., Mazón-Suástegui, J.M., Mejía-Ruiz, C.H., Mercier, L., Nolasco-Soria, H., Palacios-Mechetnov, E., Racotta, I.S., Romero-Vivas, E., Vázquez-Juárez, R. & Villareal-Colmenares, H. (2016). "Reseña histórica y académica del cultivo de Camarón en el CIBNOR". *Recursos Naturales y Sociedad*, 2(1), 36–59.
<https://doi.org/10.18242/RENAYSOC.2016.02.02.01.0004>

Espinosa, A.P. & Bermúdez, M.C.A. (2012). "La acuicultura y su impacto al medio ambiente". *Estudios Sociales*, 2(1), 221–232.

Ponce-Palafox, J.T., Ruiz-Luna, A., Castillo-Vargasmachuca, S., García-Ulloa, M. & Arredondo-Figueroa, J.L. (2011). "Technical, economics and environmental analysis of semi-intensive shrimp (*Litopenaeus vannamei*) farming in Sonora, Sinaloa and Nayarit states, at the east coast of the Gulf of California, México". *Ocean and Coastal Management*, 54(7), 507–513.
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.03.008>

Pretty, J., Toulmin, C. & Williams, S. (2011). "Sustainable intensification in African agriculture". *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9(1), 5–24.

<https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0583>

Sagarnaga-Villegas, L.M., Salas-González, J.M., & Aguilar-Ávila, J. (2018). Metodología para estimar costos, ingresos y viabilidad financiera y económica en unidades representativas de producción. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

Santiago, M.L.H., Espinosa, A.P. & Bermúdez, M.C.A. (2009). "Uso de antibióticos en la camaronicultura". Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas, 40(3), 22–32.

SENASICA. (2003). Manual de buenas prácticas de producción acuícola de camarón para la inocuidad alimentaria. Obtenido de: Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, México: <https://cesasin.mx/wp-content/uploads/2017/12/Cam-Manual-de-buenas-practicas-de-produccio%CC%81n-acuicola-de-camaro%CC%81n-para-la-inocuidad-alimentaria.pdf>

SENASICA. (2019). Manual de buenas prácticas acuícolas durante la producción de camarón. Obtenido de: Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, México: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/463236/Primer_borrador_manual_de_buenas_practicas_de_camar__n.pdf

Struik, P.C. & Kuyper, T.W. (2014). "Editorial overview: sustainable intensification to feed the world: Concepts, technologies and trade-offs". Current Opinion in Environmental Sustainability, 8(1), vi–viii. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.10.008>

Tseng, M.C., Roel, A., Deambrosi, E., Terra, J. A., Zorrilla, G., Riccetto, S. & Pittelkow, C.M. (2020). "Towards actionable research frameworks for sustainable intensification in high-yielding rice systems". Scientific Reports natureresearch, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63251-w>

Varela, A. & Varela Moraga, T. (2019). "La camaronicultura como fuente sustentable de alimentos de origen animal. Logros, retos y oportunidades". *Ecología y Desarrollo Sostenible*, 1(1), 1–12.

Wezel, A., Soboksa, G., McClelland, S., Delespesse, F. & Boissau, A. (2015). "The blurred boundaries of ecological, sustainable, and agroecological intensification: a review". *Agronomy for sustainable development*, 35, 1283–1295. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0333-y>

Yin, R.K. (1994). *Case study research and application: Design and methods*. Applied Social Research and Methods. Londres, Reino Unido: SAGE.

CAPÍTULO 4. EL GRADO DE INTENSIFICACIÓN COMO FACTOR DE SOSTENIBILIDAD DE LA CAMARONICULTURA EN MÉXICO⁴

RESUMEN

El cultivo de camarón en México es crucial para la economía local y nacional, especialmente por las exportaciones a mercados como Estados Unidos, Vietnam y Países Bajos. El objetivo del estudio fue analizar los factores de sustentabilidad de las granjas de camarón (*P. vannamei*) con diferentes grados de intensificación (extensiva, semi-intensiva e intensiva) en los estados de Sonora y Sinaloa en México, considerando tres dimensiones (económica, social y ambiental). Se aplicó un cuestionario semiestructurado para recopilar información de 24 granjas y crear índices de sostenibilidad utilizando el marco MESMIS. Los resultados indicaron que, de los siete atributos de sostenibilidad evaluados, la autogestión, la innovación y la estabilidad contribuyen a mejorar la sostenibilidad. Por lo tanto, para que las granjas sean más sostenibles, es necesario reducir el uso de productos químicos, adoptar tecnologías inteligentes como alimentadores automáticos, sistemas de aireación, aumentar la densidad de siembra, tener acceso a la electricidad, compartir equipos con los vecinos y reducir el uso de antibióticos. El índice de sostenibilidad muestra que incorporar criterios de innovación, productividad, estabilidad y autogestión favorece las expectativas de sostenibilidad.

Palabras clave: acuicultura; evaluación sostenible; intensificación sostenible; marco MESMIS; sostenibilidad.

THE DEGREE OF INTENSIFICATION AS A SUSTAINABILITY FACTOR OF SHRIMP FARMING IN MEXICO

ABSTRACT

Shrimp farming in Mexico is crucial for the local and national economy, especially through exports to markets such as the USA, Vietnam, and the Netherlands. In this study, the aim was to analyze the sustainability factors of shrimp farms (*P. vannamei*) with different degrees of intensification (extensive, semi-intensive, and intensive) in the states of Sonora and Sinaloa in Mexico, considering three

⁴ Artículo enviado a la Revista Sociedad y Ambiente

dimensions (economic, social, and environmental). A semi-structured questionnaire was used to collect information from 24 farms and create sustainability indices using the MESMIS framework. The results indicated that, of the seven sustainability attributes evaluated, self-management, innovation, and stability contribute to improving sustainability. Therefore, for farms to be more sustainable, it is necessary to reduce the use of chemicals, adopt smart technologies such as automatic feeders, aeration systems, increase stocking density, have access to electricity, share equipment with neighbors, and reduce the use of antibiotics. The sustainability index indicates that incorporating criteria of innovation, productivity, stability, and self-management favors sustainability expectations.

Keywords: aquaculture; sustainable evaluation; sustainable intensification; MESMIS framework; sustainability

4.1 Introducción

La producción acuícola mundial en 2020 fue de 87,5 millones de toneladas de animales acuáticos para consumo humano, y 35,1 millones de toneladas de algas. La acuicultura representó el 56% de los alimentos acuáticos de origen animal disponibles para consumo humano. De la producción total de animales acuáticos, más de 157 millones de toneladas (el 89 %) se destinaron al consumo humano. Los 20 millones de toneladas restantes se utilizaron para usos no alimentarios, principalmente para la fabricación de harina y aceite de pescado (16 millones de toneladas o el 81 %). Desde 2020, China ha sido el principal productor mundial, aportando el 35 % del total, seguida de India (8 %), Indonesia (7 %), Vietnam (5 %) y Perú (3 %) (FAO, 2022). Se espera que para 2050 la acuicultura se expanda e intensifique aún más, casi duplicando su producción actual (FAO, 2022).

En términos de especies, con 5,8 millones de toneladas, el camarón patiblanco (*Penaeus vannamei*) fue la principal especie producida en 2020, seguida de cerca por la carpa herbívora (o carpa de la hierba *Ctenopharyngodon idellus*),

ostiones nep (*Crassostrea spp.*), la carpa plateada (*Hypophthalmichthys molitrix*) y la anchoveta (*Engraulis ringens*) (FAO, 2022).

El sector de camaronícola ha sido uno de los sistemas agroalimentarios de más rápido crecimiento en las últimas décadas FAO (2020), pero éste ha tenido repercusiones ambientales y sociales negativas, por lo que es viable y necesaria la intensificación sostenible. Está requerirá innovación en múltiples elementos del sistema de producción de camarón y su cadena de valor (Joffre et al., 2018). El crecimiento fue posibilitado por la expansión del área dedicada a la producción acuícola y la intensificación de los sistemas de acuicultura luego de importantes inversiones en el sector (Joffre et al., 2017).

Aunado a esto, existe un interés creciente en la intensificación sostenible de la producción acuícola. Sin embargo, se han realizado pocos análisis económicos sobre los efectos a nivel de explotación de la sostenibilidad económica, social y ambiental de la intensificación de la producción (Engle, 2017).

El grado de intensificación (extensivo, semi intensivo e intensivo) no ha sido evaluado ambiental y económicamente. Por lo tanto, la pregunta es: ¿el grado de intensificación en el sistema camaronero conduce a la sostenibilidad desde las perspectivas económica, social y ambiental?

Con base en lo anterior, el objetivo del estudio fue identificar y analizar los factores que favorecen la sostenibilidad en granjas de camarón (*P. vannamei*) con diferentes grados de intensificación (intensivo, semi-intensivo y extensivo) en los estados de Sonora y Sinaloa en México incorporando tres dimensiones (económica, social y ambiental) para destacar la importancia de diseñar una estrategia de gestión de la sostenibilidad considerando las diferencias de los factores de intensificación entre grupos de granjas.

4.2 Metodología

4.2.1 Área de estudio

La investigación se realizó en el estado de Sonora y Sinaloa en 2022. Según datos del Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Sonora, A.C (COSAES, 2022), cuenta con cuatro zonas productoras de camarón: Norte, Centro, Sur A y Sur B. En total hay 139 granjas con una superficie sembrada de 28,287 hectáreas. En la zona del centro hay 23 granjas y se visitaron seis en el parque acuícola de Cruz de Piedra; en la zona Sur A, hay 68 granjas y se visitaron cinco en el parque acuícola de Lobos y dos granjas en el parque acuícola de Atanasia. La mayoría de las granjas emplean el sistema de producción semi intensivo e intensivo con una densidad de población promedio de 18 postlarvas/m².

Por otra parte, de acuerdo con estadística del Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Sinaloa, A.C (CESASIN, 2022), están registradas 907 granjas y la superficie sembrada es de 85,065 hectáreas. Las zonas productoras se dividen en doce juntas locales, de las cuales se visitaron dos granjas de la zona del Dorado, tres de Navolato, cuatro de Elota, una de Cospita y una de Guasave. La mayoría de las granjas emplean sistema de producción extensivo y semi intensivo con una densidad de población de 10 postlarvas/m².

Selección de granjas

A partir de las bases de datos proporcionadas por los comités (COSAES y CESASIN) se identificaron las granjas y para contrastar se buscó variedad en el manejo de tecnologías y distintos sistemas de producción. Las granjas seleccionadas fueron referenciadas por los comités y posteriormente se aplicó el muestreo de bola de nieve, es decir los productores proporcionaron el nombre de otras granjas para obtener al final una muestra de 24 granjas.

Recopilación de información

El cuestionario incluyó de 150 preguntas abiertas y cerradas basadas en los indicadores mencionados, las cuales se aplicaron a los representantes de las

granjas y a los trabajadores. Las categorías de las preguntas abarcaron antecedentes de las granjas, características, fuerza laboral, características técnicas, manejo de tecnologías, buenas prácticas de manejo, factores ambientales como el manejo y cuidado del agua y del suelo, así como el uso de productos químicos y orgánicos, y la experiencia en la actividad. La mayoría de las preguntas requerían respuestas múltiples o de escala Likert. La información recopilada permitió identificar las principales problemáticas que los productores consideraron de mayor importancia, así como los puntos críticos enmarcados en cada categoría de análisis (atributos y dimensiones de la sostenibilidad).

Marco de evaluación de la sostenibilidad

Existe un consenso de condiciones que está relacionada con el carácter multidimensional inherente a el concepto de desarrollo sostenible, lo cual también aplica a esta actividad porque requiere ser sostenible desde la triple perspectiva de la economía (rentable operación), justicia social (distribución justa y equitativa de la riqueza genera) y de respeto al medio ambiente (compatible con el mantenimiento de ecosistemas naturales) (Gómez-Limón & Sanchez-Fernandez, 2010).

El desarrollo de indicadores compuestos transparentes brinda la oportunidad de identificar qué aspectos de la sostenibilidad agrícola son relevantes en la práctica. La literatura muestra la amplia variedad de técnicas disponibles para construir índices de sostenibilidad (Gómez-Limón & Sanchez-Fernandez, 2010).

En este sentido, se adoptó el Marco para la Evaluación de la Sostenibilidad de los Sistemas de Manejo de Recursos Naturales (MESMIS), descrito por López-Ridaura et al. (2002), cuyo objetivo es brindar un marco metodológico para evaluar la sustentabilidad de diferentes sistemas de manejo de recursos naturales a escala local (parcela, unidad productiva, comunidad).

Además, este marco de evaluación es un ciclo iterativo que permite una evaluación permanente del objeto de estudio (Maser et al., 2000). Cada vuelta

del ciclo comprende seis pasos que inician con 1) la selección del objeto de estudio, 2) la determinación de los puntos críticos del sistema, 3) la selección de los indicadores estratégicos, 4) la medición y monitoreo de estos, 5) la presentación e integración de los resultados obtenidos y 6) las conclusiones y recomendaciones.

Desarrollo de indicadores

Se desarrollaron y adaptaron indicadores de sostenibilidad considerando siete atributos generales: Productividad, Estabilidad, Confiabilidad, Resiliencia, Adaptabilidad, Equidad, Autosuficiencia y los existentes en la acuicultura y en la agricultura. Estos se desarrollaron considerando el Marco (MESMIS) López-Ridaura et al. (2002).

Debido a que la mayoría de las granjas presentan problemas de enfermedades, se consideraron las Buenas Prácticas de Manejo (BPM). Los indicadores se definieron y adaptaron a la camaricultura en México después de discutir con representantes de los comités estatales de Sinaloa y Sonora y con los expertos en las evaluaciones de BPM. En el Cuadro 1 se presenta los atributos, así como sus criterios de diagnóstico, los cuales fueron seleccionados estadísticamente de acuerdo con pruebas de chi-cuadrado para 47 variables resultando un total de 34 variables significativas y la dimensión correspondiente: Económica (E), Ambiental (A), Social (S).

Cuadro 1. Indicadores de sostenibilidad en la producción de camarón en granja

Atributo	Criterios de diagnóstico	Dimensión**
Innovación	Análisis de suelo, Sanitización; Fertilización; Análisis de agua; Uso de antibióticos; Sistema Aeración; Electricidad; Certificación de BPM	E, A
Productividad	Percepción de suficiente dinero para comprar artículos esenciales; Percepción de capacidad de pago de deudas y vivir cómodamente; Satisfacción con los precios recibidos por los camarones; Monto de la deuda percibida; Hay problema con camarones que se escapan en inundaciones	E, A, S

Estabilidad	Prácticas de manejo seguridad; Prácticas de bioseguridad seguidas; Uso productos químicos; Uso suplementos alimenticios; Normas de seguridad para trabajadores	A, S
Aprendizaje	Conocimiento previo en el cultivo; Acceso a cursos de capacitación; Conocimiento autoevaluado	E, A, S
Comunicación	Conocimiento de prácticas de vecinos; Confianza del acuicultor en los trabajadores; Membresía en una sociedad camaronícola; Negociación colectiva de precios para venta; Notificación de brotes de enfermedades al gobierno	A, S
Autogestión	Importancia de compartir equipos con los vecinos; Satisfacción con la vida; Habilidad para tomar decisiones en la granja; Interés en la cría de camarones; Dependencia /importancia del uso productos químicos; Elección percibida de las decisiones con respecto a la venta de camarones	A, S
Adaptabilidad	Posesión de licencia de operación; Adquisición de tierras por medios legales; Número de otras fuentes de ingresos; Fuentes de financiamiento utilizadas; Propiedad de la tierra	E, S

**Dimensiones: A (ambiental), E (económica) y S (social), variables estadísticamente significativas, al menos con $P \leq 0.5$, según prueba ji-cuadrada (χ^2).

Desarrollo del índice de sostenibilidad

Dado que los indicadores anteriores contienen información diversa, se llevó a cabo una estandarización basada en un valor "base", utilizando la siguiente fórmula:

$$Ve = \frac{Vm}{Vb} \quad (1)$$

Dónde:

Vm= Valor medido de cada granja en los indicadores;

Vb= valor base definido en función del indicador y

Ve = valor estandarizado en un rango de 0-1.

El valor base usado en la estandarización fue el máximo de cada variable, exceptuando ingreso por actividades adicionales al camarón y densidad de siembra, donde se consideró la media debido a la presencia de valores extremos. Debido a que en estas variables se obtuvieron $Ve > 1$, se realizó una segunda estandarización tomando como base al máximo de la primera estandarización. Después de obtener los Ve , se procedió a sumarlos para obtener el promedio con la formula siguiente:

$$IS_i = \frac{\sum_{j=1}^n Ve_{jn}}{n} \quad (2)$$

Dónde:

IS_i = índice de sostenibilidad del i-ésimo granja;

Ve_{jn} = Valor estandarizado del j-ésimo indicador de n indicadores y

n = número total de indicadores.

Posteriormente los IS se clasificaron y adaptaron en distintas categorías, basadas en Masera et al. (2000): insostenible (0.0-0.2); poco sostenible (0.21-0.5); medianamente sostenible (0.51-0.8) y sostenible (0.81-1.0).

Análisis de la información

Se midieron y monitorearon atributos utilizando criterios de diagnóstico e indicadores vinculados a tres dimensiones de sostenibilidad. Los atributos monitoreados fueron: innovación, productividad, estabilidad, aprendizaje, comunicación autogestión y adaptabilidad.

Para categorizar las granjas de acuerdo con su grado de sostenibilidad se consideraron 47 criterios de diagnóstico, posteriormente se aplicaron pruebas de chi-cuadrado resultando un total de 34 variables que fueron estadísticamente significativas para calcular distancias euclidianas al cuadrado y se aplicó un análisis de agrupamiento de mínima varianza de Ward para definir en un primer momento tres grupos de granjas productoras con la finalidad de realizar un análisis canónico discriminante para identificar las variables que distinguen o

diferencian a los grupos y con ello la relación existente entre las mismas (Pérez, 2004).

A través del análisis canónico discriminante, se identificó la combinación lineal de las variables independientes que diferencian de la mejor manera a los grupos o niveles que la variable dependiente tiene. De esta forma, cuando se encuentra la función, esta se puede utilizar para clasificar nuevos elementos o en este caso nuevas granjas de camarón que ingresan al mercado acuícola, es decir, la función ayudará a pronosticar el grupo de pertenencia de un nuevo elemento, en este caso de una nueva granja (Pérez, 2004).

Debido a que la estructura canónica se utiliza para predecir la pertenencia de un nuevo productor a uno de los tres grupos definidos, dicha estructura se emplea para identificar las variables que son más significativas y que se podrían dinamizar o modificar para incrementar la posibilidad de que un productor pase de un grupo de menor nivel a otro de mayor jerarquía (Pérez, 2004).

Se utilizaron funciones canónicas para agrupar el conjunto de granjas y se calcularon para cada una de las granjas sus puntuaciones canónicas estandarizadas. Con estos últimos datos, se realizó una prueba de comparación de medias para verificar si los grupos formados eran diferentes. Todos los análisis se realizaron con el software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 28.0.0.0, con el cual, se obtuvieron parámetros de estadística descriptiva para el perfil de los grupos, pruebas de comparación de medias en rendimientos, superficie sembrada, densidad de siembra, alimentaciones por día e ingresos; de igual manera análisis de varianza y correlaciones simples. Estos procedimientos ayudaron a encontrar los factores que favorecen la sostenibilidad.

Finalmente, con el cálculo del índice de sostenibilidad se realizó una segunda clasificación de granjas acuícolas corroborando la primera clasificación que se obtuvo estadísticamente con el análisis de agrupamiento de mínima varianza de Ward.

4.3 Resultados y discusión

El cuestionario aplicado a los propietarios y administradores de las granjas reveló que el 100% de ellos eran hombres, con edades entre 40 y 60 años, todos con estudios universitarios, en su mayoría con perfil enfocado al área de acuacultura y en administración de empresas, debido a que es una actividad que requiere especialización, lo cual coincide con estudios realizados por Beltrán-Lugo et al. (2023).

En cuanto a los indicadores utilizados para determinar la influencia de las buenas prácticas de manejo (BPM) en la gestión sostenible, el 90% de los encuestados dijo estar a favor de promover las BPM, dando incentivos económicos a los trabajadores, principalmente al encargado de la producción, en la mayoría de las granjas el encargado contó con perfil de biólogo en acuacultura.

A pesar de la falta de financiamiento, los productores reconocieron la importancia de invertir en tecnologías y adquirir nuevos equipos, como los alimentadores automáticos y sistemas de aeración, y métodos para mejorar la sobrevivencia de los organismos. Además, se reconoce la importancia de la mejora continua, lo que implica llevar a cabo prácticas desde el establecimiento de la granja hasta la comercialización del producto para estar a la vanguardia de los cambios en los mercados. Esto demuestra que hay voluntad e interés, y que son conscientes de la necesidad de tecnologías que propicien procesos productivos más sostenibles.

Definición de los grupos

Se identificaron tres conglomerados diferentes después de haber calculado las distancias euclidianas al cuadrado y de usar el agrupamiento de mínima varianza de Ward (Pérez, 2004) entre granjas acuícolas (AC). Estos grupos fueron el resultado de particionar el dendograma según como se muestra en la Figura 1. El grupo (G1) comprendió cinco granjas, el segundo (G2) nueve y, el tercero (G3) diez. Este agrupamiento se hizo con la finalidad de llevar a cabo comparaciones de medias (ANOVA) o pruebas de chi-cuadrado para 47 variables (criterios de diagnóstico) para identificar aquellas que son estadísticamente distintas.

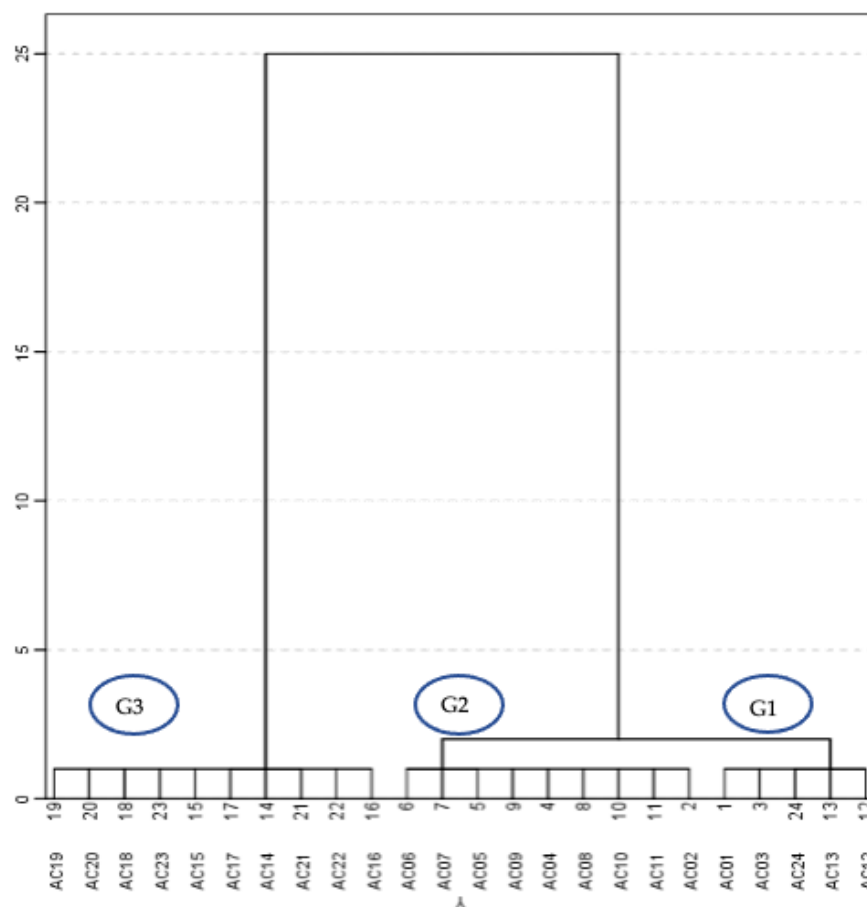


Figura 1. Dendrograma de 24 acuÍcolas de camar3n

Fuente: Elaboraci3n propia.

Criterios de adopci3n de Buenas Pr3cticas de la sostenibilidad

De los 47 criterios o variables analizadas, 34 mostraron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.1$); es decir, las proporciones de las granjas que adoptan cada pr3ctica son diferentes entre los grupos definidos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Criterios de análisis

Categoría/criterio sostenibilidad	χ^2	$P \leq 0.1$
Innovación		
1. Análisis de suelo	8.842	0.012
2. Secado	3.055	0.212
3. Rastreo	3.055	0.217
4. Sanitización	8.842	0.012
5. Fertilización	8.842	0.012
6. Análisis de agua	11.000	0.004
7. Manejo de enfermedades	1.461	0.482
8. Uso de antibióticos	24.000	0.001
9. Sistemas de aireación	7.293	0.026
10. Electricidad	13.760	0.001
11. Certificación BPM	17.244	0.001
Productividad		
12. Percepción suficiente dinero para comprar artículos esenciales	20.160	0.001
13. Percepción de capacidad de pago de deudas y vivir cómodamente	16.640	0.001
14. Satisfacción con los precios recibidos por los camarones	9.097	0.011
15. Monto de la deuda percibida	9.097	0.011
16. Problema con camarones que se escapan en inundaciones	9.244	0.001
17. Evidencia de enfermedad 2022	9.600	0.008
18. Hay caza clandestina	1.751	0.415
Estabilidad		
19. N° mejores prácticas de manejo seguridad	12.481	0.001
20. Prácticas de bioseguridad seguidas	25.200	0.001
21. Uso productos químicos	21.246	0.001
22. Uso suplementos alimenticios	2.649	0.289
23. Normas de seguridad para trabajadores	10.420	0.004
24. Control sobre quién compra camarones	4.293	0.118
25. Evidencia de venta a múltiples compradores	0.450	1.000
Aprendizaje		
26. Conocimiento previo en el cultivo	7.253	0.011
27. Acceso a cursos de capacitación	15.804	0.001
28. Acceso a nuevas técnicas	4.833	0.085
29. Conocimiento autoevaluado	14.889	0.001
30. Años en la industria	5.189	0.051
Comunicación		
31. Conocimiento de prácticas de vecinos	18.619	0.001
32. Confianza del acuicultor en los trabajadores	13.630	0.001

33. Membresía en una sociedad camaronícola	16.640	0.001
34. Negociación colectiva de precios para venta	8.640	0.005
35. Notificación Brotes de enfermedades a vecinos	6.549	0.022
36. Notificación de brotes de enfermedades al gobierno	18.619	0.001
Autogestión		
37. Importancia de compartir equipos con los vecinos	9.027	0.009
38. Satisfacción con la vida	16.431	0.001
39. Habilidad para tomar decisiones en la granja	16.432	0.001
40. Interés en la cría de camarones	19.857	0.001
41. Dependencia /importancia del uso productos químicos	25.202	0.001
42. Elección percibida de las decisiones con respecto a la venta de camarones	25.202	0.001
Adaptabilidad		
43. Posesión de licencia de operación	1.280	0.644
44. Adquisición de tierras por medios legales	1.244	0.778
45. N° de otras fuentes de ingresos	1.244	0.778
46. Fuentes de financiamiento utilizadas	1.244	0.778
47. Propiedad de la tierra	15.586	0.001

Fuente: Elaboración propia.

Los datos marcados en negritas muestran diferencias estadísticamente significativas, al menos con $P \leq 0.1$, según prueba ji-cuadrada (χ^2).

Variables discriminantes relacionadas con los grupos de productores

Con los tres grupos de productores definidos y las prácticas identificadas que son estadísticamente diferentes entre los grupos, se empleó el análisis canónico discriminante para identificar las variables que caracterizan a las granjas de cada grupo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Estructura canónica total del análisis discriminante con 34 variables de 24 granjas de camarón

N° de variable	Variable	Can 1	Can 2
1	Dependencia químicos	-0.317*	0.027
2	Compartir equipos	-0.223*	-0.087
3	Decisiones de venta	-0.199*	0.017
4	Capacitaciones	0.179*	-0.015
5	Interés_cría_camarón ^a	0.119*	-0.010
6	Suficiente_dinero	0.119*	-0.010
7	Prácticas_bioseguridad	0.119*	-0.010
8	Confianza_acuacultor ^a	-0.103*	-0.082

9	Certificación	0.083*	-0.055
10	Antibiótico	0.079*	-0.007
11	Capacidad de pago	0.078*	0.052
12	Prácticas_manejo	0.061*	-0.005
13	Análisis de agua	0.049*	-0.004
14	Conocimiento_prev	0.040*	-0.003
15	Fertilización	0.040*	-0.003
16	Sanitización	0.040*	-0.003
17	Análisis_Suelo	0.040*	-0.003
18	Notifi_brotes_gob ^a	0.050	-0.441*
19	Conocimiento_Autoevaluad	0.051	0.432*
20	Electricidad	0.035	0.368*
21	Habilidad_toma_decisiones	0.097	0.282*
22	Rendimientos	0.034	0.221*
23	Negociación_precio	-0.145	-0.197*
24	Inundaciones	-0.033	0.181*
25	Propiedad_tierra	-0.068	0.146*
26	Membresia_coop	-0.068	0.146*
27	Densidad_siembra	-0.099	0.129*
28	Prácticas_vecinos	0.086	0.118*
29	Ingresos_netos	0.079	0.108*
30	Enfermedades	-0.040	0.108*
31	Normas_seguridad	0.047	0.084*
32	Uso de productos químicos	-0.009	0.083*
33	Deuda_percibida	0.040	0.045*
34	Satisfacción_precio	0.040	0.045*

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los resultados anteriores, se encontraron 17 variables que explican la estructura canónica 1 (Can1) y 14 que explican la estructura canónica 2 (Can 2) (Figura 2). Estas variables, a su vez, permitieron identificar y asociar las granjas a sus niveles de sostenibilidad. Así, en el grupo 1 se identificaron granjas acuícolas intensivas consideradas sostenibles; en el grupo 2, están las granjas acuícolas semi intensivas consideradas medianamente sostenibles y; en el grupo 3, las granjas acuícolas extensivas consideradas poco sostenibles de acuerdo con la metodología empleada.

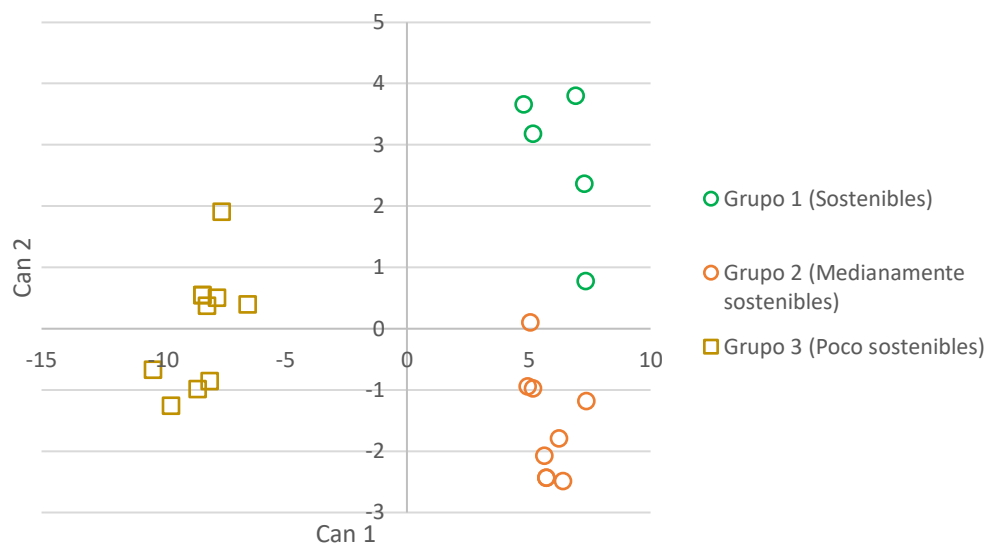


Figura 2. Representación bidimensional de las puntuaciones canónicas de 24 granjas de camarón

Fuente: Elaboración propia.

De los siete atributos de sostenibilidad evaluados, la autogestión, innovación y estabilidad explican la sostenibilidad en un 95%. Por lo tanto, para que las granjas incrementen su grado de sostenibilidad requieren reducir el uso de productos químicos, adoptar alimentación automatizada, aumentar densidad de siembra, contar con electricidad, compartir equipos con los vecinos y reducir el uso de antibióticos.

Índice de sostenibilidad

En la Figura 3 se muestra el índice de sostenibilidad para cada granja de camarón. Se encontró una brecha de 0.57 en el índice de sostenibilidad, lo que muestra la presencia de granjas con producción sostenible y otras que no lo son. Se clasificaron las granjas en tres grupos según el valor de sostenibilidad: poco sostenibles (< 0.6), medianamente sostenibles (< 0.8) y sostenibles (> 0.8). Además, se evidenció una asociación positiva entre el grado de intensificación y la sostenibilidad del sistema ($P < 0.01$).

El 20.8% de las granjas se ubicó como sostenibles con una extensión promedio de 186 hectáreas, la densidad de siembra promedio de 30 postlarvas/m² con rendimiento máximo de hasta 10 t/hectárea/ ciclo productivo, el 80 % de las granjas se ubicó en el estado de Sonora y el resto en Sinaloa.

El 37.6% de las granjas mostró un nivel medio de sostenibilidad con una densidad de siembra de 21 postlarvas/m², logrando rendimientos máximos de 5 t/ha/ciclo con una extensión promedio de 91 hectáreas, concentrándose todas en Sonora; mientras que el 41.6% correspondió a granjas poco sostenibles con una densidad de siembra de 8 postlarvas/m², obteniendo rendimientos máximos de 1 t/ha/ciclo y ubicadas en el estado de Sinaloa con una extensión promedio de 273 hectáreas.

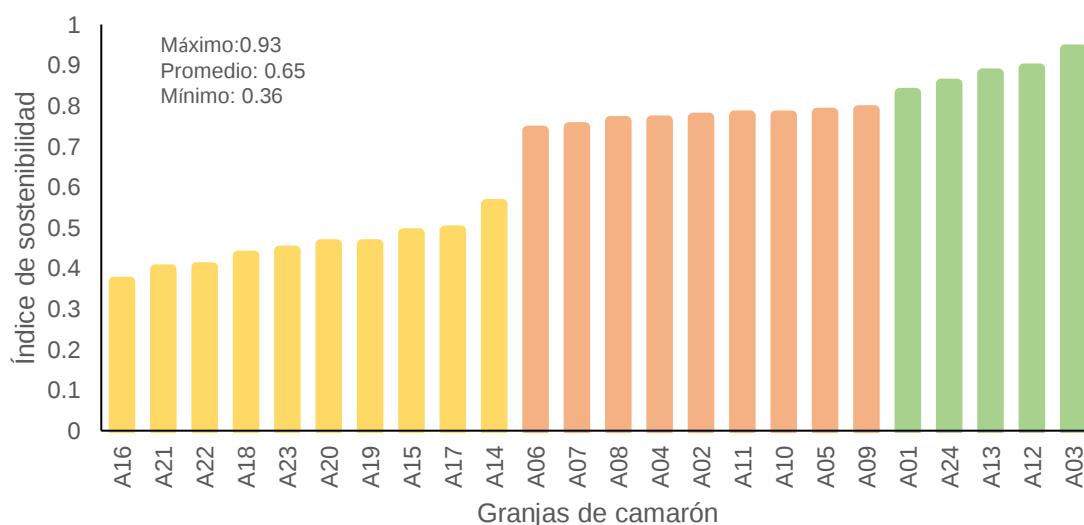


Figura 3. Índice de sostenibilidad de las granjas de camarón

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4 se muestra el índice de sostenibilidad y los atributos evaluados de los tres grupos. El atributo de comunicación tiene el menor valor (0.51) y muestra situaciones insostenibles en los ámbitos económico y ambiental, lo que lo hace el atributo más frágil, debido a que más del 50% de las granjas no notifican a las autoridades sanitarias casos de brotes de enfermedades por temor a que les

cierren las instalaciones. En contraste, la innovación (0.70) y la adaptabilidad (0.69) son atributos que contribuyen a la sostenibilidad del sistema.

En el caso de las granjas sostenibles se destaca el atributo de innovación principalmente por el uso de tecnologías como lo son los alimentadores automáticos, sistemas de aeración y uso de probióticos, elementos esenciales para mejorar la sostenibilidad. Se observó que la introducción de alimentadores automáticos tiene un impacto significativo en términos económicos, sociales y ambientales (Maldonado-Hernández et al., 2023). Además, la formulación nutricional adecuada y la calidad del pellet mejoran la eficiencia y reducen el desperdicio y la contaminación en los fondos de los estanques (Little et al., 2016). Las granjas intensivas utilizan sistemas de alimentación automatizados, las granjas semi-intensivas emplean sistemas de sopladores y las granjas extensivas alimentan al voleo. Se ha encontrado una asociación entre el sistema de alimentación y los rendimientos.

Productores de granjas intensivas han experimentado mejoras en la productividad y en el aspecto económico al utilizar probióticos. Esto se debe a que han logrado minimizar y prevenir enfermedades, así como mejorar la conversión alimenticia. Gracias a estas mejoras, ahora pueden tener hasta tres ciclos productivos por año, y como resultado, han dejado de utilizar antibióticos en los últimos cinco años.

En el estudio de El-Saadony et al. (2022) se menciona que los probióticos están siendo cada vez más utilizados en la camaronicultura debido a su capacidad para proteger a los organismos cultivados de patógenos, mejorar la calidad del agua y aumentar la conversión alimenticia (Maftuch et al., 2013). Es recomendable reducir el uso de antibióticos debido a que promueven la proliferación de bacterias resistentes a antibióticos (Cabello, 2006), el deterioro de la calidad del agua y afectan la salud humana debido a la alta cantidad de residuos de antibiótico (Kathleen et al., 2016).

En el atributo de adaptabilidad se reconoce la importancia de la propiedad de la tierra, debido a que siendo de propiedad ejidal se dificulta el proceso de la organización y toma de decisiones. Para las granjas intensivas, resultó crucial contar con distintas fuentes de financiamiento y diversificar los mercados, incluyendo la exportación de camarón en diversas presentaciones. En cuanto a las granjas semi intensivas y extensivas, se identificó la falta de control de precios y la desventaja en los mercados nacional e internacional.

Se reconoce también la importancia de la capacitación proporcionada por las entidades de salud (COSAES, CESASIN) a todas las granjas con certificado de operación, especialmente en el manejo y la implementación de buenas prácticas de manejo.

De acuerdo con Westers et al. (2017), las granjas más intensificadas obtuvieron puntajes más altos en la mayoría de los indicadores en los atributos de adaptabilidad e innovación (Figura 4), que incluyen varias prácticas de gestión, promoción de la conservación ambiental y seguridad de los trabajadores para mejorar la sostenibilidad. Además, la mayoría de las granjas cuentan con certificaciones para el cuidado del medio ambiente y brindan condiciones óptimas para sus trabajadores, como servicio de comedor, equipo de trabajo, área de descanso y seguro médico.

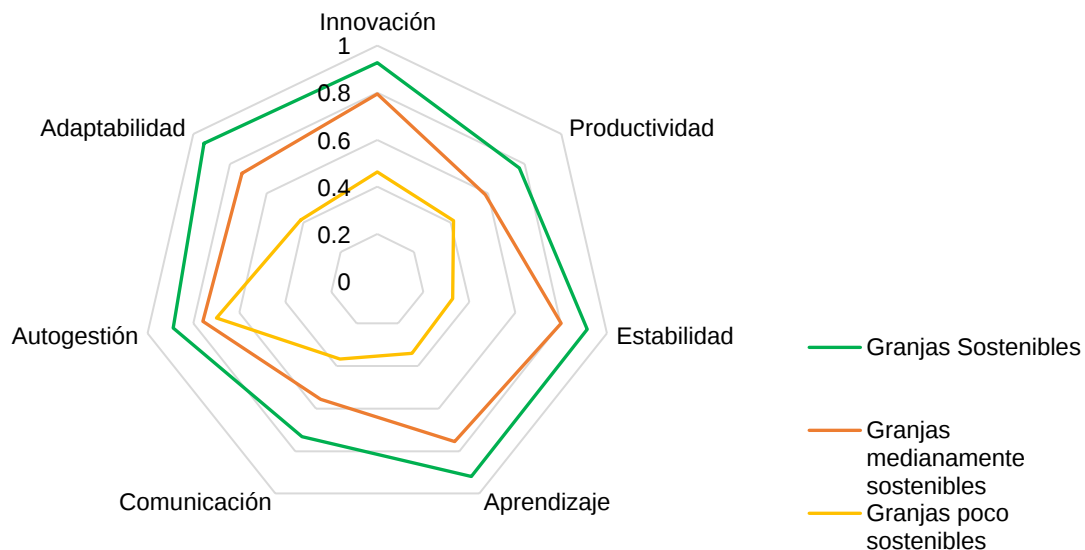


Figura 4. Comparación del índice de sostenibilidad de tres sistemas de producción de camarón por medio del Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS).

Fuente: Elaboración propia.

El sistema intensivo obtuvo un valor de sustentabilidad del 87.92%, mientras que el sistema semi intensivo de 76.74% y el sistema extensivo alcanzó el 44.99%. El sistema intensivo se acercó al valor óptimo de sostenibilidad, mientras que el sistema semi intensivo y extensivo tendieron a retroceder hacia el centro de la gráfica (Figura 5), como reflejo de una menor sostenibilidad.

Las granjas intensivas mostraron valores más altos en las tres dimensiones. En contraste, las granjas semi intensivas y extensivas obtuvieron valores bajos en la dimensión ambiental debido a la aplicación de altos contenidos de antibióticos, productos químicos, derrame de combustibles y exceso de alimento en el fondo de los estanques, lo que ocasiona contaminación del suelo y del agua. Además, estas granjas carecen de un manejo adecuado de efluentes, lo que representa uno de los principales problemas reportados en la producción de camarón (Páez-

Osuna, 2005; Martínez-Córdova et al., 2009), así como un mal ordenamiento territorial en el establecimiento de las granjas (González Ocampo, 2010).

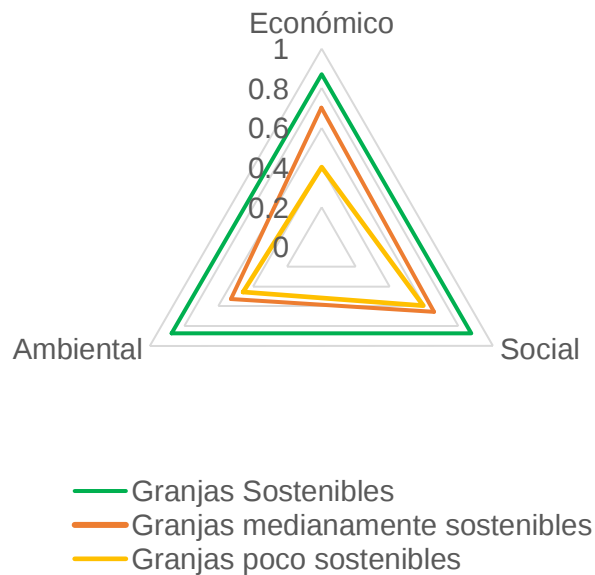


Figura 5. Sostenibilidad de granjas de camarón

Fuente: Elaboración propia

4.4 Conclusiones

El estudio tuvo particular interés en analizar los factores de sustentabilidad de las granjas de camarón con diferentes grados de intensificación (extensiva, semi-intensiva e intensiva) en los estados de Sonora y Sinaloa en México, considerando tres dimensiones (económica, social y ambiental), para destacar la importancia de diseñar una estrategia de gestión de la sostenibilidad, considerando las diferencias de los factores de intensificación entre grupos de granjas. De tal manera que se concluye que las granjas con mayor grado de intensificación resultaron ser más sostenibles en las tres dimensiones. El índice de sostenibilidad indica que la adopción de los criterios en los atributos de innovación, productividad, estabilidad y autogestión favorecen la sostenibilidad al

aumentar dicho índice. Esto indica que las políticas de apoyo deberían enfocarse en mejorar las buenas prácticas de manejo.

Se identificó una relación positiva entre el índice de sostenibilidad y la conversión alimenticia, los rendimientos y los ingresos netos en un 86%, mientras que existe una relación negativa con la superficie (ha). Esto indica que, a menor superficie, las granjas tienden a ser más sostenibles debido a la eficiencia en el área productiva y la tecnificación.

Considerando lo anterior la sostenibilidad podría mejorarse mediante la incorporación de tecnologías como alimentadores automáticos y sistemas de aeración. Además, se podría adoptar buenas prácticas de manejo, como el cuidado preventivo de enfermedades, el uso de probióticos, la conservación del suelo y el manejo adecuado de efluentes, con el fin de mejorar las variables de supervivencia, factor de conversión y densidad de repoblamiento. Asimismo, se podrían reducir los costos ambientales del consumo de electricidad y diésel mediante el uso de energías limpias. Por lo tanto, se requiere la participación de instituciones públicas para brindar asistencia técnica y de gestión en el manejo de tecnologías, así como la actualización de conocimientos para que los productores tengan una mayor participación en los mercados locales, nacionales e internacionales, y avancen hacia la producción sostenible.

Este estudio tiene limitaciones que señalan la necesidad de trabajo futuro en esta área. Se enfocó en las buenas prácticas de manejo y adopción de tecnologías, considerando que el principal problema son las enfermedades en los estanques; sin embargo, es necesario complementar el análisis considerando la influencia del entorno institucional en el que están integrados los productores y cómo influye en la toma de decisión de adopción de innovaciones.

4.5 Literatura citada

Beltrán-Lugo, L., Izaguirre-Díaz de León, F., Peinado-Guevara, V., Peinado-Guevara, H., Herrera-Barrientos, J., Cuadras-Berrelleza, A. A., & Montoya-Leyva, M. Á. (2023). Sustainable Innovation Management in the Shrimp

- Sector of the Municipality of Guasave, State of Sinaloa, Mexico. *Sustainability*, 15(4), 3161. <https://doi.org/10.3390/su15043161>
- Cabello, F. C. (2006). Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: A growing problem for human and animal health and for the environment. *Environmental Microbiology*, 8(7), 1137–1144. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01054.x>
- CESASIN. (2022). Programa de sanidad en crustáceos. Obtenido de: Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Sinaloa, México: <https://cesasin.mx/programacrustaceos/>.
- COSAES. (2021). *Resultados ciclo 2020: Sanidad en camarón*. Obtenido de Comité de Sanidad Acuícola del Estado de Sonora, México
- El-Saadony, M. T., Swelum, A. A., Abo Ghanima, M. M., Shukry, M., Omar, A. A., Taha, A. E., Salem, H. M., El-Tahan, A. M., El-Tarabily, K. A., & Abd El-Hack, M. E. (2022). Shrimp production, the most important diseases that threaten it, and the role of probiotics in confronting these diseases: A review. *Research in Veterinary Science*, 144(January), 126–140. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2022.01.009>
- Engle, C. R. (2017). Economics of Sustainable Intensification of Aquaculture: Evidence from Shrimp Farms in Vietnam and Thailand. *Journal of the World Aquaculture society*, 48(2), 227–239. <https://doi.org/10.1111/jwas.12423>
- FAO. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. En *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 3, Números 1–2). <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.01.032><http://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2012.02.007><http://www.fao.org/publications/es>
- FAO. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. En *Fao*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.01.032><http://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2012.02.007>

16/j.tws.2012.02.007%0Ahttp://www.fao.org/publications/es

- Gómez-Limón, J., & Sanchez-Fernandez, G. (2010). Empirical evaluation of agricultural sustainability using composite indicators. *Ecological Economics*, 69, 1062–1075. <https://doi.org/doi:10.1016/j.ecolecon.2009.11.027>
- González Ocampo, H. A. (2010). Efectos ambientales producidos por la camaronicultura en el norte de Sinaloa, México. *Ra Ximhai*, 1, 9–16. <https://doi.org/10.35197/rx.06.01.2010.02.hg>
- Joffre, O., Klerkx, L., Dickson, M., & Verdegem, M. (2017). How is innovation in aquaculture conceptualized and managed? A systematic literature review and reflection framework to inform analysis and action. *Aquaculture*, 470, 129–148. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.12.020>
- Joffre, O., Klerkx, L., & Khoa, T. N. (2018). Aquaculture innovation system analysis of transition to sustainable intensification in shrimp farming. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(34), 1–11.
- Kathleen, M. M., Samuel, L., Felecia, C., Reagan, E. L., Kasing, A., Lesley, M., & Toh, S. C. (2016). Antibiotic Resistance of Diverse Bacteria from Aquaculture in Borneo. *International Journal of Microbiology*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/2164761>
- Little, D., Newton, R., Beveridge, M., & Fk, S. (2016). Aquaculture: An Important and Fast-Growing Source of Sustainable Food? Status, transitions and potential. *Actas de la Sociedad de Nutrición*, 75(3), 274–286. <https://doi.org/10.1017/S0029665116000665>
- López-Ridaura, S., Masera, O., & Astier, M. (2002). Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. The MESMIS framework. *Ecological Indicators*, 2(1–2), 135–148. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(02\)00043-2](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00043-2)
- Maftuch, Prasetio, E., Sudianto, A., Rozik, M., Nurdyani, R., Sanusi, E., Nursyam, H., Fariedah, F., Marsoedi, & Murachman. (2013). Improvement of innate

immune responses and defense activity in tiger shrimp (*Penaeus monodon* Fab.) by intramuscular administration of the Outer Membrane Protein *Vibrio alginolyticus*. *SpringerPlus*, 2(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-432>

Maldonado-Hernández, I., Leos-Rodríguez, J. A., Aguilar-Gallegos, N., Sagarnaga-Villegas, L. M., & Astorga-Ceja, J. (2023). Transición a la intensificación sostenible en el cultivo de camarón: retos y oportunidades. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 23(2), 143–165. <https://doi.org/10.7201/earn.2023.02.06>

Martínez-Córdova, L., Martínez Porchas, M., & Cortés-Jacinto, E. (2009). Camaronicultura mexicana y mundial: ¿actividad sustentable o industria contaminante? *Contaminación ambiental*, 25(3), 181–196.

Masera, O., Astier, M., & López-Ridaura. (2000). *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS* (Vol. 80, Número 1). Grupo Interdisciplinario de Tecnología rural apropiada. <http://agroecology.pbworks.com/f/biodyn-indicators.pdf>

Páez-Osuna, F. (2005). Retos y perspectivas de la camaronicultura en la zona costera. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 1, 21–31.

Pérez López, C. (2004). *Técnicas de Análisis Multivariante de Datos* (PEARSON).

Westers, T., Ribble, C., Daniel, S., Checkley, S., Wu, J. P., & Stephen, C. (2017). Assessing and comparing relative farm-level sustainability of smallholder shrimp farms in two Sri Lankan provinces using indices developed from two methodological frameworks. *Ecological Indicators*, 83, 346–355. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.08.025>

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES GENERALES Y PROSPECTIVA

La investigación tuvo como objetivo analizar las principales prácticas de intensificación sostenible que llevan a cabo pequeños y medianos productores de camarón, con el fin de identificar los factores que favorecen el grado de sustentabilidad económica, social y ambiental.

Se ha identificado que la creciente demanda de alimentos acuícolas ha llevado a la intensificación del cultivo de camarón; sin embargo, se le han asociado consecuencias ambientales negativas, principalmente por la contaminación del agua Mustafa et al. (2023) debido al uso excesivo de antibióticos, productos químicos como fertilizantes, sobrealimentación Martínez-Córdova et al. (2009), generando problemas con los efluentes que finalmente terminan en los cuerpos de agua.

Las implicaciones para el crecimiento de la camaronicultura se sitúan en el contexto de la intensificación sostenible (Little et al., 2016). Esto permitió el análisis y documentación de prácticas de intensificación sostenible y sistemas de producción de granjas camaroneras.

En este capítulo se presentan los principales hallazgos, conclusiones y perspectivas derivadas de la investigación. Para ello, se revisan en primer lugar las prácticas de intensificación sostenible y las limitaciones en su adopción. A continuación, se analizan los factores que conducen a la sostenibilidad a través de la evaluación de sostenibilidad con diferentes grados de intensificación de granjas camaroneras de Sonora y Sinaloa. Finalmente, se exponen las perspectivas del estudio, sus limitaciones y las pautas para futuras investigaciones relacionadas.

5.1 Principales hallazgos

Los siguientes hallazgos están estructurados de acuerdo con los objetivos específicos que se plantearon.

5.1.1 Prácticas de intensificación sostenible en la camaronicultura y limitaciones en la adopción

La metodología del estudio de caso permitió analizar la situación productiva en la camaronicultura y a identificar las principales prácticas que llevan a cabo pequeños y medianos productores para aumentar la producción.

La intensificación sostenible enfrenta desafíos significativos en la innovación tecnológica, especialmente en la alimentación, las postlarvas y las enfermedades. Se ha identificado que el manejo de una buena formulación nutricional en el alimento y un sistema de alimentación eficiente mejoran los rendimientos y conducen a una mayor sostenibilidad.

El uso de alimentadores automáticos proporciona un mejor suministro de alimento al programar las cantidades y el número de alimentaciones por día, lo que mejora la conversión alimenticia, reduce el desperdicio de alimento y mejora la calidad del agua. Además, al mejorar la conversión alimenticia, es posible acortar los ciclos de engorda y alcanzar hasta tres ciclos productivos por año, lo cual beneficia el ámbito económico. En coincidencia con Engle (2017) las granjas que emplean alimentadores automáticos mejoran las tasas de alimentación, reducen los costos de producción y disminuyen el impacto ambiental.

La procedencia, calidad y densidad de siembra de las postlarvas son fundamentales para la intensificación sostenible. Es necesario que las postlarvas provengan de laboratorios certificados para garantizar altas tasas de sobrevivencia. La mayoría de las granjas analizadas obtiene las postlarvas de laboratorios en municipios cercanos e incluso de la misma localidad, pero no todos están certificados, lo que a veces pone en riesgo el ciclo productivo.

Aumentar la densidad de siembra implica proporcionar las condiciones óptimas para el desarrollo de las postlarvas, como el sistema de aeración para mantener niveles adecuados de oxígeno. Sin embargo, muchas granjas en Sinaloa enfrentan obstáculos debido a la falta de electricidad, lo que les obliga a oxigenar el agua a través del bombeo, lo que resulta un aumento en los costos por el uso

de diésel. Emplear aireadores mecánicos es sin duda una de las mejores alternativas para garantizar la oxigenación y así aumentar la densidad de siembra.

El manejo de enfermedades ha sido un desafío constante en la camaronicultura, especialmente debido al virus de la mancha blanca, el virus de la cabeza amarilla y bacterias patógenas que provocan vibriosis. Estas enfermedades son una preocupación principal para los productores, ya que ralentizan el crecimiento del camarón y, en los casos más graves, pueden provocar una muerte masiva en cuestión de horas. Una práctica de intensificación sostenible es la incorporación del uso de probióticos.

Estudios recientes han demostrado que el uso de probióticos es una de las mejores opciones para prevenir enfermedades, debido a que tienen la capacidad de proteger a los organismos cultivados de patógenos (El-Saadony et al., 2022). Se identificó que las granjas que utilizan probióticos mejoraron la conversión alimenticia. Además, realizaron pruebas para analizar la calidad del agua y se demostró que la calidad del agua que salía (cuando se usaban probióticos) era mejor que la del agua se recibida directamente del mar, lo cual concuerda con los hallazgos reportados por Maftuch et al. (2013).

Las granjas mejoraron el porcentaje de sobrevivencia de las postlarvas, pasando del 60% con el uso de antibióticos al 85% con probióticos, y eliminando el uso de antibióticos. Esto se debe a que está comprobado que los antibióticos promueven bacterias resistentes a antibióticos Cabello (2006), y además el uso excesivo de antibióticos afecta a la salud humana debido a la alta cantidad de residuos, lo que puede provocar alergias (Kathleen et al., 2016).

Las principales limitaciones para que los productores incorporen prácticas de intensificación sostenible están relacionadas con el arraigo a las prácticas locales, reticencia al cambio y falta de incentivos que ofrece el mercado para incorporar certificaciones relacionadas con la producción sostenible, especialmente para granjas extensivas y semi intensivas cuya producción se

destina al mercado local. Esto coincide con lo reportado por Little et al. (2016), quienes también destacan la importancia de la inclusión a los pequeños productores en la cadena de valor.

5.1.2 Factores que mejoran al grado de sostenibilidad económica, social y ambiental en los sistemas de producción

La metodología del Marco MESMIS permitió evaluar la sostenibilidad de granjas con distintos grados de intensificación. Los factores que mejoraron el grado de sostenibilidad económica, social y ambiental fueron la innovación, productividad, estabilidad y autogestión.

En la innovación se destaca el uso de alimentadores automáticos, sistemas de aeración y empleo de probióticos, esenciales para mejorar la sostenibilidad. Estas innovaciones están relacionadas con la productividad al permitir incrementar la densidad de siembra, la conversión alimenticia y los rendimientos.

El atributo de estabilidad contribuye a mejorar el índice de sostenibilidad, mediante la implementación de prácticas de manejo de seguridad, seguimiento de prácticas de bioseguridad, reducción del uso de productos químicos y con el cumplimiento de las normas de seguridad por parte de los trabajadores.

La autogestión mejora el índice de sostenibilidad al permitir la toma de decisiones, el interés en la cría de camarones y la fijación del precio de venta. Sin embargo, los pequeños productores enfrentan dificultades para ingresar a los mercados debido a su bajo volumen de producción, lo que representa una amenaza según lo reportado por Joffre et al. (2018).

5.1.3 Acciones de mejora en la intensificación sostenible

La sostenibilidad en la producción de camarón en México puede mejorarse mediante la adopción de tecnologías emergentes, como los alimentadores automatizados y sistemas de aeración eficientes. Se encontró evidencia de un caso de éxito en el estado de Sonora, donde han incorporado tecnologías de

Ecuador y han logrado excelentes resultados empleando probióticos y cuentan con certificaciones para el cuidado ambiental.

Hay evidencia de países líderes en la materia que han logrado una intensificación sostenible, como Tailandia, donde la incorporación de buenas prácticas de manejo ha llevado a un aumento de la producción, incluso utilizando sistemas superintensivos e hiperintensivos (FAO, 2016). También hay pruebas de una mejora de la sostenibilidad de los cultivos en Indonesia mediante el uso de tecnologías intensivas y superintensivas (Mustafa et al., 2023). En Vietnam, hay evidencia de que la adopción de sistemas innovadores es necesaria para avanzar hacia una intensificación sostenible (Joffre et al., 2018).

La demanda de camarón sigue creciendo, lo que beneficia la reducción de la sobrepesca y ofrece ventajas en la producción acuícola. Es necesario intensificar la producción de manera sostenible, lo que requiere concientizar a los productores de todos los tamaños sobre la minimización de impactos ambientales. Las instituciones públicas deben brindar apoyo para asegurar que todas las granjas tengan acceso a la electricidad, un requisito indispensable para avanzar hacia la sostenibilidad, así como para la adquisición de insumos básicos.

Las instituciones de investigación necesitan su apoyo para desarrollar nuevas tecnologías en la formulación de alimentos más sostenibles, así como para el manejo de residuos acuícolas y efluentes.

5.2 Limitaciones y pautas para futuras investigaciones

Estudios anteriores sobre la sostenibilidad en la producción de camarón en México se han centrado en aspectos técnicos como rendimientos y formulación de alimentos, sin considerar los niveles de intensificación. Este estudio analizó la sostenibilidad económica, social y ambiental de tres sistemas de producción (extensivo, semi-intensivo e intensivo) desde una perspectiva de intensificación sostenible. Sin embargo, sus limitaciones principales están relacionadas con el tamaño de la muestra analizada. Esta limitación es más evidente en la

caracterización de los métodos de producción y la identificación de prácticas de intensificación sostenible, ya que fue el primer intento de una universidad en este campo, lo que llevó a cierto hermetismo por parte de algunos informantes a la hora de proporcionar información, ya que también estaban relacionados con temas de inspección sanitaria.

No obstante, el apoyo de los comités estatales de Sonora y Sinaloa minimizó esta situación a través de padrones, lo que permitió la inclusión de productores clave. Además, estos productores refirieron a más informantes y casos contrastantes en la forma de producir.

El estudio se centró en que las buenas prácticas de manejo y adopción de tecnologías son indispensables para la intensificación sostenible porque se minimiza el brote de enfermedades, por lo que otra limitación se relaciona con posicionar como problema principal las enfermedades en los estanques, quitándole peso a la influencia del entorno institucional en el que están integrados los productores y cómo se liga con su decisión de adopción de prácticas de intensificación sostenible.

En futuras investigaciones se recomienda el análisis con una muestra más amplia e incluir otros sistemas de producción acuícola, como el sistema biofloc. También es recomendable analizar la cadena de valor y sus implicaciones con el entorno institucional.

5.3 Literatura citada

- Cabello, F. C. (2006). Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: A growing problem for human and animal health and for the environment. *Environmental Microbiology*, 8(7), 1137–1144. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01054.x>
- El-Saadony, M. T., Swelum, A. A., Abo Ghanima, M. M., Shukry, M., Omar, A. A., Taha, A. E., Salem, H. M., El-Tahan, A. M., El-Tarabily, K. A., & Abd El-Hack, M. E. (2022). Shrimp production, the most important diseases that threaten

it, and the role of probiotics in confronting these diseases: A review. *Research in Veterinary Science*, 144(January), 126–140. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2022.01.009>

Engle, C. R. (2017). Economics of Sustainable Intensification of Aquaculture : Evidence from Shrimp Farms in Vietnam and Thailand. *Journal of the World Aquaculture society*, 48(2), 227–239. <https://doi.org/10.1111/jwas.12423>

FAO. (2016). Sustainable intensification of aquaculture in the Asia-Pacific region. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

Joffre, O., Klerkx, L., & Khoa, T. N. (2018). Aquaculture innovation system analysis of transition to sustainable intensification in shrimp farming. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(34), 1–11.

Kathleen, M. M., Samuel, L., Felecia, C., Reagan, E. L., Kasing, A., Lesley, M., & Toh, S. C. (2016). Antibiotic Resistance of Diverse Bacteria from Aquaculture in Borneo. *International Journal of Microbiology*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/2164761>

Little, D. C., Newton, R. W., & Beveridge, M. C. M. (2016). Aquaculture: A rapidly growing and significant source of sustainable food? Status, transitions and potential. *Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3), 274–286. <https://doi.org/10.1017/S0029665116000665>

Maftuch, Prasetio, E., Sudianto, A., Rozik, M., Nurdiyani, R., Sanusi, E., Nursyam, H., Fariedah, F., Marsoedi, & Murachman. (2013). Improvement of innate immune responses and defense activity in tiger shrimp (*Penaeus monodon* Fab.) by intramuscular administration of the Outer Membrane Protein *Vibrio alginolyticus*. *SpringerPlus*, 2(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-432>

Martínez-Córdova, L., Martínez Porchas, M., & Cortés-Jacinto, E. (2009). Camaronicultura mexicana y mundial: ¿actividad sustentable o industria contaminante? *Contaminación ambiental*, 25(3), 181–196.

Mustafa, A., Syah, R., Paena, M., Sugama, K., Kontara, E. K., Muliawan, I., Suwoyo, H. S., Asaad, A. I. J., Asaf, R., Ratnawati, E., Athirah, A., Makmur, Suwardi, & Taukhid, I. (2023). Strategy for Developing Whiteleg Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Culture Using Intensive/Super-Intensive Technology in Indonesia. *Sustainability*, 15(3), 1753. <https://doi.org/10.3390/su15031753>