




El caballito de mar (*Hippocampus* spp.) como modelo de acuicultura tropical con enfoque de conservación

The Seahorse (*Hippocampus* spp.) as a Model for Tropical Aquaculture with a Conservation Approach

Nicolas Vite García^{1,2} Ana Luisa Barrera González³ Lenin Rangel López² Martha Perera García² ¹ Programa de Doctorado en Formación en la Sociedad del Conocimiento, Universidad de Salamanca.España²División Académica de ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco³Universidad Autónoma del Carmen

Autor de correspondencia: Vite García Nicolás. División Académica de ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. nic.vite@gmail.com

Com citar: Vite García *et al.* (2026) El caballito de mar (*Hippocampus* spp.) como modelo de acuicultura tropical con enfoque de conservación. Tropical Aquaculture 4(1):e5760.
DOI10.19136/ta.a4n1.5760

Recibido: 13 abril 2026

Aceptado: 12 de mayo 2026

Licencia creative commons:
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International



Resumen

La acuicultura en regiones tropicales ha sido promovida históricamente bajo esquemas orientados a la rentabilidad económica, mientras que la conservación de la biodiversidad ha sido tratada como un ámbito separado del uso productivo de los recursos. Esta dicotomía resulta particularmente problemática en contextos costero-estuarinos tropicales, donde el bienestar de las comunidades humanas y la integridad de los ecosistemas están estrechamente interrelacionados. Este trabajo propone a *Hippocampus* spp. como un modelo de acuicultura tropical con enfoque de conservación, no orientado a la producción industrial, sino al uso del cultivo como herramienta para la conservación, la educación ambiental y la generación de beneficios sociales y económicos diversificados. El modelo se sustenta en tres ejes centrales: (i) *Hippocampus* spp. como especie bandera y organismo articulador entre biodiversidad, conocimiento y territorio; (ii) una gobernanza tripartita basada en la articulación funcional entre comunidades organizadas, instituciones académicas y el Estado; y (iii) una lógica de flujos de beneficios múltiples, donde los retornos ecológicos, sociales y económicos indirectos son prioritarios frente a la maximización de volúmenes productivos. Se resalta el cultivo de *Hippocampus* spp. como un modelo de sostenibilidad socioecológica frente a la crisis socioambiental, integrando conservación, uso responsable de la biodiversidad y bienestar territorial en contextos tropicales, a partir de una revisión conceptual y sintética de la literatura científica especializada.

Keywords: Acuicultura de conservación; *Hippocampus* spp.; especie bandera; cooperativas de plataforma; acuicultura tropical; sostenibilidad socioambiental

Abstract

Aquaculture in tropical regions has historically been promoted under frameworks oriented toward economic profitability, while biodiversity conservation has been treated as a separate sphere from the productive use of natural resources. This dichotomy is particularly problematic in tropical coastal-estuarine contexts, where the well-being of human communities and the integrity of ecosystems are closely interconnected. This paper proposes *Hippocampus* spp. as a model for conservation-oriented tropical aquaculture, not aimed at industrial production, but at the use of cultivation as a tool for conservation, environmental education, and the generation of diversified social and economic benefits. The model is structured around three core components: (i) *Hippocampus* spp. as a flagship species and an articulating organism linking biodiversity, knowledge, and territory; (ii) a tripartite governance framework based on the functional articulation among organized communities, academic institutions, and the State; and (iii) a logic of multiple benefit flows, in which ecological, social, and indirect economic returns are prioritized over the maximization of production volumes. The cultivation of *Hippocampus* spp. is highlighted as a socioecological sustainability model in the face of the socioenvironmental crisis, integrating conservation, responsible use of biodiversity, and territorial well-being in tropical contexts, based on a conceptual and synthetic review of the specialized scientific literature.

Keywords: Conservation aquaculture; *Hippocampus* spp.; flagship species; platform cooperatives; tropical aquaculture; socio-environmental sustainability.

Introducción

Durante las últimas décadas, la acuicultura ha sido promovida principalmente como una actividad productiva orientada a la generación de alimentos y recursos económicos. Paralelamente, la conservación de la biodiversidad ha sido abordada como un ámbito separado, frecuentemente desvinculado del uso directo de los recursos naturales. Esta separación conceptual ha resultado en una falsa dicotomía entre producción y conservación, particularmente problemática en regiones tropicales costero-estuarinas, donde las comunidades humanas dependen estrechamente de los ecosistemas marinos y donde las presiones antropogénicas continúan en aumento (Berkes 2009, FAO 2020).

En este contexto, surge la necesidad de replantear el papel de la acuicultura más allá de un enfoque estrictamente productivo, reconociendo su potencial como herramienta de conservación, educación ambiental y apropiación social del recurso. Bajo esta perspectiva, ciertas especies no convencionales adquieren un valor estratégico, no por su rendimiento productivo, sino por su capacidad para articular objetivos ecológicos, sociales y culturales (Salafsky *et al.*, 2001, Folke *et al.*, 2005). Entre estas especies, los caballitos de mar del género *Hippocampus* destacan por reunir un conjunto singular de características biológicas, ecológicas y simbólicas.

Los caballitos de mar presentan historias de vida altamente especializadas, baja fecundidad, fuerte asociación con el hábitat y limitada movilidad, lo que los hace particularmente vulnerables al deterioro ambiental y a la explotación directa. Estas mismas características han llevado a que el grupo sea considerado un indicador del estado de salud de los ecosistemas costeros y una especie bandera para la conservación marina (Foster y Vincent 2004, Shokri *et al.*, 2009). A nivel internacional, todas las

especies de *Hippocampus* se encuentran listadas en el Apéndice II de CITES, reflejando la preocupación global por la disminución de sus poblaciones naturales (Vincent *et al.*, 2014, Vite-García *et al.*, 2017). Diversos análisis han demostrado que esta inclusión ha tenido efectos medibles en la reducción del comercio internacional de caballitos de mar vivos, particularmente en el ámbito ornamental, aunque con impactos limitados frente al comercio de ejemplares secos (Foster *et al.*, 2022).

En coherencia con lo anterior, el énfasis del modelo en la participación social, la generación de conocimiento y la sensibilización ambiental resulta coherente con evidencias recientes que destacan la importancia de enfoques colaborativos y no extractivos para la conservación de *Hippocampus* spp. en ecosistemas costeros (Oliveira *et al.*, 2025).

En regiones tropicales como el Golfo de México, donde convergen una alta biodiversidad, una intensa actividad humana y comunidades con limitada oferta de alternativas productivas sostenibles, el caballito de mar representa una oportunidad para explorar modelos de acuicultura orientados prioritariamente a la conservación. Más que promover su cultivo con fines comerciales, este enfoque plantea la transferencia de tecnología acuícola como un medio para fortalecer el vínculo entre las comunidades y su entorno natural, fomentar el uso responsable de los recursos y contribuir a la preservación de los ecosistemas costeros (Koldewey y Martin-Smith 2010, Cohen *et al.*, 2017).

El presente trabajo propone al caballito de mar (*Hippocampus* spp.) como un modelo de acuicultura tropical con enfoque de conservación, integrando elementos biológicos, tecnológicos y sociales, y discutiendo su potencial como herramienta de aprovechamiento sostenible y especie bandera en contextos costero-estuarinos.

Materiales y métodos

El presente trabajo se desarrolló a partir de una revisión conceptual y narrativa de literatura científica especializada, orientada a integrar enfoques biológicos, tecnológicos y socioecológicos relacionados con el cultivo de *Hippocampus* spp. con enfoque de conservación. Este tipo de revisión se emplea cuando el objetivo principal es articular marcos interpretativos, sintetizar conocimientos existentes y proponer modelos conceptuales, más que evaluar cuantitativamente la evidencia disponible o realizar metaanálisis estadísticos (Grant y Booth, 2009; Snyder, 2019).

La recopilación de información se llevó a cabo mediante búsquedas sistemáticas en bases de datos académicas indexadas, principalmente Google Scholar, así como en repositorios institucionales y bibliotecas universitarias. Se utilizaron combinaciones de palabras clave en español e inglés, entre las que destacan: *Hippocampus*, *seahorse aquaculture*, *conservation aquaculture*, *tropical aquaculture*, *flagship species*, *socio-ecological systems* y *community-based conservation*. El uso de múltiples términos y enfoques de búsqueda permite ampliar el espectro de fuentes y reducir sesgos temáticos en revisiones de carácter conceptual (Boell y Cecez-Kecmanovic, 2015).

Se consideraron artículos científicos arbitrados, revisiones, capítulos de libro y documentos técnicos relevantes, publicados mayoritariamente entre 2000 y 2025, priorizando literatura reciente e indexada, sin excluir trabajos clásicos fundamentales para la construcción del marco teórico. Asimismo, se incorporaron documentos normativos y marcos institucionales emitidos por organismos internacionales como la FAO, la Convención CITES y Naciones Unidas, los cuales resultan clave para contextualizar el uso, manejo y conservación de especies acuáticas de interés global (FAO, 2020; Vincent et al., 2014).

La información recopilada fue organizada y analizada mediante un análisis temático,

identificando ejes conceptuales recurrentes y relaciones entre enfoques teóricos, experiencias de cultivo y propuestas de gobernanza. En particular, se estructuró la revisión en torno a cinco ejes principales: (i) acuicultura de conservación, (ii) biología, ecología y cultivo de *Hippocampus* spp., (iii) especies bandera y educación ambiental, (iv) gobernanza socioecológica y participación comunitaria, y (v) flujos de beneficios sociales, ecológicos y económicos indirectos. Este enfoque permite construir narrativas integradoras que conectan distintos cuerpos de literatura y facilitan la proposición de modelos conceptuales en sistemas socioecológicos complejos (Berkes, 2009; Folke et al., 2005).

A partir de este proceso se elaboró un marco interpretativo integrador, orientado a la discusión y formulación de un modelo de acuicultura tropical con enfoque de conservación, en el que el cultivo de *Hippocampus* spp. se concibe como una herramienta para la conservación, la educación ambiental y el fortalecimiento territorial, más que como un sistema productivo convencional.

Resultados

Acuicultura tropical y conservación: marco conceptual

Cualquier propuesta de conservación basada en el uso controlado de los recursos naturales debe reconocer que su viabilidad a largo plazo depende de la existencia de beneficios sociales tangibles para las comunidades involucradas. Desde esta perspectiva, el cultivo de caballitos de mar con enfoque de conservación no se concibe como una actividad ajena a la generación de medios de vida, sino como un modelo de retornos diversificados, en el cual la obtención de ingresos no constituye el objetivo primario, pero sí una condición necesaria para su sostenibilidad social.

En concordancia con este planteamiento, diversas experiencias empíricas documentadas han demostrado que la acuicultura puede desempeñar funciones de conservación, educación ambiental y fortalecimiento comunitario cuando no se orienta exclusivamente a la maximización de la producción. En particular, estudios y revisiones sobre acuicultura de conservación y manejo de especies no convencionales señalan que los sistemas de pequeña escala, articulados con objetivos explícitos de conservación y con esquemas de gobernanza local, pueden generar beneficios ecológicos y sociales sostenidos, aun cuando su rentabilidad económica directa sea limitada (Berkes, 2009; Koldewey y Martin-Smith, 2010; Cohen et al., 2017).

Los retornos económicos pueden manifestarse a través de actividades complementarias como la educación ambiental, el desarrollo de museos comunitarios y acuarios de carácter educativo, la provisión regulada de organismos para acuarios públicos y proyectos de investigación, así como, de manera limitada y certificada, para el comercio ornamental responsable. Bajo este enfoque, la conservación deja de percibirse como una restricción al desarrollo y se configura como una oportunidad para fortalecer economías locales basadas en el conocimiento, la biodiversidad y el territorio.

La implementación del modelo de acuicultura de conservación requiere además una articulación funcional entre comunidades organizadas, instituciones académicas y organismos gubernamentales, donde cada actor cumple un papel específico y complementario. Las universidades y centros de investigación aportan el desarrollo tecnológico, la formación de capacidades locales y el monitoreo biológico; el Estado establece los marcos regulatorios, esquemas de certificación y apoyos iniciales; y las comunidades se apropian del

proceso productivo y de conservación desde una lógica colectiva.

Este enfoque, sustentado en especies bandera y tecnologías de pequeña escala socialmente apropiables, resulta particularmente pertinente para regiones tropicales costero-estuarinas con altos índices de marginación, donde la conservación de los ecosistemas y la generación de bienestar social no pueden abordarse de manera separada. Diversos estudios han mostrado que los caballitos de mar pueden funcionar eficazmente como especies bandera para la conservación estuarina, al generar percepciones positivas entre distintos actores locales y facilitar procesos participativos de gestión y conservación (Oliveira et al., 2025).

El modelo propuesto se inscribe en el marco conceptual de la conservación basada en el uso sostenible, la gobernanza socioecológica y el papel de las especies bandera en la articulación entre biodiversidad, conocimiento y bienestar humano (Salafsky et al., 2001, Berkes 2009, Shokri et al., 2009, Koldewey y Martin-Smith 2010).

De la acuicultura productiva a la acuicultura de conservación

Tradicionalmente, la acuicultura ha sido conceptualizada como una actividad orientada a la maximización de la producción y la rentabilidad económica, priorizando especies con altas tasas de crecimiento, elevada fecundidad y mercados consolidados (FAO 2020). Bajo este enfoque, las especies con historias de vida complejas, baja fecundidad o altos requerimientos de manejo han sido consideradas poco viables o marginales desde el punto de vista productivo. Sin embargo, esta lógica resulta limitada cuando se traslada a contextos tropicales costero-estuarinos, donde los ecosistemas se encuentran estrechamente vinculados a las dinámicas sociales y donde la

conservación de la biodiversidad es inseparable del bienestar humano.

En respuesta a estas limitaciones, surge el concepto de acuicultura de conservación, entendido como el uso deliberado del cultivo de organismos acuáticos no convencionales con el propósito principal de contribuir a la conservación de las especies y sus hábitats, fortaleciendo simultáneamente capacidades locales y generando beneficios sociales tangibles (Koldewey y Martin-Smith 2010, Cohen et al., 2017). En este modelo, la producción de organismos deja de ser un fin en sí mismo y se convierte en un medio para articular objetivos ecológicos, educativos y sociales, particularmente relevantes en regiones tropicales con altos niveles de presión ambiental y marginación social.

Caballito de mar *Hippocampus* spp. como eje del modelo: especie bandera y organismo articulador

Los caballitos de mar del género *Hippocampus* reúnen un conjunto de características que los hacen especialmente adecuados como eje de un modelo de acuicultura de conservación. Desde el punto de vista biológico, presentan historias de vida altamente especializadas, baja fecundidad, cuidado parental masculino y una fuerte asociación con hábitats costeros estructurados, como pastos marinos, macroalgas y manglares (Foster y Vincent 2004). Además, su limitada capacidad de dispersión y alta sensibilidad ambiental incrementan su vulnerabilidad frente al cambio climático, condicionando su distribución futura a través de desplazamientos latitudinales, contracciones en las áreas de distribución y pérdida de hábitats ambientalmente adecuados, como ha sido documentado para diversas especies de syngnátidos en escenarios climáticos recientes y proyectados (Monteiro et al., 2023; Peiffer et al., 2025).

Estas mismas características los hacen particularmente vulnerables a la degradación ambiental y a la captura incidental, lo que ha llevado a todas las especies del género a ser incluidas en el Apéndice II de la Convención CITES (Vincent et al., 2014).

Si bien el caballito de mar no es una especie acuícola convencional, diversos trabajos han demostrado que el cultivo de *Hippocampus* spp. es técnicamente viable bajo condiciones controladas, aunque con requerimientos particulares asociados a su biología, fisiología y comportamiento, lo que refuerza su pertinencia para enfoques de pequeña escala más que para esquemas industriales (Vite-García et al., 2014, 2017, Nájera-Medellín et al., 2023).

Más allá de su biología, los caballitos de mar poseen un alto valor simbólico y educativo, lo que ha motivado su reconocimiento como especies bandera para la conservación de ecosistemas costeros (Shokri et al., 2009). El uso de especies bandera ha demostrado ser una estrategia eficaz para comunicar problemáticas ambientales complejas, movilizar apoyo social e integrar intereses de conservación y desarrollo local (Verísimo et al., 2011). En este sentido, *Hippocampus* spp. no sólo funciona como objeto de conservación, sino como un organismo articulador entre la biodiversidad, el conocimiento científico y las comunidades humanas.

Flujos de beneficios en el modelo de acuicultura de conservación. A diferencia de los esquemas productivos convencionales, el modelo de acuicultura de conservación propone una lógica de flujos de beneficios diversificados, donde la generación de ingresos es un componente necesario, pero no dominante. Estos flujos pueden agruparse en tres grandes categorías interrelacionadas: beneficios ecológicos, beneficios sociales y beneficios económicos indirectos.

Desde el punto de vista ecológico, el cultivo controlado de caballitos de mar contribuye a reducir

la presión directa sobre las poblaciones silvestres al disminuir la demanda de organismos capturados, especialmente para fines ornamentales o educativos. No obstante, esta estrategia adquiere mayor relevancia cuando se acompaña del conocimiento y la revalorización del ecosistema donde vive la especie, reconociendo al caballito de mar como parte integral de una comunidad biológica compleja, cuya conservación se vincula estrechamente con la salud ambiental y la calidad de vida de las poblaciones humanas. Adicionalmente, los sistemas de cultivo funcionan como modelos para el estudio biológico de las especies y para el desarrollo de programas de repoblación o reforzamiento poblacional, cuando se implementan bajo criterios científicos y regulatorios estrictos.

Los beneficios sociales incluyen la educación ambiental, la formación técnica de capacidades locales y el fortalecimiento del vínculo entre las comunidades y su entorno marino-costero. Iniciativas como museos comunitarios, acuarios educativos de pequeña escala y programas de divulgación basados en especies bandera han demostrado ser herramientas efectivas para promover la apropiación social del recurso y la conservación a largo plazo (Berkes 2009, Shokri et al., 2009).

Estos beneficios intangibles sitúan al modelo dentro de una lógica de desarrollo socioecológico, alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente en lo relativo a la reducción de la pobreza (ODS 1), el bienestar básico y la seguridad alimentaria (ODS 2), la educación de calidad (ODS 4), el trabajo decente (ODS 8), la reducción de las desigualdades (ODS 10), los patrones de producción responsable (ODS 12) y la conservación de la vida submarina (ODS 14). En este marco, el cultivo de *Hippocampus* spp. no se concibe como una vía para la acumulación de riqueza, sino como una estrategia orientada a disminuir la vulnerabilidad socioeconómica,

fortalecer medios de vida locales y garantizar condiciones básicas de bienestar y arraigo territorial. De esta forma, el modelo contribuye a la construcción de bienestar colectivo no únicamente a través de ingresos monetarios directos, sino mediante la generación de estabilidad social, cohesión comunitaria y autonomía colectiva, elementos fundamentales para la justicia socioambiental y la resiliencia de las sociedades costeras tropicales.

En cuanto a los beneficios económicos, el modelo plantea retornos diversificados y regulados que pueden incluir la provisión de organismos para acuarios públicos, centros de investigación y programas educativos, así como, de manera limitada y certificada, para el comercio ornamental responsable. Estos ingresos se complementan con servicios de capacitación, asesoría técnica y colaboración en proyectos científicos, configurando una economía local basada en el conocimiento y la conservación, más que en la extracción intensiva del recurso (Cohen et al., 2017).

Adicionalmente, el desarrollo de plataformas de divulgación y educación científica, como canales audiovisuales, repositorios digitales y otras estrategias de comunicación basadas en el conocimiento generado alrededor del cultivo y la conservación de *Hippocampus* spp., puede constituir una fuente relevante de ingresos indirectos. Este tipo de iniciativas, alineadas con esquemas de cooperativismo de plataforma, permiten monetizar contenidos educativos y científicos sin incrementar la presión sobre las poblaciones silvestres, reforzando la sostenibilidad económica del modelo y ampliando su impacto social y territorial.

Roles institucionales y gobernanza del modelo

La implementación exitosa de un modelo de acuicultura de conservación requiere una gobernanza multinivel basada en la colaboración

entre actores con roles claramente definidos. Las comunidades organizadas constituyen el núcleo operativo del modelo, asumiendo la gestión cotidiana de los sistemas de cultivo y la custodia del recurso desde una lógica colectiva y territorial. La experiencia acumulada en esquemas de co-manejo ha demostrado que la participación activa de las comunidades es un factor clave para la sostenibilidad de las iniciativas de conservación basadas en el uso (Berkes 2009).

Las universidades y centros de investigación desempeñan un papel estratégico al aportar el desarrollo tecnológico, la formación de recursos humanos y el monitoreo científico de los sistemas y especies cultivadas. Además, funcionan como garantes del rigor técnico y ético del modelo, asegurando que las actividades de cultivo se mantengan alineadas con los objetivos de conservación y con los marcos regulatorios vigentes.

Por su parte, el Estado tiene la responsabilidad de generar condiciones habilitantes mediante políticas públicas, financiamiento inicial, esquemas de certificación y marcos regulatorios claros. Este rol es particularmente relevante en el caso de especies listadas en CITES, donde la trazabilidad y el control del origen de los organismos son fundamentales para legitimar cualquier esquema de uso (Vincent et al., 2014). La articulación de estos tres actores resulta coherente con los enfoques de gobernanza adaptativa de los sistemas socioecológicos y con los principios de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (Folke et al., 2005, Naciones Unidas 2015).

Acuicultura de conservación, sociedades costeras del conocimiento y cooperativismo de plataforma

El modelo de acuicultura de conservación basado en *Hippocampus* spp. se articula de manera directa

con el concepto de sociedades costeras del conocimiento, entendidas como sistemas socioecológicos en los que la gestión de los recursos marino-costeros se sustenta en la producción colectiva de conocimiento, el aprendizaje social y la interacción entre comunidades locales, instituciones académicas y el Estado (Berkes 2009, Folke et al., 2005). En este contexto, el caballito de mar no constituye únicamente un organismo cultivado, sino un eje cognitivo y simbólico que facilita procesos de educación ambiental, apropiación social del territorio y construcción de capacidades locales.

A diferencia de modelos acuícolas convencionales centrados en la maximización de biomasa, el cultivo de *Hippocampus* spp. prioriza la generación y circulación de conocimiento ecológico, tecnológico y educativo, reforzando su papel como especie bandera para la conservación de ecosistemas costero-estuarinos (Shokri et al., 2009; Veríssimo et al., 2011). Este enfoque permite que las comunidades se vinculen con el recurso desde una lógica de custodia activa, donde el uso controlado y el aprendizaje continuo fortalecen la gobernanza territorial y la conservación basada en el uso sostenible (Salafsky et al., 2001, Berkes, 2009).

Este modelo resulta particularmente compatible con esquemas de cooperativismo de plataforma, en los cuales la cooperación no se limita a la comercialización del recurso biológico, sino que se extiende a la gestión compartida de servicios, información y conocimiento (Cohen et al., 2017). En el caso del caballito de mar, el organismo no constituye el producto central del intercambio, sino un mediador alrededor del cual se articulan plataformas cooperativas para la certificación de origen, la provisión regulada de organismos con fines educativos y científicos, la capacitación técnica y la vinculación con acuarios públicos y museos comunitarios. De esta forma, la generación de valor económico se basa principalmente en servicios y

conocimiento, más que en la extracción directa de organismos.

Una extensión natural de este cooperativismo de plataforma es el uso de plataformas digitales como herramientas de divulgación, educación ambiental y generación de ingresos vinculados a la conservación. Iniciativas como canales educativos en plataformas audiovisuales, desarrolladas por grupos académicos especializados, demuestran que es posible generar recursos económicos mediante la producción y difusión de contenido científico y educativo sin incrementar la presión sobre las poblaciones silvestres (Koldevey y Martin-Smith, 2010). Este enfoque puede conceptualizarse como una forma de conservación de plataforma, en la cual la biodiversidad, el conocimiento científico y la comunicación se integran en un mismo sistema de aprovechamiento sostenible.

Bajo esta perspectiva, el caballito de mar se consolida no sólo como objeto de conservación o de cultivo, sino como un nodo central de una red socioecológica y digital, donde convergen ciencia, comunidad y tecnología. La integración de sociedades costeras del conocimiento, cooperativismo de plataforma y plataformas digitales amplía el alcance del modelo de acuicultura de conservación, haciéndolo especialmente pertinente para regiones tropicales costero-estuarinas con altos niveles de marginación, donde la conservación de los ecosistemas y el bienestar social deben construirse de manera simultánea y territorialmente situada (FAO 2020, Naciones Unidas 2015).

La Figura 1 representa un modelo de acuicultura de conservación sustentado en una gobernanza tripartita entre Estado, comunidades locales y academia, en el cual *Hippocampus* spp. actúa como organismo eje y especie bandera. El modelo opera mediante flujos funcionales específicos: cumplimiento normativo entre Estado y comunidad, financiamiento e investigación entre

Estado y academia, y transferencia tecnológica entre academia y comunidad. El cultivo de *Hippocampus* spp. se concibe como una herramienta de conservación y educación ambiental, no como un fin productivo. El modelo se inserta en marcos conceptuales asociados a las sociedades costeras del conocimiento y al cooperativismo de plataforma, y conduce como resultado emergente a la sostenibilidad socioecológica territorial. La disposición triangular no representa una jerarquía entre actores, sino una articulación funcional orientada al bienestar colectivo en contextos costero-estuarinos tropicales.

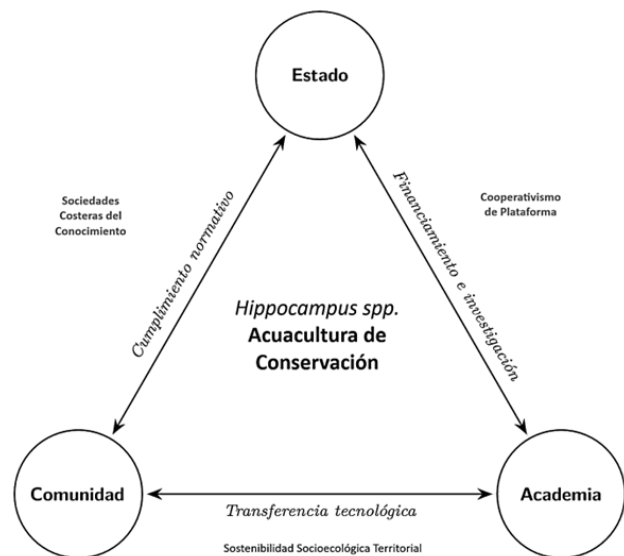


Figura 1. Modelo de acuicultura de conservación basado en *Hippocampus* spp.

Discusión

El modelo de acuicultura de conservación basado en *Hippocampus* spp. representa un cambio conceptual profundo respecto a los enfoques tradicionales de la acuicultura tropical, históricamente orientados a la maximización de la producción y la rentabilidad económica. En contraste, este modelo propone una visión alternativa en la que el cultivo de organismos

acuáticos se concibe como una herramienta para la conservación, la educación ambiental y la articulación social, más que como un fin productivo en sí mismo. Esta aproximación se alinea con los planteamientos de la conservación basada en el uso sostenible, donde el valor de los recursos naturales no se limita a su explotación económica directa, sino que incorpora dimensiones ecológicas, sociales y culturales (Salafsky et al., 2001, Berkes, 2009).

Desde esta perspectiva, la acuicultura deja de ser exclusivamente una actividad extractiva para convertirse en una práctica de mediación entre las sociedades humanas y los ecosistemas acuáticos. En regiones tropicales costero-estuarinas, caracterizadas por una alta biodiversidad y por relaciones históricamente estrechas entre las comunidades y su entorno natural, esta visión resulta particularmente pertinente. La acuicultura de conservación reconoce que el bienestar humano y la integridad ecológica no son objetivos opuestos, sino interdependientes, y que su integración requiere marcos de gobernanza y prácticas productivas distintas a las del modelo industrial dominante (Folke et al., 2005, FAO, 2020).

Uno de los aspectos centrales del modelo propuesto es su no escalabilidad industrial, característica que debe entenderse no como una limitación técnica, sino como una decisión filosófica y ética. Los caballitos de mar presentan historias de vida incompatibles con esquemas de producción intensiva: baja fecundidad relativa, cuidado parental masculino, crecimiento lento y alta sensibilidad a las condiciones ambientales (Foster y Vincent 2004, Koldewey y Martin-Smith 2010). Intentar forzar su cultivo hacia lógicas industriales implicaría no sólo un alto riesgo biológico, sino una contradicción con los objetivos de conservación que se persiguen.

Este carácter no escalable obliga a replantear la noción de éxito en acuicultura. En lugar de medir el desempeño en términos de volumen producido o rentabilidad económica directa, el modelo se centra

en indicadores como la reducción de presión sobre poblaciones silvestres, la generación de capacidades locales, la apropiación social del recurso y la consolidación de procesos de gobernanza territorial. En este sentido, el modelo se distancia explícitamente de la idea de que toda actividad acuícola deba traducirse necesariamente en crecimiento económico continuo, cuestionando una de las premisas más arraigadas del desarrollo contemporáneo (Pauly 1997, Berkes et al., 2003).

Esta postura resulta especialmente relevante en el contexto actual de crisis socioambientales globales, donde se ha señalado la necesidad de transitar hacia modelos de desarrollo que reconozcan los límites ecológicos y que promuevan relaciones más equilibradas entre sociedad y naturaleza. La acuicultura de conservación se inscribe así en un enfoque de “crecimiento limitado” o “post-extractivista”, en el que la sostenibilidad se construye a partir de la moderación, la diversificación de beneficios y la integración al ecosistema, más que de la expansión productiva (Folke et al., 2016).

Dentro del modelo propuesto, *Hippocampus* spp. no debe entenderse como el objetivo final del sistema de acuicultura, sino como un vehículo simbólico, pedagógico y articulador. Su valor radica menos en su potencial productivo y más en su capacidad para movilizar interés social, comunicar problemáticas ambientales complejas y facilitar procesos de aprendizaje colectivo. Estas características lo han posicionado como una especie bandera eficaz para la conservación de ecosistemas costeros, al funcionar como un enlace emocional y cognitivo entre la sociedad y la biodiversidad marina (Shokri et al., 2009, Veríssimo et al., 2011).

El carácter icónico, atractivo y biológicamente singular de los caballitos de mar permite que el cultivo con fines de conservación se convierta en una plataforma para la educación ambiental, la divulgación científica y la apropiación social del

conocimiento. En este sentido, la especie actúa como un “organismo mediador” que facilita la reintegración de las comunidades al ecosistema, no sólo a través del uso controlado del recurso, sino mediante la comprensión de los procesos ecológicos que lo sustentan. Esta función pedagógica resulta fundamental en contextos donde la desconexión entre sociedad y naturaleza ha contribuido al deterioro ambiental y a la pérdida de capital social (Berkes 2009).

Bajo esta lógica, conservar no significa simplemente proteger o restringir el uso, sino reaprender a habitar el ecosistema, reconociendo a los organismos no humanos como parte de un entramado socioecológico del cual las comunidades forman parte. El caballito de mar, en este modelo, es un medio para reconstruir ese vínculo, articulando ciencia, cultura y territorio en una práctica acuícola que trasciende la producción y se orienta hacia la conservación activa y el bienestar colectivo (Folke et al., 2005, Koldewey y Martin-Smith 2010).

Desde esta posición, resulta pertinente contrastar el modelo conceptual propuesto con experiencias empíricas situadas, las cuales permiten evaluar la coherencia del enfoque en contextos reales. En la costa del Pacífico mexicano existe una iniciativa privada dedicada al cultivo de *Hippocampus ingens*: “Ingens Cultivos Marinos”, que ha operado de forma continua durante más de 20 años, integrando actividades de educación ambiental, divulgación científica y visitas guiadas, sin orientarse a esquemas de producción intensiva ni a la explotación comercial a gran escala. Esta experiencia constituye un ejemplo empírico relevante de cultivo de caballito de mar con fines de conservación en México, particularmente por su permanencia en el tiempo y su énfasis en funciones educativas y de sensibilización ambiental.

Este tipo de iniciativas no se limita a contextos locales o comunitarios. A nivel internacional,

existen experiencias consolidadas que refuerzan la viabilidad del enfoque aquí propuesto desde una perspectiva académica e institucional. En Vigo (España), programas de investigación desarrollados por instituciones científicas han llevado a cabo, por más de quince años, estudios continuos sobre el cultivo, la biología y la conservación de caballitos de mar y otros syngnátidos, integrando de manera consistente la investigación experimental con actividades de divulgación científica, educación ambiental y sensibilización social.

Este esfuerzo ha trascendido el ámbito estrictamente académico mediante el desarrollo de plataformas de comunicación y divulgación accesibles al público, como el canal educativo SyngDoc, orientado a la difusión del conocimiento sobre los syngnátidos y su conservación, así como iniciativas de sensibilización territorial como Hippoparques, que vinculan ciencia, sociedad y conservación. Estas experiencias evidencian que el cultivo de *Hippocampus* spp. y de otros Syngnathidae puede funcionar como una plataforma para la generación de conocimiento, educación ambiental y participación social informada, contribuyendo indirectamente a esquemas emergentes de gobernanza socioecológica, más que como un sistema productivo convencional.

En el contexto mexicano, han existido programas universitarios que, durante lustros, han generado una robusta capacidad técnica y científica en ambientes tropicales. Sin embargo, la persistencia de estas iniciativas no garantiza por sí misma un impacto positivo en el territorio si no existe un cambio en la lógica de gobernanza.

Trabajos recientes en la Península de Yucatán (ej. Sánchez-Becerril et al., 2024) evidencian una tendencia a reducir este conocimiento científico a una métrica puramente mercantil, centrando sus esfuerzos en modelos bioeconómicos estocásticos para determinar el 'tiempo óptimo de cosecha' y la maximización de beneficios económicos dentro de

la industria ornamental. Esta aproximación, al priorizar la variable *profit* (ganancia) sobre la resiliencia socioecológica, corre el riesgo de convertir una especie bandera en una simple mercancía.

La fragilidad de estas iniciativas —como se ha observado en diversas Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) de la región, orientadas a la producción de especies ornamentales como *Hippocampus* spp. y otras especies costeras y arrecifales— sugiere que la viabilidad del cultivo no depende de la factibilidad biológica, la cual presenta avances importantes, sino del propósito del sistema. Cuando la lógica de inserción es puramente mercantil, el proyecto se vuelve vulnerable a las fluctuaciones del mercado y pierde su arraigo territorial, colapsando a pesar de contar con el conocimiento técnico necesario. Mientras el modelo de mercado busca la eficiencia productiva para el coleccionismo, el enfoque de acuicultura para la conservación aquí propuesto busca la apropiación social del recurso. La comparación refuerza la tesis de que el cultivo de *Hippocampus* adquiere verdadera resiliencia cuando se inserta en un clan horizontal de colaboración (comunidad-academia-estado), orientándose a la soberanía del conocimiento y no exclusivamente a la rentabilidad de corto plazo.

Es crucial advertir que el fomento de una acuicultura orientada exclusivamente al mercado de ornamentales en regiones tropicales conlleva riesgos sistémicos significativos. Al validar y promover el comercio de *Hippocampus* spp. como una mercancía de lujo, se genera una demanda que, en contextos de alta marginación, difícilmente podrá ser satisfecha únicamente por la producción en cautiverio. La existencia de un mercado legal de ornamentales a menudo incentiva la extracción furtiva de ejemplares silvestres para su 'blanqueo' en la cadena comercial, dificultando las labores de vigilancia y protección. Por el contrario, al proponer

un modelo donde el valor reside en el conocimiento y la custodia del territorio —y no en la venta del organismo— se elimina el incentivo económico para la extracción ilegal, convirtiendo a la comunidad en el principal guardián de su biodiversidad.

Las implicaciones del modelo de acuicultura de conservación basado en estas especies van más allá del caso específico de los caballitos de mar y plantean preguntas de fondo para la acuicultura tropical en su conjunto. En particular, invitan a reflexionar sobre el papel de las especies no convencionales, de bajo rendimiento productivo, pero alto valor ecológico y social, dentro de estrategias integradas de conservación y desarrollo local. Este enfoque sugiere que no toda acuicultura debe orientarse al mercado global, ni toda conservación debe desvincularse del uso humano, abriendo espacio para prácticas híbridas, situadas y territorialmente específicas (FAO 2015, Berkes 2009).

En regiones costero-estuarinas tropicales con altos niveles de marginación, donde las alternativas productivas sostenibles son limitadas, modelos como el aquí propuesto ofrecen una vía para construir economías locales basadas en el conocimiento, la educación y la custodia del patrimonio natural. La articulación entre comunidades, academia y Estado resulta indispensable para sostener estos procesos en el tiempo, garantizando que la acuicultura de conservación no se convierta en una iniciativa aislada, sino en un componente integral de estrategias de gobernanza socioecológica de largo plazo (Folke et al., 2005, Naciones Unidas, 2015).

Conclusiones

En conjunto, el modelo aquí propuesto sugiere la necesidad de transitar gradualmente desde una lógica centrada en la maximización de la producción

hacia enfoques de acuicultura que reconozcan el valor de los beneficios ecológicos y sociales que, aunque no siempre son inmediatamente visibles o cuantificables, resultan fundamentales para la sostenibilidad de la vida y del bienestar humano a mediano y largo plazo. Este cambio de visión no se construye de manera abrupta ni desde un solo sector, sino como un proceso social acumulativo que atraviesa distintos ámbitos del conocimiento, la producción y la vida cotidiana.

El caballito de mar (*Hippocampus* spp.) no debe ser concebido como una especie acuícola convencional ni como un recurso productivo clásico. Su mayor valor no radica en la biomasa que puede generar, sino en su capacidad para funcionar como especie bandera, organismo pedagógico y articulador socioecológico en regiones costero-estuarinas tropicales. En este sentido, el cultivo de *Hippocampus* spp. representa un medio —no un fin— para la conservación, la educación ambiental y la apropiación social del territorio.

En coherencia con este cambio de visión, el modelo de acuicultura de conservación aquí propuesto, cuestiona la premisa de que toda actividad relacionada con recursos naturales debe orientarse prioritariamente a la maximización económica o a la escalabilidad industrial. La deliberada no escalabilidad del modelo no constituye una debilidad, sino una decisión ética y ecológica que reconoce las limitaciones biológicas de la especie y los límites del propio ecosistema. Bajo esta lógica, el éxito del modelo se mide en términos de conservación efectiva, fortalecimiento comunitario y generación de conocimiento, más que en volúmenes de producción.

La acuicultura de conservación permite transitar de una relación extractiva hacia una relación coexistente con los ecosistemas acuáticos, en la cual las comunidades dejan de situarse frente al recurso para reintegrarse dentro de él. El cultivo de caballitos de mar, apoyado por la educación

ambiental y la divulgación científica, favorece procesos de reaprendizaje ecológico, reconstrucción del vínculo sociedad-naturaleza y resignificación del patrimonio biológico local.

Asimismo, la articulación del modelo con sociedades costeras del conocimiento y esquemas de cooperativismo de plataforma amplía el espectro de beneficios más allá del cultivo mismo, incorporando flujos de valor asociados a servicios educativos, científicos, culturales y comunicativos. Estrategias como museos comunitarios, acuarios educativos y plataformas digitales de divulgación demuestran que es posible generar bienestar conservando, sin incrementar la presión sobre las poblaciones silvestres. En este contexto, la conservación de plataforma se consolida como una vía legítima y contemporánea de aprovechamiento sostenible.

Finalmente, el modelo de acuicultura de conservación basado en *Hippocampus* spp. es replicable en regiones tropicales costero-estuarinas con alta marginación social, siempre que exista una articulación funcional entre comunidades organizadas, instituciones académicas y el Estado. Más que ofrecer una solución universal, este enfoque propone una manera distinta de pensar la acuicultura y la conservación: no como actividades separadas ni como fines económicos en sí mismos, sino como procesos integrados de construcción territorial, cuidado del ecosistema y bienestar colectivo. En un contexto global de crisis ambiental, este tipo de modelos contribuye a re-imaginar el papel de la acuicultura en la transición hacia sociedades más justas, resilientes y ecológicamente integradas.

Literatura citada

Berkes, F. (2009). Evolution of co-management: Role of knowledge generation, bridging organizations and social learning. *Journal of*

- Environmental Management*, 90(5), 1692–1702.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.12.001>
- Berkes, F., Colding, J., & Folke, C. (2003). *Navigating social-ecological systems: Building resilience for complexity and change*. Cambridge University Press.
- Boell, S. K., & Cecez-Kecmanovic, D. (2015). On being ‘systematic’ in literature reviews in IS. *Journal of Information Technology*, 30(2), 161–173.
<https://doi.org/10.1057/jit.2014.26>
- Cohen, F. P., Valenti, W. C., Planas, M., & Calado, R. (2017). Seahorse aquaculture, biology and conservation: knowledge gaps and research opportunities. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 25(1):100–111.
<https://doi.org/10.1080/23308249.2016.1237469>
- FAO (2015) *Voluntary Guidelines for Securing Sustainable Small-Scale Fisheries in the Context of Food Security and Poverty Eradication*. FAO.
- FAO (2020) *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020*. FAO.
<https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. (2005). Adaptive governance of social-ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 30: 441–473.
<https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144511>
- Folke, C., Biggs, R., Norström, A. V., Reyers, B., & Rockström, J. (2016). Social-ecological resilience and biosphere-based sustainability science. *Ecology and Society*, 21(3): 41.
<https://doi.org/10.5751/ES-08748-210341>
- Foster, S. J., & Vincent, A. C. J. (2004). Life history and ecology of seahorses: Implications for conservation and management. *Journal of Fish Biology*, 65(1): 1–61.
<https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2004.00429.x>
- Foster, S. J., Justason, T. A., Magera, A. M., & Vincent, A. C. J. (2022). CITES makes a measurable difference to the trade in live marine fishes: The pioneering case of seahorses. *Biological Conservation*, 272, 109653.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109653>
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), 91–108.
<https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Koldewey, H. J., & Martin-Smith, K. (2010). A global review of seahorse aquaculture. *Aquaculture*, 302(3–4):131–152.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.11.010>
- Naciones Unidas (2015) *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations.
- Nájera-Medellín, J. A., Quiñónez-Martínez, M., Díaz-Gaxiola, J. M., Santos-Fita, D., Narchi, N. E., & Corral-Avitia, A. Y. (2023). Especies de caballito de mar (*Syngnathidae*, *Hippocampus*) de México: estado de conservación y oportunidades futuras. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 58(2): 67–84.
<https://doi.org/10.22370/rbmo.2023.58.2.4209>
- Monteiro, N., Pinheiro, S., Magalhães, S., Tarroso, P., & Vincent, A. C. J. (2023). Predicting the impacts of climate change on the distribution of European syngnathids over the next century. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1138657.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1138657>
- Oliveira, J. M., Sá, R., Correia, M., & Silva, G. (2025). Investigating stakeholders’ perceptions regarding seahorses’ conservation and conflicts in an European estuarine environment. *Regional Studies in Marine Science*, 89, 104283.
<https://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104283>
- Pauly, D. (1997). Small-scale fisheries in the tropics: marginality, marginalization, and some

- implications for fisheries management. *Global trends: fisheries management*, 20: 40–49.
- Peiffer, F., Lepoint, G., & Lejeune, P. (2025). Projected climate change and limited dispersal potential shape the future distribution of two seahorse species. *Marine Biology*, 172, 45. <https://doi.org/10.1007/s00227-025-04717-1>
- Sánchez-Becerril, O., Seijo Gutiérrez, J. C., Vela Magaña, M. A., Mascaró, M., & Simões, N. (2024). Bioeconomics of juvenile seahorse (*Hippocampus erectus*) culture: Optimal harvest time. *Journal of the World Aquaculture Society*, 55(4), e13076. <https://doi.org/10.1111/jwas.13076>
- Salafsky, N., Margoluis, R., Redford, K. H., & Robinson, J. G. (2001). *Adaptive management: A tool for conservation practitioners*. Biodiversity Support Program.
- Shokri, M. R., Gladstone, W., & Jelbart, J. (2009). The effectiveness of seahorses and pipefish (Pisces: Syngnathidae) as a flagship group to evaluate the conservation value of estuarine seagrass beds. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 19(5): 588–595. <https://doi.org/10.1002/aqc.1009>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Verissimo, D., MacMillan, D. C., & Smith, R. J. (2011). Toward a systematic approach for identifying conservation flagships. *Conservation Letters*, 4: 1–8. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2010.00151.x>
- Vincent, A. C. J., Sadovy de Mitcheson, Y., Fowler, S. L., & Lieberman, S. (2014). The role of CITES in the conservation of marine fish species. *Fish and Fisheries*, 15(4): 563–592. <https://doi.org/10.1111/faf.12035>
- Vite-García, N., Simoes, N., Arjona, O., Mascaró, M., & Palacios, E. (2014). Growth and survival of *Hippocampus erectus* (Perry, 1810) juveniles fed on *Artemia* with different HUFA levels. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42(1):150–159. <https://doi.org/10.3856/vol42-issue1-fulltext-12>
- Vite-García, N., López-Jiménez, S., & Rangel-López, L. (2017). Avances en el cultivo de *Hippocampus* spp. (Teleostei: Syngnathidae): investigaciones en el siglo XXI. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(1):1–17. <https://doi.org/10.3856/vol45-issue1-fulltext-1>