

10. Red de conocimiento sobre tecnologías acuícolas sostenibles. Un análisis a partir del cultivo de camarón en el norte de Sinaloa



JORGE INÉS LEÓN BALDERRAMA*

JOSÉ CRISÓFORO CARRAZCO ESCALANTE**

YASSER ENRIQUE MONSIVAIS NERIA***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.10>

Resumen

El presente capítulo analiza la configuración y dinámica de la red de conocimiento sobre tecnologías acuícolas sostenibles (TAS) en el cultivo de camarón en el municipio de Ahome, Sinaloa. La acuicultura, que recientemente superó a la pesca de captura como principal fuente de animales acuáticos, enfrenta importantes retos derivados de sus impactos ambientales, sociales y sanitarios. En este contexto, las TAS —incluidas las innovaciones en mejoramiento genético, salud y control de enfermedades, nutrición y alimentación, así como sistemas productivos de bajo impacto— se reconocen como estrategias fundamentales para avanzar hacia una acuicultura más sostenible. A través de la aplicación de una encuesta a una muestra de 58 granjas camaronícolas y el análisis de redes sociales se identificaron 115 actores y 493 vínculos que constituyen la red regional. Los resultados evidencian una estructura centralizada en la red, ya que existe una gran concentración de los flujos de conocimiento en el Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Sinaloa (CESASIN) y la asociación civil Acuacultores de Ahome; sin embar-

* Doctor en Ciencias Sociales. Profesor-investigador titular en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5550-6162> ; correspondencia: jleon@ciad.mx

** Doctor en Ciencias. Profesor-investigador de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Sinaloa, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9979-4079>

*** Doctorante en Desarrollo Regional en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5777-1121>.

go, las universidades y centros públicos de investigación (UYCPI), como CIAD y CIBNOR, destacan por su creciente importancia en la transferencia de conocimiento especializado y en la difusión de tecnologías emergentes, en particular la genómica, el diagnóstico de enfermedades y sistemas productivos con menor huella ambiental. El análisis evidencia que el tamaño y la antigüedad de las granjas guardan relación con los nodos más centrales de la red, lo que se traduce en ventajas para poder acceder a las innovaciones, por el contrario, las pequeñas granjas mantienen escasos vínculos y poco acceso a información estratégica. Se concluye que fortalecer la conectividad, diversificar los enlaces y consolidar el papel de asociaciones y UYCPI es esencial para ampliar la difusión de las TAS y potenciar la sostenibilidad de la camaricultura en el norte de Sinaloa.

Palabras clave: *tecnologías acuícolas sostenibles, redes de conocimiento, camaricultura.*

Introducción

La acuicultura ha cobrado cada vez una mayor importancia en el suministro mundial de alimentos y ha constituido un componente clave de la seguridad alimentaria (Gephart et al., 2021) y del bienestar de poblaciones rurales como generadora de empleos (Ray et al., 2021). La actividad ha crecido aceleradamente y se ha intensificado en todo el mundo en las últimas dos décadas. En 2022, y por primera vez en la historia, la acuicultura superó a la pesca de captura como principal productora de animales acuáticos. La producción acuícola mundial alcanzó la cifra sin precedentes de 130.9 millones de toneladas, de las cuales 94,4 millones de toneladas corresponden a animales acuáticos, es decir, el 51% de la producción total de animales acuáticos (FAO 2024). El auge de la acuicultura ha ocurrido especialmente en Asia, donde, en 2020, concentró el 70% de la producción. En el caso del cultivo de camarón, la industria se concentra en dos regiones principales, Asia y América Latina (Garlock et al., 2020; Villarreal, 2023).

El crecimiento acelerado de la acuicultura observado en las últimas décadas no ha estado exento de repercusiones ambientales, sociales y eco-

nómicas negativas (Naylor, 2021). La expansión del cultivo de camarón ha producido externalidades ambientales negativas como la destrucción de los manglares (Vázquez-Vera, 2022), la contaminación de la tierra y los recursos hídricos locales (Sonone et al., 2020), y el endeudamiento y el acceso reducido a la tierra para los pequeños productores (Boyd et al., 2021). Los impactos negativos se extienden más allá de los lugares de producción, ya que los sistemas de producción intensiva dependen de la harina y los aceites de pescado utilizados en los alimentos para especies de cultivo (Malcorps et al., 2019). Con frecuencia, el sector se ha enfrentado a brotes de enfermedades que han ocasionado caídas significativas en la producción, como el virus de la mancha blanca, el síndrome de muerte temprana, el síndrome de Taura y la vibriosis, como las principales. En 2013, la producción de camarón de cultivo disminuyó más de 50% debido a las altas tasas de mortalidad ocasionadas por el síndrome de la muerte temprana en particular. Los productores, en su mayoría pequeños agricultores, luchan constantemente por adaptarse a nuevas condiciones de enfermedades. Al tiempo que responden a las demandas de calidad de los consumidores, son presionados por el gobierno local para cumplir con los requerimientos de sanidad e inocuidad acuícola, y compiten con el mercado de importación de camarón de países con mayor desarrollo (Joffre, Poortvliet y Klerkx, 2019).

Si bien se han logrado avances en la transición a sistemas más sostenibles, como, por ejemplo, la adopción de estándares de calidad para el desempeño ambiental y social por parte de los productores (Rector et al., 2023), sigue siendo un desafío desarrollar un sector más sostenible, eficiente y socialmente inclusivo. Particularmente, han ganado terreno los llamados a poner mayor esfuerzo en la implementación de una estrategia de “intensificación sostenible” del sector acuícola (Campanati et al., 2022; Boyd et al., 2020).

La innovación y el avance tecnológico han sido contemplados por diversos organismos como motores clave de la transición hacia la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios, especialmente en el caso de la acuicultura (Henriksson et al., 2021). De acuerdo a especialistas (Waite et al., 2014; Boyd et al., 2020; Yue y Shen, 2022; Villarreal, 2023; Bohara et al., 2024), las tecnologías novedosas y emergentes que pueden contribuir a mejorar la sostenibilidad de la acuicultura (TAS, tecnologías acuícolas sostenibles) se

ubican en cuatro áreas interrelacionadas: (i) crianza y mejoramiento genético; (ii) salud y control de la mortalidad; (iii) nutrición, alimentos y manejo de la alimentación; y, (iv) sistemas acuícolas mejorados y de bajo impacto.

Sin embargo, la difusión de las TAS entre los productores es un proceso que sigue enfrentando serias dificultades y es incipiente. Especialmente los productores pequeños enfrentan una serie de barreras de tipo económico, social, cultural y de información (Ulhaq et al., 2022). Aunque la adopción de las TAS está experimentando un crecimiento en países desarrollados, es aún muy limitada en regiones productoras como el noroeste mexicano, donde se observa que muchos de los acuicultores y extensionistas carecen de información sobre estas tecnologías.

La difusión de las innovaciones se ha estudiado desde múltiples perspectivas y niveles de análisis (Kumar et al., 2018; Ulhaq et al., 2022). Este estudio se basa en la concepción de redes de conocimiento (RC) basadas, a su vez, en la teoría de redes sociales. El enfoque de RC sostiene que las características de las relaciones sociales y las redes que constituyen influyen en las formas mediante las cuales los individuos y los colectivos acceden, transfieren, absorben y aplican el conocimiento (Phelps, 2012). De acuerdo con este enfoque, una RC es un conjunto de actores y relaciones que se centran en un dominio específico de conocimiento (acuacultura, por ejemplo). Las relaciones de los miembros dentro de las RC consisten en comunicación y su recurso es información, conocimiento o experiencia (Mueller, 2006). Bajo esta perspectiva, las interacciones que son objeto de análisis de las RC son los flujos de conocimiento entre los actores, basados en la comunicación. Mueller (2006) sistematiza las propiedades de las RC según sus (1) características estructurales, (2) la naturaleza de los enlaces y (3) el contenido transaccional.

Este capítulo tiene por objetivo conocer cómo se estructura y compone la RC sobre tecnologías acuícolas sostenibles (RC-TAS) en el norte de Sinaloa e identificar sus principales características a partir del cultivo de camarón en el municipio de Ahome, donde destaca el papel de las universidades y centros públicos de investigación (UYCPIS).

Métodos

Ahome es uno de los 20 municipios del estado de Sinaloa, el tercero en importancia económica y puente comercial con el noroeste del país. Está situado en la llanura costera del Pacífico, a la entrada del Golfo de California y en el corazón de una rica región agrícola, el Valle del Fuerte. Es el municipio de mayor aportación a la producción de camarón de cultivo en la entidad, gracias a la vocación para esta actividad, pues cuenta con 120 km de litoral, con bahías, islas, esteros y lagunas (Figura 10.1).

Figura 10.1. Ubicación de la región acuícola de Ahome



Fuente: elaboración propia.

La región cuenta con 11 000 has. disponibles para la producción acuícola, de las cuales se aprovechan alrededor de 8 700, contando con 85 granjas. Administrativamente, en Sinaloa se han establecido 12 regiones acuícolas,

pero Ahome ocupa una posición líder en la producción estatal y nacional de camarón.

La investigación se basa en una encuesta aplicada a una muestra de 58 granjas locales. La encuesta fue aplicada a personal directivo, como propietarios o gerentes. El cuestionario utilizado se diseñó para obtener datos sobre las características de las granjas, como tamaño, antigüedad y sector. Con el fin de contar con datos relacionales, se pidió a los informantes que enumeraran las personas, organizaciones o instituciones que contactan como proveedores de información o asesoramiento sobre avances tecnológicos o técnicos, centrándose en las áreas de mejoramiento genético, control de la mortalidad, nutrición y alimentación animal y sistemas acuícolas de bajo impacto ambiental. Se pidió también informar el sector y la ubicación del contacto. Finalmente, en relación con cada proveedor identificado, se pidió valorar la importancia del contacto, de acuerdo con la frecuencia de los contactos y su aporte a la solución de problemas.

El análisis de la información fue realizado a través de Análisis de Redes Sociales (ARS) y fue apoyado mediante la utilización de los programas Ucinet 6.0 y NetDraw. Este enfoque permite analizar las interacciones entre individuos mediante la configuración de sus estructuras.

Variables y procedimiento de análisis

En este apartado se muestran los principales aspectos y métricas que permiten obtener un análisis descriptivo de identificación de las principales características de la red estudiada (tabla 10.1). Para la obtención de un grafo e indicadores del ARS fue necesario, primero, representar los datos relacionales obtenidos de manera sistematizada para un tratamiento matemático. Para ello, un paso previo fue la elaboración de una matriz de adyacencia. Ésta es una matriz de dimensión $N \times N$, siendo N el número de nodos, y donde aparece un 1 si existe la conexión entre un par de nodos y un 0 en caso contrario. Con una formulación matemática: $A_{ij} = 1$ si existe un enlace que apunta desde el nodo j al nodo i ; $A_{ij} = 0$ si los nodos i y j no están conectados entre sí.

Tabla 10.1. *Parámetros e indicadores del ARS empleados en el estudio y su forma de cálculo*

<i>Parámetro o métrica ARS</i>	<i>Procedimiento para su obtención</i>
<i>Medidas globales de la red</i>	
Tamaño, composición	Se mide por el número total de nodos de identificados, incluye los nodos receptores de información/comunicación, como los emisores.
Topología	Análisis visual del grafo de la red, cualitativo
Grado medio	El grado medio (k) representa el número medio de conexiones que tienen los nodos de un grafo. Se calcula como la suma de los grados de todos los nodos, dividida por el número de nodos. $\langle k \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i = \frac{2L}{N}$
Densidad	La densidad es un indicador que se obtiene del coeficiente entre el número de relaciones existentes y el número de relaciones posibles. Densidad= No. relaciones existentes/ No. relaciones posibles Dónde: Número de relaciones posibles= (N-1)*(N-1) N= número de nodos
<i>Medidas locales de la red</i>	
Centralidad de grado	Este índice se calculó mediante la sumatoria del número de relaciones directas X_{ji} que tiene cada actor en la red. $C. \text{Grado} = \sum_j X_{ji}$
Centralidad de intermediación	Se calcula en base a la distancia más corta entre i y k , en la que reside un actor j , se aplica a siguiente formula: $C. \text{Intermediación} = \sum \frac{g_{jk}(n_i)}{x_{jk}}$ Donde, g_{ik} es el número de la distancia geodésica entre j y k y $g_{ik}(n_i)$ es el número de distancia geodésica al actor i.
Centralidad Bonacich	Se calculó en función de la centralidad de aquellos actores conectados a otro. El índice de BONACICH de un actor se calcula mediante la siguiente fórmula: $C. \text{Bonacich} = \sum_{ij} A_{ij} (\alpha + \beta c_j)$
Fuerza de enlaces	Valor promedio de las valoraciones proporcionadas por los informantes a los reactivos Liker (1: nula...5: muy alta) para <i>frecuencia</i> de los contactos e <i>importancia</i> de la información proporcionada.
Heterogeneidad de enlaces	No. de los distintos giros con los que el nodo tiene contacto (máximo igual a 7).
Contenido transaccional	Análisis cualitativo con base a la información proporcionada por los informantes.

Fuente: elaboración propia, basada en Borgatti et al. (2024) y Wasserman y Faust (1994).

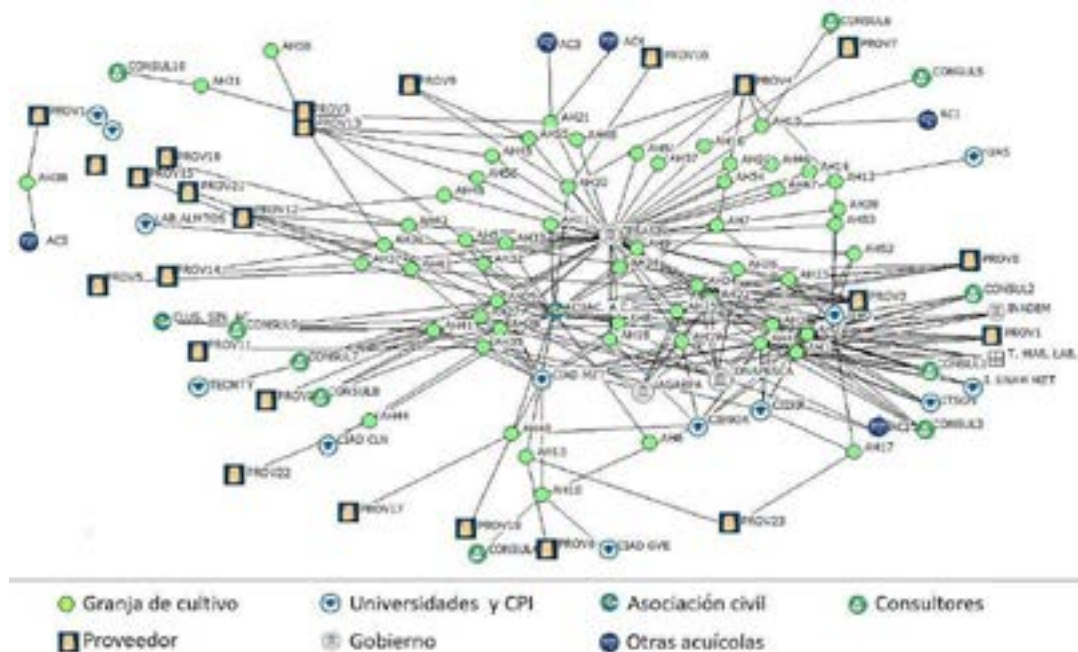
Resultados

Características globales de la RC

A partir de los datos proporcionados por las granjas de cultivo participantes en la encuesta, fue posible conocer características globales de la red. En lo que respecta al tamaño y la composición, se encontró que ésta se integra por 115 nodos y 493 enlaces. Los nodos identificados se componen de 58 granjas, 23 proveedores (alimentos, crías, etc.), 15 UYCPIS, 10 consultorías, 4 organismos gubernamentales, 4 procesadoras y 2 asociaciones civiles. El grado medio en la red fue igual a 4.3, lo que significa que cada nodo tiene 4.3 lazos directos en promedio. La densidad de la red fue de 0.038, lo cual representa un valor bajo de los enlaces existentes respecto a los posibles. Globalmente la red presenta una topología tipo estrella, según puede ser observado en el grafo o sociograma (Figura 10.2). La configuración o estructura de la red visualizada mediante el grafo denota una alta centralización en dos nodos que actúan como fuentes de información o conocimiento de las TAS, lo que representa una concentración de la influencia, relevancia y el liderazgo de estos nodos en el patrón general que tiene la estructuración de los flujos de conocimiento relacionados con la difusión de las mencionadas tecnologías. Casi todos los nodos (empresas) tienen vínculos de transferencia de conocimiento principalmente con 2 nodos centrales: el Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Sinaloa (CESASIN) y la asociación civil Acuicultores de Ahome (ACUAC AC). En una posición secundaria, como nodo central en la red, están algunos UYCPIS y proveedores de insumos. Destaca también la poca integración y posición marginal de más de la mitad de las empresas acuícolas, que tienen entre 1 y 2 enlaces en la red.

Se encontró que la red se extiende más allá de su contexto local y regional, pues incorpora actores ubicados en otras entidades y países. En el caso de los proveedores de alimentos, los 3 más importantes se ubican en Sonora. En el caso de los consultores, 4 se ubican en el extranjero y varios UYCPIS están ubicados en Sonora y uno en los E.U.A.

Figura 10.2. Grafo de la RC-TAS del cultivo de camarón en Ahome



Fuente: elaboración propia.

La relevancia de los distintos actores en la red y las características de los enlaces

Se calcularon indicadores tradicionalmente utilizados en el ARS, como los de posición en la red (centralidad de grado, Bonacich y de intermediación) y las características de los vínculos (fuerza y heterogeneidad). En la tabla 10.2 se muestran los indicadores de centralidad de las granjas por antigüedad, tamaño y sector. Las granjas de antigüedad media tienen centralidades más altas, lo cual indica que este grupo de empresas tiene en promedio un mayor número de contactos mediante los cuales reciben un flujo de información sobre las TAS. Estos contactos se realizan con nodos que poseen pocos vínculos, lo que les confiere poder (C. Bonacich). Los resultados arrojan que las granjas más grandes (+250 empleados) tienen una centralidad más alta que las medianas y las pequeñas.

Mientras que las granjas del sector privado presentan mayor centralidad de grado y de Bonacich, las del sector social obtuvieron valores más altos en la centralidad de intermediación.

Tabla 10.2. *Centralidad de las granjas participantes (valores promedio)*

	<i>Centralidad</i>		
	<i>Grado</i>	<i>Bonacich</i>	<i>Intermediación</i>
Valor promedio	4.3	1145.4	108.7
Antigüedad			
De 1 a 10 años	2.9	906.7	72.7
De 11 a 15 años	5.5	1410.9	130.5
Más de 15 años	3.7	998.5	145.6
No. Empleados			
De 1 a 50	3.5	1025.9	105.4
De 51 a 250	3.6	1032.7	72.6
Más de 250	10.0	2163.0	224.7
Sector social			
Privado	4.3	1178.8	105.4
Social	3.5	936.7	128.9

Fuente: elaboración propia.

La fuerza de los vínculos que establecen las granjas con las fuentes de conocimiento fue evaluada por los mismos informantes, resultando que la mayoría de ellas (98.3%) perciben estos lazos como muy fuertes o medianamente fuertes (tabla 10.3). En lo que respecta a la heterogeneidad de los enlaces, sólo el 15.5% de las granjas posee un conjunto de enlaces altamente heterogéneo, mientras que casi la mitad tiene un conjunto de enlaces escasamente heterogéneo o diverso.

Tabla 10.3. *Fuerza y heterogeneidad de los vínculos sostenidos por las granjas*

<i>Fuerza</i>			<i>Heterogeneidad</i>		
<i>Nivel</i>	<i>N.º granjas</i>	<i>%</i>	<i>Nivel</i>	<i>N.º granjas</i>	<i>%</i>
Alto	36	62.1	Alto	9	15.5
Medio	21	36.2	Medio	22	37.9
Bajo	1	1.7	Bajo	27	46.6

Nota: Fuerza. alta: 4.5-5.0; media: 2.5-4.49; baja: < 2.5. Heterogeneidad. alta: 5 y 6; media: 3 y 4; baja: 1 y 2.

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a las fuentes de conocimiento identificadas en la RC-TAS, destaca la centralidad que tienen el CESASIN y ACUAC AC, así como los

uycpi, entre ellos, principalmente el CIAD-Mazatlán, la Univ. de Occidente, CIBNOR y CIIDIR, así como otros organismos de gobierno (CONAPESCA y SADER) y un grupo de proveedores de alimentos y postlarvas, de acuerdo con sus indicadores de centralidad (Tabla 10.4).

Cabe señalar que, entre las organizaciones gubernamentales, no se identifica la presencia del IMIPAS (Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables), lo cual resulta significativo dadas sus atribuciones en el país como centro de investigación para el sector acuícola y pesquero.

Tabla 10.4. *Principales fuentes de conocimiento de la red. Indicadores de centralidad y fuerza de los vínculos*

<i>Nodo fuente de conocimiento</i>	<i>Centralidad</i>			<i>Fuerza de los lazos</i>
	<i>Grado</i>	<i>Bonacich</i>	<i>Intermediación</i>	
CESASIN	48	6 707.91	3 756.49	4.7
ACUAC AC	26	3 804.08	1 177.28	4.6
CIAD MZT	16	2 965.37	587.81	4.0
CONAPESCA	12	2 727.21	100.17	3.8
UdeO	12	1 825.24	154.72	3.8
CIBNOR	8	1 614.66	133.24	3.1
SAGARPA	7	1 302.84	25.62	5.0
CIIDIR-IPN	7	1 532.41	90.7	3.3
PROV2	7	1 286.95	29.59	3.9
PROV4	6	631.21	37.5	4.7

Fuente: elaboración propia.

El contenido transaccional: ¿qué tipo de conocimientos proveen las fuentes de la red?

El CESASIN es el nodo fuente de conocimiento más importante de la red; se especializa en la información de sanidad y control de la mortalidad, inocuidad y calidad. El conocimiento que transfiere es estandarizado y homogéneo para todos los productores, con una visión tradicional del extensionismo. Es llevado a cabo por personal técnico.

Acuicultores de Ahome A.C. es una asociación en la que los productores más exitosos y de mayor experiencia buscan ser fuente de información para sus pares. Organiza cursos y talleres de capacitación sobre mejores

prácticas para difundir información sobre tecnologías consolidadas, pero también sobre las nuevas alternativas tecnológicas disponibles. Generalmente, la asociación sirve de intermediaria para que el conocimiento de áreas como el mejoramiento genético, alimentos, salud y sistemas productivos “verdes” se difunda de manera colectiva a los productores.

Los proveedores aportan conocimiento en las áreas de alimentos, crías y productos terapéuticos, ligado directamente al tipo de insumos que proveen en la cadena acuícola. Obviamente, la información versa sobre las ventajas de las tecnologías “cristalizadas” en sus productos.

Los UYCPIS juegan un papel muy importante en la RC, ya que proveen información sobre TAS en 4 áreas clave de la acuicultura que se encuentran interrelacionadas: mejoramiento genético, salud, alimentación y medio ambiente. En la tabla 10. 5 se trabajó en una clasificación más detallada de las TAS más avanzadas y prometedoras, sus impactos positivos en la sostenibilidad y las fuentes de conocimiento específicas para cada tecnología. Se puede apreciar cómo el CIAD y otras instituciones académicas transfieren conocimiento sobre tecnologías ligadas a los avances tecnológicos más actuales en el sector. Estas instituciones aportan conocimiento más complejo, basado en las capacidades avanzadas de investigación y desarrollo (I+D), en laboratorios de biología molecular, microbiología, y otras áreas emergentes. Se trata de conocimiento y tecnologías recientes que requieren capacidades locales de I+D para adaptarlas a las condiciones locales. La transferencia de este conocimiento es llevada a cabo por personal altamente calificado y especializado, y requiere de una infraestructura de I+D actualizada y muy especializada.

Discusión y conclusiones

La visualización de la RC-TAS de Ahome mediante el grafo de la figura 10.2 permitió observar la característica forma de estrella y un alto nivel de centralización de la red, al ser el Cosesin una fuente importante y preponderante de asesoramiento técnico para los acuicultores locales. Este rasgo global de la red tiene implicaciones importantes como lo señalan algunos autores (Pheps, 2012, por ejemplo), quienes advierten que las formas muy

Tabla 10.5. Conocimiento sobre TAS y la fuente local de conocimiento

Tecnología acuícola	Efecto en la sostenibilidad acuícola	Fuente o proveedor en la RC
I. CRIANZA Y MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL CAMARÓN		
Tecnologías de selección genética		
• Poslarvas libres de patógenos • Especímenes de mayor tasa de crecimiento y conversión alimenticia	§ Reducción de las tasas de enfermedad y mortandad	Empresas regionales proveedoras de poslarvas (Rosario y Culiacán) Proveedores locales
	§ Uso más eficiente de recursos (mayor producción por unidad de tierra, agua, y trabajador)	
	§ Se requieren menos alimentos	
Tecnologías de selección genómica		
• Tecnologías de marcadores de ADN • Mapeo del genoma • Secuenciación del genoma Genómica funcional	§ Selección más precisa de reproductores resistentes a enfermedades específicas;	CIAD-Mzt, U de O, CIBNOR, CIDIR, ICMYL-UNAM, ITSON, CIAD-Cul, Consultor ecuatoriano
	§ Resistencia a enfermedades acorde a condiciones locales	
	§ Mayor diversidad genética;	
	§ Se reduce uso de antibióticos y otros químicos	
II. SALUD Y CONTROL DE LA MORTALIDAD		
Tecnologías de diagnóstico		
• Marcadores moleculares • La integración de tec. de vanguardia como secuenciación, biosensores, CRISPR, drones, IA • Tecnologías de ADN/ARN ambiental	§ Detección rápida de enfermedades y monitoreo en tiempo real, conduce a una mayor eficiencia y sostenibilidad.	CIAD-Mzt; U de O; CIBNOR-Son; CIDIR, ICMYL-UNAM; CIAD-Cul; Gpo. Consultor Ecuatoriano, Lab. Biotec. de USA (Gene Reach)
	§ El eDNA y eRNA son técnicas innovadoras para detectar el ADN y el ARN de muestras de aire, agua y suelo	
	Alternativas a la terapia con antibióticos	
• Innovaciones de la nanotec. y la biotec., como uso de nanomateriales, fagos, vacunas basadas en biopelículas, fitobióticos, extractos de algas, prebióticos, probióticos y simbióticos	§ Manejo más sustentable de las enfermedades	CIAD-Mzt; One Lab Consultores
	§ Reduce contaminación química	
	§ Combate resistencia a antibióticos	
	§ Múltiples beneficios para la salud, incluido un mejor crecimiento y alivio del estrés oxidativo	
Genómica microbiana		
• La secuenciación de microorganismos patógenos	§ Diagnóstico, tratamiento y control de las enfermedades infecciosas.	CIAD-Mzt;
III. NUTRICIÓN, ALIMENTOS Y MANEJO DE LA ALIMENTACIÓN		
§ Desarrollo de sustitutos de harinas y aceites de pescado, como microalgas, insectos, subproductos y co-productos. § Alimento adicionado con inmuo-estimulantes § Alimentos Nutracéuticos § Desarrollo de alimentos de alto contenido de proteína § Tecnologías de peletización	§ Reducción de la dependencia de las fuentes de proteínas y lípidos de peces marinos.	Multinacionales de alimentos sede en Obregón; Proveedores de Culiacán. Proveedores; CIAD-Mzt; U de O; CIBNOR-Son; UAS;
	§ I+D en digestión animal y requerimiento de nutrientes, alimentos que generan menos excreciones y potencian el crecimiento	
	§ El uso de inmuoestimulantes y nutracéuticos reduce la mortandad y la contaminación química.	
	§ Menos contaminación por residuos	
IV. SISTEMAS ACUÍCOLAS MEJORADOS Y DE BAJO IMPACTO		
§ Sistemas de recirculación de agua § Tecnología Biofloc, Bioaquafloc, IPRS, etc. § Sistemas integrados de acuicultura § Tratamiento de aguas	§ Menor uso de tierra y agua, mediante el reciclamiento y la intensificación	CIAD-Mzt; U de O; CIBNOR; ICMYL-UNAM; ITSON; CIAD-Gua; UAS; One Lab Consultores; Académico U. de Auburn; Texas A&M AgriLife Lab.
	§ Reducen la contaminación por nutrientes, desechos y químicos, mediante el tratamiento, la conversión u dilución de los desperdicios,	
	§ Reducen la mortandad	

Fuente: elaboración propia con información de la encuesta, y con base en Waite *et al.* (2014), Boyd *et al.* (2020), Yue y Shen (2022), Villarreal (2023) y Bohara *et al.* (2024).

centralizadas de redes, con patrones jerárquicos, tienden a obstaculizar la transferencia de conocimientos y el aprendizaje tecnológico. En el caso del norte de Sinaloa, esta condición se ve atenuada por el importante rol que han venido jugando desde hace algunos años la Asociación de Acuicultores de Ahome, por un lado, y la posición cada vez más central que tienen algunas UYCPIS, así como algunos proveedores de insumos (alimentos y poslarvas). En términos de la difusión de las TAS, esto tiene la ventaja de reducir la dependencia de los productores con respecto al organismo gubernamental de salubridad mencionado.

Otras características globales de la red analizada fueron el grado medio y la densidad. Ambas métricas están estrechamente relacionadas. En el caso de la RC-TAS de Ahome se pudieron observar niveles relativamente bajos, tanto del grado medio como de la densidad de la red. De acuerdo con Müller y Peres (2019), una mayor densidad de la red se asocia con un flujo más intenso y nutrido de conocimiento sobre las nuevas tecnologías, lo cual potencia las probabilidades de su adopción, en tanto que los nodos aislados que están en el margen de la red estarían en desventaja para acceder a información sobre las nuevas tecnologías.

El posicionamiento de los actores individuales tiene también importantes implicaciones en términos de innovación y adopción tecnológica. Estudios previos en el área agrícola sugieren que la posición de los productores dentro de la red social, si tienen muchos vínculos o son centrales, está asociada con las probabilidades de recibir información crítica sobre nuevas tecnologías y de adoptarlas (Geleta et al., 2023).

Los resultados indican una relación entre el tamaño, la edad y el sector de la granja y una posición central en la red. Este hallazgo es consistente con Wood y otros (2019), quienes encuentran que uno de los factores que pueden influir en la posición central es el tamaño y la dotación de recursos, que permite tener un mayor acceso a los recursos de conocimiento y las relaciones de apoyo a la investigación para desarrollar competencias en ciertas áreas tecnológicas emergentes, como la biología molecular y la nano-biotecnología.

Finalmente, los resultados han permitido visibilizar el papel estratégico que juegan las UYCPIS como nodos que constituyen fuentes de información y conocimiento sobre las innovaciones y tecnologías novedosas con mayor

potencial para contribuir a la sostenibilidad de la acuicultura. Estos actores, distintos a los organismos gubernamentales y asociaciones de productores que realizan labores de extensionismo para la transferencia de tecnologías más consolidadas, generan flujos de conocimiento de contenido distinto, como se ha visto. El CIAD-Mazatlán destaca entre las UYCPIS que están jugando un papel relevante en la difusión de tecnologías acuícolas nuevas y emergentes que tienen efectos positivos en la sostenibilidad del sector; como las tecnologías de selección genética de reproductores basadas en la genómica (en mejoramiento genético); las tecnologías de salud y control de enfermedades avanzadas (identificación de patógenos con tecnologías basadas en marcadores, secuenciación y mapeo del genoma, etc.); el desarrollo de alternativas a los antibióticos químicos y genómica microbiana; las tecnologías de alimentos (nuevos ingredientes) y, finalmente; las tecnologías para el desarrollo de sistemas acuícolas de bajo impacto ambiental, conservación y remediación ambiental. Los impactos de estas TAS tienen que ver con la reducción de la mortalidad —que ha sido la principal amenaza a la sostenibilidad del sector (Kumar et al., 2023), el uso eficiente de recursos naturales, la conservación de ecosistemas costeros, la detección oportuna y precisa de patógenos en el producto, el agua y el suelo, el manejo sustentable de enfermedades del camarón, la reducción de la dependencia de proteínas y lípidos de peces marinos, una menor contaminación por aguas residuales, entre otros.

Referencias

- Bohara, K., Joshi, P., Acharya, K. P., y Ramena, G. (2024). Emerging technologies revolutionising disease diagnosis and monitoring in aquatic animal health. *Reviews in Aquaculture*, 16(2), 836-854. <https://doi.org/10.1111/raq.12870>.
- Borgatti, S. P., Agneessens, F., Johnson, J. C., y Everett, M.G. (2024). *Analyzing social networks*. SAGE Publications Ltd; Edición 3^{ra}.
- Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, D. C., Juarez, L. M., Lockwood, G. S., y Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578-633. <https://doi.org/10.1111/jwas.12714>.
- Boyd, C. E., Davis, R. P., y McNevin, A. A. (2021). Comparison of resource use for farmed

- shrimp in Ecuador, India, Indonesia, Thailand, and Vietnam. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, 1(1), 3-15. <https://doi.org/10.1002/aff2.23>.
- Campanati, C., Willer, D., Schubert, J., y Aldridge, D. C. (2022). Sustainable intensification of aquaculture through nutrient recycling and circular economies: more fish, less waste, blue growth. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 30(2), 143-169. <https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1897520>.
- FAO. (2024). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción*. Roma. <https://doi.org/10.4060/cd0690e>.
- Garlock, T., Asche, F., Anderson, J., Bjørndal, T., Kumar, G., Lorenzen, K., Ropicki, A., Martin, S., y Tveterås, R. (2020). A global blue revolution: aquaculture growth across regions, species, and countries. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(1), 107-116. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1678111>.
- Gephart, J. A., Golden, C. D., Asche, F., Belton, B., Brugere, C., Froehlich, H. E., y Allison, E. H. (2020). Scenarios for global aquaculture and its role in human nutrition. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 29(1), 122-138. <https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1782342>.
- Henriksson, P. J. G., Troell, M., Banks, L. K., Belton, B., Beveridge, M. C. M., Klinger, D. H., y Tran, N. (2021). Interventions for improving the productivity and environmental performance of global aquaculture for future food security. *One Earth*, 4(9), 1220-1232. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.08.009>.
- Joffre, O. M., Poortvliet, P. M., y Klerkx, L. (2019). To cluster or not to cluster farmers? Influences on network interactions, risk perceptions, and adoption of aquaculture practices. *Agricultural Systems*, 173, 151-160. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.011>.
- Kumar, G., Engle, C., y Tucker, C. (2018). Factors driving aquaculture technology adoption. *Journal of the world aquaculture society*, 49(3), 447-476. <https://doi.org/10.1111/jwas.12514>.
- Kumar, S., Verma, A. K., Singh, S. P., y Awasthi, A. (2023). Immunostimulants for shrimp aquaculture: paving pathway towards shrimp sustainability. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(10), 25325-25343.
- Malcorps, W., Kok, B., van 't Land, M., Fritz, M., van Doren, D., Servin, K., y Davies, S. J. (2019). The sustainability conundrum of fishmeal substitution by plant ingredients in shrimp feeds. *Sustainability*, 11(4), 1212. <https://doi.org/10.3390/su11041212>.
- Müller-Prothmann, T. (2006): *Leveraging Knowledge Communication for Innovation*. Frankfurt, Peter Lang, ISBN: 0820498890.
- Muller, E., y Peres, R. (2019). The effect of social network structure on innovation performance: A review and directions for research. *International Journal of Research in Marketing*, 36(1), 3-19. DOI: 10.1016/j.ijresmar.2018.05.003.
- Naylor, R. L., Hardy, R. W., Buschmann, A. H., Bush, S. R., Cao, L., Klinger, D. H., y Troell, M. (2021). A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*, 591(7851), 551-563. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>.
- Phelps, C., Heidl, R., y Wadhwa, A. (2012). Knowledge, networks, and knowledge net-

- works: A review and research agenda. *Journal of Management*, 38(4), 1115-1166. <https://doi.org/10.1177/0149206311432640>
- Ray, S., Mondal, P., Paul, A. K., Iqbal, S., Atique, U., Islam, M. S., y Begum, S. (2021). Role of shrimp farming in socio-economic elevation and professional satisfaction in coastal communities. *Aquaculture Reports*, 20, 100708. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100708>.
- Rector, M. E., Filgueira, R., Bailey, M., Walker, T. R., y Grant, J. (2023). Sustainability outcomes of aquaculture eco-certification: challenges and opportunities. *Reviews in Aquaculture*, 15(2), 840-852. <https://doi.org/10.1111/raq.12763>.
- Sonone, S., Jadhav, S., Sankhla, M.S., y Kumar, R. (2020). Water contamination by heavy metals and their toxic effect on aquaculture and human health through the food Chain. *Lett. Appl. NanoBioScience*, 10(2), 2148-2166. <https://doi.org/10.33263/LIANBS102.21482166>.
- Ulhaq, I., Pham, N. T. A., Le, V., Pham, H. C., y Le, T. C. (2022). Factors influencing intention to adopt ICT among intensive shrimp farmers. *Aquaculture*, 547, 737407. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737407>
- Vázquez-Vera, L., y Chávez-Carreño, P. Eds. (2022). *Diagnóstico de la acuicultura en México*. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. México. ISBN: 978-607-99061-5-3.
- Villarreal, H. (2023). Shrimp farming advances, challenges, and opportunities. *Journal of the World Aquaculture Society*, 54(5). <https://doi.org/10.1111/jwas.13027>
- Waite, R., Beveridge, M., Brummett, R., Castine, S., Chaiyawannakarn, N., Kaushik, S., Mungkung, R., Nawapakpilai, S. y Phillips, M. (2014). *Improving productivity and environmental performance of aquaculture*. WRI- Working Paper. Washington, DC, USA: World Resources Institute.
- Wasserman, S., y Faust, K. (1994). *Social Network Analysis: Methods and Applications* (Vol. 8). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511815478>.
- Yue, K., y Shen, Y. (2022). An overview of disruptive technologies for aquaculture. *Aquaculture and Fisheries*, 7(2), 111-120. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.04.009>.