

Redes de innovación en Acuicultura de especies amazónicas

Palabras clave: Acuicultura, Análisis de Redes Sociales, Amazonía, Ecosistemas de innovación local, Redes de colaboración.

1 INTRODUCCIÓN

La Amazonía alberga una de las mayores diversidades de peces de agua dulce del mundo, con más de 2700 especies identificadas. Sin embargo, sólo unas 280 son aprovechadas para el consumo, pese a una demanda anual estimada en 250 mil toneladas (Dagosta & Pinna, 2019). Muchas de estas especies están en riesgo de conservación (Pelicice et al., 2021). En la región se cultivan diversas especies, principalmente nativas, debido a preferencias culturales, normativas y de mercado.

La acuicultura ha sido reconocida como uno de los sectores alimentarios clave para lograr una serie de Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas para 2030: ODS1 "Fin de la pobreza", ODS2 "Hambre cero", ODS3 "Salud y bienestar", ODS12 "Producción y consumo responsables", ODS13 "Acción por el clima" y ODS14 "Vida submarina" (Troell et al., 2023). Existe amplia evidencia de que ofrece oportunidades socioeconómicas relevantes para comunidades rurales, además de ser una fuente rica en macro y micronutrientes (Rimmer et al., 2021). En este marco, la acuicultura representa una alternativa sostenible para la Amazonía: tiene una huella de carbono diez veces menor por tonelada de proteína animal que la ganadería, y no requiere expansión de la frontera agrícola (Pacheco et al., 2025). Además de estar integrada a la cultura alimentaria local, su desarrollo implica procesos de licenciamiento ambiental, sanitario y logístico, cuya mejora requiere monitoreo constante para asegurar la sostenibilidad.

En el Perú, esta actividad ha crecido impulsada por la demanda de mercado y programas públicos orientados a la seguridad alimentaria (PRODUCE, 2023). Destacan especies como *Colossoma macropomum*, *Piaractus brachypomus*, *Pseudoplatystoma* spp., *Brycon* spp. y *Arapaima gigas* (Pacheco et al., 2025), siendo *Piaractus brachypomus* una de las más importantes por su distribución, adaptabilidad y eficiencia alimentaria (Escobar et al., 2022; Angeles-Escobar et al., 2022).

Por lo tanto, se plantea la pregunta ¿cómo se comporta la red de colaboración para promover innovaciones sostenibles en la acuicultura de la Amazonía peruana? En esta investigación se busca examinar el comportamiento del ecosistema de innovación sectorial entorno a la acuicultura amazónica a través de un análisis de las redes sociales entorno a los proyectos de innovación promovidos por el sector público peruano.

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El fortalecimiento de alianzas entre el sector público, privado y académico es clave para promover innovación tecnológica, infraestructura y acceso a mercados globales (Haque & Mahmud, 2025). El análisis de redes sociales (ARS) es útil para entender las relaciones dentro de los sistemas de innovación, pues permite identificar propiedades estructurales no visibles a simple vista (Nugroho & Saritas, 2009) y analizar la generación y difusión del conocimiento, componente clave en procesos de innovación (Pyka & Hanusch, 2013).

El enfoque de las redes de cooperación aplicados en la acuicultura permite entender los esfuerzos cooperativos requeridos en esta cadena de valor, así como los esfuerzos individuales, lo cual depende de las estructuras de gestión comunitaria que son determinadas por la lógica de la cultura local (Díaz-Reviriego et al., 2017). En este contexto, la gestión de la información depende del intercambio del aprendizaje informal entre piscicultores, con la asesoría técnica de

ONG o centros de investigación (Gholifar et al., 2019) para la co-creación de nuevos. Sin embargo, para desarrollar las redes de colaboración para la difusión de la innovación (Cruz et al., 2023) se requiere combinar la habilidad para generar nuevas técnicas para el autoconsumo (Farmery et al., 2020), con la adopción de nuevas técnicas de crianza o alimentación más sostenibles (Geremia et al., 2024). Por su parte, para generar mayor productividad y competitividad, la difusión de prácticas de manejo de enfermedades (Leal et al., 2025) debe ser combinada con otras prácticas sanitarias para las certificaciones requeridas en la cadena de distribución que sostengan las prácticas de marketing para la apertura de nuevos mercados con mejores condiciones comerciales (Santos et al., 2021).

En esta perspectiva, la difusión de información depende de las relaciones sociales, pero, según Isaac (2012) y Vasilaky (2013), las redes sociales locales tienen mayor dificultad de aprovechar sosteniblemente el intercambio de información, lo cual es especialmente sensible en entornos de alta biodiversidad. Pensando desde una lógica socio productiva muy cercana, la mayor parte de la información agrícola circula a través de relaciones interpersonales, lo que ha llevado a sugerir que la investigación sobre adopción y escalamiento de innovaciones debe centrarse en cómo fluye esta información entre individuos y grupos (Mbakahya, 2018). Para ello, se requiere una metodología que analice, mapee y mida las características de estas relaciones, anticipe cambios en los vínculos y evalúe su impacto sobre el intercambio de información (Mbakahya, 2018). El ARS cumple con estas funciones, a diferencia de otros enfoques (Carolan, 2014), y su comprensión puede permitir una mejor focalización de la información para promover la innovación agrícola.

3 METODOLOGÍA

La presente investigación tiene un alcance descriptivo de las principales redes sociales en torno a proyectos de innovación acuícola en la Amazonía peruana, con un enfoque cuantitativo basado en el ARS en tres cadenas productivas más destacadas por su relevancia económica en este bioma. Con el objetivo de fortalecer el desarrollo del sector acuícola y pesquero en el país, entre 2018 y 2022, el Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura (PNIPA) cofinanció 310 proyectos enfocados en las especies amazónicas paco, paiche y gamitana, con el objetivo de fortalecer el desarrollo del sector acuícola y pesquero en el país. Estos proyectos se constituyen como la unidad de observación para analizar el comportamiento del funcionamiento de las redes de colaboración locales que permitieron impulsar las alianzas que fortalecen los ecosistemas de intercambio de información para resolver problemas específicos de cada entorno.

Para la caracterización de los grupos de proyectos analizados se consideraron cinco criterios: el subsector productivo al que pertenece la intervención (pesca o acuicultura), el tipo de proyecto —Fortalecimiento de Capacidades en Servicios de I&D+i (SFOCA), Investigación Adaptativa (SIA), Investigación Aplicada y Desarrollo Experimental (SIADe) o Servicio de Extensión (SEREX)—, la región de ejecución, el eslabón de la cadena de valor o cadena productiva involucrado, y el tema abordado.

El análisis de redes se realizó empleando UCINET (versión 6.629) y NetDraw (versión 2.160), a partir de datos relacionales que representan las conexiones entre las organizaciones participantes. Una vez importada la información y elaboradas las visualizaciones en NetDraw, se procedió al cálculo de métricas para evaluar las propiedades estructurales de las redes, abarcando tanto su cohesión como las posiciones de centralidad. Las medidas de cohesión se calcularon a nivel de red completa (whole network measures), lo que permitió evaluar la estructura global y no únicamente las características individuales de los actores.

4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS PROYECTOS DE INNOVACIÓN DE PACO, PAICHE Y GAMITANA

El análisis de estos 310 proyectos de innovación de paco, paiche y gamitana cofinanciados por PNIPA permite identificar una orientación hacia la acuicultura amazónica, la descentralización territorial, el desarrollo de capacidades técnicas en el ámbito local y la promoción de procesos de investigación aplicada en diversos eslabones productivos. Del total de proyectos, 297 (95.8%) correspondieron al subsector acuícola, mientras que solo 13 (4.2%) se orientaron a la pesca. Esta distribución refleja una preferencia institucional por la acuicultura, particularmente en esta primera fase de articulación de esfuerzos para el aprovechamiento de especies amazónicas con características compatibles con condiciones regionales específicas.

Los proyectos fueron financiados mediante cuatro tipos de fondos concursables. El Servicio de Extensión (SEREX) concentró el 70.6% de casos (219 proyectos), seguido por los fondos de Fortalecimiento de Capacidades en I+D+i (SFOCA) con 46 proyectos (14.8%), los de Investigación Adaptativa (SIA) con 25 (8.1%) y los de Investigación Aplicada y Desarrollo Experimental (SIADe) con 20 (6.5%). Estos instrumentos combinan intervenciones operativas y de generación de conocimiento que permiten abordar brechas técnicas y validar soluciones tecnológicas en campo.

Las intervenciones se implementaron en 17 regiones del país, con mayor concentración en zonas de selva alta o ceja de selva. Junín registró el mayor número de proyectos (101), seguido de Cusco (31), Madre de Dios (28), San Martín (28), Amazonas (26) y Pasco (24). Esta distribución se alinea con la presencia de actividades acuícolas centradas en especies amazónicas y con contextos que requieren desarrollo de capacidades locales. Otras regiones como Loreto, Ucayali, Huánuco y Cajamarca también tuvieron participación significativa, mientras que la costa y la sierra norte registraron un número reducido de intervenciones.

Respecto a los eslabones productivos abordados, el cultivo fue el más representado (216 proyectos; 69.7%), seguido por procesamiento (22), bienes y servicios de soporte (12), calidad e inocuidad (4), mercado (3) y extracción (2). Un total de 51 proyectos no registran eslabón específico, lo que puede corresponder a propuestas transversales o a limitaciones en la codificación disponible.

Las temáticas técnicas más abordadas fueron el manejo del cultivo (73) y los sistemas de cultivo (68), seguidas por alimentación y nutrición (35) y mejoramiento de semilla (15). También se identificaron proyectos sobre calidad sanitaria (13), procesamiento (12), formación técnica (16, entre extensionistas y especialistas) y desarrollo tecnológico (6). Temas menos frecuentes incluyeron comercialización, gestión empresarial, buenas prácticas acuícolas y aprovechamiento de subproductos. Asimismo, 53 proyectos no registran temática técnica, lo que sugiere revisar la consistencia de la base de datos o mejorar la clasificación temática.

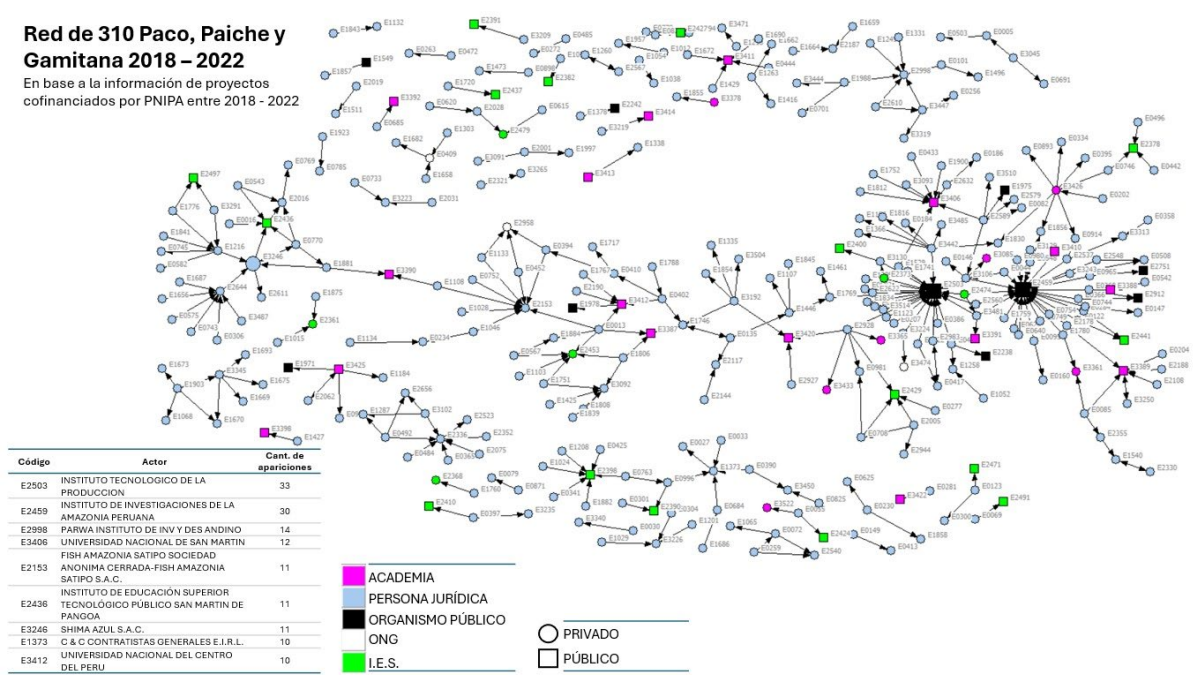
4.2 ANÁLISIS DE RED: FRAGMENTACIÓN Y OPORTUNIDADES

El modelo de alianzas promovido por el PNIPA establece que cada proyecto involucra al menos a dos entidades, que pueden asumir los roles de líder, ejecutor, asociado o colaborador, según el nivel de responsabilidad asignado. Una misma entidad puede desempeñar distintos roles en diferentes proyectos. A partir de esta estructura, se realizó el análisis de la red de actores involucrados en los 310 proyectos de innovación, extensión e investigación aplicada vinculados a Paco, Paiche y Gamitana.

El análisis de red evidencia una estructura altamente fragmentada, con una conectividad limitada entre actores. La densidad de la red alcanza apenas 0.003, lo que indica un número

muy bajo de vínculos existentes respecto al total posible. El grado promedio es de 0.983, lo que significa que, en promedio, cada organización se conecta con menos de un actor adicional. Esta baja conectividad se refleja también en un índice de fragmentación de 0.994 y un ratio de componentes de 0.968, lo cual indica que la mayoría de los actores están desconectados entre sí, conforme se puede visualizar en la Figura 1.

Figura 1 – PNIPA: Redes de Colaboración de los Proyectos de innovación, extensión e investigación aplicada vinculados a Paco, Paiche y Gamitana, 2018-2022



Fuente: PNIPA.

4.2 CENTRALIDAD DE GRADO: ¿QUIÉNES SON LOS NODOS CLAVE?

El análisis de centralidad de grado (degree centrality) permite identificar a los nodos con mayor cantidad de conexiones directas. Dado que se trata de una red dirigida, se distingue entre vínculos entrantes (in-degree) y salientes (out-degree). El nodo E2503 (Instituto Tecnológico de la Producción - ITP) presenta el mayor in-degree (26) y dos vínculos salientes, lo que sugiere que es un actor de referencia técnica. El nodo E2459 (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - IIAP) tiene un in-degree de 24 y un out-degree de 5, reflejando una participación en ambas direcciones. Otros nodos con conectividad relevante son E2436 (IESTP San Martín de Pangoa), E2336 (Industrias Productivas Agropecuarias Acuícola Ambientales S.A.C.) y E2928 (Natural Environment S.A.C.).

6 DISCUSIÓN Y CONSIDERACIONES FINALES

La acuicultura en la Amazonía tiene el potencial de satisfacer la creciente demanda de alimentos y, al mismo tiempo, ofrecer oportunidades económicas en una región que enfrenta la deforestación y la pérdida de biodiversidad (Pacheco et al., 2025). En conjunto, estos indicadores muestran que la red se encuentra en una etapa incipiente de conformación, caracterizada por alta fragmentación, baja densidad, escasa cohesión estructural y limitada circulación de conocimiento entre proyectos y regiones. Esta situación reduce el potencial de consolidar un ecosistema colaborativo que favorezca la innovación acuícola a escala regional o nacional.

Fomentar conexiones horizontales e interregionales, así como reforzar el rol de los actores más conectados, contribuiría a consolidar una red más funcional y sostenible en el tiempo. Desde una perspectiva operativa, se recomienda fortalecer el rol de los actores que ya presentan niveles altos de intermediación y fomentar nuevas interacciones entre regiones y organizaciones. La incorporación del análisis de redes como herramienta de monitoreo podría mejorar el seguimiento de las dinámicas de articulación en el tiempo y apoyar la toma de decisiones estratégicas.

REFERENCIAS

- Angeles-Escobar, B. E., Da Silva, S. M. B. C., & Severi, W. (2022). Growth, red blood cells, and gill alterations of red pacu (*PIARACTUS BRACHYPOMUS*) fingerlings by chronic exposure to different total suspended solids in biofloc. *Journal of the World Aquaculture Society*, 53(3), 652-668. <https://doi.org/10.1111/jwas.12837>
- Carolan, B. (2014). *Social Network Analysis and Education: Theory, Methods & Applications*. SAGE Publications, Inc. <https://doi.org/10.4135/9781452270104>
- Cruz, P. A. M., Diniz, M. J. T., & Treviño, J. O. M. (2023). The productivity of technological networks in the Amazon innovation system: An analysis about the Triple Helix system in the state of Pará. *International Journal of Innovation and Learning*, 33(3), 366. <https://doi.org/10.1504/IJIL.2023.130107>
- Dagosta, F. C. P., & Pinna, M. D. (2019). The Fishes of the Amazon: Distribution and Biogeographical Patterns, with a Comprehensive List of Species. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 2019(431), 1. <https://doi.org/10.1206/0003-0090.431.1.1>
- Díaz-Reviriego, I., Fernández-Llamazares, Á., Howard, P. L., Molina, J. L., & Reyes-García, V. (2017). Fishing in the Amazonian Forest: A Gendered Social Network Puzzle. *Society & Natural Resources*, 30(6), 690-706. <https://doi.org/10.1080/08941920.2016.1257079>
- Escobar L., M. D., Farias, I. P., & Hrbek, T. (2022). Genetic comparison of populations of *Piaractus brachypomus* and *P. orinoquensis* (Characiformes: Serrasalminae) of the Amazon and Orinoco basins. *Neotropical Ichthyology*. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2022-0056>
- Farmery, A. K., Kajlich, L., Voyer, M., Bogard, J. R., & Duarte, A. (2020). Integrating fisheries, food and nutrition – Insights from people and policies in Timor-Leste. *Food Policy*, 91. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101826>
- Geremia, E., Grande, U., Tomajoli, M. T. M., Petito, A., Fasciolo, G., & Napolitano, G. (2024). Feed production for sustainable aquaculture: A Bibliometric Network Analysis. *Ecological Questions*, 35(1). Scopus. <https://doi.org/10.12775/EQ.2024.007>
- Gholifar, E., Abbasi, E., & Rezaei, A. (s. f.). *Sustainable Aquaculture System: Institutional Scientific Collaboration Network in Alborz Watershed, Iran*.
- Haque, M. M., & Mahmud, Md. N. (2025). Potential Role of Aquaculture in Advancing Sustainable Development Goals (SDGs) in Bangladesh. *Aquaculture Research*, 2025(1), 6035730. <https://doi.org/10.1155/are/6035730>
- Isaac, M. E. (2012). Agricultural information exchange and organizational ties: The effect of network topology on managing agrodiversity. *Agricultural Systems*, 109, 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.01.011>
- Leal, L. A., Ángel-Ospina, A. C., Ramos, J. A. L., & Machuca-Martínez, F. (2025). Aquaculture sector in Colombia: Uncovering sustainability, transformative potential,

- and trends through bibliometric and patent analysis. *Aquaculture*, 598. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.742068>
- Mbakahya, G. M. (2018). *Application of Social Network Analysis Tool to Information Flow and its influence on the adoption of sustainable agricultural innovations in Busia County, Kenya* [Masinde Muliro University of Science and Technology]. <http://ir-library.mmust.ac.ke:8080/xmlui/handle/123456789/2557>
- Nugroho, Y., & Saritas, O. (2009). Incorporating network perspectives in foresight: A methodological proposal. *Foresight*, 11(6), 21-41. <https://doi.org/10.1108/14636680911004948>
- Pacheco, F. S., Heilpern, S. A., DiLeo, C., Almeida, R. M., Sethi, S. A., Miranda, M., Ray, N., Barros, N. O., Cavali, J., Costa, C., Doria, C. R., Fan, J., Fiorella, K. J., Forsberg, B. R., Gomes, M., Greenstreet, L., Holgerson, M., McGrath, D., McIntyre, P. B., ... Flecker, A. S. (2025). Towards sustainable aquaculture in the Amazon. *Nature Sustainability*, 8(3), 234-244. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01500-w>
- Pelicice, F. M., Bialecki, A., Camelier, P., Carvalho, F. R., Garcia-Berthou, E., Pompeu, P. S., Mello, F. T. D., & Pavanelli, C. S. (2021). Human impacts and the loss of Neotropical freshwater fish diversity. *Neotropical Ichthyology*, 19(3), e210134. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2021-0134>
- PRODUCE. (2023). *Política Nacional de Acuicultura al 2030*.
- Pyka, A., & Hanusch, H. (2013). Social innovations in the perspective of Comprehensive Neo-Schumpeterian Economics. En *Social Innovation*. Routledge.
- Rimmer, M. A., Larson, S., Lapong, I., Purnomo, A. H., Pong-Masak, P. R., Swanepoel, L., & Paul, N. A. (2021). Seaweed Aquaculture in Indonesia Contributes to Social and Economic Aspects of Livelihoods and Community Wellbeing. *Sustainability*, 13(19), 10946. <https://doi.org/10.3390/su131910946>
- Santos, M. C., Madureira, L., Braga, A. A., & Marques, C. P. (2021). Virtual communities of practice and sustainability of aquaculture in the Brazilian Amazon. The case of the online social network WhatsApp “Peixe de Rondônia”. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 59(1), 1-20. Scopus. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.238885>
- Troell, M., Costa-Pierce, B., Stead, S., Cottrell, R. S., Brugere, C., Farmery, A. K., Little, D. C., Strand, Å., Pullin, R., Soto, D., Beveridge, M., Salie, K., Dresdner, J., Moraes-Valenti, P., Blanchard, J., James, P., Yossa, R., Allison, E., Devaney, C., & Barg, U. (2023). Perspectives on aquaculture’s contribution to the SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS for improved human and planetary health. *Journal of the World Aquaculture Society*, 54(2), 251-342. <https://doi.org/10.1111/jwas.12946>
- Vasilaky, K. (2013). Female Social Networks and Farmer Training: Can Randomized Information Exchange Improve Outcomes? *American Journal of Agricultural Economics*, 95(2), 376-383. <https://doi.org/10.1093/ajae/aas054>