

G. Sostenibilidad y Medio Ambiente, I, II

**EVALUACIÓN DE LA CIRCULARIDAD: EL CASO DE LOS SISTEMAS AMTI EN EL  
PROYECTO ASTRAL**

**Inma Sánchez\*<sup>1</sup>, Daniel Checa<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Leitat Technological Center

**Abstract**

Aquaculture is a strategic sector to meet the increased demands for healthy food for current and future populations. However, this progression needs to be sustainable, and that can be potentially achieved by the implementation of circular practices. Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) systems promote the incorporation of circular principles, including bioremediation and resource use efficiency. Nevertheless, the lack of harmonized definitions and standards disrupt the quantification of these circular attributes. The objective of this study was to explore the potential principles embedded in IMTA and the existing alternatives to quantify circularity. Two basic pillars (nutrient management and resource use efficiency) were identified as the most relevant circularity attributes under which various IMTA systems were defined and quantified through their corresponding aquaculture-specific indicators. Bioremediation indicators together with the efficiency indicators in terms of feed, water, energy, and infrastructure material used were selected to evaluate the circularity performance of 4 IMTA trials in 3 aquaculture facilities in Ireland, Brazil and South Africa. Salmon, white shrimp, abalone and sea urchin were studied and cultivated together in various combinations with several low trophic species in these IMTA trials, where primary data were collected and complemented with reference studies to evaluate the improvement of circularity compared with corresponding monoculture conditions. Results showed an increase of circularity until 90% in terms of water use, followed by bioremediation that were improved by 80-90% due to the introduction to extractive species.

**Resumen**

La acuicultura es un sector estratégico para satisfacer la creciente demanda de alimentos saludables para las poblaciones actuales y futuras. Sin embargo, esta progresión debe ser sostenible, y eso puede lograrse potencialmente mediante la aplicación de prácticas circulares. La Acuicultura Multitrófica Integrada (AMTI) promueve la incorporación de principios circulares, incluidos la biorremediación y la eficiencia en el uso de los recursos. Sin embargo, la falta de definiciones y normas armonizadas dificulta la cuantificación de estos atributos. Este estudio explora los principios potenciales incorporados en el AMTI y las alternativas existentes para cuantificar la circularidad. Para ello, se identificaron dos pilares básicos (gestión de nutrientes y eficiencia en el uso de recursos) como los aspectos de circularidad más relevantes bajo los cuales se definieron y cuantificaron varios sistemas AMTI a través de métricas específicas para la acuicultura. Se seleccionaron indicadores de biorremediación e indicadores de eficiencia en términos de alimentación, agua, energía e infraestructura, para evaluar el rendimiento de circularidad de 4 ensayos de AMTI en 3 instalaciones acuícolas de Irlanda, Brasil y Sudáfrica. Se estudiaron el salmón, la gamba blanca, el abalón y el erizo de mar y se cultivaron junto a especies de bajo nivel trófico en estos ensayos de IMTA, donde se recopilaron datos primarios y se complementaron con estudios de referencia para evaluar la mejora de la circularidad en comparación con el monocultivo correspondiente.

**Introducción**

La armonización de los sistemas acuícolas con la economía circular puede evidenciarse a través del estudio de la eficiencia en el uso de los recursos y la gestión de los nutrientes. En este sentido, la Acuicultura Multi-Trófica Integrada (AMTI) son sistemas de producción circular, en el que diferentes especies como peces, mariscos y algas se integran/vinculan estratégicamente para crear una relación simbiótica en la que cada organismo contribuye a la salud general del ecosistema de la misma región <sup>1 2 3</sup>. En un diseño eficiente de los sistemas AMTI, la biorremediación se interpreta como un atributo circular del sistema, ya que promueve el reciclaje de nutrientes.

El objetivo de este trabajo es definir indicadores específicos adaptados y centrados en la producción AMTI, que puedan conducir a una fácil interpretación sobre el rendimiento de los sistemas de producción multi-tróficos bajo una perspectiva de circularidad. Este trabajo presenta el caso específico de 3 diferentes sistemas de producción AMTI (en adelante AMTI-lab) que fueron evaluados cuantitativamente en cuanto a sus rendimientos de circularidad comparando escenarios de línea de base (monocultivo) con escenario multi-trófico.

**Material y métodos**

La siguiente tabla 1 resume las experimentaciones de producción multi-trófica llevadas a cabo en los tres emplazamientos y que fueron estudiadas desde el punto de vista de la circularidad.

Tabla 1. Resumen escenarios de estudio de circularidad

Caso de estudio	Escenario monocultivo	Escenario AMTI
AMTI-lab irlandés	Salmón	Salmón 2 tipos de algas ( <i>Alaria esculenta</i> <i>Saccharina. Latissima</i> ) Erizo de mar Ostra común

Caso de estudio	Escenario monocultivo	Escenario AMTI
AMTI-lab brasileño	Camarón blanco	Camarón blanco Tilapia Ulva
AMTI-lab sudafricano	Abalón Erizo de mar	Abalón Ulva Erizo de mar Ulva

A partir de la aproximación realizada por Chary et al. <sup>4</sup>, se identificaron los dos pilares básicos sobre los que se sustentan los principios de economía circular en la acuicultura: gestión de los nutrientes y eficiencia en el uso de recursos. La gestión de los nutrientes se cuantificó a través de balances (aplicado en el sistema abierto de salmón y sistema-semiabierto para el cultivo de erizo) así como a través de los datos obtenidos de la monitorización de los flujos a través de los tanques en los sistemas de camarón y abalón. Por otra parte, y en el contexto de un estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV)<sup>5</sup>, se recogieron datos primarios para la evaluación del uso de recursos, concretamente los relativos al consumo de agua, pienso (parámetros FCR y linealidad de los ingredientes), energía y materiales empleados en la infraestructura acuícola. La eficiencia en el uso de recursos se evaluó en relación con la biomasa desarrollada tanto en condiciones de monocultivo como multi-tróficas.

### Resultados y discusión

Una vez definidos y cuantificados los indicadores, se desarrolló un ranking para cada aspecto de la circularidad y en cada laboratorio (tabla 2), donde se observa según la intensidad de verde (menos o más intenso) la contribución a la circularidad.

Tabla 2. Resultados agregados de la evaluación de circularidad

	USO DE RECURSOS					GESTIÓN DE NUTRIENTES		
	Eficiencia alimentación (FCR)	Linealidad pienso	Agua	Energía	Infraestructura	Biorremediación N	Biorremediación P	Biorremediación C
AMTI lab irlandés								
AMTI lab brasileño								
AMTI lab sudafricana (abalón)								
AMTI lab sudafricana (erizo)								

Legenda: Amarillo: sin cuantificación // Rosa: no se registraron incrementos de circularidad // Degradado verde (menos intenso, menor incremento, más intenso mayor circularidad)

**Palabras clave:** circularidad, evaluación, AMTI, gestión de nutrientes, eficiencia

### Bibliografía

- Sanz-Lazaro C, Sanchez-Jerez P. Regional Integrated Multi-Trophic Aquaculture (RIMTA): Spatially separated, ecologically linked. *Journal of Environmental Management*. 2020;271:110921. doi:10.1016/j.jenvman.2020.110921
- Granada L, Sousa N, Lopes S, Lemos MFL. Is integrated multitrophic aquaculture the solution to the sectors' major challenges? – a review. *Reviews in Aquaculture*. 2016;8(3):283-300. doi:10.1111/raq.12093
- Chopin T. Aquaculture, Integrated Multi-trophic (IMTA). In: *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. Vol 12. ; 2013:542-564. doi:10.1007/978-1-4614-5797-8\_173
- Chary K, Van Riel A, Muscat A, et al. Transforming sustainable aquaculture by applying circularity principles. *Reviews in Aquaculture*. Published online September 14, 2023;raq.12860. doi:10.1111/raq.12860
- Surendran P, Sanchez I, Checa D, et al. *Life Cycle Assessment- ASTRAL Project (GA 863034)*. ASTRAL Project GA no 863034; 2023:63. Accessed January 31, 2024. <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e503a5e78b&appId=PPGMS>

### Agradecimientos

Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención No. 863034.

**Correo del autor:** [isanchez@leitat.org](mailto:isanchez@leitat.org)