

**Ensayos de acuicultura multitrófica
integrada: Identificación y estudios
de viabilidad de nuevas especies de
bajo nivel trófico.**

**Integrated multi-trophic aquaculture
trials: Identification and viability studies
of new low trophic level species.**

Marcelo Santos de Moura
Máster Universitario en Biología Marina:
Biodiversidad y Conservación

Julio, 2023

El **Dr. José Antonio Pérez Pérez**, Profesor Ayudante Doctor de la Universidad de La Laguna y el **Dr. Eduardo Almansa Berro** Científico Titular del IEO-CSIC, como Tutor Académico y Tutor Externo, respectivamente,

DECLARAN:

Que la memoria presentada por **D. Marcelo Santos de Moura** titulada “**Ensayos de acuicultura multitrófica integrada: Identificación y estudios de viabilidad de nuevas especies de bajo nivel trófico.**”, ha sido realizada bajo su dirección y consideran que reúne todas las condiciones de calidad y rigor científico requeridas para optar a su presentación como Trabajo de Fin de Máster, en el Máster Oficial de Postgrado de Biología Marina: Biodiversidad y Conservación de la Universidad de La Laguna, curso académico 2022-2023.

Y para que así conste y surta los efectos oportunos, firman el presente informe favorable en San Cristóbal de La Laguna a 07 de Julio de 2023.

Fdo.

**ALMANSA
BERRO
EDUARDO -
26012436B**

Firmado digitalmente por
ALMANSA BERRO EDUARDO -
26012436B
Nombre de reconocimiento
(DN): c=ES,
serialNumber=IDCES-260124
36B, givenName=EDUARDO,
sn=ALMANSA BERRO,
cn=ALMANSA BERRO
EDUARDO - 26012436B
Fecha: 2023.07.07 22:14:11
+01'00'

Fdo.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <http://sede.ull.es/validacion>

Identificador del documento: 5616520□□□□ Código de verificación: yrlSWKid

Firmado por: José Antonio Pérez Pérez
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 07/07/2023 22:41:22

Agradecimientos

Me gustaría expresar mi inmensa gratitud a todas las personas e instituciones que han contribuido al éxito de este trabajo de investigación. Su apoyo y orientación han sido fundamentales para llevar a cabo este proyecto.

En primer lugar, agradezco sinceramente a la Fundación Carolina por invertir en mí y brindarme esta oportunidad que ha hecho posible todo esto.

A mi estimado tutor, el Dr. Eduardo Almansa Berro, le expreso mi más profunda gratitud. Su orientación, dedicación y habilidad para lidiar con mi creatividad caótica fueron fundamentales para la finalización de este trabajo, echando un verdadero toque de Midas. Eres la estrella brillante que ha guiado todo el proceso.

A mi estimado cotutor, el Prof. Dr. José Antonio Pérez Su paciencia, claridad en la comunicación y capacidad para abordar los desafíos han sido ejemplares. Su mentoría ha sido imprescindible para guiarme a lo largo de esta travesía académica. Me siento sinceramente agradecido por tener la oportunidad de trabajar a su lado.

A la estimada Profesora Marta Sansón, por su invaluable colaboración en la parte relacionada con las algas en este trabajo. A pesar de no ser una especialista en acuicultura, usted aceptó amablemente asumir el papel de experta en algas en esta nueva área de investigación. Su entusiasmo, dedicación y conocimiento profundo de las algas han sido fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

Quiero reconocer y agradecer a los profesores que formaron parte de mi estancia de maestría, especialmente a la profesora Covadonga y a la profesora Sabrina, por su valiosa contribución.

Al Instituto Español de Oceanografía IEO-CSIC de Canarias, agradezco sinceramente por brindarme la oportunidad, la estructura y los recursos para desarrollar este proyecto. También agradezco a todo el personal técnico y a la profesora de FP Maricarmen, a Bea y Chus por su asistencia y apoyo.

A la Universidad de La Laguna, expreso mi gratitud por proporcionar mi formación académica y contribuir a mi crecimiento profesional.

A mis padres, les agradezco por su apoyo incondicional a lo largo de esta jornada. Su presencia y aliento fueron esenciales para mis logros.

A mi equipo del laboratorio BioTecPesca y a mi eterno tutor, el Dr. Marcelo Vianna, y la Universidad Federal de Río de Janeiro, les agradezco por su capacitación en una licenciatura de excelencia que me preparó para enfrentar desafíos y hacerme un “hijo de minerva” apto a conquistar el mundo.

A todas las personas que conocí durante este período y que se convirtieron en parte inolvidable de mi experiencia, como mis compañeras de maestría Elizabeth, Belén e Irene, mis amigos becarios del Campus África de Cabo Verde y Senegal, y a todos los demás con quienes crucé caminos y compartí momentos preciosos, como Sandro, Virginia, Poppy, Celia, Damian, Matteo, Desiré, Nathalia, Oscar, Maily, Tiziana, Chito, Tatiana, Marianne,

Victor, Raul, José Miguel, Orlando, Davinia, Alba, Romina, Alba, Roberto, Marina, Riqui, Daniel, Elsa, Manuel, Jaelen y tantos otros.

A mi amorosa "mamá uruguaya" Dr Lidia Esther Barbosa Norbis, compañera becaria de la Fundación Carolina, que contribuye no solo con su grande amistad, pero por oír mis desahogos, incentivar me a soñar y colaborar contigo.

A mi encantadora "mamá canaria" Pili, agradezco profundamente por su amistad, por el cariño, por las conversaciones y chismes de las madrugadas y apoyo que me ha brindado.

Por último, un agradecimiento especial al Dr. Marcos González Porto y al personal del grupo de Bentos del COC-IEO (CSIC), cuya contribución y asistencia han sido de importancia indispensable para este trabajo. Su dedicación y conocimiento fueron fundamentales y clave para la realización de este proyecto. Le estoy inmensamente agradecido por su presencia y apoyo.

En esa instancia, pude descubrir que, entre flores, fandanguillos y alegría, nació España, la tierra del amor... y aún más, el vergel de belleza sin par que son esas Islas Canarias, que hacen despierto soñar. Conocer estas tierras encantadoras ha sido un privilegio que siempre recordaré con gran cariño. Una parte de mí se queda allí, y una parte de allí llevaré conmigo por toda la vida.

A todos aquellos que han contribuido a este trabajo, mi más sincero agradecimiento por su apoyo, orientación y amistad a lo largo de esta jornada. Sin ustedes, esto no habría sido posible.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	7
MATERIALES Y MÉTODOS	8
1. Identificación y selección de la fauna de bajo nivel trófico asociada a los efluentes de la planta de cultivo	8
2. Ensayo acoplado a cultivo de medregal (<i>Seriola dumerili</i>)	10
3. Ensayo acoplado al cultivo de dorada (<i>Sparus aurata</i>).....	12
4. Ensayo desacoplado con residuos del cultivo de medregal (<i>Seriola dumerili</i>)	15
5. Determinaciones analíticas del agua de cultivo	16
5.1. Análisis de oxígeno y temperatura	16
5.2. Análisis de materia orgánica particulada (MOP)	16
5.3. Análisis de nutrientes inorgánicos disueltos.....	17
6. Análisis estadístico.....	17
RESULTADOS	18
1. Identificación y selección de la fauna de bajo nivel trófico asociada a los efluentes de la planta de cultivo	18
2. Ensayo acoplado a cultivo de medregales (<i>Seriola dumerili</i>)	22
3. Ensayo acoplado al cultivo de doradas (<i>Sparus aurata</i>).....	25
4. Ensayo desacoplado con residuos del cultivo de medregal (<i>Seriola dumerili</i>).....	28
DISCUSIÓN	30
1. Fauna asociada a la planta de cultivo	30
2. El cultivo de anémonas	31
3. El cultivo de estrellas de mar	31
4. El cultivo de anfípodos	32
5. El cultivo de algas	33
6. Consideraciones finales sobre la implementación del sistema de acuicultura multitrófica integrada.....	34
CONCLUSIÓN	35
BIBLIOGRAFÍA	36

Resumen

La acuicultura multitrófica está surgiendo como una solución para minimizar el impacto de la acuicultura convencional, siendo un prometedor campo de investigación. Basado en eso, se realizaron ensayos en el Centro Oceanográfico de Canarias (IEO-CSIC) para evaluar el potencial de nuevas especies de bajo nivel trófico seleccionadas de los efluentes de la planta de cultivos de peces de dicho centro. Entre las especies seleccionadas están los anfípodos *Elasmopus rapax*, la anémona *Exaiptasia diaphana*, la estrella de mar *Coscinasterias tenuispina* y el alga *Polysiphonia* spp. En general, los resultados han mostrado pocos efectos tanto en la producción de biomasa extractiva como en la biorremediación, lo que indica la necesidad de probar nuevas técnicas de cultivo y ajustar mejor el equilibrio entre especies. En lo que respecta al alga, es importante mejorar factores como el sistema de anclaje y las condiciones de cultivo ya que se ha observado una importante degradación de los ejemplares. Por su parte, en los anfípodos, se obtuvo una mayor viabilidad en condiciones de iluminación frente a oscuridad, aunque la mayoría de los estudios muestran una caída de la población lo que indica que no se han conseguido las condiciones adecuadas para su cultivo. Las estrellas de mar, han mostrado una mejor adaptación a estas condiciones, pero no muestran buen crecimiento con los efluentes o restos de sifonado usados para alimentarlas. No obstante, esto no descarta su posible uso para controlar poblaciones de moluscos o producir sustancias bioactivas. En cuanto a las anémonas, los resultados no son concluyentes y son necesarios más estudios relacionados con su viabilidad, potencial de biorremediación y producción de sustancias bioactivas para tomarlas en consideración en estos sistemas. En su conjunto, este trabajo ha puesto de manifiesto las dificultades para trabajar con nuevas especies en sistemas AMTI y la necesidad de más investigación en esta área. No obstante, creemos que puede contribuir al entendimiento de los retos existentes en este tipo de sistemas.

Palabras clave: AMTI (Acuicultura Multitrófica Integrada), macroalgas, anémonas, anfípodos, biorremediación, estrellas de mar, nuevas especies,

Abstract

Multitrophic aquaculture is emerging as a solution to minimize the impact of conventional aquaculture and has become a promising field of research. Based on this, trials were conducted at the Oceanographic Center of the Canary Islands (IEO-CSIC) to evaluate the potential of new low trophic level species selected from the effluents of the fish farming plant at the center. Among the selected species are *Elasmopus rapax* amphipods, *Exaiptasia diaphana* anemones, *Coscinasterias tenuispina* starfish, and *Polysiphonia* spp. algae. Overall, the results have shown limited effects on both extractive biomass production and bioremediation, indicating the need to test new farming techniques and better adjust the species balance. Concerning the algae, it is important to improve factors such as anchoring systems and cultivation conditions, as significant degradation of specimens has been observed. In the case of amphipods, higher viability was obtained under light conditions compared to darkness, although most studies show a population decline, indicating that suitable cultivation conditions have not been achieved. Starfish have shown better adaptation to these conditions but have not exhibited substantial growth when fed with effluents or siphoned debris. However, this does not rule out their potential use in controlling mollusk populations or producing bioactive substances. As for anemones, the results are inconclusive, and further studies on their viability, bioremediation potential, and production of bioactive substances are needed to consider them in these systems. Overall, this work has highlighted the challenges of working with new species in AMTI systems and the need for further research in this area. However, we believe it can contribute to the understanding of the existing challenges in this type of system.

Keywords: AMTI (Integrated Multitrophic Aquaculture), macroalgae, anemones, amphipods, bioremediation, starfish, new species.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura es una importante fuente de producción de proteína animal para la población mundial. Sin embargo, la acuicultura tradicional enfrenta problemas medioambientales, particularmente por el uso de grandes volúmenes de agua, con las consecuentes descargas de efluentes ricos en nutrientes inorgánicos y partículas orgánicas (Fraga-Corral et al., 2022; Naspirán-Jojoa et al., 2022). En este contexto, la acuicultura multitrófica integrada (AMTI) ha surgido como una solución sostenible para mitigar los impactos ambientales negativos de la acuicultura tradicional. La AMTI, por concepto, se basa en la integración de diferentes niveles tróficos en un mismo sistema, lo que resulta en una conversión de los residuos de cultivo de unas especies, en alimentos o fertilización para otras (Fraga-Corral et al., 2022; Naspirán-Jojoa et al., 2022). Cabe destacar que las plantas acuícolas *ex situ*, así como las estructuras *in situ*, suelen alterar la comunidad local, a veces generando una comunidad propia en las instalaciones, debido a los residuos generados por el propio cultivo. Con esto, es parte de la visión de la AMTI verificar este fenómeno e incluir estos organismos en el cultivo, que pueden consumir los residuos generados por la acuicultura *in situ*, cerrando la cadena productiva y los ciclos biogeoquímicos.

La AMTI puede configurarse de diversas maneras, dependiendo de las especies que se cultivan y de las interacciones que se buscan entre ellas. Existen diferentes configuraciones posibles, cada una con sus propias ventajas y desafíos. Por ejemplo, los sistemas comúnmente suelen basarse en una especie primaria, como los peces, y integrar a ese cultivo las especies extractivas que consumirán los desechos y restos de las especies primarias, como los invertebrados y las algas. En la figura 1 se ejemplifica la configuración y montaje de un sistema de AMTI. Sistemas con muchas especies diferentes son más complejos y difíciles de manejar, y el éxito del cultivo puede depender de la capacidad de encontrar un equilibrio entre las necesidades e interacciones de cada especie. Además, la elección de las especies y la configuración del sistema pueden afectar la productividad y la rentabilidad del mismo. Es importante destacar que no existe una configuración única e ideal para la AMTI, y que cada productor debe elegir la configuración que mejor se adapte a sus necesidades y recursos. Es necesario evaluar cuidadosamente las ventajas y desafíos de cada

configuración, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos, las condiciones locales y los objetivos de producción.

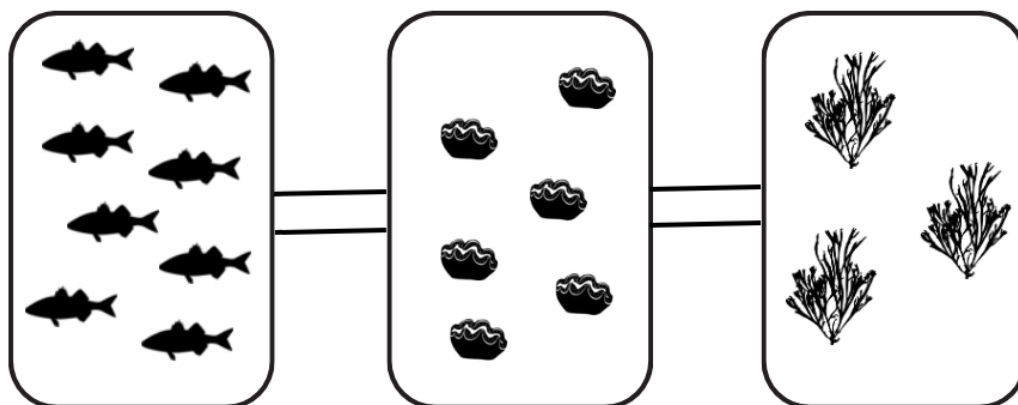


Figura 1: Ejemplo ilustrativo de configuración de un sistema de acuicultura multitrofica integrada con peces, invertebrados y algas.

La AMTI se ha implementado en varios países de todo el mundo, siendo Canadá considerado un pionero en AMTI, con varias operaciones comerciales a gran escala en Columbia Británica (Buck et al., 2018; Hanif, 2022). Otros importantes países son China con varias operaciones a gran escala en el Mar Amarillo; Noruega, que ha estado experimentando con AMTI desde la década de 1970; y Chile, que ha comenzado recientemente a explorar AMTI como una alternativa sostenible a la acuicultura tradicional (Buck et al., 2018; Hanif, 2022). Las especies utilizadas en AMTI varían según la ubicación y las condiciones ambientales. Por ejemplo, en India, se evaluó como opción viable de acuicultura en agua salobre un modelo de AMTI que involucraba lizas (*Mugil cephalus* y *Liza parsia*), camarones tigre (*Penaeus monodon*), ostras estuarinas (*Crassostrea cuttackensis*) y algas marinas (*Enteromorpha* spp.) (Biswas et al., 2019). Mientras tanto, en Grecia se planteó un sistema con dorada (*Sparus aurata*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*) como especies primarias, y bivalvios (*Mytillus galloprovincialis* y *Pinctada imbricata*) y pepinos de mar (*Holothuria polii*) como especies extractivas (Chatzivasileiou et al., 2022).

Estudios previos han mostrado que la AMTI puede mejorar la calidad del agua en comparación con el monocultivo, además de aumentar la productividad y reducir la mortalidad de los organismos, ya que, a través de la biorremediación, se pueden extraer partículas, absorber formas de nitrógeno y fósforo, mejorando la sostenibilidad de la acuicultura, reduciendo el impacto de los efluentes y generando mayor rentabilidad económica con la producción simultánea de más productos finales (Castilla-Gavilán et al., 2023a; Fraga-Corral et al., 2022; Giangrande et al., 2020; Hanif, 2022; Jiménez-Prada et al., 2021; José & Vieira, 2018; Naspirán-Jojoa et al., 2022; Sadeghi-Nassaj et al., 2018).

La importancia de descubrir y usar nuevas especies de invertebrados y algas como especies extractivas radica en su potencial para proporcionar servicios de biorremediación y aplicaciones comerciales. Además, la identificación de nuevas especies puede ayudar a comprender mejor la biodiversidad marina y su papel en los ecosistemas acuáticos. La biorremediación es un proceso importante para reducir la contaminación en el agua y mejorar su calidad. Las especies de algas pueden ser utilizadas para eliminar contaminantes como metales tóxicos, hidrocarburos y otros contaminantes orgánicos (Sardi-Saavedra et al., 2016). En relación a los invertebrados, los anfípodos, por ejemplo, son conocidos por su capacidad para colonizar estructuras artificiales, como instalaciones de acuicultura, formando comunidades características. El uso de anfípodos en la AMTI, puede promover diversos beneficios en el sistema, como la biorremediación de lodos en su propia biomasa, además de servir como una importante fuente de alimento en la acuicultura *per se*, pudiendo ser un cultivo secundario relevante. Además, los anfípodos están asociados con el aumento de la producción de biomasa de macroalgas (Baeza-Rojano et al., 2010; Castilla-Gavilán et al., 2023b; Fernandez-Gonzalez et al., 2018; Jiménez-Prada et al., 2018, 2021; Myers & Heck Jr, 2013; Woods, 2009). Una especie de anfípodo que coloniza instalaciones de acuicultura marina es *Elasmopus rapax* (Fernández-González, 2017). A pesar de la falta de información específica sobre esta especie, es el anfípodo dominante en la planta de cultivo del IEO-Canarias, y, por lo tanto, la especie más enfocada para desarrollar ese presente trabajo.

Diferentes circuitos de agua y sistemas de circulación pueden ser utilizados en la acuicultura multitrófica, incluyendo sistemas abiertos, semicerrados, y sistemas cerrados de recirculación (RAS, del inglés *Recirculation Aquaculture System*). Los sistemas abiertos se caracterizan por un flujo continuo de agua desde el entorno hacia el sistema de producción y de regreso al medio. Los sistemas semicerrados suelen utilizar una combinación de intercambio de agua y filtración mecánica para mantener la calidad del agua. Los sistemas cerrados están completamente aislados del entorno y dependen de la filtración mecánica y biológica para mantener la calidad del agua. Los sistemas de acuicultura de recirculación son sistemas altamente eficientes que recirculan el agua a través de una serie de procesos de filtración y tratamientos, reduciendo la necesidad de intercambio de agua. Cada sistema tiene sus ventajas y desventajas, y la elección del sistema dependerá de las necesidades y objetivos específicos del sistema de producción. Los sistemas abiertos son relativamente simples y económicos de establecer, pero son vulnerables a las fluctuaciones ambientales y requieren una gran cantidad de agua; los sistemas semicerrados son más costosos de establecer, pero ofrecen un mayor control sobre la calidad del agua y son menos vulnerables a las fluctuaciones ambientales; y los sistemas RAS son altamente eficientes y pueden ser utilizados en una variedad de sistemas de producción, pero requieren una inversión significativa en infraestructura y tecnología (Chary et al., 2022). Bajo esas premisas, diferentes sistemas de recirculación de agua pueden ser utilizados en la acuicultura multitrófica, cada uno con sus ventajas y desventajas, la elección del sistema dependerá de las necesidades y objetivos específicos del sistema de producción. Diferentes especies pueden ser utilizadas en cada sistema para crear un sistema de producción más sostenible y eficiente, con beneficios para la restauración del ecosistema, la industria farmacéutica y la producción de alimentos.

OBJETIVOS

Objetivo general

El objetivo de ese trabajo fue seleccionar nuevas especies de bajo nivel trófico y estudiar su adaptación a sistemas de acuicultura multitrófica integrada en el Centro Oceanográfico de Canarias (IEO-CSIC).

Para alcanzar este objetivo general, los siguientes objetivos específicos fueron generados:

- Caracterizar especies que aparecen asociadas de forma natural a los efluentes de la planta de cultivos marinos con el fin de seleccionar potenciales candidatos de bajo nivel trófico para los ensayos de AMTI y evaluar posibles usos en biorremediación.
- Diseñar un sistema de concentración y producción de anfípodos asociado a un tanque exterior de cultivo de medregal.
- Diseñar un sistema multitrófico basado en estrellas, anfípodos, anémonas y algas acoplado a tanques de dorada, con el objetivo de usar sus efluentes en la producción de estas especies, así como estudiar su posible efecto de biorremediación.
- Diseñar un sistema multitrófico desacoplado basado en estrellas y anfípodos, con el objetivo de usar residuos y detritos sifonados de medregal en la producción de estas especies, así como estudiar su posible efecto de biorremediación.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el contexto de este estudio académico, los diferentes desarrollos experimentales fueron llevados a cabo en las instalaciones del Instituto Español de Oceanografía de Canarias (IEO-CSIC-Canarias), ubicadas en C. Farola del Mar, nº 22, 38180, Dársena Pesquera, San Andrés, Santa Cruz de Tenerife, España.

1. identificación y selección de la fauna de bajo nivel trófico asociada a los efluentes de la planta de cultivo.

El primer paso en este estudio fue realizar una caracterización de las principales especies de bajo nivel trófico asociadas a los efluentes de la planta de cultivos. Este análisis implicó la toma de muestras en ocho ubicaciones originales (P1-P8) a las que se añadieron dos posteriores como extensión de la P1 y P3. Estas ubicaciones se seleccionaron en función de su acceso y caudal de los efluentes a lo largo del muestreo. El estudio se llevó a cabo bimestralmente, entre noviembre de 2022 y marzo de 2023, realizándose siempre al final de cada mes. Los diferentes puntos muestreados y algunos momentos de dicho muestreo pueden observarse en la Figura 2.



Fuente: <https://visor.grafcan.es/visorweb/default.php?svc=svcoRtoUR>



Figura 2: A) Mapa de la planta de cultivo con marcación de los puntos de muestreo; B) Muestreo de las canaletas de desagüe de la planta de cultivos de IEO-Canarias

Durante el análisis de estas muestras, se registró y anotó la fauna asociada encontrada y se tomaron muestras de diversos raspados que permitirían una identificación más precisa de la fauna en posteriores análisis. Para este fin, las muestras fueron almacenadas en alcohol al 70% por si más adelante interesaba hacer algún análisis genético. Hay que señalar que el objetivo del muestreo fue identificar las especies o taxas más abundantes, así como su distribución temporal y espacial. No se tomaron datos para poder comparar densidades de manera precisa.

Estos muestreos fueron coordinados por el personal del grupo de Bentos del COC-IEO (CSIC) liderado por Marcos González Porto y participando en ellos Bertín García Mañé, Noemí Dionis Insensé, Álvaro Herrera Cáceres y Carlos González Estévez.

2. Ensayo acoplado a cultivo de medregal (*Seriola dumerili*)

Observaciones previas en las instalaciones de cultivo del COC-IEO (CSIC) mostraron que los tanques exteriores de gran capacidad (500 m³) usados para el cultivo de medregales, desarrollan con el tiempo una importante cobertura algal en las paredes, que según el tipo de alga y la estación suele colonizarse por especies de invertebrados. Entre estas especies destacan los anfípodos y concretamente *Elasmopus rapax*. También se pudo observar que durante la época de desarrollo del experimento (20/12/22-20/01/23), el alga dominante en el tanque seleccionado (F11) fue la *Polysiphonia* spp (Rhodophyta, Rhodomelaceae).

El objetivo de este experimento fue diseñar un sistema que permitiera concentrar e incrementar la producción de los anfípodos transportados por los efluentes de este tanque y que a su vez permitiera una fácil recolección sin molestar a los peces cultivados en dicho tanque. En este caso, el tanque de 500 m³, contenía 14 medregales con una media de peso de 15,0 ± 2,4 Kg por individuo, es decir, una biomasa total de 220 kg y una densidad de cultivo de 0,5 kg/m³. Para el ensayo, se instalaron 6 tanques troncocónicos de fibra de vidrio de 100 L de capacidad a la salida de dicho tanque en circuito abierto con un caudal de 1 L/min para cada tanque (Figura 3). Para permitir la fijación y retención de las algas del

efluente del tanque principal, se colocaron en cada tanque dos cilindros flotantes de malla verde (5 mm de luz de malla) de unos 20 cm de largo por 5 cm de ancho.

Dado que los anfípodos de esta especie presentan un ligero fototactismo negativo (E. Almansa datos sin publicar), la mitad de los tanques fueron cubiertos por una malla negra, mientras que la otra mitad se dejaron descubiertos para ver en qué condiciones prosperaban mejor los animales (Figura 3).

El experimento se desarrolló durante un período de un mes, tras el cual se procedió a filtrar el contenido de cada uno de los tanques. Una vez realizada la filtración, se llevó a cabo un análisis de las especies presentes y un recuento de la cantidad de anfípodos, mediante alícuotas de 10 gramos de los restos filtrados.

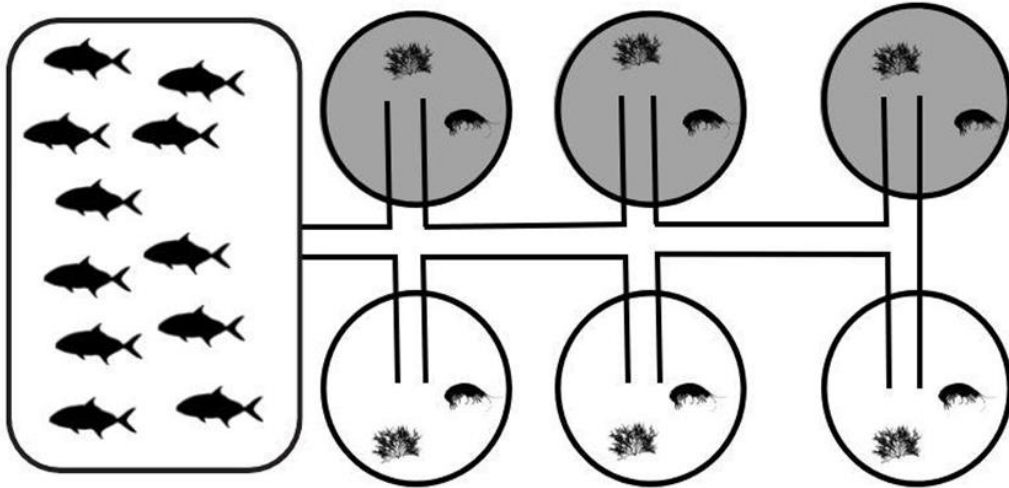


Figura 3: Diseño de la configuración y disposición de los tanques en el experimento 2.

3. Ensayo acoplado a cultivo de dorada (*Sparus aurata*)

Para llevar a cabo el presente estudio se partió de un tanque de dorada de 10 m³ de capacidad situado en una nave interior y con iluminación natural a través

de claraboyas y malla azul de sombreo. Se colocaron en el tanque 20 ejemplares de dorada de unos 2 kg de peso, obteniendo una biomasa total de 40 kg y una densidad de 4-5 kg por metro cúbico (Figura 4). Los ejemplares se alimentaron 4 veces a la semana con un 5% de su biomasa con pienso comercial R-12 (Skretting España S.A., Cojobar, Burgos), y la renovación de agua fue de unos 30 L/min, asegurando siempre que el oxígeno no bajaba de 4,5 ppm. Los tanques fueron sifonados 3 veces a la semana para retirar los restos de comida y heces.

Para las especies de bajo nivel trófico se prepararon 8 tanques troncocónicos de fibra de vidrio de 100 L de capacidad, conectados a los efluentes (desagüe inferior) del tanque de dorada. Estos tanques tenían las paredes negras y estaban descubiertos, recibiendo luz natural a través de claraboyas (Figura 4). Se ajustó una renovación de 1,2 L/min. Este experimento se desarrolló entre el 10 de febrero y el 2 de marzo del año 2023.

A todos los tanques de 100 L se añadieron 230 gramos del alga *Polysiphonia* spp., y cilindros de malla de plástico similares a los descritos en el experimento anterior para intentar su fijación. También se incrementó la intensidad de la entrada de aire mediante una piedra de aireación colocada en posición central en el fondo del tanque, intentando evitar que las algas se depositaran en este. En todos los tanques se añadieron anfípodos (*E. rapax*), estimando una media de 6.279 anfípodos por tanque. En la mitad de los tanques (n=4), se añadieron estrellas de mar *Coscinasterias tenuispina*, mientras que, en la otra mitad, se incorporaron anémonas *Exaiptasia diaphana* para comparar tanto su capacidad de biorremediación como su potencial de producción en un sistema acoplado.

Se midió el oxígeno disuelto y la temperatura en el agua de cultivo diariamente al largo del ensayo, así como los cambios en las concentraciones de materia orgánica particulada, y los químicos inorgánicos disueltos de nitrato, nitrito, amonio, silicato y fósforo (al final del experimento), siguiendo las metodologías expuestas más adelante.

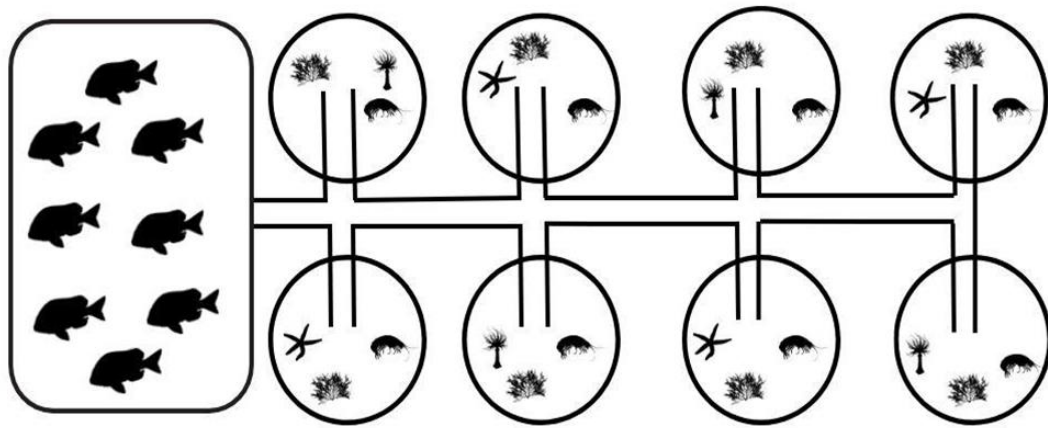


Figura 4: Diseño de la configuración y disposición de los tanques del experimento 3

4. Ensayo desacoplado con residuos del cultivo de medregal (*Seriola dumeril*).

Ese experimento fue dividido en dos partes. En la primera parte consistió en un ensayo desacoplado con 3 tanques de 1000 L destapados y colocados en circuito abierto con agua que provenía directamente de la estación de bombeo (es decir, sin pasar previamente por ningún tanque como en los experimentos anteriores) (Figura 5). En este ensayo, se añadió a los tanques estrellas y anfípodos que se alimentarían con restos de sifonado (mezcla de pienso y heces) recogidos de tanques de cultivo de medregal.

El objetivo era evaluar si los especímenes en los tanques llegarían a consumir dicho material y, de esta manera, determinar si estas especies podrían desempeñar un papel en el proceso de biorremediación.

El estudio se desarrolló del 2 al 29 de marzo de 2023. Durante este tiempo, se vigiló constantemente los niveles de oxígeno y las fluctuaciones de temperatura en los tanques.

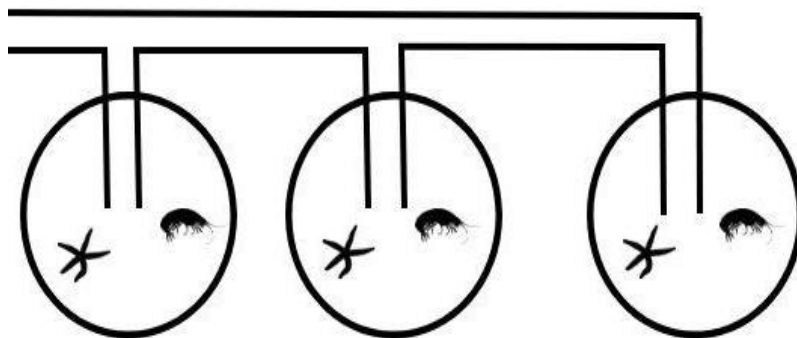


Figura 5: Diseño de la configuración de los tanques del experimento 4

En la segunda parte del experimento se centró en ensayos individualizados para analizar el efecto de una dieta basada en el sifonado anteriormente descrito sobre el crecimiento y supervivencia de las estrellas y anfípodos. Con este fin, se comparó el sifonado con una dieta control basada en caballa y almeja. Los ensayos se hicieron por triplicado en tanques de 12 L para las estrellas (1 estrella por tanque) y de 1 L para los anfípodos (10 anfípodos por tanque). La ración

consistió en un 7% del peso de cada estrella al día y 50 mg por cada 10 anfípodos al día.

5. Determinaciones analíticas del agua de cultivo.

5.1. Análisis de oxígeno y temperatura

La temperatura y el oxígeno fueron medidos usando una sonda multiparámetros (OXY70 Vio, XS instruments, Roma, Italia) que mide el oxígeno disuelto en el agua en partes por millón y en porcentaje; mientras que la temperatura se mide en grados Celsius.

5.2. Análisis de Materia Orgánica Particulada (MOP)

La metodología usada en este trabajo es la descrita previamente por Sadeghi-Nassaj et al. (2018). El procedimiento se inició con la obtención de un valor de referencia mediante la pesada del filtro antes de iniciar la filtración. A continuación, se procedió a filtrar un volumen específico de agua, el cual debía ser lo suficientemente amplio para permitir la detección de la presencia de partículas tanto orgánicas como inorgánicas en el agua, sin llegar a saturar el filtro.

Una vez concluida la filtración, se llevó a cabo un proceso de secado del filtro en estufa a temperatura constante de 60°C durante un período de 24 horas. El objetivo de esta etapa fue eliminar completamente el agua contenida en el filtro, dejando únicamente la materia seca retenida en el mismo. Al finalizar el proceso de secado, se procedió a pesar nuevamente el filtro con el propósito de determinar la cantidad de partículas presentes en el volumen de agua filtrada.

Para poder distinguir y cuantificar la materia orgánica particulada, separando la materia inorgánica, los filtros fueron sometidos a un proceso de quema en mufla a una temperatura de 500°C durante un periodo de 6 horas. Esta alta temperatura permitió eliminar de manera efectiva la materia orgánica presente en el filtro. Una vez culminada la quema, se procedió a pesar nuevamente el filtro. La diferencia entre el peso del filtro con la materia seca y el

peso del filtro posterior a la quema proporcionó la cantidad de materia inorgánica (cenizas) presente en la muestra.

5.3. Análisis de nutrientes inorgánicos disueltos

Los análisis de nitritos, nitratos, amonio, silicatos y fosfatos se determinaron mediante el empleo de un sistema automatizado de cinco canales Technicon-Bran Luebbe AA III AutoAnalyzer (Norderstedt, Alemania). Este sistema permitió la determinación de estos compuestos mediante el análisis de flujo continuo segmentado.

Específicamente, las determinaciones de nitratos y nitritos se llevaron a cabo siguiendo el procedimiento detallado por Tréguer et al. (1976). Para la determinación de los silicatos, el estudio se basó en la metodología propuesta por Folkard (1978). Posteriormente, los fosfatos fueron analizados siguiendo los protocolos propuestos por la USEPA (1997). Por último, la cuantificación de amonio se realizó a través de un enfoque basado en la fluorimetría, en el cual se empleó el método de derivatización mediante la reacción con ortoftaldialdehído en medio sulfuroso (Kérouel y Aminot, 1997).

En el ensayo 4, no fue posible analizar estos compuestos con las técnicas antes descritas y hubo que recurrir a test de acuarios para nitratos, nitritos y amonio (Tetratest, TetraGmbH, Melle, Germany).

6. Análisis estadístico

Inicialmente, se verificó la normalidad de los datos utilizando la prueba de Shapiro-Wilk y se evaluó la homogeneidad de las varianzas entre los grupos mediante la prueba de Levene. Para verificar diferencias entre dos variables o tratamientos, se llevó a cabo el Test t de Student. Para comparaciones de más de dos variables, si los datos cumplían los supuestos de normalidad y homocedasticidad se realizó el análisis de varianza (ANOVA), y si no, se realizó el test de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre las muestras. En caso de diferencias significativas, se llevó a cabo el test *post-hoc* de Tukey o el de la U de Mann-Whitney, respectivamente, para verificar cuales de las muestras diferenciaron entre sí. Para verificar correlaciones, se usó la

correlación de Kendall. Se consideró que había diferencias significativas para $p < 0,05$. Todos los análisis estadísticos fueron desarrollados con el software IBM SPSS Statistics 26.0 (IBM Co., USA).

RESULTADOS

1. Identificación y selección de la fauna de bajo nivel trófico asociada a los efluentes de la planta de cultivo.

En el estudio de los efluentes de la planta de cultivos del COC-IEO (CSIC), se identificaron aproximadamente 21 especies, incluyendo 16 especies de invertebrados y 5 especies de algas (Tabla 1). Entre las especies más abundantes se encuentran la anémona *Exaiptasia diaphana*, la estrella de mar *Coscinasterias tenuispina*, y la esponja *Haliclona* sp (Figura 6).

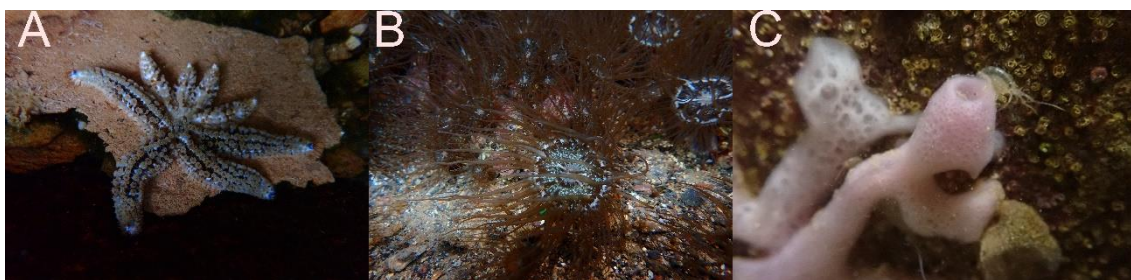


Figura 6: Ejemplares de las especies encontradas en el muestreo. A: *Coscinasterias tenuispina*; B: *Exaiptasia diaphana*; C: *Haliclona* sp.

La evaluación de la diversidad de especies entre los puntos muestreados reveló que los puntos siete (P7) y ocho (P8) fueron los más ricos en términos de biodiversidad, mientras que el punto 3 (P3) era el que menos tenía. Entre otros aspectos, cabe destacar que la presencia de *E. diaphana* se concentraba claramente en puntos de mayor luminosidad, disminuyendo su densidad y presencia en áreas con menor luminosidad.

La mayoría de las especies aparecen a lo largo de todo el período de muestreo, aunque algunas muestran cambios a nivel temporal como los antozoarios actínidos (Tabla 1). Estos cambios espaciales y temporales podrían estar

relacionados no solo con la biología de estas especies, sino también con la actividad de la planta de cultivos (cambios en el uso de los tanques, etc.). Profundizar en este aspecto requeriría de estudios más exhaustivos que no son el objetivo de esta memoria.

Tabla 1. Identificación taxonómica de las especies localizadas en los efluentes de la planta de cultivos del COC-IEO (CSIC) y su distribución espacial y temporal.

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	TAXA	P1	P1B	P2	P3	P3B	P4	P6	P7	P8	P10	nov-22	ene-23	mar-23
Annelida	Polychaeta	Sabellida	Serpulidae	<i>Hydroides cf. norvegica</i> Gunnerus, 1768									X		X	X	X
				<i>Salmacina cf. incrustans</i> Claparède, 1870	X					X			X		X	X	X
				<i>Serpula vermicularis</i> Linnaeus, 1767										X			X
				Spirorbinae indet.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Spionida	Spionidae	Spionidae indet.										X	X	X	X
		Terebellida	Terebellidae	Terebellidae indet.								X	X		X		
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda		Amphipoda indet.	X	X		X	X	X		X		X	X	X	X
		Isopoda	Ligiidae	<i>Ligia italica</i> Fabricius, 1798	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X
Cnidaria	Anthozoa	Actiniaria	Actiniidae	<i>Actinia nigropunctata</i> den Hartog & Ocaña, 2003								X					X
				Actiniidae indet.								X			X		
			Aiptasiidae	<i>Exaiptasia diaphana</i> (Rapp, 1829)	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X

Echinodermata	Asteroidea	Forcipulatida	Asteriidae	<i>Coscinasterias tenuispina</i> (Lamarck, 1816)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Porifera	Calcarea	Leucosolenida	Syconidae	<i>Sycon raphanus</i> Schmidt, 1862										X	X			
	Demospongiae	Bubarida	Dictyonellidae	<i>Dictyonella sp</i> Schmidt, 1868										X		X	X	
		Haplosclerida	Chalinidae	<i>Haliclona sp</i> Grant, 1841		X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
		Poecilosclerida	Myxillidae	<i>Myxilla sp</i> Schmidt, 1862										X	X	X	X	
DIVISIÓN	CLASE	ORDEN	FAMILIA	TAXA	P1	P1B	P2	P3	P3B	P4	P6	P7	P8	P10	nov-22	ene-23	mar-23	
Cyanobacteria				<i>Cyanobacteria indet.</i>							X					X		
Chlorophyta	Chlorophytina	Cladophorales	Cladophoraceae	<i>Cladophoraceae indet.</i>	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X
Rhodophyta	Florideophyceae			<i>Corallinophycidae indet.</i>								X						X
				<i>Florideophyceae indet. 1</i>								X		X	X			X
				<i>Florideophyceae indet. 2</i>										X	X			

2. Ensayo acoplado al cultivo de medregal (*Seriola dumerilii*)

El análisis del contenido de los tanques tras 30 días de cultivo mostró visualmente una mayor presencia de algas (*Polysiphonia* spp) en los tanques sin malla, tal y como cabría esperar. Así mismo, los anfípodos (*E. rapax*), también mostraron un mayor contenido ($P= 0,009$) en los tanques sin malla (Tabla 3).

Tabla 3: Anfípodos por tanque (100 L) en presencia o ausencia de malla

	Sin malla	Con malla	p-valor
Anfípodos/Tq	723,7 ± 80,0	283,7 ± 139,8	0,009

Los datos se expresan como media y desviación estándar (n=3). La última columna indica el valor del estadístico según una t-Student

También hay que señalar que en todos los tanques se observó una deposición de lodo en el fondo del tanque, resultado, posiblemente, de la descomposición del alga. Dado que los anfípodos son detritívoros y también se localizaron dentro de este lodo, se cuantificó la cantidad de lodo de cada tanque para ver si había alguna correlación entre el volumen de este y la cantidad de anfípodos. El peso del lodo fue de $422,94 \pm 293,08$ g para los tanques destapados y $487,63 \pm 628,75$ g para los tanques tapados. Sin embargo, no se observó correlación entre la población de anfípodos y el peso del lodo ($p=0,414$). Dentro de este lodo, se detectó también la presencia puntual de pequeñas ofiuras y gusanos, ambos sin identificar. A pesar de la acumulación de lodo, los niveles de oxígeno no presentaron fluctuaciones claras entre los distintos tanques; al igual que la temperatura, cuando se tomó dicha medida a lo largo del experimento (Figura 7).

Por último, no hubo diferencia significativa en la cantidad de materia orgánica particulada (MOP) entre los tratamientos ni con relación a la entrada del tanque ($p=0,683$) (Tabla 4).

Tabla 4: Medias y desviaciones estándar de materia orgánica particulada hallada por tratamiento, y p-valor del ANOVA.

Tratamiento	Media (MOP/L)	DS	p-valor
Destapados	9,37	0,64	0,683
Tapados	8,56	0,49	
Entrada	9,17	0,63	

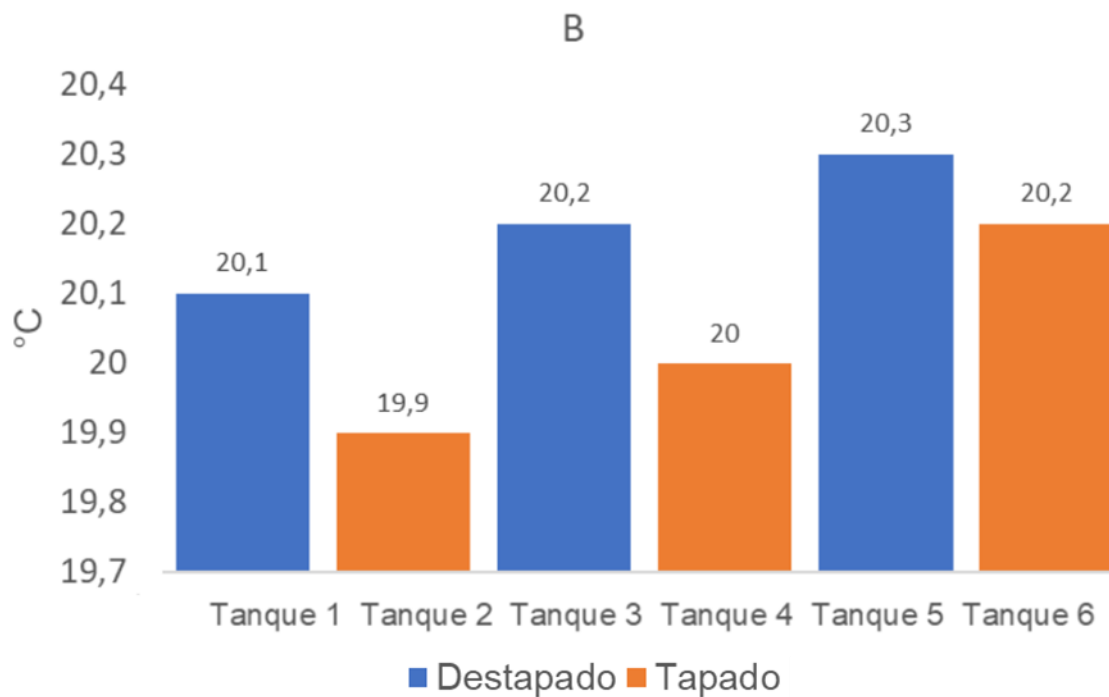
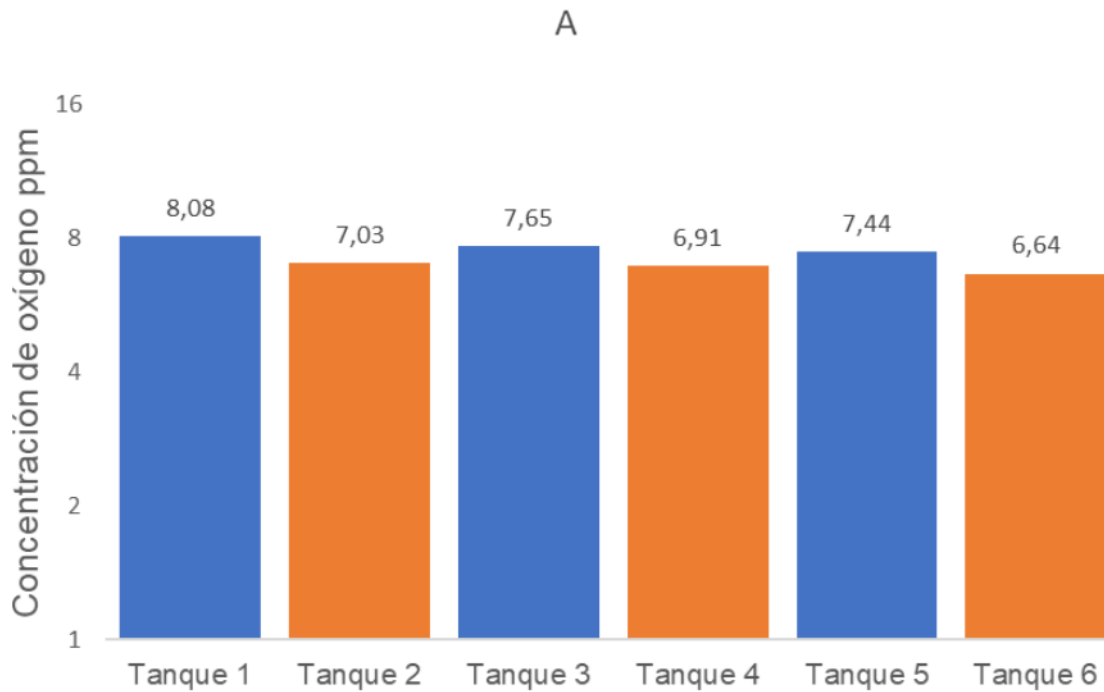


Figura 7: Valores de los parámetros del agua de los tanques en el experimento. A: datos de oxígeno; B: datos de temperatura.

3. Ensayo acoplado al cultivo de doradas (*Sparus aurata*)

Las estrellas de mar y anémonas se mantuvieron vivas en los tanques, aunque redujeron su peso, mostrando una reducción media de $20,23\% \pm 6,15$ y $49,9\% \pm 19,12$ respectivamente (tabla 5). Mientras tanto, el alga volvió a degradarse y depositarse en el fondo como en el anterior ensayo. Los anfípodos cayeron en una media de $95,21\%$ en el tratamiento de anémonas y $94,18\%$ en el tratamiento con estrellas de mar (Tabla 6). Las tasas de oxígeno y la temperatura permanecieron constantes a lo largo del experimento, sin exhibir fluctuaciones notables en el tiempo (Figura 8).

Tabla 5: Peso de las estrellas y anémonas por tanque. Ex: tratamiento con estrellas; Ax: tratamiento con anémonas.

Tanques	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	diferencia %
A1	14,76	5,42	-63,28
A2	7,42	1,76	-76,29
A3	11,2	7,71	-31,14
A4	7,98	3,81	-52,24
Media \pm DE	$9,59 \pm 3,38$	$3,49 \pm 2,52$	$-49,90 \pm 19,12$
E1	42,92	35,69	-16,85
E2	43,26	36,43	-15,79
E3	42,4	30,44	-28,21
E4	41,7	31,21	-25,16
Media \pm DE	$42,56 \pm 0,68$	$33,23 \pm 3,05$	$-20,23 \pm 6,15$

Tabla 6: Número de anfípodos por tratamiento. Ax: tratamiento con anémonas; Ex: tratamiento con estrellas.

Tanque	Número inicial de anfípodos	Número final de anfípodos	Diferencia %
A1	6279	357	-94,31
A2	6279	426	-93,22
A3	6279	243	-96,13
A4	6279	170	-97,29
Media ± DE		264,09 ± 114,41	-95,21 ± 1,82
E1	6279	413	-93,42
E2	6279	516	-91,78
E3	6279	80	-98,73
E4	6279	434	-93,09
Media ± DE		177,94 ± 192,37	-94,18 ± 3,06

Al comparar los tratamientos aplicados en términos de materia orgánica particulada, no se hallaron diferencias significativas entre los valores de entrada y de salida (Tabla 7). De manera análoga, el pH medido en las muestras al concluir el experimento se mantuvo constante en un valor de 8 en todas las muestras. Dicha constatación también se reflejó en el análisis de nutrientes inorgánicos, en el cual no se encontraron variaciones estadísticamente significativas a excepción de los niveles de nitritos (Tabla 8). En este último caso, el resultado del test a posteriori mostró un menor contenido en el agua de entrada frente al tratamiento con anémonas ($p=0,004$) y frente al tratamiento con estrellas ($p=0,015$); mientras que no hubo diferencias entre el resto ($0,612 < p \leq 0,05$).

Tabla 7: Medias y desviaciones estándar de materia orgánica particulada hallada por tratamiento, y p-valor del ANOVA.

Muestra	MOP/L	p-valor
Entrada de doradas	24,09 ± 1,39	0,584
Salida de doradas	23,31 ± 1,61	
Anémonas	24,14 ± 0,93	
Estrellas	24,63 ± 0,78	

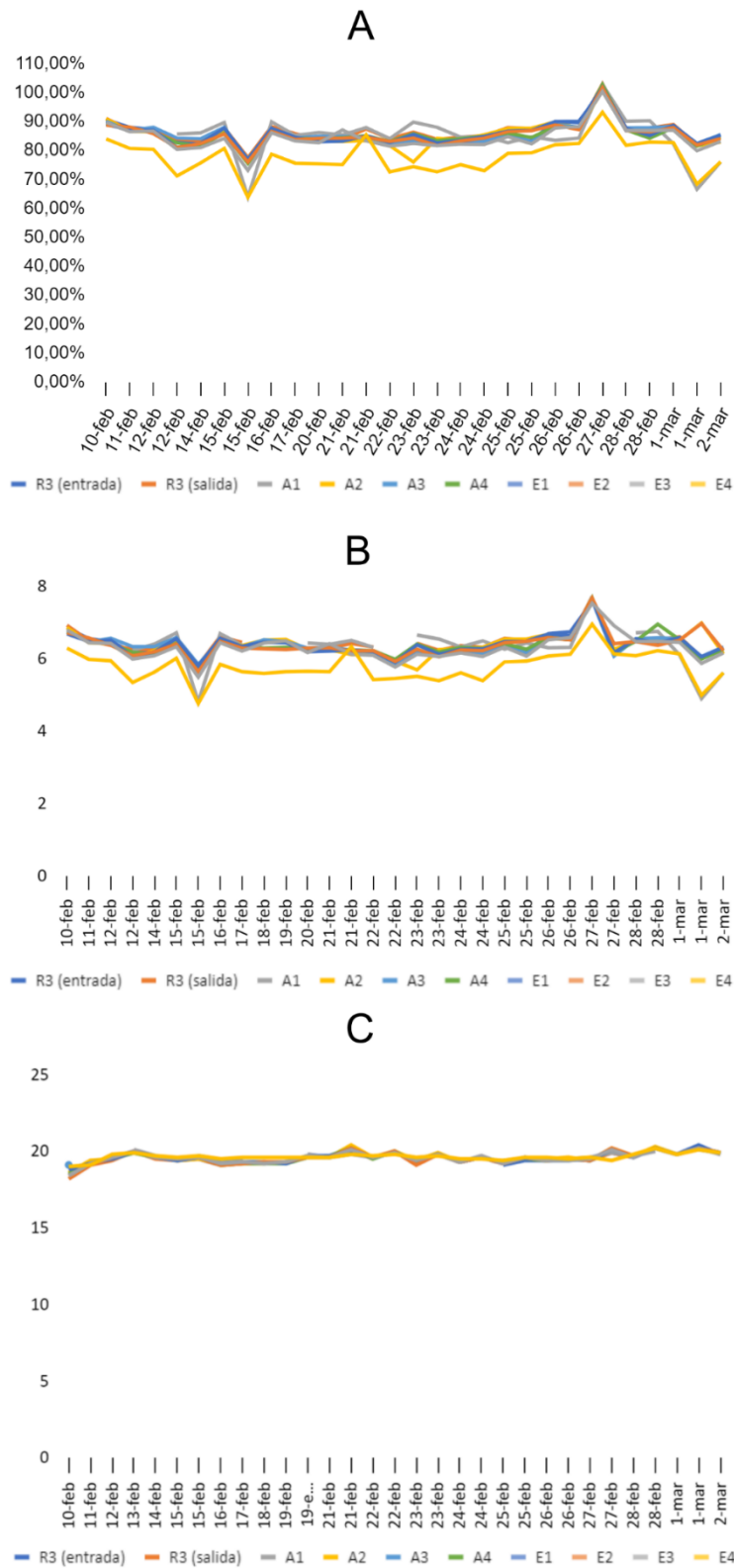


Figura 8: Datos de oxígeno y temperatura de los tanques al largo del tiempo en el experimento 3, donde R3: tanque de doradas; Ax: tanque de anémonas; Ex: tanque de estrellas. A: Oxígeno en porcentaje; B: Oxígeno en ppm; C: Temperatura en °C.

Tabla 8: Composición mineral del agua bajo diferentes condiciones experimentales

Muestra	Media/DS				
	SiO ₄ ⁴⁻ (μmol/L)	PO ₄ ³⁻ (μmol/L)	NO ₃ ⁻ (μmol/L)	NO ₂ ⁻ (μmol/L)	NH ₄ ⁺ (μmol/L)
Entrada del tanque de doradas	9,86 ± 0,66	0,22 ± 0,02	1,36 ± 0,07	0,04 ± 0,01	0,14 ± 0,09
Salida del tanque de doradas	12,12 ± 0,59	0,55 ± 0,02	1,55 ± 0,08	0,05 ± 0,01	11,26 ± 0,57
Salida de los tanques anémonas	11,31 ± 1,18	0,52 ± 0,05	1,51 ± 0,27	0,09 ± 0,03	11,74 ± 1,44
Salida de los tanques de estrellas	11,95 ± 1,57	0,56 ± 0,05	1,57 ± 0,26	0,08 ± 0,02	11,74 ± 1,40
p-valor	0,110	0,067	0,429	0,014	0,085

4. Ensayo desacoplado con restos de sifonado del cultivo de medregales

El análisis de los resultados del ensayo con tanques de 1000L desacoplados y alimentados con sifonado de medregal no muestra ninguna variación significativa del crecimiento en las estrellas de mar (Tabla 9) y sugieren una disminución en el número de anfípodos (Tabla 10).

En lo que respecta a los nutrientes inorgánicos, como se ha indicado en la metodología, en este ensayo no se pudieron determinar con los sistemas de análisis usados en los capítulos anteriores, por lo que hubo que recurrir a test de acuarios para nitritos, nitratos y amonio que no mostraron efectos de cara a la biorremediación y sus valores estaban siempre estuvieron por debajo de los descritos como peligrosos para especies marinas. Tampoco hubo variación relevante en los datos de temperatura y oxígeno.

Tabla 9: Cambios en el peso de las estrellas de mar a lo largo del experimento.

	Inicial	Final	% de diferencia
Estrellas (g)	44,49 ± 2,46	44,69 ± 2,23	0,61 ± 2,27

Los datos se expresan como media y desviación estándar (n=3).

Tabla 10: Variación en el número de anfípodos a lo largo del experimento.

	Inicio	Final
Anfípodos/Tq 800	653,33 ± 197,03	

Los datos se expresan como media y desviación estándar (n=3).

En el segundo ensayo donde se comparó el efecto del sifonado sobre el crecimiento de las estrellas a nivel individual mostró que una dieta control basada en caballa y almeja obtuvo un mayor crecimiento ($p=0,03$) que la dieta basada en sifonado, la cual apenas mostró variaciones (1,04 vs 0,3 % en incremento del porcentaje de peso húmedo por día) según se muestra en la Tabla 11.

En lo que respecta al ensayo con anfípodos comparando dieta control con dieta basada en sifonado. Al término del ensayo la mortalidad fue de casi el 100% en todos los tratamientos, lo que sugiere que el sistema empleado para su cultivo no fue el adecuado y que son necesarios más estudios al respecto con otras técnicas de cultivo.

Tabla 11: Resultados del experimento 4, con los números inicial y final del peso en gramos de las estrellas de mar.

Dieta	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Diferencia %	SGR	p
Sifonado	10,95 ± 2,37	11,71 ± 2,32	6,94 ± 4,93	0,23 ± 0,15	0,03
Caballa y almeja (control)	12,86 ± 0,88	17,6 ± 1,65	36,86 ± 17,03	1,04 ± 0,40	

Los datos se expresan como media y desviación estándar (n=3). Las últimas columnas indican los valores del estadístico según una t-Student. SGR: Specific growth rate (expresa el incremento de peso en porcentaje por día)

DISCUSIÓN

1. Fauna asociada a la planta de cultivo

Las especies encontradas en la planta de cultivo del Instituto Español de Oceanografía de Canarias pueden presentar un interesante uso como especies extractivas. Así, por ejemplo, la esponja *Haliclona* sp. puede tener un uso interesante en la AMTI como especie filtradora. Las esponjas están relacionadas con el consumo de la materia orgánica disuelta, también generando el “sponge loop” al transformar la materia orgánica disuelta en particulada que a su vez puede ser consumida por especies asociadas, lo que genera gran potencial para la biorremediación (Alexander et al., 2014; De Goeij et al., 2013). Las esponjas en general, y en particular especies de *Haliclona* sp., presentan compuestos bioactivos con gran potencial, justificando su uso para la producción en acuicultura. Li et al. (2023) consiguieron implementar una producción en larga escala de *Haliclona simulans* y Giangrande et al. (2020) empleó esponjas en un sistema de AMTI con interesantes resultados. En ese trabajo no se usó las esponjas encontradas debido a su baja densidad en las canaletas. Por el contrario, las anémonas y estrellas presentaron densidades más altas y fueron elegidas, ya que podrían ser recolectadas si fallara su cultivo. En diferentes puntos de la planta fueron encontrados especies como *Aplysia dactilomela* y *Ulva* sp. además de medusas, ofiuras y copépodos. Un ejemplo del uso de estas especies es el caso

de los erizos que antes eran considerados plagas, hoy son especies bastante utilizadas en cultivos acuícolas (Grisolía et al., 2012).

2. El cultivo de anémonas

El cultivo comercial de anémonas es prácticamente inexistente, siendo la extracción de la vida silvestre la principal fuente para la acuariofilia (Scott, 2017; Watson & Younger, 2022). Además, las anémonas se han utilizado en estudios de biotecnología marina, como la producción de proteínas y compuestos bioactivos de gran interés biotecnológico y farmacéutico, como compuestos antitumorales, péptidos antihipertensivos, fuentes de diversas enzimas y posibles fármacos (Aguilo-Arce et al., 2023; Andreev et al., 2008; Chatzivasileiou et al., 2022; Flórez-Fernández et al., 2020; Fu et al., 2022; Menezes & Thakur, 2022; Thangaraj et al., 2019). Además, las anémonas marinas se han estudiado ampliamente y se han propuesto como bioindicadores de la calidad ambiental debido a su sensibilidad a los cambios en los ecosistemas marinos desde hace mucho tiempo. Estos organismos dependen en gran medida de las condiciones ambientales, como la calidad del agua, la disponibilidad de alimentos y la presencia de contaminantes químicos o sólidos y la temperatura; estos parámetros ambientales pueden afectar sus tasas de crecimiento, reproducción, supervivencia, entre otros (Jiang et al., 2021; Morais et al., 2020; Vallaey, 2017).

Las anémonas *Exaiptasia diaphana* no son muy utilizadas por la acuicultura multitrófica, sin embargo, son organismos modelos en el estudio de endosimbiosis, especialmente por la facilidad de mantener en cultivo (Dungan et al., 2019). El uso de esas anémonas, por tener endosimbiontes, puede tener potencial uso en la acuicultura multitrófica como consumidores de nutrientes nitrogenados y fosfatados. Aunque las anémonas se adaptaron relativamente bien a los tanques de cultivo no cumplieron con el papel de biorremediación y tampoco mostraron un incremento en la biomasa, lo que sugiere la necesidad de más estudios con esta especie para en estos sistemas de cultivo

3. El cultivo de estrellas de mar

Con relación a las estrellas, Reina Hernández (2022) sugirió el potencial uso de *Coscinasterias tenuispina* en acuicultura multitrófica. Aunque la acuicultura de

holoturias (Mohsen & Yang, 2021; Raison, 2008) y erizos de mar (Grisolía et al., 2012; McBride, 2005) sea común comercialmente, incluyendo su uso en acuicultura multitrófica integrada (Hannah et al., 2013; Sadeghi-Nassaj et al., 2018; Zhang et al., 2016); la acuicultura de estrellas de mar aún está poco explorada, especialmente en sistemas de acuicultura multitrófica integrada.

El cultivo de estrellas de mar en acuicultura puede ser interesante debido al potencial uso de sus compuestos bioactivos que pueden ser usados como posibles fármacos y materiales biotecnológicos, así como para fines ornamentales en acuariofilia y potencial alimento humano y para confección de pienso (Riccio et al., 1986; Shah et al., 2008). Las estrellas de mar pueden ser un excelente recurso para la acuicultura debido a su rápido crecimiento y reproducción fácil (Reina Hernández, 2022).

Sin embargo, los experimentos no revelaron interesantes resultados de biorremediación ejercido por estas estrellas. En el experimento 4, aparentemente no hubo material que pudiera alimentar las estrellas, con esas ejerciendo básicamente una función de vida libre en el sistema. *In prospectu*, el uso de material sifonado para el cultivo de *C. tenuispina* no permitió el desarrollo de las mismas. En esa problemática, es demasiado probable que ese organismo, por ser depredador, presente un nivel trófico demasiado alto para ejercer las funciones propuestas, siendo su cultivo en el sistema pensado en ese estudio, incompatible. Sin embargo, un interesante uso de estos animales podría ser como control de plaga de especies herbívoras, como burgados y caracoles, protegiendo el cultivo de algas en un sistema multitrófico. En ese hipotético uso propuesto, no sería probable su cultivo en altas densidades, no siendo una prometedora especie extractiva, sin embargo, podría fornecer excelente reducción de costos de mantenimiento y aumento de la productividad en el sistema.

4. El cultivo de anfípodos

Los anfípodos pueden desempeñar un papel crucial como especies extractivas en los sistemas de acuicultura multitrófica integrada. Esta importancia se deriva en gran medida de su alta capacidad nutritiva, lo que a su vez puede influir en

la producción de alimentos de alta calidad para la acuicultura, como se detalla en el trabajo de Baeza-Rojano et al. (2014).

Durante la fase preliminar de planeamiento de este estudio, se propuso la necesidad de evaluar potencial del uso de los anfípodos *Elasmopus rapax* pues son la especie más abundante y frecuente en la planta de cultivo del IEO-Canarias. A pesar de esto, los intentos de cultivar estos anfípodos no fueron exitosos, lo que obliga a una reflexión más profunda sobre las particularidades y requisitos específicos de esta especie en comparación con otros tipos de anfípodos.

Por ejemplo, el estudio realizado por Jiménez-Prada et al. (2021) verificó que el anfípodo *Gammarus insensibilis* puede crecer y aprovechar los residuos generados por la acuicultura. De manera similar, los resultados de Castilla-Gavilán et al. (2023b) respaldan de manera concluyente esta afirmación.

Una de las posibles explicaciones a los malos resultados con anfípodos y el resto de especies serían los bajos niveles y falta de diferencias de nutrientes inorgánicos y MOP en la entrada y salida del tanque de dorada (tabla 7 y 8), lo que sugiere que los tanques de peces no aportaron nutrientes suficientes o estos no eran adecuados para estas especies.

Además, la literatura académica actual ofrece esporádicas y limitadas informaciones sobre los hábitos y parámetros de *E. rapax*, especialmente en relación a su potencial uso en la acuicultura multitrófica. Por lo tanto, este vacío en la literatura subraya la necesidad de más estudios centrados en el cultivo acuícola de *E. rapax* y en análisis minuciosos sobre su función potencial en la acuicultura multitrófica. El cultivo y uso efectivo de anfípodos puede aportar enormemente a la sostenibilidad y eficacia de los sistemas de acuicultura, y, por lo tanto, merece atención e investigaciones más rigurosas y detalladas.

5. El cultivo de algas

A pesar de los beneficios asociados a la inclusión de algas en sistemas de cultivo multitrófico, como la mejora del uso de recursos y reducción del impacto ambiental, estos organismos también enfrentan problemas de estacionalidad, recolección y manejo que requieren soluciones eficaces y específicas. Las algas son un componente crucial en los sistemas de cultivo multitrófico ya que pueden aprovechar los compuestos inorgánicos liberados por otras especies, especialmente

los peces, y mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sistema en su conjunto. Sin embargo, el cultivo de algas puede enfrentar dificultades como la variabilidad estacional en la disponibilidad de nutrientes y condiciones ambientales, así como los retos en el manejo, cosecha y postcosecha.

El alga *Polysiphonia* spp usada en esa experimentación demostró un problema claro de cultivo no cumpliendo su papel de absorción de nitrógeno y fósforo, posiblemente por no tener unas condiciones idóneas de cultivo generando lodo y en ocasiones consiguiendo el efecto opuesto. Otras especies de algas como *Ulva* spp suelen ser más usadas en el cultivo multitrófico, y, por lo tanto, podrían ser más exitosas en el cultivo de AMTI (Ghaderiardakani et al., 2019; Pintado et al., 2023).

En relación a las algas, también conviene señalar que en el experimento 2, los tanques iluminados mostraron una película de microfitorbentos en sus paredes que pareció favorecer al mayor número de anfípodos en este tratamiento, pues estos se observaban muy a menudo en las paredes de dichos tanques.

6. Consideraciones finales sobre la implementación del sistema de Acuicultura Multitrófica Integrada

Acerca de los desafíos de implementación del sistema de AMTI, uno de los desafíos clave es la falta de claridad, precisión y estandarización en los protocolos de implementación. Este problema, en parte, se debe a la naturaleza altamente interdisciplinaria de la acuicultura, que requiere la cooperación y el intercambio de información entre expertos. Esta diversidad de enfoques y conocimientos puede generar dificultades para alcanzar consensos y desarrollar estándares técnicos y metodológicos universales aplicables a la AMTI. El problema de la inexactitud en la definición y alcance de la AMTI puede generar malentendidos y confusiones en la formulación de políticas, la planificación y la financiación de proyectos de investigación y desarrollo. Además, debido a que la AMTI no está estandarizada, los productores, investigadores y responsables políticos pueden enfrentar dificultades para comparar los resultados obtenidos en diferentes aplicaciones y geografías, lo que limita la adopción generalizada de las mejores prácticas. En eso, es decir que, hay que buscar y filtrar enorme cantidad de información, burocratizando y encareciendo la implementación de ese tipo de cultivo. Además, muchas informaciones claves están siendo tratadas como secretos industriales y memoria

técnica de las instituciones, con su acceso restringido y alejado del público. El tratamiento de la AMTI como secreto industrial, y la falta de transparencia en las informaciones claves de los procesos productivos y tecnológicos empleados, comportamiento comúnmente observado en el sector privado, limita la difusión de información técnica y económica que podría ser útil para otros productores y potenciales inversionistas. También dificulta la colaboración entre industrias, academia y gobierno para el desarrollo de soluciones tecnológicas y de gestión adecuadas. En discusión, ese comportamiento debe ser considerado antiético y predatorio. El fomento del diálogo interdisciplinario y la colaboración entre todos los interesados (gobierno, academia, industria y organizaciones ambientales) es fundamental para abordar estos desafíos. La estandarización de los protocolos y procedimientos de AMTI, así como la adopción de políticas de propiedad intelectual adecuadas, que permitan un mayor acceso al conocimiento y las mejores prácticas, son esenciales para la adopción y sostenibilidad a largo plazo de este enfoque innovador en el campo de la acuicultura.

CONCLUSIONES

1. El presente trabajo ha puesto de manifiesto las dificultades para trabajar con nuevas especies en sistemas AMTI y como es necesaria más investigación para mejorar sus capacidades de biorremediación y/o producción de biomasa de interés. Por otro lado, el estudio contribuye al entendimiento de los retos existentes en la transición hacia un sistema de cultivo multitrófico integrado y a la importancia de considerar factores biológicos, logísticos, económicos y ambientales, entre otros.
2. Tanto la adaptación de técnicas utilizadas, como la exploración de otras especies y variables, puede facilitar un mejor rendimiento en futuros esfuerzos de investigación. Este trabajo ayuda al conocimiento sobre estos sistemas de cultivo, así como a identificar obstáculos que deben ser examinados en futuras investigaciones.
3. Se comprende más sobre la viabilidad de sistemas de cultivo multitrófico integrado, y resaltar la necesidad de continuar investigando para superar los retos encontrados y promover una producción acuícola global más sostenible y eficiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilo-Arce, J., Ferriol, P., Trani, R., Puthod, P., Pierri, C., & Longo, C. (2023). Sponges as Emerging By-Product of Integrated Multitrophic Aquaculture (IMTA). *Journal of Marine Science and Engineering 2023*, Vol. 11, Page 80, 11(1), 80. <https://doi.org/10.3390/JMSE11010080>
- Alexander, B. E., Liebrand, K., Osinga, R., Van Der Geest, H. G., Admiraal, W., Cleutjens, J. P. M., Schutte, B., Verheyen, F., Ribes, M., Van Loon, E., & De Goeij, J. M. (2014). Cell Turnover and Detritus Production in Marine Sponges from Tropical and Temperate Benthic Ecosystems. *PLOS ONE*, 9(10), e109486. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0109486>
- Andreev, Y. A., Kozlov, S. A., Koshelev, S. G., Ivanova, E. A., Monastyrnaya, M. M., Kozlovskaya, E. P., & Grishin, E. V. (2008). Analgesic compound from sea anemone *Heteractis crispa* is the first polypeptide inhibitor of vanilloid receptor 1 (TRPV1). *J Biol Chem*, 283(35), 23914–23921. <https://doi.org/10.1074/jbc.m800776200>
- Baeza-Rojano, E., García, S., Garrido, D., Guerra-García, J. M., & Domingues, P. (2010). Use of amphipods as alternative prey to culture cuttlefish (*Sepia officinalis*) hatchlings. *Aquaculture*, 300(1–4), 243–246. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.12.029>
- Baeza-Rojano, E., Hachero-Cruzado, I., & Guerra-García, J. M. (2014). Nutritional analysis of freshwater and marine amphipods from the Strait of Gibraltar and potential aquaculture applications. *Journal of Sea Research*, 85, 29–36. <https://doi.org/10.1016/J.SEARES.2013.09.007>
- Biswas, G., Kumar, P., Kailasam, M., Ghoshal, T. K., Bera, A., & Vijayan, K. K. (2019). Application of Integrated Multi Trophic Aquaculture (IMTA) Concept in Brackishwater Ecosystem: The First Exploratory Trial in the Sundarban, India. <https://doi.org/10.2112/SI86-007.1>, 86(sp1), 49–55. <https://doi.org/10.2112/SI86-007.1>
- Buck, B. H., Troell, M. F., Krause, G., Angel, D. L., Grote, B., & Chopin, T. (2018). State of the art and challenges for offshore Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). *Frontiers in Marine Science*, 5(MAY), 345988. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2018.00165/BIBTEX>
- Castilla-Gavilán, M., Guerra-García, J. M., Moreno-Oliva, J. M., & Hachero-Cruzado, I. (2023a). How much waste can the amphipod *Gammarus insensibilis* remove from aquaculture effluents? A first step toward IMTA. *Aquaculture*, 573, 739552. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2023.739552>
- Castilla-Gavilán, M., Guerra-García, J. M., Moreno-Oliva, J. M., & Hachero-Cruzado, I. (2023b). How much waste can the amphipod *Gammarus insensibilis* remove from aquaculture effluents? A first step toward IMTA. *Aquaculture*, 573. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739552>
- Chary, K., Brigolin, D., & Callier, M. D. (2022). Farm-scale models in fish aquaculture – An overview of methods and applications. In *Reviews in Aquaculture* (Vol. 14,

- Issue 4, pp. 2122–2157). John Wiley and Sons Inc.
<https://doi.org/10.1111/raq.12695>
- Chatzivasileiou, D., Dimitriou, P. D., Theodorou, J., Kalantzi, I., Magiopoulos, I., Papageorgiou, N., Pitta, P., Tsapakis, M., & Karakassis, I. (2022). An IMTA in Greece: Co-Culture of Fish, Bivalves, and Holothurians. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/jmse10060776>
- De Goeij, J. M., Van Oevelen, D., Vermeij, M. J. A., Osinga, R., Middelburg, J. J., De Goeij, A. F. P. M., & Admiraal, W. (2013). Surviving in a marine desert: The sponge loop retains resources within coral reefs. *Science*, 342(6154), 108–110. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1241981/SUPPL_FILE/DE.GOEIJ.SM.PDF
- Dungan, A. M., Hartman, L., Tortorelli, G., Belderok, R., Lamb, A. M., Pisan, L., McFadden, G. I., Blackall, L. L., & Oppen, M. J. H. van. (2019). Exaiptasia diaphana from the Great Barrier Reef: a valuable resource for coral symbiosis research. *BioRxiv*, 775510. <https://doi.org/10.1101/775510>
- Fernández-González, V. (2017). *Fouling amphipods on marine aquaculture facilities: ecological interactions and potential applications*.
- Fernandez-Gonzalez, V., Toledo-Guedes, K., Valero-Rodriguez, J. M., Agraso, M. M., & Sanchez-Jerez, P. (2018). Harvesting amphipods applying the integrated multitrophic aquaculture (IMTA) concept in off-shore areas. *Aquaculture*, 489, 62–69. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2018.02.008>
- Flórez-Fernández, N., Torres, M. D., Braz, L., Grenha, A., Loret, E. P., & Domínguez, H. (2020). Seaweed and Sea Anemones Proteins as a Source of New Pharmaceutical Active Principles. *Marine Niche: Applications in Pharmaceutical Sciences*, 203–219. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5017-1_11/FIGURES/1
- Fraga-Corral, M., Ronza, P., Garcia-Oliveira, P., Pereira, A. G., Losada, A. P., Prieto, M. A., Quiroga, M. I., & Simal-Gandara, J. (2022). Aquaculture as a circular bio-economy model with Galicia as a study case: How to transform waste into revalorized by-products. *Trends in Food Science & Technology*, 119, 23–35. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.11.026>
- Fu, J., He, Y., Peng, C., Tang, T., Jin, A., Liao, Y., Shi, Q., & Gao, B. (2022). Transcriptome Sequencing of the Pale Anemones (Exaiptasia diaphana) Revealed Functional Peptide Gene Resources of Sea Anemone. *Frontiers in Marine Science*, 9, 389. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2022.856501/BIBTEX>
- Ghaderiardakani, F., Califano, G., Mohr, J. F., Abreu, M. H., Coates, J. C., & Wichard, T. (2019). Analysis of Algal Growth- and Morphogenesis-promoting Factors in an Integrated Multi-Trophic Aquaculture System for Farming Ulva Spp. *Aquaculture Environment Interactions*, 11, 375–391. <https://doi.org/10.3354/aei00319>
- Giangrande, A., Pierri, C., Arduini, D., Borghese, J., Licciano, M., Trani, R., Corriero, G., Basile, G., Cecere, E., Petrocelli, A., Stabili, L., & Longo, C. (2020). An innovative IMTA system: Polychaetes, sponges and macroalgae co-cultured in a Southern Italian in-shore mariculture plant (Ionian Sea). *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/JMSE8100733>

- Grisolía, J. M., López, F., & Ortúzar, J. de D. (2012). Sea urchin: From plague to market opportunity. *Food Quality and Preference*, 25(1), 46–56.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2012.01.004>
- Hanif, M. (2022). Development of the Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) System in the World; Article Review. *Journal of Aquaculture Science*, 7(2).
<https://doi.org/10.31093/JOAS.V7I2.260>
- Hannah, L., Pearce, C. M., & Cross, S. F. (2013). Growth and survival of California sea cucumbers (*Parastichopus californicus*) cultivated with sablefish (*Anoplopoma fimbria*) at an integrated multi-trophic aquaculture site. *Aquaculture*, 406–407, 34–42.
<https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2013.04.022>
- Jiang, L., Sullivan, H., Seligman, C., Gilchrist, S., & Wang, B. (2021). An NMR-based metabolomics study on sea anemones *Exaiptasia diaphana* (Rapp, 1829) with atrazine exposure. *Molecular Omics*, 17(6), 1012–1020.
<https://doi.org/10.1039/D1MO00223F>
- Jiménez-Prada, P., Hachero-Cruzado, I., Giráldez, I., Fernández-Díaz, C., Vilas, C., Cañavate, J. P., & Guerra-García, J. M. (2018). Crustacean amphipods from marsh ponds: a nutritious feed resource with potential for application in Integrated Multi-Trophic Aquaculture. *PeerJ*, 6, e4194.
<https://doi.org/10.7717/peerj.4194>
- Jiménez-Prada, P., Hachero-Cruzado, I., & Guerra-García, J. M. (2021). Aquaculture waste as food for amphipods: the case of *Gammarus insensibilis* in marsh ponds from southern Spain. *Aquaculture International*, 29(1), 139–153.
<https://doi.org/10.1007/s10499-020-00615-z>
- José, R., & Vieira, T. (2018). *Macroinvertebrate assemblage on macroalgae within an Integrated Multi-trophic Aquaculture earthen pond system Fourier Transform Infra-red spectroscopy of Crustaceans*.
- Kérouel, R., & Aminot, A. (1997). Fluorometric determination of ammonia in sea and estuarine waters by direct segmented flow analysis. *Marine Chemistry*, 57(3–4), 265–275. [https://doi.org/10.1016/S0304-4203\(97\)00040-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4203(97)00040-6)
- Li, Z., Xia, G., Ou, H., Chen, M., You, Y., & Chen, J. (2023). Large-scale mariculture of the sponge *Haliclona simulans* on floating rafts in Zhao'an Bay, Fujian Province, China. *Aquaculture*, 563, 738893.
<https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2022.738893>
- Mcbride, S. C. (2005). Sea Urchin Aquaculture Introduction and History. In *American Fisheries Society Symposium* (Vol. 46). www.nmfs.gov/ows-
- Menezes, C., & Thakur, N. L. (2022). Sea anemone venom: Ecological interactions and bioactive potential. *Toxicon : Official Journal of the International Society on Toxinology*, 208, 31–46. <https://doi.org/10.1016/J.TOXICON.2022.01.004>
- Mohsen, M., & Yang, H. (2021). Sea cucumbers mariculture. *Sea Cucumbers*, 127–156. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824377-0.00009-8>
- Morais, L. M. S., Sarti, F., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Giarrizzo, T., & Martinelli Filho, J. E. (2020). The sea anemone *Bunodosoma cangicum* as a potential

- biomonitor for microplastics contamination on the Brazilian Amazon coast. *Environmental Pollution*, 265. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.114817>
- Myers, J. A., & Heck Jr, K. L. (2013). Amphipod control of epiphyte load and its concomitant effects on shoalgrass *Halodule wrightii* biomass on JSTOR. *Marine Ecology Progress Series*, 483, 133–142. <https://www.jstor.org/stable/24892203>
- Naspirán-Jojoa, D. C., Fajardo-Rosero, A. G., Ueno-Fukura, M., & Collazos-Lasso, L. F. (2022). Perspectivas de una producción sostenible en acuicultura multitrófica integrada (IMTA): Una revisión. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 69(1). <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v69n1.101539>
- Pintado, J., Del Olmo, G., Guinebert, T., Ruiz, P., Nappi, J., Thomas, T., Egan, S., Masaló, I., & Cremades, J. (2023). Manipulating the *Ulva* holobiont: Co-culturing *Ulva ohnoi* with *Phaeobacter* bacteria as a strategy for disease control in fish-macroalgae IMTA-RAS aquaculture. *Journal of Applied Phycology*, 1, 1–13. <https://doi.org/10.1007/S10811-023-02986-1/FIGURES/6>
- Raison, C. M. (2008). Advances in sea cucumber aquaculture and prospects for commercial culture of *Holothuria scabra*. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 3. <https://doi.org/10.1079/PAVSNR20083082>
- Reina Hernández, E. M. (2022). *La estrella de mar *Coscinasterias tenuispina* (Lamarck, 1816) como suplemento alimenticio de especies marinas y como posible candidata para acuicultura multitrófica integrada* [Universidad de La Laguna]. <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/28455>
- Riccio, R., Iorizzi, M., & Minale, L. (1986). Starfish Saponins XXX. Isolation of Sixteen Steroidal Glycosides and Three Polyhydroxysteroids from the Mediterranean Starfish *Coscinasterias Tenuispina*. *Bulletin Des Sociétés Chimiques Belges*, 95(9–10), 869–893. <https://doi.org/10.1002/BSCB.19860950912>
- Sadeghi-Nassaj, S. M., Batanero, G. L., Mazuecos, I. P., Alonso, C., & Reche, I. (2018). Sea cucumbers reduce nitrogen, bacteria and transparent exopolymer particles in *Anemonia sulcata* aquaculture tanks. *Aquaculture Research*, 49(11), 3669–3681. <https://doi.org/10.1111/are.13836>
- Sardi-Saavedra, A., Peña-Salamanca, E. J., Madera-Parra, C. A., & Cerón-Hernández, V. A. (2016). Diversidad de las comunidades de algas asociadas a un sistema algal de alta tasa fotosintética para la biorremediación de lixiviados de rellenos sanitarios. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(1), 113–120. <https://doi.org/10.3856/VOL44-ISSUE1-FULLTEXT-11>
- Scott, A. (2017). Sea Anemones. *Marine Ornamental Species Aquaculture*, 437–456. <https://doi.org/10.1002/9781119169147.CH21B>
- Shah, A. K. M. A., Kinoshita, M., Kurihara, H., Ohnishi, M., & Takahashi, K. (2008). Glycosylceramides obtain from the starfish *Asterias amurensis* Lütken. *Journal of Oleo Science*, 57(9), 477–484. <https://doi.org/10.5650/JOS.57.477>
- Thangaraj, S., Bragadeeswaran, S., & Gokula, V. (2019). Bioactive Compounds of Sea Anemones: A Review. *International Journal of Peptide Research and*

- Therapeutics*, 25(4), 1405–1416. <https://doi.org/10.1007/S10989-018-9786-6/TABLES/1>
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). (1997). *Method 365.3: Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid, Two Reagent)*. www.epa.gov
- Vallaey, T. (2017). Bioindicators of Marine Contaminations at the Frontier of Environmental Monitoring and Environmental Genomics. *Advances in Biotechnology & Microbiology*, 4(1). <https://doi.org/10.19080/AIBM.2017.04.555629>
- Watson, G. J., & Younger, J. (2022). Developing anemone aquaculture for the marine aquarium trade: A case study using the bubble-tip anemone *Entacmaea quadricolor*. *Aquaculture Research*, 53(7), 2697–2707. <https://doi.org/10.1111/ARE.15786>
- Woods, C. M. C. (2009). Caprellid amphipods: An overlooked marine finfish aquaculture resource? *Aquaculture*, 289(3–4), 199–211. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2009.01.018>
- Zhang, J., Kitazawa, D., & Yang, C. (2016). A numerical modeling approach to support decision-making on design of integrated multitrophic aquaculture for efficiently mitigating aquatic waste. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 21(8), 1247–1261. <https://doi.org/10.1007/S11027-015-9652-1/FIGURES/8>