

Soluciones para un desarrollo sostenible en acuicultura mediante el tratamiento del agua

YUDEIMYS YMAS DÁVILA

E-MAIL: ymastorres79@gmail.com

Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT)

DARLÉN GOIBURO CORDERO

E-MAIL: darlengoiburo811@gmail.com

Compañía Contratista de Obras para la Aviación (CCOA)

RONNIE TORRES HUGUES

E-MAIL: torresymas79@gmail.com

Compañía Contratista de Obras para la Aviación (CCOA)

BASILIO DEL VALLIN MARCHECO

E-MAIL: basiliodelvallin@gmail.com

Compañía Contratista de Obras para la Aviación (CCOA)

RESUMEN

En el trabajo se hace una revisión bibliográfica en la que se relacionan los recursos hidráulicos con la acuicultura. Inicialmente, se exponen los sistemas tradicionales y, a partir de la necesidad de un desarrollo sostenible para esta actividad, se explican las principales soluciones que actualmente se están empleando para garantizar el ahorro del agua. Finalmente, se describe la situación cubana y se establece la necesidad de adoptar estas teniendo en cuenta varios factores como la repercusión en la economía nacional y la tendencia a la disminución de los recursos hídricos potenciales.

PALABRAS CLAVES: acuicultura sostenible, sector pesquero cubano, sistemas de recirculación, tratamiento del agua.

Solutions for a sustainable development in aquaculture through water treatment

ABSTRACT

In this work, a bibliographic review is made in which hydraulic resources are related to aquaculture. Initially, traditional systems are presented and, based on the need for sustainable development for this activity, the main solutions that are currently being used to guarantee water savings are explained. Finally, the Cuban situation is described and the need to adopt these is established, taking into account several factors such as the impact on the national economy and the trend towards a decrease in potential water resources.

KEYWORDS: sustainable aquaculture, cuban fishing sector, recirculation systems, waste water treatment.

01 INTRODUCCIÓN

La población mundial se encuentra en constante crecimiento, la ONU señaló que pasó de 7 millones a 8 mil millones de personas (2022) en 12 años (Figura 1), y, por tanto, también la demanda de alimentos.

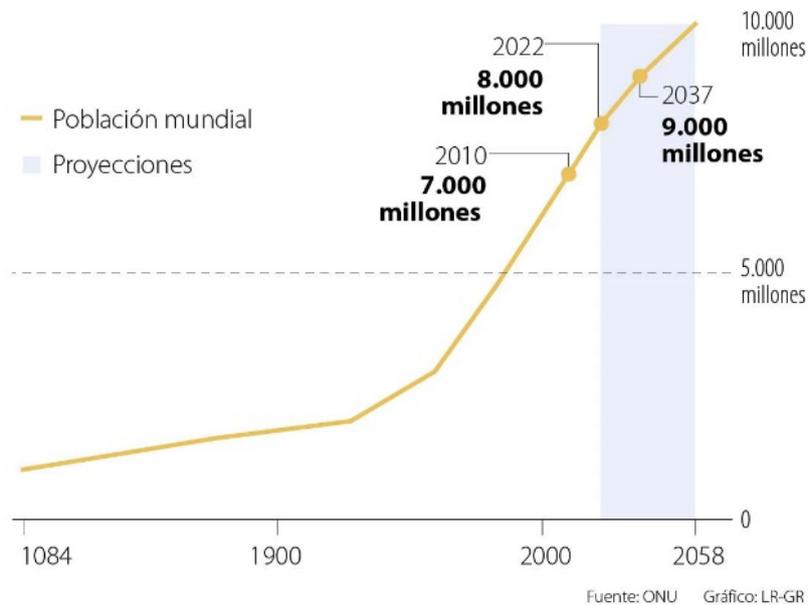


Figura 1. Crecimiento de la población mundial (Obtenido de <https://www.un.org/es/global-issues/population>)

Una de las prácticas más comunes para superar este desafío mundial ha sido la crianza controlada de cualquier organismo acuático, desde peces hasta moluscos y algas a partir de la acuicultura. Según plantea la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en 2022, la producción pesquera y acuícola alcanzó un nuevo récord histórico de 223,2 millones de toneladas, de los cuales el 59% proviene de esta última vía. En torno a 139,7 millones de toneladas se cultivaron en aguas continentales y 83,5 millones de toneladas procedían de la acuicultura marina y costera (FAO,2024).

En términos globales, en 2022 el consumo de alimentos acuáticos era de 20,7 kg per cápita, lo que representa más del doble del ritmo de hace 50 años. Además, de este tipo de alimentos proviene el 15 % de la proteína de origen animal que se ingiere (FAO,2024).

La FAO, como organización mundial que rige las políticas y las actividades encaminadas a erradicar el hambre, ha establecido desde 2022 una estrategia visionaria llamada Transformación Azul. Con la misma se pretende potenciar la función de los sistemas alimentarios acuáticos mediante políticas y prácticas respetuosas con el clima y el medio ambiente, así como las innovaciones tecnológicas, para que tanto la pesca como la acuicultura crezcan de manera sostenible.

Los recursos hídricos son esenciales para esta solución tanto para la supervivencia y crecimiento de las especies acuáticas como para mantener un medio ambiente saludable y sostenible. Los sistemas de acuicultura requieren tener la cantidad de oxígeno, los nutrientes y la temperatura adecuados. Por lo tanto, la gestión sostenible del agua es clave en estas prácticas para evitar la sobreexplotación y la contaminación de los recursos hídricos (Oberdleck and Verreth, 2009).

A partir de lo antes mencionado es que se plantea como objetivo de este trabajo describir los principales avances tecnológicos relacionados con los recursos hidráulicos que se han implementado en la acuicultura, así como el estado de esta actividad en Cuba.

02 LA ACUICULTURA Y LOS RECURSOS HIDRÁULICOS

La acuicultura se lleva a cabo en ambientes controlados como ríos y lagos, océanos y estanques en los que se realizan diversas actividades, entre las que destacan: la crianza y reproducción, cosecha, mejoramiento genético, investigación y desarrollo y conservación y restauración de las especies acuáticas (FAO,2024) con la finalidad de que sea para consumo humano, repoblación u ornamentación.

Desde el proceso de concepción hasta la explotación de los sistemas acuícolas deben realizarse bajo los criterios de la sostenibilidad para lograr la Transformación Azul convocada por la FAO. En este orden, se puede tomar como punto de partida el proyecto de investigación conocido como *UE SustainAqua* cofinanciado por la Unión Europea, en el que se han evaluado varios casos de estudio en Europa Central y Oriental (Oberdleck and Verreth, 2009). En este proceso de investigación se presentan los indicadores a tener en cuenta a partir de las dimensiones (ambiental, económica, social) de este concepto (ver tabla 1). Estos ofrecen una idea fiable de medida o grado.

Tabla 1 - Indicadores de sostenibilidad para los estudios de casos SustainAqua. Tomado de (Oberdleck and Verreth, 2009).

Dimensión ambiental			
	Objetivo específico o criterio	Indicador	Unidad
Energía	Eficiencia energética: Reducir la entrada de energía tanto como sea posible	Entrada de energía por salida de producto (peces, biomasa)	KWh/kWh salida
Agua	Abastecimiento de agua: Reducir la cantidad de agua dulce externa al sistema (Reutilizar el agua en la medida de lo posible)	Abastecimiento de agua por producto (peces, biomasa)	L/kg producto
	Salida de agua: Reducir el agua de vertido hasta casi cero (para ver los aspectos de calidad Nutrientes/salida)	Vertido por producto (peces, biomasa) (sin evapotranspiración y filtración - puede ser positivo o negativo-pero incluyendo las precipitaciones)	L/kg producto
Nutrientes	Eficacia de utilización: Utilizar la entrada de nutrientes con la mayor eficacia posible. Producir a partir de una cierta unidad de entrada de nutrientes mayor cantidad de productos comercializables con un alto nivel de calidad	Eficiencia en la retención de nutrientes (NRE) (retención de nutrientes en productos por Kg de entrada de nutrientes al sistema, en general peces, biomasa).	Kg nutrientes (N,P, COD) retenidos en producto/kg entrada de nutrientes (%). TOD calculado a partir de COD y N
	Salida (véase también agua): Reducir la cantidad de vertidos residuales (pérdidas de nutrientes, minerales y materia orgánica) a casi cero	Cantidad de nutrientes/ calidad del vertido	N,P,COD, conductividad eléctrica liberada por Kg producido

	Re-utilización de nutrientes para productos de valor añadido: Producir bienes de valor añadido dentro de la piscifactoría	Retención de nutrientes de re-utilización N/P para productos de valor añadido	Kg nutrientes retenidos en productos de valor añadido por Kg salida de nutrientes en el sistema en general (%)
Dimensión económica			
Costes de Prod.	Incremento de la productividad por unidad de trabajo	Uso del tiempo de trabajo por cada producto producido en las explotaciones (modelo basado en hipótesis)	h / Kg de producto
AFM	Mejorar la seguridad de los productos y la salud de los peces: reducir los brotes de enfermedades	Número de tratamientos / ciclo de producción	Número de tratamientos / ciclo producción

*AFM: Amortiguación de las fluctuaciones de mercado

La dimensión social incluye las oportunidades de empleo, las condiciones de los trabajadores (higiene, seguridad, formación) y el ocio para el público en espacios recreacionales, entre otras.

Esta actividad tiene muchas implicaciones con los recursos hidráulicos: el control de la calidad del agua para asegurar la salud y el crecimiento de los organismos acuáticos, la reducción de la cantidad de agua dulce externa al sistema reutilizando el agua en la medida de lo posible para un manejo eficiente del recurso, la oxigenación del agua para los organismos acuáticos y la gestión de los residuos generados (Oberdleck and Verreth, 2009).

Los principales parámetros que se regulan para la calidad del agua son: temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, turbidez, conductividad eléctrica, presencia de ciertos químicos o microorganismos y niveles de nutrientes. Si estos se encuentran con valores inadecuados pueden causar estrés, enfermedades y hasta la muerte de los seres acuáticos.

Por su parte, los desechos producidos por los organismos cultivados, tales como los excrementos de peces y alimentos no consumidos, liberan sustancias tóxicas y nutrientes (nitrógeno y fósforo) en el agua que pueden conducir a la eutrofización (Figura 2).



Figura 2. Eutrofización en un estanque.

Además, la introducción de especies no nativas, los medicamentos y los productos químicos utilizados para tratar enfermedades también pueden alterar los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua (Ovando, 2013).

SISTEMAS TRADICIONALES DE ACUICULTURA

Los sistemas de acuicultura son infraestructuras que requieren de armonizar muchos variables, siendo una de las más importantes el agua. Así sea en agua dulce o salada el empleo de tanques o estanques es una solución muy común en la acuicultura (Figura 3). Estos pueden ser naturales o artificiales y normalmente se llenan de agua procedente de ríos, arroyos, manantiales, embalses o agua subterránea. Las especies de peces criadas en estas estructuras pueden ser carpas, tilapias, bagres, truchas, salmón, lubinas, langosta y camarón, entre otras.

Hay dos tipos de tanques que son comúnmente utilizados en la piscicultura: los tanques redondos y los rectangulares. Como regla general, es recomendable que tenga al menos 60 cm de profundidad en su punto más profundo para permitir a los peces y plantas sobrevivir durante el invierno (Sánchez, 2023).



Figura 3. Vista parcial de los estanques de la estación de “Pavón”, provincia de Villa Clara.

Los tanques redondos se utilizan a menudo cuando se necesita una buena circulación y calidad del agua. Son adecuados para la cría de una gran cantidad de peces debido a su gran capacidad volumétrica y permiten una circulación óptima del agua, lo que ayuda a mantener la calidad del agua y a reducir la acumulación de desechos.

Por otro lado, los tanques rectangulares se utilizan principalmente para la cría de peces en etapas más avanzadas de crecimiento o para especies que necesitan más espacio para nadar. Este tipo de tanque permite una mayor densidad de población de peces y una producción intensiva.

Construir un estanque requiere consideración cuidadosa de varios factores: el suministro constante y confiable de agua limpia y fresca; el espacio disponible no solo para los estanques sino también para el resto de las instalaciones de apoyo (almacenes, oficinas, sistemas de filtración, etc.); la ubicación del estanque considerando una topografía que permita un fácil flujo de agua y otros elementos operativos; que el tipo de suelo tenga un alto contenido de arcilla para que retenga eficientemente el agua; el diseño (dimensiones, estructura y forma, etc.) del estanque, que dependerán de la cantidad de peces que se planea manejar; el presupuesto; entre otros. De no concebir el proyecto correcto se puede afectar al ciclo natural del agua.

En cuanto al material del estanque los de fibra de vidrio, materiales locales y los de hormigón son los más populares, pero cada uno tiene sus propias ventajas y desventajas. Los tanques de fibra de

vidrio son ligeros, duraderos y fáciles de limpiar, mientras que los tanques de hormigón son robustos y pueden soportar gran cantidad de peso, pero requieren de mayor mantenimiento (Oberdleck and Verreth, 2009) (Sánchez, 2023). Por su parte, los de tierra son de bajo costo y la arcilla ayuda a filtrar el agua, sin embargo, su vida útil es limitada y pueden experimentar una mayor pérdida.

Además del uso de estanques se han implementado diseños que incorporan jaulas flotantes, corrales y canales (*raceway* en inglés) (Figura 4), que varían en función del organismo cultivado, las condiciones ambientales, la inversión requerida, así como otros factores (Beveridge,1986). La diferencia entre las jaulas y los corrales radica en que la primera está cerrada por todos los lados con paños de red o rejillas y en los corrales es el fondo mismo del lago o del mar el que delimita la parte inferior (Beveridge,1986).



Figura 4. Izq: Jaulas y corrales. Der: Canales (*raceway*).

En este se utilizan jaulas o redes en las que los peces están contenidos pero el agua fluye libremente, proporcionando nutrientes y oxígeno. El salmón y la lubina son comúnmente criados en este tipo de sistema (Beveridge,1986). En los cultivos en carreras, también conocidos como sistemas de flujo constante, se utilizan ríos o corrientes para proporcionar un flujo continuo de agua. Normalmente, las carreras son canales largos y estrechos donde los peces se cultivan en alta densidad (Oberdleck and Verreth, 2009) (Ovando, 2013).

Las actividades de acuicultura generan inevitablemente aguas residuales cargadas de nutrientes, productos químicos y compuestos orgánicos. La disminución de la concentración de esta carga contaminante se realiza mediante una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que ayudan a mejorar la calidad del agua antes de su devolución al medio ambiente (Figura 5) (Murray et al. 2013) (López,2023).



Figura 5. Planta de tratamiento de aguas residuales. (Tomado de <https://institutodelagua.es/acuicultura/tanques-de-acuicultura-tipo-mesaacuicultura.>)

En la tabla 2 se relacionan los procesos antes mencionados con las distintas etapas del tratamiento.

Tabla 2. Procesos de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Proceso	Etapa del tratamiento	Objetivo
Filtración	Pre-tratamiento	Remover los desechos sólidos más grandes.
Sedimentación	Tratamiento primario	Separar los sólidos suspendidos y la materia orgánica.
Procesos biológicos	Tratamiento secundario	Consumir los residuos y compuestos orgánicos.
Desinfección	Tratamiento terciario	Eliminar los nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, así como bacterias o virus restante.

Dentro de estos procesos se ha trabajado intensamente en el primero, entre los que destacan los filtros mecánicos con medios filtrantes como espuma, tela o arena; los biológicos con bacterias benéficas y ciertas especies como las ostras y los mejillones que convierten los desechos tóxicos en sustancias menos perjudiciales y los químicos con carbón activado o resinas de intercambio iónico. (Sánchez, 2023) (López,2023).

De manera general la acuicultura tradicional se enfrenta a desafíos como la sobreexplotación de recursos, la contaminación ambiental y la seguridad alimentaria. Diseñar los sistemas de acuicultura mediante nuevos enfoques se hace imprescindible (FAO,2024).

SISTEMAS MODERNOS PARA LA ACUICULTURA

La investigación en el campo de la Biología para criar nuevas especies marinas es imprescindible para la sostenibilidad, sin embargo, la adopción de nuevas técnicas y tecnologías constructivas y operativas referentes al agua es determinante para mejorar la eficiencia de esta actividad. En la actualidad se han experimentado cambios dirigidos a la forma de los tanques, a la recirculación del agua y al tratamiento de esta.

El uso de estas novedosas soluciones permite que se mejoren las técnicas de control sobre las condiciones ambientales, la alimentación y la cosecha pudiendo adoptar sistemas intensivos, en los cuales la densidad de población es alta y se requiere un suministro constante de agua limpia y oxigenada (FAO,2024) (Oberdleck and Verreth, 2009), aunque generan un aumento en el consumo de agua y la contaminación del agua, pudiendo desequilibrar el ciclo hídrico local (Ovando, 2013).

El diseño con tanques de poca altura, ver figura 6 izq, se caracteriza por tener una profundidad máxima de 1 metro, lo que facilita el manejo de la especie cultivada y reduce el riesgo de escapes. Al ser de poca profundidad, la renovación del agua puede llevarse a cabo de manera más rápida y continua, lo cual permite mantener la calidad del agua para la vida de los peces. Estos deben proyectarse y operarse correctamente para evitar concentraciones altas de contaminantes y desechos, la proliferación de enfermedades, una inadecuada distribución de oxígeno, fundamentalmente a mayor profundidad, y de temperatura y el estrés de los organismos acuáticos y reducir la tasa de supervivencia.

Los de tipo mesa (Figura 6 der), son reconocidos por su forma cilíndrica y su fondo cónico. Su diseño permite el control sobre los factores como la temperatura, la calidad del agua, la dieta y la densidad de siembra. También facilita tanto el seguimiento como la recolección de los organismos cultivados, reduciendo la necesidad de instrumentos de pesca costosos y mano de obra intensiva.

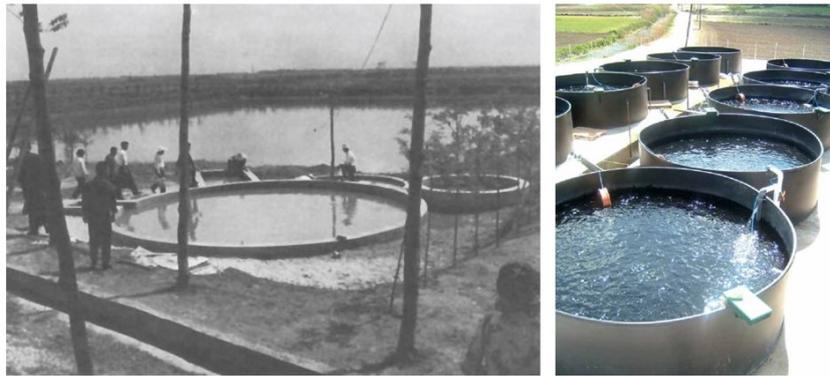


Figura 6. Izq.: Tanques de poca altura. Der.: Tanques tipo mesa. (Tomado de <https://institutodelagua.es/acuicultura/tanques-de-acuicultura-tipo-mesaacuicultura>.)

En cuanto al ahorro de agua, se destaca la perspectiva de los sistemas de recirculación de agua en acuicultura (SRA), los cuales fueron desarrollados en 1950 en Japón y la primera vez que se propuso para la producción comercial de peces fue en Dinamarca en los años 70 del siglo pasado. Sus principales componentes se muestran en la figura 7 izq. Sin embargo, en los últimos 20 años han experimentado un crecimiento exponencial en cuanto a su diseño, construcción y operación. Han sido concebidos para criar peces en lugares donde las condiciones biofísicas son inadecuadas y existe escasez de agua, mala calidad del agua y un ambiente desfavorable (Murray et al. 2013).

En términos generales, el proceso comienza con la eliminación de los desechos sólidos. Posteriormente, el agua pasa por una etapa de filtración biológica donde las bacterias convierten los desechos de los peces en compuestos menos tóxicos. Seguidamente, el líquido se somete a un tratamiento de desinfección para eliminar patógenos antes de ser bombeada de regreso a los tanques de cultivo (Figura 7 der). De esta manera se reduce la dependencia del agua de fuentes externas y minimiza el impacto ambiental de la acuicultura (Sánchez, 2023).

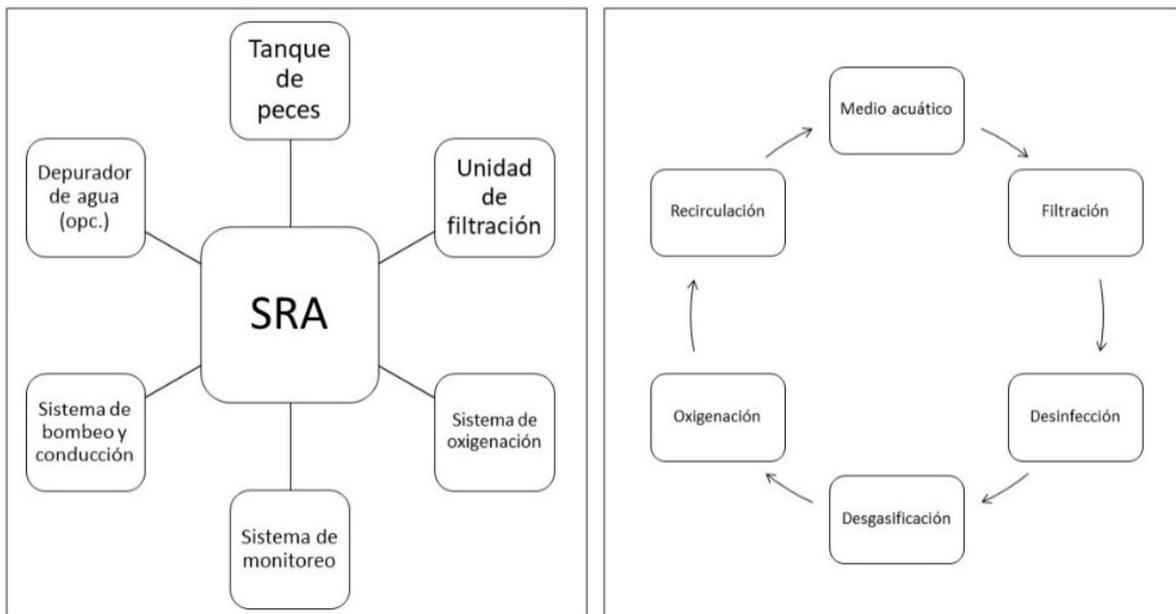


Figura 7. Izq.: Componentes. Der.: Proceso. Tomado de (Sánchez, 2023).

De manera general, se logra reutilizar hasta un 90 % total del agua, pues sólo se tienen pérdidas por evaporación y por la extracción de lodos sedimentados (Sánchez, 2023). Además, permiten un mayor control de las condiciones del agua y reducir la contaminación, por tanto, son favorables para lugares con escasez de agua o donde el agua es costosa. En cuanto a las desventajas, requiere un costo inicial

alto, requiere habilidades técnicas para su manejo y requieren una fuente constante de energía para su funcionamiento, lo que puede incrementar los costos operativos.

En cuanto al tratamiento del agua residual apareció en 1999 el sistema Biofloc, del inglés «floc», que significa 'grumo'. Este transforma los residuos en recursos deteniendo la proliferación de los productos de desechos y mejorando la calidad del agua. Los compuestos nitrogenados, el alimento no consumido y las heces de los peces se convierten en una fuente de alimento para una variedad de microorganismos (bacterias, algas, zooplancton) que forman los conglomerados conocidos como Biofloc. Estos son ricos en proteínas y otros nutrientes y pueden ser consumidos por los animales acuáticos, proporcionándoles una fuente adicional de alimento (Sánchez, 2023).

Por lo tanto, contribuye a la sostenibilidad de la acuicultura disminuyendo el riesgo de eutrofización y reduciendo la necesidad de intercambios frecuentes de agua, donde a menudo se requieren grandes volúmenes de agua minimizando así el riesgo de enfermedades y optimizando los costos operativos (López, 2023).

En este sentido y causando el mismo efecto, se han implementado soluciones en las que se pueden cultivar peces, moluscos y algas juntos, de manera que los residuos de una especie se convierten en alimento o fertilizante para otras. Estos sistemas son conocidos como Acuicultura Multitrófica Integrada. Dado sus beneficios ambientales y económicos y su relativa facilidad de implementación se pueden usar tanto en estanques como en jaulas, así como estar asociados a los SRA.

Respecto a los filtros, más recientemente, se han incorporado los biorreactores de membrana y los de micronización que son utilizados para eliminar partículas muy pequeñas en el agua, generalmente en un rango de 0,5 a 50 micras, los filtros que emplean luz ultravioleta para matar bacterias, virus y otros microorganismos y la ozonización.

Por otra parte, la sostenibilidad de esta actividad también se puede buscar en la integración con otras industrias, creando sistemas circulares que maximizan el uso de los recursos y minimizan los desechos. Cabe resaltar experiencias en el territorio cubano sobre la disminución del potencial contaminante de las aguas residuales de una empresa pesquera de la provincia de Granma mediante un sistema de tratamiento utilizando microalgas *Chlorella* sp. Los subproductos generados son de alto valor para la alimentación animal, la industria farmacéutica y del cosmético (Romero y Suárez, 2022).

LA PRÁCTICA DE LA ACUICULTURA EN CUBA

En la actualidad el Grupo Empresarial de la Industria Pesquera (GEIP), perteneciente al Ministerio de la Industria Alimentaria (MINAL), con 32 empresas, es el encargado de la captura, industrialización y comercialización de recursos marinos y de estanques, cultivo de especies dulceacuícolas y de otros organismos acuáticos. De estas 21 tienen como misión la pesca extractiva y la acuicultura. En la figura 8 se muestra un gráfico de la distribución por provincias. Las mismas, a su vez, manejan unas 56 UEB, lo que demuestra que existe una distribución espacial a lo largo de todo el territorio.

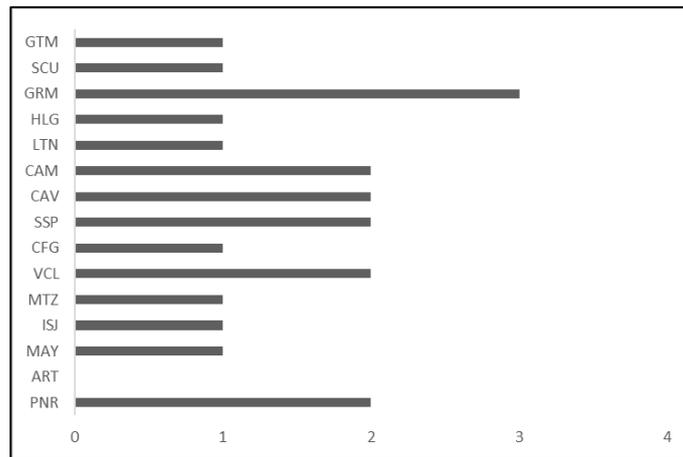


Figura 8. Distribución de las empresas pesqueras por provincias.

Desde el punto de vista económico, según datos del Anuario Estadístico de Cuba 2022 (ONEI,2022), elaborado por la Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI), la actividad pesquera representó aproximadamente un 6% en las exportaciones en el periodo 2016-2022, lo que equivale a más de 50 millones de dólares anuales (Figura 9).

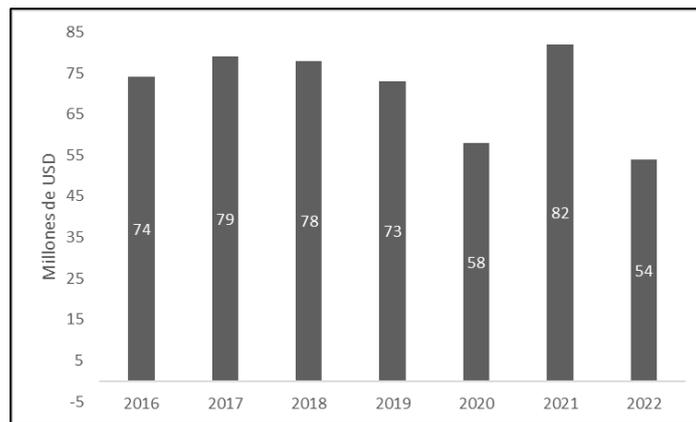


Figura 9. Exportación de la pesca en el periodo 2016-2022.

Un desglose de esta actividad arroja que la mayor parte de esta actividad productiva recae sobre la acuicultura respecto a la pesca de plataforma. Si bien la captura de peces y mariscos por ambas modalidades muestra una tendencia descendente (Figura 10) se manejan valores promedios del orden de las 37 900 toneladas por año (ONEI,2022).

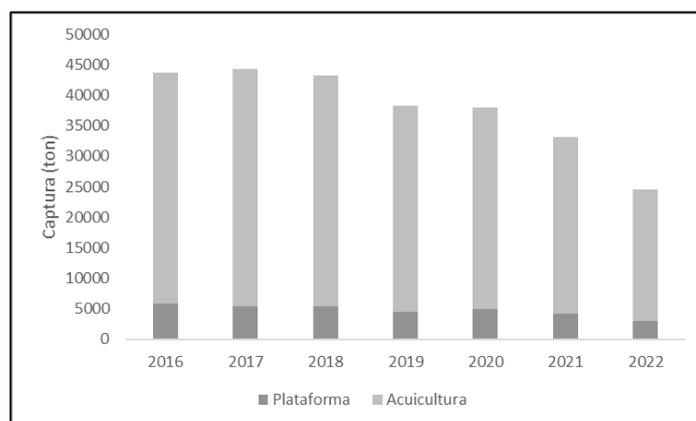


Figura 10. Captura de recursos pesqueros en el periodo 2016-2022.

Históricamente, la producción acuícola tomó mayor impulso desde el año 1968. Una experiencia de gran valor científico es narrada por el ingeniero hidráulico M.Sc. Basilio del Vallín Marcheco, uno de los autores de este artículo, cuando en el año 1989 se desempeñó como Jefe de Departamento de Obras Hidrotécnicas de la Empresa de Hidroeconomía de La Habana, sita en Humboldt y P.

Este describe la implementación de sistemas de acuicultura aguas abajo de la presa Mampostón mediante la colaboración internacional con Israel. Por la parte cubana participó la empresa CENPALAB, el Ministerio de la Pesca y el INRH como entidad proyectista. Antes de su construcción se realizó un modelo para evaluar el rendimiento de los estanques de acrílico con forma circulares y rectangulares. Las producciones alcanzadas a nivel de laboratorio no se correspondieron con los resultados reales debido, fundamentalmente, a la calidad del agua del embalse, la cual respondía al riesgo para la agricultura en el municipio Güira de Melena, a la vez que la fluctuación de los niveles de agua fue un factor modificador. Por su parte, el agua empleada en el estudio de laboratorio tenía un alto nivel de potabilidad.

Como alternativa de solución se implementaron variantes destacando la inyección de oxígeno líquido, la colocación de aireadores en zonas específicas del estanque alejadas de los peces. Esta última fue la que prevaleció y permitió incrementar la producción de alevinaje. A partir de la mejora la estación sirvió como fuente de abasto de alevines a otras empresas que se iniciaron en esta actividad. Las provincias más destacadas por aquel entonces fueron Pinar del Río, Granma y la Isla de la Juventud.

Para el año 2000 el país contaba con 1 538 embalses dedicados al cultivo y pesca de especies de agua dulce y desde 1984 se exportan los productos provenientes de esta. Desde el punto de vista legal, la norma jurídica que se impone es la LEY No. 129 “Ley de pesca”, aprobada el 13 de julio de 2019. En la misma se promueve la acuicultura sostenible como una actividad viable para contribuir a alcanzar la soberanía alimentaria de la nación.

En el primer Resuelvo se declaran los 51 embalses de interés para la pesca comercial estatal y de autoconsumo acuícola (ANPP,2019) (Figura 11) y en la figura 12 se muestra la relación por provincias.

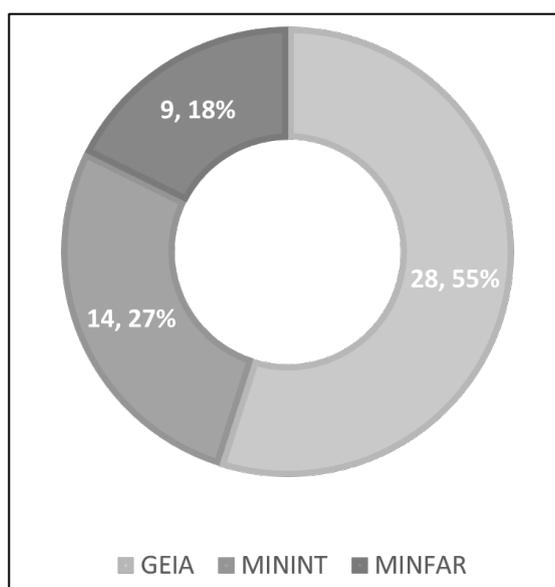


Figura 11. Cantidad de embalses por entidades autorizadas.

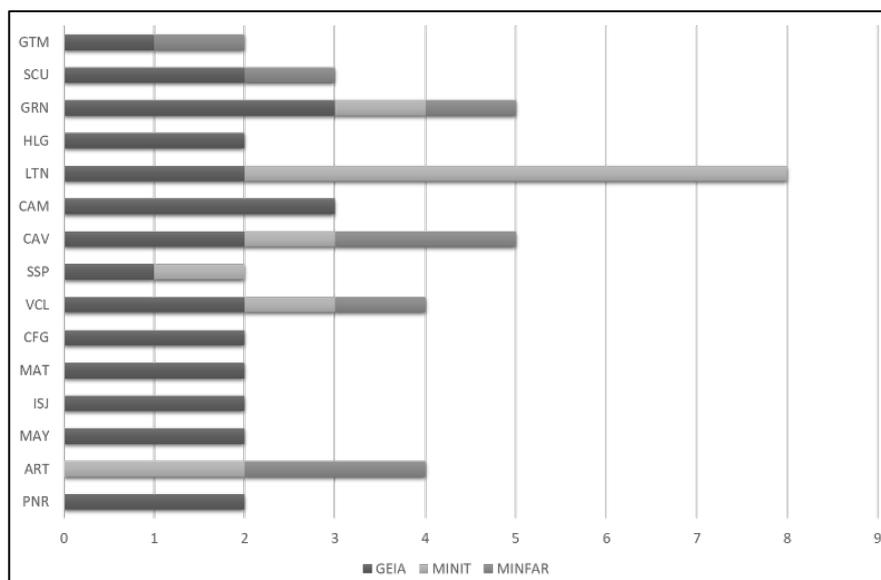


Figura 12. Cantidad de embalses destinados a la acuicultura por provincias y por organismos.

En la búsqueda bibliográfica realizada para este trabajo no se encontró ningún material que tratara con profundidad el desarrollo tecnológico de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales en los sistemas de acuicultura. El punto central de la gran mayoría consiste en relacionar la acuicultura sostenible a través del manejo de las especies de peces cultivadas. Por lo que establecer el estado actual del tratamiento de las aguas residuales y la posible implementación de las nuevas tecnologías se hace una tarea compleja por la falta de información para consulta pública.

Por su parte, en 2021 un grupo de especialistas de Camagüey y La Habana realizaron un estudio de las tendencias para el sector pesquero para cinco provincias: Pinar del Río, Sancti Spíritus, Camagüey, Las Tunas y Granma (Puentes et al. 2021), en las que se encuentran ubicadas 10 de las 21 empresas de pesca. En el mismo se identificaron cuatro tendencias a ser consideradas para la caracterización de las empresas: los SRA, la producción ecológica acuícola, los cultivos acuapónicos y la aplicación de Biofloc. Como se puede apreciar, existe una total correspondencia con los aspectos tratados anteriormente y que existe el potencial para la implementación dentro del territorio nacional.

La necesidad de implementar la sostenibilidad de esta actividad también desde los recursos hídricos queda demostrada a partir del estudio de Eduardo Planos sobre la disponibilidad de los mismos para el 2030 (Planos, 2022). En este trabajo se evidencia una tendencia incremental a la reducción de los recursos hídricos potenciales en todo el país, lo cual afectará también a la acuicultura, que demanda gran cantidad de agua de no extenderse y masificarse el uso de las tecnologías antes mencionadas para garantizar la sostenibilidad o encontrar otros mecanismos como la captación de agua de lluvia para el abasto de agua.

03 CONCLUSIONES

Dado que la acuicultura es un sector importante para la seguridad alimentaria, la economía, la conservación de especies y la salud de los ecosistemas acuáticos aplicar técnicas científicas relacionadas con la recirculación y el tratamiento de las aguas es un factor clave para la sostenibilidad de la operación acuícola a partir de hacer un uso responsable de los recursos hidráulicos y minimizar el impacto ambiental.

En Cuba la producción acuícola encargada de aportar el 6% de las exportaciones y más de 50 millones de dólares anuales se verá seriamente afectada en los próximos años, poniendo en riesgo la

sostenibilidad de la actividad, debido a la reducción de los recursos hídricos potenciales de no implementarse las tecnologías modernas en los procesos de tratamiento de agua que permiten un sustancial ahorro de este recurso.

04 REFERENCIAS

- FAO** (2024) "El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción". Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. 249 p. 2024. ISBN 978-92-5-138817-4 [Citado: 16 de octubre de 2024] Disponible en <https://doi.org/10.4060/cd0683es>
- Oberdleck A. and Verreth J.** (2009) "Sustain Aqua—Integrated approach for a sustainable and healthy freshwater aquaculture". Informe de Proyecto Científico. Organización Productores Piscicultores, España. [Consultado el: 15 de octubre de 2024]. Disponible en: <https://it.scribd.com/document/349965335/SustainAqua-handbook-EN-pdf>
- Ovando M.** (2013) "La acuicultura y sus efectos en el medio ambiente". Espacio I+D Innovación más Desarrollo 2013, 2 (3), p. 61-80. ISSN 2007-6703. [Revisado: 20 de octubre de 2024] Disponible en: <https://doi.org/10.31644/IMASD.3.2013.a04>
- Murray F., Bostock J. and Fletcher D.** (2014) "Review of Recirculation Aquaculture System Technologies and Their Commercial Application". Informe final de proyecto. Stirling Aquaculture. Stirling, UK. 2014. [Consultado el: 15 de octubre de 2024]. Disponible en: <https://dspace.stir.ac.uk/handle/1893/21109>
- Sánchez M.** (2023) "Tecnologías para optimizar el agua en la acuicultura". Revista Nthe 2023, 41(1), pp. 19-26 ISSN: 2007-9079. [Revisado: 14 de octubre de 2024] Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/370466719>
- Beveridge M.C.M.** (1986) "Piscicultura en jaulas y corrales. Modelos para calcular la capacidad de carga y las repercusiones en el ambiente". Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. College of Fisheries, University of the Philippines, Filipinas, 100 p. 1986. ISBN: 92-5-302163-2 [Citado: 14 de octubre de 2024] Disponible en: <https://www.fao.org/4/AD021S/AD021S00.htm#TOC>
- López C.** (2023) "Caracterización de bioflocs en sistemas de acuicultura, bajo diferentes parámetros nutricionales, para la producción sostenible de langostinos". Tesis de Máster en Bioeconomía Circular y Sostenibilidad Área de Microbiología. Universidad de Córdoba, Argentina. 2023. [Consultado el: 20 de octubre de 2024] Disp en: <https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/16751/LOPEZ%20ORTEGA%2C%20CELIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Romero T. y Suarez G.** (2022) "Uso sostenible del agua residual de la pesca a partir del cultivo de microalgas. Caso de estudio EPIGRAN". Revista Ingeniería Hidráulica Ambiental 2022, XLIII(2), p. 17-28 ISSN 2788-6050. [Revisado: 15 de octubre de 2024] Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382022000200017
- ONEI** (2022) Anuario estadístico de Cuba. Oficina Nacional de Estadística e Información. Cuba. 2022. [Consultado el 10 de octubre de 2024]. Disponible en: <https://www.onei.gob.cu/anuario-estadistico-de-cuba-2022>
- ANPP** (2019) Ley No. 129/2019 "Ley de Pesca". Asamblea Nacional del Poder Popular. Cuba. 2020. [Consultado el 10 de octubre de 2024]. Disponible en:

<https://www.parlamentocubano.gob.cu/sites/default/files/documento/2022-01/Ley%20de%20Pesca.pdf>

Puentes L., Loredo N.A. y Garrigó L. (2021) “Estudio de tendencias para el sector pesquero en Cuba”. Revista Retos de la Dirección 2021, 15(suplemento), p. 147-165 ISSN 2306-9155 [Revisado: 18 de octubre de 2024] Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-91552021000300147

Planos E. (2022) “Aproximación a los recursos hídricos potenciales en 2030”. Revista Ingeniería Hidráulica Ambiental 2022, XLIII (1), p. 48-62 ISSN 2788-6050. [Revisado: 17 de octubre de 2024] Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382022000100048

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Yudeimys Ymas Dávila <https://orcid.org/0000-0002-0899-3241>

Realizó contribuciones en la búsqueda de información sobre la acuicultura y alimentación a nivel internacional, indicadores de sostenibilidad y el estado actual de la acuicultura en Cuba. También realizó aporte en la revisión del documento.

Darlén Goiburo Cordero <https://orcid.org/000-0001-9386-6038>

Realizó contribuciones en la búsqueda de información sobre los sistemas tradicionales de acuicultura y los recursos hidráulicos.

Ronnie Torres Hugues <https://orcid.org/0000-0002-7206-6346>

Realizó contribuciones en la búsqueda de información y redacción del documento final.

Basilio del Vallín Marcheco <https://orcid.org/0009-0003-1589-6743>

Realizó contribuciones relacionadas con los sistemas tradicionales de acuicultura y experiencias en la construcción de estanques para acuicultura. También realizó aporte en la revisión del documento.