RECIENA
Revista Científica Agropecuaria
ISSN 2773 - 7608
https://reciena.espoch.edu.ec/index.php/reciena/index
Facultad de Ciencias Pecuarias

ARTÍCULO ORIGINAL *Recibido:* 29/07/2026 · *Aceptado:* 16/09/2026 · *Publicado:* 07/10/2026
DOI: https://doi.org/10.47187/veje2d33

PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA COMO ESTRATEGIA DE AGROPRODUCCIÓN SOSTENIBLE EN EL CULTIVO DE TILAPIA EN PASTAZA

CLEANER PRODUCTION AS A SUSTAINABLE AGRICULTURAL PRODUCTION STRATEGY FOR TILAPIA FARMING IN PASTAZA, ECUADOR

[1] Daysi Lorena Caiza López *	dl.caizal@uea.edu.ec
[2] Elsa Flor Ordoñez Bravo	elsa.ordonez@espoch.edu.ec
[3] Juan Carlos Caiza López	jc.caizal@uea.edu.ec
[4] Marco Andrés Quishpe Mejía	mquishpem5@unemi.edu.ec

[1] Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Tierra, Departamento de Medio Ambiente y Conservación, Puyo, Ecuador.

[2] Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Facultad de Salud Pública, Riobamba, Ecuador

[3] Universidad Estatal Amazónica, Departamento de Planificacón y Evaluación, Puyo, Ecuador.

[4]Universidad Estatal de Milagro, Posgrado, Milagro, Ecuador.

E-mail: * michael.erazo@unach.edu.ec

RESUMEN

La tilapia (*Oreochromis niloticus*) es uno de los rubros más relevantes de las fincas familiares en la Amazonía ecuatoriana. Pese a su importancia, estos sistemas operan sin instrumentos técnicos que permitan monitorear el uso de recursos ni los desechos generados, lo que compromete su sostenibilidad. Ante ello, la investigación evaluó el comportamiento ambiental y la eficiencia en el uso de recursos del cultivo de tilapia en Pastaza, Ecuador, para diseñar estrategias de Producción Más Limpia aplicables a una agroproducción sostenible. La metodología fue de enfoque mixto, no experimental y transversal. La información se levantó en un estanque de la finca "Los Tres Chanchitos y Yo" (capacidad: 5.000 tilapias), mediante observación directa, entrevistas semiestructuradas al propietario y registro fotográfico. Con esa base se construyó el diagrama de flujo, se identificaron entradas y salidas de materiales, se elaboró el balance de materia y se efectuó el análisis económico del ciclo. El alimento balanceado absorbió el 61 % de los costos operativos y fue la mayor fuente de carga orgánica; el agua ingresó por flujo continuo desde el río Bobonaza sin medición alguna; los lodos removidos en la limpieza se descartaron sin aprovechamiento; y la inversión inicial se recuperó en cerca de 1,5 meses. Se concluye que existen oportunidades viables de mejora si se optimiza la alimentación, se controla el consumo de agua y se valorizan los lodos como compost, fortaleciendo la sostenibilidad de la piscicultura familiar.

Palabras clave: *Producción Más Limpia; tilapia; agroproducción; eficiencia de recursos; Amazonía ecuatoriana.*

ABSTRACT

Tilapia (*Oreochromis niloticus*) is one of the most important products of family farms in the Ecuadorian Amazon. Despite its importance, these systems operate without the technical tools needed to monitor resource use or the waste they generate, which puts their sustainability at risk. In response, this study assessed the environmental performance and resource-use efficiency of tilapia farming in Pastaza, Ecuador, in order to design Cleaner Production strategies applicable to sustainable agriproduction. The methodology followed a mixed-methods, non-experimental, cross-sectional approach. Data were collected at a pond on the "Los Tres Chanchitos y Yo" farm (capacity: 5,000 tilapia) through direct observation, semi-structured interviews with the owner, and photographic records. On that basis, a process flow diagram was built, material inputs and outputs were identified, a material balance was developed, and an economic analysis of the cycle was carried out. Balanced feed accounted for 61% of operating costs and was the main source of organic load; water flowed continuously from the Bobonaza River with no measurement whatsoever; sludge removed during cleaning was discarded without being put to use; and the initial investment was recovered in about 1.5 months. It is concluded that there are viable opportunities for improvement by optimizing feeding, controlling water consumption, and turning sludge into compost, thereby strengthening the sustainability of family-scale fish farming.

Keywords: *Cleaner Production; tilapia; agro-production; resource efficiency; Ecuadorian Amazon.*

1. INTRODUCCIÓN

La acuicultura se ha convertido en el sistema de producción de alimentos que más rápido crece en el mundo y hoy aporta más de la mitad del pescado que se consume a nivel global, lo que la sitúa como una pieza central de la seguridad alimentaria en países en desarrollo (1). Esta expansión responde a una demanda creciente de proteína animal de origen acuático, pero también trae consigo el reto de reducir su huella ambiental sin frenar su capacidad de generar ingresos y empleo en comunidades rurales, tal como lo señalan Troell et al. al analizar el aporte del sector a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (2). En este contexto, se sostiene que el crecimiento de la piscicultura solo será sostenible en la medida en que se acompañe de mejoras en el manejo del agua, el alimento y los residuos generados durante el ciclo productivo, factores que determinan tanto la rentabilidad de las unidades piscícolas como su impacto sobre los cuerpos de agua receptores (3).

El cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*), por sus características de rusticidad y adaptación a distintos sistemas de manejo, se ha extendido en numerosas fincas familiares de pequeña y mediana escala en América Latina, entre ellas las ubicadas en la provincia de Pastaza. Esta forma de producción suele desarrollarse con recursos limitados y sin herramientas técnicas que permitan identificar con precisión los puntos del proceso donde se pierden materiales o se generan residuos, situación que ha sido documentada por (4) al estudiar la producción y comercialización de tilapia roja en el cantón Quevedo. Cuando estas debilidades no se corrigen, el resultado suele ser un uso ineficiente del alimento balanceado, un consumo elevado de agua y una acumulación de lodos sin ningún tipo de aprovechamiento, aspectos que además de representar una pérdida económica constituyen una fuente de contaminación para los ríos y quebradas que abastecen a estos sistemas productivos.

Frente a esta problemática, la Producción Más Limpia (PML) se ha consolidado como una estrategia preventiva que busca actuar sobre el origen de los residuos y no solo sobre su tratamiento final, integrando el uso eficiente de materia prima, agua y energía dentro del propio proceso productivo. Diversos estudios recientes confirman que esta estrategia genera beneficios simultáneos en los planos económico y ambiental. Las empresas informales que adoptan prácticas de eco eficiencia logran reducir su carga contaminante sin sacrificar su desempeño económico (5), mientras que se ha evidenciado que la implementación de PML en una pequeña empresa del sector metalmecánico permitió disminuir pérdidas de materiales y reutilizar agua en el proceso de fabricación (6). En un estudio de caso realizado en Pakistán(7) identificaron que la principal barrera para adoptar estas prácticas en países en desarrollo no es técnica sino de política pública y de acompañamiento institucional, un hallazgo relevante para unidades productivas familiares que, como la analizada en este estudio, operan sin apoyo técnico permanente. Por otro lado, en el contexto ecuatoriano, analizaron el impacto de la agroindustria en el desarrollo económico y la sostenibilidad ambiental del país, evidenciando que, si bien este sector aporta de manera significativa al Producto Interno Bruto, su expansión también genera contaminación del agua y degradación del suelo cuando no se acompaña de prácticas agrícolas sostenibles y tecnologías limpias (8). En la misma línea, un estudio de caso desarrollado en una finca agroindustrial de la Amazonía ecuatoriana mostró que la incorporación de manejo fitosanitario biológico, fertilización combinada con compost y biofertilizantes, y estrategias adecuadas de manejo postcosecha permite alcanzar niveles altos de rentabilidad sin comprometer la sostenibilidad del cultivo (9).

La aplicación de la PML en sistemas acuícolas resulta particularmente pertinente porque el alimento balanceado y el agua constituyen los principales flujos de entrada del proceso, mientras que los lodos y el agua de descarga representan las salidas de mayor potencial contaminante. Estudios explican que el reciclaje de nutrientes dentro de los sistemas de cultivo, mediante prácticas como el aprovechamiento de sedimentos orgánicos, puede reducir de forma significativa la dependencia de insumos externos y disminuir la presión sobre los cuerpos de agua receptores (10). En la misma línea, a partir de un análisis bibliométrico del sector acuícola, que la investigación sobre economía circular aplicada a la piscicultura ha acelerado de manera sostenible en los últimos tiempos, lo que refleja un interés creciente por transformar los residuos del cultivo en recursos aprovechables (11). Por su parte, investigadores plantean que la sostenibilidad de la acuicultura depende de aplicar un enfoque ecosistémico que considere de manera conjunta la escala del cultivo, el uso del agua y la capacidad de carga del entorno donde se desarrolla la actividad (12).

En Ecuador, la estrategia de PML ha sido aplicada principalmente en sectores agroindustriales y manufactureros, como lo muestra el caso de una microempresa láctea de la sierra centro norte del país, donde su implementación permitió identificar oportunidades concretas de mejora sin

requerir inversiones elevadas (13). Este mismo tipo de diagnóstico ha sido utilizado en otros rubros agroproductivos del país, como la tipificación de unidades bananeras orientada a mejorar el manejo agronómico y reducir pérdidas en la cadena de producción (14). Sin embargo, su aplicación específica al cultivo de tilapia en la Amazonía ecuatoriana ha sido escasamente documentada, a pesar de que las condiciones de manejo observadas en fincas piscícolas familiares de la región (uso continuo de agua de río, alimentación no ajustada a la biomasa real y disposición de lodos sin tratamiento) presentan un alto potencial de mejora bajo este enfoque.

Con base en lo expuesto, la presente investigación se justifica por la necesidad de disponer de conocimiento aplicado sobre el desempeño ambiental y económico del cultivo de tilapia en la provincia de Pastaza, así como de reconocer oportunidades de mejora desde el enfoque de Producción Más Limpia. Los resultados servirán de base para el diseño de estrategias de agroproducción sostenible acordes con las condiciones de la Amazonía ecuatoriana, con énfasis en la eficiencia en el uso de los recursos, la minimización de residuos y el aprovechamiento de subproductos, en favor de los productores locales y de la conservación del entorno ecológico.

Por lo expuesto, esta investigación tiene como objetivo general analizar el desempeño ambiental y la eficiencia en el uso de los recursos en el cultivo de tilapia en la provincia de Pastaza, Ecuador, como base para la formulación de estrategias de Producción Más Limpia. Para lograrlo, se plantean los siguientes objetivos específicos: diagnosticar el desempeño ambiental del proceso de producción de tilapia en la unidad piscícola seleccionada mediante la caracterización de los flujos de entrada y salida de materiales; evaluar la eficiencia en el uso del agua y del alimento balanceado durante el ciclo productivo, junto con la generación de residuos orgánicos del sistema de cultivo; y formular estrategias de Producción Más Limpia para la optimización del uso de los recursos, la reducción de pérdidas de materiales y el aprovechamiento de los subproductos generados en la unidad piscícola estudiada.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

La presente investigación se desarrolló mediante un enfoque mixto, con predominio cualitativo y apoyo de información cuantitativa, bajo un diseño no experimental y de corte transversal. El estudio correspondió a una investigación descriptiva–propositiva, orientada a diagnosticar el desempeño ambiental del proceso de producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y a identificar oportunidades de aplicación de estrategias de Producción Más Limpia (PML) para optimizar el uso de recursos y minimizar la generación de residuos.

Este diseño es consistente con investigaciones de Producción Más Limpia, en las que el diagnóstico técnico del proceso constituye la base para la formulación de alternativas de prevención de la contaminación y optimización de procesos (15).

El procedimiento metodológico se estructuró tomando como referencia la metodología de Evaluación de Producción Más Limpia propuesta por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) adaptándola a las condiciones operativas de una unidad piscícola (16); esta metodología constituye el marco de referencia internacional más citado para el diagnóstico y la evaluación de oportunidades de PML en distintos sectores productivos (17).

2.2. Área de estudio

La investigación se realizó en la finca “Los Tres Chanchitos y Yo” como se muestra en la Figura 1, ubicada en la comunidad Talin, parroquia Veracruz, cantón Pastaza, provincia de Pastaza, Ecuador, en las coordenadas geográficas 1°32′03.8″ S, 77°50′46.6″ O. La unidad productiva está dedicada al cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y dispone de cinco estanques de cultivo que operan bajo un sistema escalonado de producción.



Figura 1. *Ubicación de la Finca “Los Tres Chanchitos y Yo” tomado de Google Earth Pro, 2026.*

Durante el reconocimiento inicial se realizó la caracterización de los cinco estanques con el propósito de comprender el funcionamiento integral de la unidad piscícola. Sin embargo, para el desarrollo del diagnóstico de Producción Más Limpia y la evaluación técnico-económica se seleccionó como caso de estudio un estanque representativo con capacidad para 5.000 tilapias, debido a que permitió documentar de forma completa las diferentes etapas del proceso productivo durante un ciclo de cultivo de aproximadamente cinco meses.

La selección del caso de estudio respondió a un criterio de representatividad técnica, considerando que el estanque comparte las mismas condiciones de infraestructura, abastecimiento de agua, manejo operativo, alimentación y comercialización que el resto de la unidad productiva.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de información

La información primaria fue obtenida mediante técnicas de observación directa, entrevistas semiestructuradas dirigidas al propietario de la unidad piscícola y registro fotográfico de las actividades desarrolladas durante el proceso productivo. Para la recopilación de datos se emplearon instrumentos como una ficha de observación técnica, una guía de entrevista semiestructurada, libreta de campo, cinta métrica para la verificación de las dimensiones de los estanques y un dispositivo móvil para el registro visual de las condiciones operativas. La observación directa permitió caracterizar las diferentes etapas del cultivo de tilapia, considerando aspectos como la infraestructura disponible, el sistema de captación y conducción del agua proveniente del río Bobonaza, el manejo del alimento balanceado, las actividades de cosecha y las prácticas de limpieza y mantenimiento de los estanques.

Igualmente, las entrevistas semiestructuradas permitieron recopilar información relacionada con la adquisición de alevines, prácticas de alimentación, consumo de insumos, costos operativos, niveles de producción, procesos de comercialización y gestión de los residuos generados durante el ciclo productivo. Como complemento, se llevó a cabo un registro fotográfico que sirvió como evidencia documental de las condiciones reales bajo las cuales opera la unidad piscícola, y que además permitió representar gráficamente el proceso a través de la elaboración del diagrama de flujo. Por último, los datos recolectados fueron organizados, sistematizados y procesados con la herramienta Microsoft Excel, lo que posibilitó estructurar la información necesaria para analizar el proceso productivo y detectar oportunidades de mejora en el marco de la Producción Más Limpia.

2.4. Procedimiento metodológico

La investigación se desarrolló mediante seis fases metodológicas.

Fase 1. Reconocimiento y caracterización del sistema productivo

Se efectuó una visita técnica a la finca con el propósito de conocer la organización del sistema productivo. Durante el recorrido se caracterizaron los cinco estanques de cultivo, identificando las condiciones de infraestructura, el abastecimiento de agua, las etapas del ciclo productivo, el manejo alimenticio y las actividades de mantenimiento. Posteriormente se seleccionó un estanque representativo de 5.000 tilapias como caso de estudio para el análisis detallado.

Fase 2. Caracterización de las operaciones del proceso

Con base en la información obtenida durante el trabajo de campo se identificaron las operaciones que conforman el sistema productivo, registrando la secuencia de actividades desarrolladas desde la preparación del estanque hasta la comercialización del producto. Este tipo de descripción sistemática y documental del proceso productivo, previa a la aplicación de estrategias de PML, ha sido empleada en diagnósticos ambientales realizados en unidades productivas ecuatorianas (18).

Para cada operación se identificaron los recursos utilizados, los insumos empleados y los productos, subproductos y residuos generados, información que posteriormente permitió construir el diagrama de flujo del proceso.

Fase 3. Identificación y cuantificación de entradas y salidas

Posteriormente se identificaron los flujos de materiales presentes en cada etapa del proceso productivo mediante observación directa, entrevistas y revisión de la información disponible en la unidad piscícola.

Durante esta fase se registró información relacionada con el abastecimiento de agua, incorporación de alevines, utilización de alimento balanceado, producción de biomasa y generación de residuos, especialmente agua de descarga, restos de alimento

y lodos provenientes de la limpieza de los estanques. Los datos recopilados constituyeron la base para la elaboración posterior del balance de materia del sistema productivo.

Fase 4. Diagnóstico de Producción Más Limpia

A partir de la información recopilada se realizó un diagnóstico ambiental del proceso productivo con el propósito de identificar puntos críticos asociados al consumo de recursos naturales y a la generación de residuos, en línea con los diagnósticos de valorización y gestión de residuos aplicados en unidades agroindustriales peruanas (15).

El análisis se centró en la eficiencia del uso del agua, el manejo del alimento balanceado y la gestión de los lodos generados durante el mantenimiento de los estanques, determinando las principales fuentes de pérdidas de materiales y oportunidades de mejora ambiental.

Fase 5. Análisis económico del ciclo productivo

De manera complementaria al diagnóstico ambiental, se realizó un análisis económico del sistema de producción con el propósito de determinar la inversión inicial requerida, los costos operativos del ciclo de cultivo y los principales indicadores de rentabilidad del proceso. Para establecer el costo unitario de producción, se dividió el costo operativo total del ciclo entre las libras estimadas de producción. La utilidad operativa, por su parte, se obtuvo al descontar el costo operativo total de los ingresos brutos generados por la venta de la biomasa cosechada. En cuanto al periodo de recuperación de la inversión inicial, este se calculó dividiendo dicho monto de inversión entre el promedio mensual de utilidad operativa, el cual se determinó a partir de la utilidad total del ciclo dividida para los meses que este duró. Estos indicadores contribuyeron a complementar el diagnóstico técnico con una base económica que sirviera de sustento para la identificación posterior de oportunidades de mejora.

Fase 6. Procesamiento y análisis de la información

Las oportunidades de Producción Más Limpia fueron identificadas mediante el análisis integrado de la información obtenida durante el diagnóstico técnico y el análisis económico, considerando los principios de prevención de la contaminación, eficiencia en el uso de recursos y valorización de residuos (17).

Las alternativas propuestas fueron evaluadas mediante criterios de factibilidad técnica, viabilidad económica, beneficio ambiental, facilidad de implementación y potencial de aprovechamiento de los subproductos generados durante el proceso productivo, siguiendo esquemas de evaluación de estrategias de PML aplicados en procesos productivos ecuatorianos de otros sectores (19).

Con la información procesada en las fases anteriores se elaboraron el diagrama de flujo del proceso, el balance de materia y la matriz de oportunidades de Producción Más Limpia, herramientas que permitieron evaluar el desempeño ambiental y económico de la unidad piscícola e identificar alternativas de mejora para incrementar la ecoeficiencia del sistema de producción.

La lectura de los resultados se apoyó en la caracterización de las operaciones del proceso, la evaluación de los flujos de materiales, el análisis económico del ciclo productivo y la detección de oportunidades de mejora ambiental. Sobre esta base, fue posible plantear estrategias dirigidas a optimizar el uso de los recursos, disminuir las pérdidas de materiales y aprovechar los lodos que se generan durante el cultivo de tilapia.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterización de la unidad piscícola

Durante la visita técnica realizada a la finca “Tres Chanchitos”, ubicada en la comunidad Talin, parroquia Veracruz, provincia de Pastaza, se efectuó el reconocimiento del sistema de cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*). La unidad productiva estuvo conformada por cinco estanques que operaban bajo un sistema escalonado de producción, lo que permitía mantener diferentes etapas del ciclo productivo y disponer continuamente de peces para su comercialización.

Para el desarrollo del caso de estudio se seleccionó un estanque representativo con capacidad para 5.000 tilapias, cuyas dimensiones fueron de 5,0 m de longitud, 3,0 m de ancho y 1,20 m de profundidad. El estanque fue construido en tierra y presentó revestimiento con geomembrana únicamente en los taludes laterales, mientras que el fondo permanecía en suelo natural compactado. El abastecimiento de agua se realizó mediante conducción continua desde el río Bobonaza, garantizando la renovación permanente del recurso hídrico durante el ciclo de cultivo.

Tabla 1. *Características del estanque seleccionado como caso de estudio.*

Característica	Descripción
Especie	*Oreochromis niloticus*
Capacidad	5.000 alevines
Dimensiones	5,0 × 3,0 × 1,20 m
Tipo de estanque	Tierra con geomembrana lateral
Fuente de agua	Río Bobonaza
Sistema hidráulico	Flujo continuo
Duración del ciclo	5 meses
Mortalidadestimada	20 %

3.2. Descripción del proceso productivo

El proceso productivo inició con la adquisición de 5.000 alevines, adquiridos a proveedores privados especializados, con un costo unitario aproximado de USD 0,05, debido a que, según el propietario, presentan mejores índices de supervivencia que los distribuidos por otras instituciones públicas.

Durante la primera semana de cultivo se suministró un complejo vitamínico para favorecer la adaptación de los alevines y disminuir el estrés fisiológico ocasionado por el transporte. Posteriormente, la alimentación se desarrolló de acuerdo con el crecimiento de los peces utilizando alimento balanceado comercial de la línea Fishpac®. En el primer mes se empleó Fishpac® 32 % de proteína; durante los meses segundo y tercero se utilizó Fishpac® 28 %; mientras que en los meses cuarto y quinto se suministró Fishpac® 24 %, correspondiente a la etapa de engorde.

Al concluir aproximadamente cinco meses de cultivo, las tilapias alcanzaron un peso comercial cercano a una libra por individuo. Finalizada la cosecha, el estanque fue drenado para efectuar las labores de limpieza, observándose que los lodos sedimentados eran retirados manualmente y depositados en las inmediaciones de la finca, sin evidenciarse prácticas de aprovechamiento o valorización.

Etapa	Tiempo	Alimento	Proteína (%)	Cantidad	Costo (USD)
Adaptación	Primera semana	Complejo vitamínico	—	1 tratamiento	35,00
Inicio	Primer mes	Fishpac® 32	32	1 quintal	45,00
Crecimiento	Meses 2 y 3	Fishpac® 28	28	8 quintales	304,00
Engorde	Meses 4 y 5	Fishpac® 24	24	22 quintales	807,40
Total	**5 meses**			**31 quintales**	**1.191,40**

Tabla 2. *Programa de alimentación observado durante el ciclo de cultivo*

3.3. Diagrama de flujo del proceso de cultivo de tilapia

Con base en la información recopilada durante la visita técnica y las entrevistas realizadas al propietario, se identificaron las principales operaciones que conforman el proceso de cultivo de tilapia en la unidad productiva. El proceso inicia con la preparación del estanque, continúa con la siembra de los alevines, el suministro de vitaminas y alimento balanceado durante las diferentes etapas de crecimiento, hasta finalizar con la cosecha y la limpieza del estanque (Figura 2).

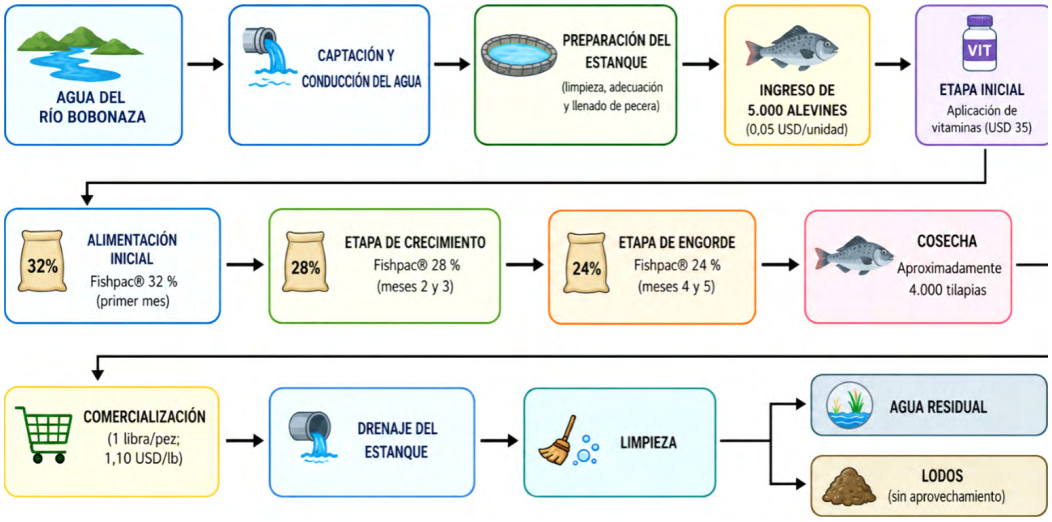


Figura 2. *Diagrama de flujo del proceso de cultivo de tilapia en la finca "Tres Chanchitos"*

3.4. Identificación de entradas y salidas del proceso productivo

La identificación de entradas y salidas de la Tabla 3 permitió establecer los puntos donde ocurre el consumo de recursos y la generación de residuos dentro del proceso de cultivo. Esta evaluación permitió relacionar cada operación productiva con los recursos empleados y los impactos ambientales asociados.

Tabla 3. *Identificación de entradas y salidas por etapa del proceso.*

Etapa del proceso	Entradas	Salidas
Preparación del estanque	Agua, infraestructura, mano de obra	Estanque acondicionado
Siembra	Alevines de tilapia	Peces en adaptación
Adaptación	Vitaminas, agua	Peces adaptados al sistema
Alimentación inicial	Fishpac® 32 %	Incremento de biomasa, residuos orgánicos
Crecimiento	Fishpac® 28 %	Biomasa de juveniles, excretas
Engorde	Fishpac® 24 %	Tilapia comercial, materia orgánica
Cosecha	Mano de obra	4.000 peces comercializables
Limpieza del estanque	Agua, mano de obra	Agua residual y lodos

3.5. Balance de materia del sistema productivo

El balance de materia de la Tabla 4 fue desarrollado considerando un ciclo productivo aproximado de cinco meses para un estanque con capacidad de 5.000 tilapias. Se analizaron las principales entradas del sistema, conformadas por recursos naturales, materias primas e insumos, y las salidas generadas durante el proceso productivo.

Las entradas principales correspondieron al agua proveniente del río Bobonaza, alevines, alimento balanceado y suplementos vitamínicos. Por otra parte, las salidas estuvieron representadas por la biomasa comercial obtenida, mortalidad, agua residual, restos de alimento y lodos generados durante la limpieza del estanque.

Tabla 4. *Balance de materia del cultivo de tilapia durante un ciclo productivo.*

Flujo del sistema	Entrada	Cantidad estimada	Salida	Cantidad estimada
Material biológico	Alevines	5.000 unidades	Tilapia cosechada	4.000 unidades
Mortalidad	—	—	Peces muertos	1.000 unidades
Alimentación	Fishpac® 32 %	1 quintal	Biomasa generada	Incluida en producción
Alimentación	Fishpac® 28 %	8 quintales	Restos de alimento	No cuantificado
Alimentación	Fishpac® 24 %	22 quintales	Materia orgánica sedimentada	No cuantificada
Suplementación	Vitaminas	35 USD/ciclo	—	—
Recurso hídrico	Agua del río Bobonaza	Flujo continuo	Agua de descarga	Flujo continuo

El balance evidenció que el alimento balanceado constituye la principal entrada de materia al sistema después del agua, mientras que los residuos orgánicos acumulados en el estanque representan el principal flujo potencial de aprovechamiento mediante estrategias de Producción Más Limpia.

3.6. Diagnóstico del proceso desde el enfoque de Producción Más Limpia

La caracterización del proceso permitió identificar tres aspectos ambientales prioritarios. En primer lugar, el alimento balanceado constituyó el principal componente del costo operativo, representando aproximadamente el 61% de los costos de producción, lo que evidencia que pequeñas mejoras en la eficiencia de alimentación podrían reducir simultáneamente los costos y la carga contaminante asociada a los restos de alimento.

En segundo lugar, se constató que el abastecimiento de agua se realiza mediante flujo continuo desde el río Bobonaza, condición que garantiza condiciones adecuadas para el cultivo, pero que hace necesario evaluar alternativas para optimizar el uso del recurso hídrico y disminuir las pérdidas de agua durante la operación del sistema.

Finalmente, durante la limpieza del estanque se observó la generación de lodos provenientes de la acumulación de materia orgánica y sedimentos. Estos residuos eran retirados y depositados en áreas cercanas a la unidad productiva sin ningún tipo de aprovechamiento, identificándose una

oportunidad para su valorización mediante su utilización como acondicionador de suelos o materia prima para la elaboración de compost, en concordancia con los principios de la Producción Más Limpia.

3.7. Análisis económico del ciclo productivo

El análisis económico del sistema de producción de tilapia permitió determinar la inversión inicial requerida para la adecuación de la infraestructura productiva, así como los costos asociados al desarrollo de un ciclo de cultivo y los principales indicadores de rentabilidad del proceso. El cálculo tomó en cuenta los recursos empleados en la construcción y el acondicionamiento del estanque, entre ellos las labores de excavación, la colocación de geomembrana, la instalación del sistema de conducción de agua y los accesorios hidráulicos. Asimismo, se incluyeron los costos operativos asociados a la compra de alevines, el alimento balanceado, los suplementos vitamínicos y la mano de obra, de acuerdo con las condiciones de operación informadas por el propietario de la unidad piscícola.

A partir de los datos productivos estimados se determinó la producción esperada, los ingresos generados por la comercialización de la biomasa cosechada, la utilidad operativa, el costo unitario de producción y el periodo estimado de recuperación de la inversión inicial. El periodo de recuperación se calculó dividiendo el monto de la inversión inicial entre la utilidad operativa mensual promedio, obtenida a partir de la utilidad total generada durante el ciclo de cultivo. Estos indicadores permitieron evaluar el desempeño económico del sistema piscícola y establecer una base técnica para la identificación de alternativas de optimización bajo el enfoque de Producción Más Limpia. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. *Inversión inicial, costos operativos e indicadores productivos-económicos estimados del ciclo de cultivo de tilapia.*

Inversión inicial y costos operativos	Valor (USD)	Indicadores productivos y económicos	Valor
Inversión inicial		**Indicadores productivos**	
Excavación del estanque	250,00	Alevines sembrados	5.000 individuos
Geomembrana lateral	250,00	Mortalidad estimada	20 %
Instalación de geomembrana	100,00	Peces cosechados	4.000 individuos
Sistema de conducción de agua	120,00	Producción estimada	4.000 lb
Accesorios hidráulicos	50,00	Peso promedio individual	1 lb/pez
Total inversión inicial	**770,00**	**Indicadores económicos**	
Costos operativos del ciclo		Precio de venta	1,10 USD/lb
Compra de 5.000 alevines	250,00	Ingreso bruto estimado	4.400,00 USD
Complejo vitamínico	35,00	Costos operativos	1.891,40 USD
Fishpac® 32	45,00	Utilidad operativa estimada	2.508,60 USD
Fishpac® 28	304,00	Costo de producción	0,47 USD/lb
Fishpac® 24	807,40	Recuperación de inversión inicial	1,5 meses
Mano de obra	450,00		
Costo operativo total	**1.891,40**		

3.8. Matriz de oportunidades de Producción Más Limpia

A partir del diagnóstico realizado mediante el diagrama de flujo, balance de materia e identificación de entradas y salidas, se determinaron oportunidades de mejora orientadas a prevenir pérdidas de recursos, reducir residuos y mejorar la eficiencia productiva del cultivo de tilapia (Ver Tabla 6).

Tabla 6. *Matriz de oportunidades de Producción Más Limpia identificadas.*

Aspecto identificado	Situación actual	Estrategia de Producción Más Limpia	Resultado esperado
Uso del alimento balanceado	Representa el mayor costo operativo del cultivo	Ajustar la cantidad suministrada según biomasa y consumo real de los peces	Reducción del desperdicio de alimento y disminución de costos
Manejo del agua	Ingreso continuo desde el río Bobonaza sin medición del consumo	Implementar control del caudal y seguimiento de parámetros fisicoquímicos	Optimización del uso del recurso hídrico
Generación de lodos	Retiro y disposición sin aprovechamiento	Implementar procesos de valorización mediante compostaje o uso agrícola	Transformación de residuos en subproductos aprovechables
Mortalidad del cultivo	Pérdida aproximada del 20 % de los peces sembrados	Mejorar prácticas de adaptación, manejo sanitario y seguimiento del cultivo	Incremento de la supervivencia y productividad
Registro productivo	Ausencia de indicadores sistemáticos	Implementar registros de consumo, mortalidad, alimentación y producción	Mejor toma de decisiones basada en indicadores

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la finca "Los Tres Chanchitos y Yo" confirman un patrón ampliamente documentado en la literatura reciente sobre acuicultura de tilapia: el alimento balanceado constituye el componente que concentra la mayor proporción del gasto operativo y, por tanto, el punto donde una mejora en la eficiencia productiva genera el mayor impacto simultáneo sobre costos y contaminación. El uso de alimento en la acuicultura implica cantidades considerables de tierra, agua dulce, energía y pescado silvestre incorporados de forma indirecta al proceso, y un mejor manejo del alimento orientado a reducir la tasa de conversión alimenticia constituye la vía más efectiva para disminuir el uso de recursos a nivel de finca(20). Este planteamiento coincide con lo observado en el estanque estudiado, donde el 61% de los costos de producción correspondió a alimento, un porcentaje que confirma que pequeños ajustes en la ración suministrada, más que cambios estructurales en el sistema, tienen el mayor potencial de mejora. Esta lectura se ve reforzada por evidencia que indica que, de los nutrientes totales suministrados a los estanques de cultivo, solo un 30% se convierte efectivamente en producto, mientras que el resto se descarga al ambiente para mantener la calidad del agua(21), lo que sugiere que buena parte del alimento no consumido termina como carga orgánica en el sistema, tal como se documentó en el balance de materia de la Tabla 4.

En cuanto al manejo del recurso hídrico, el abastecimiento por flujo continuo desde el río Bobonaza, aunque garantiza condiciones estables para el cultivo, se aleja de las recomendaciones de eficiencia hídrica que plantea la literatura especializada. Los sistemas integrados de acuicultura y agricultura basados en estanques han demostrado beneficios sociales, económicos y ambientales considerables cuando se acompañan de una regulación adecuada del consumo de agua, y pueden contribuir a la productividad, al ingreso de los productores y a la fertilidad del suelo cuando el recurso se gestiona con criterios técnicos en lugar de dejarse en flujo libre(22). En la misma línea, se ha documentado en estanques de tilapia roja que las concentraciones de compuestos nitrogenados en el agua pueden incrementarse de forma marcada hacia el final del ciclo de cultivo(23), lo que evidencia que la ausencia de control sobre el caudal y los parámetros fisicoquímicos, como ocurre en la finca estudiada, puede derivar en un deterioro progresivo de la calidad del agua que pasa inadvertido si no existe un monitoreo sistemático.

La generación de lodos sin aprovechamiento, identificada como uno de los tres aspectos ambientales prioritarios del diagnóstico, encuentra amplio respaldo en la bibliografía sobre valorización de residuos acuícolas. La economía biocircular en acuicultura se ha descrito como la incorporación de biomasa y biotecnologías para lograr sostenibilidad(24), un marco conceptual que coincide con la propuesta formulada en la matriz de oportunidades de este estudio para transformar los lodos sedimentados en acondicionador de suelos. Existe además evidencia experimental directa sobre esta posibilidad, al demostrarse que el compostaje y el vermicompostaje de lodos de pescado combinados con otros residuos orgánicos permiten obtener un producto seguro y rico en nutrientes disponibles para las plantas (25). De manera similar, se ha propuesto un sistema de producción sin residuos que integra estanques de cultivo, cultivo de hortalizas y compostaje dentro de un mismo flujo circular (26), un modelo que podría adaptarse a la escala de la unidad piscícola estudiada dado que ya comparte varias de sus condiciones de infraestructura y manejo.

El análisis económico, con una recuperación de la inversión inicial de 1,5 meses, resulta notablemente más rápido que los periodos reportados en estudios comparables de cultivo de tilapia en pequeña y mediana escala. La rentabilidad de granjas de tilapia en tanques varía según el tamaño de la operación, con tasas internas de retorno crecientes a medida que aumenta el número de unidades de cultivo (27), lo que indica que las economías de escala inciden directamente sobre la velocidad de recuperación del capital. Asimismo, se ha evaluado un sistema de acuicultura de traspatio de baja inversión orientado a comunidades rurales, concluyendo que este tipo de sistemas puede ser rentable cuando se ajustan correctamente los parámetros productivos(28), un hallazgo que respalda la viabilidad del modelo observado en Talin, Veracruz. En un contexto de mayor escala, se determinó que la producción de tilapia bajo tecnología de biofloc mantiene un margen neto positivo en la mayoría de los escenarios evaluados, con la excepción del escenario pesimista (29), lo que confirma que la rentabilidad del cultivo de tilapia depende en gran medida de mantener controlados los costos de alimentación y de fingerlings, tal como ocurrió en el caso analizado.

Finalmente, la mortalidad estimada del 20% durante el ciclo productivo merece una lectura crítica a la luz de la literatura sobre sanidad en tilapicultura. La intensificación del cultivo de tilapia favorece la aparición de enfermedades bacterianas asociadas a

altas concentraciones de nutrientes, temperaturas elevadas y densidades de siembra crecientes(30), condiciones que coinciden parcialmente con el manejo observado en el estanque de estudio. El peso económico de este tipo de pérdidas ha sido cuantificado al demostrarse que, en granjas donde la mortalidad asociada a enfermedades bacterianas supera el 10%, resulta rentable invertir en alevines con mayor resistencia genética incluso pagando un sobreprecio considerable por ellos(31), lo que sugiere que la mortalidad del 20% registrada en la finca representa no solo una pérdida biológica sino una oportunidad concreta de mejora económica mediante prácticas sanitarias más rigurosas o proveedores de alevines de mejor calidad genética. En un análisis de eficiencia de recursos en cultivo de peces de agua cálida, se encontró que el alimento concentra la mayor parte del consumo energético del sistema productivo(32), lo que refuerza la idea de que las intervenciones dirigidas a mejorar la conversión alimenticia y reducir la mortalidad tienen efectos que se multiplican entre sí, mejorando simultáneamente la eficiencia productiva, el desempeño ambiental y la rentabilidad del cultivo.

En su conjunto, estos antecedentes permiten confirmar que los tres aspectos detectados en el diagnóstico de Producción Más Limpia: el manejo del alimento, la gestión del agua y el aprovechamiento de los lodos; no constituyen hallazgos aislados del presente estudio, sino que representan problemas estructurales y recurrentes de la piscicultura de pequeña escala, documentados en diversos contextos geográficos. Esto refuerza la solidez de las estrategias planteadas en la matriz de oportunidades.

5. CONCLUSIONES

El diagnóstico realizado en la finca "Los Tres Chanchitos y Yo" mostró que el cultivo de tilapia en esta unidad piscícola de Pastaza funciona con un manejo empírico, sostenido en la experiencia del propietario más que en registros técnicos o controles sistemáticos. El diagrama de flujo y el balance de materia permitieron identificar con claridad los puntos donde se concentra el consumo de recursos y la generación de residuos: el alimento balanceado, el agua de conducción continua desde el río Bobonaza y los lodos que quedan después de cada cosecha. Ninguno de estos tres elementos contaba con algún tipo de control o aprovechamiento antes de este estudio, lo que confirma que el sistema tiene un margen amplio de mejora sin necesidad de cambios estructurales.

En cuanto a la eficiencia en el uso de los recursos, el alimento balanceado resultó ser el factor más determinante, tanto por su peso económico (alrededor del 61% de los costos de producción) como por su relación directa con la contaminación del estanque, ya que el alimento no consumido termina como materia orgánica sedimentada. El agua, aunque garantiza condiciones estables para el cultivo gracias a su flujo continuo, se maneja sin medición ni control de caudal, lo que impide saber cuánto recurso se está utilizando realmente y limita cualquier esfuerzo de optimización. A esto se suma una mortalidad cercana al 20%, que representa tanto una pérdida biológica como una oportunidad de mejora si se fortalecen las prácticas de adaptación y manejo sanitario de los alevines.

Respecto a los lodos generados durante la limpieza del estanque, el estudio confirmó que se retiran y se depositan cerca de la finca sin ningún tratamiento, cuando en realidad podrían convertirse en un subproducto de valor si se destinan a la elaboración de compost o como acondicionador de suelos. Esta es, junto con el ajuste en la alimentación y el control del agua, una de las tres líneas de acción concretas que se plantean en la matriz de oportunidades de Producción Más Limpia, y probablemente la que representa el cambio más sencillo de implementar en el corto plazo.

El análisis económico respalda la viabilidad de aplicar estas mejoras. Con una inversión inicial relativamente baja y un periodo de recuperación estimado en apenas 1,5 meses, el negocio ya es rentable en las condiciones actuales, por lo que cualquier ajuste que reduzca el desperdicio de alimento, optimice el uso del agua o valorice los lodos tendría un efecto directo sobre la utilidad del productor, no solo sobre el desempeño ambiental. Esto es justamente lo que hace atractiva la Producción Más Limpia para este tipo de finca familiar: no exige inversiones grandes, sino cambios en la forma de gestionar lo que ya se tiene.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al señor Manuel Yautibug, propietario de la finca “Los Tres Chanchitos y Yo”, por su colaboración durante el desarrollo de la investigación, y a la Universidad Estatal Amazónica (UEA) por el apoyo institucional brindado.

7. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tiene conflicto de interés.

8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Garlock T, Asche F, Anderson J, Ceballos-Concha A, Love DC, Osmundsen TC, Pincinato RBM. Aquaculture: The missing contributor in the food security agenda. Glob Food Sec. 2022;32:100620. doi: 10.1016/j.gfs.2022.100620.

2. Troell M, Costa-Pierce B, Stead S, Cottrell RS, Brugere C, Farmery AK, Little DC, Strand Å, Pullin R, Soto D, et al. Perspectives on aquaculture's contribution to the Sustainable Development Goals for improved human and planetary health. J World Aquac Soc. 2023;54:251–342. doi: 10.1111/jwas.12946.

3. Gul S, Shafiq U, Mir SA, Iqbal G, Lone HQ. Enhancing Global Food Security through Sustainable Fisheries and Aquaculture: A Comprehensive Review. Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology. 2024;42:60–70. doi: 10.9734/ajaees/2024/v42i102563.

4. Veintimilla-Morán GE. Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de Tilapias Rojas (Oreochromis sp) en el cantón Quevedo: Feasibility study for the production and commercialization of Red Tilapia (Oreochromis sp) in the canton of Quevedo. Multidisciplinary Latin American Journal [Internet]. 2023 [cited 2026 Jul 25];1. doi: 10.5281/ZENODO.11022096.

5. Sultana N, Rahman MM, Khanam R, Islam KMZ, Islam Rayhan MR. Investigating the prospect of cleaner production in informal enterprises: A scientific assessment of environmental burdens and economic efficiency. Heliyon. 2023;9:e14583. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14583.

6. de Oliveira Neto GC, Leite RR, Lucato WC, Vanalle RM, Amorim M, Matias JCO, Kumar V. Overcoming Barriers to the Implementation of Cleaner Production in Small Enterprises in the Mechanics Industry: Exploring Economic Gains and Contributions for Sustainable Development Goals. Sustainability 2022, Vol 14, Page 2944 [Internet]. 2022 [cited 2026 Jul 25];14:2944. doi: 10.3390/SU14052944.

7. Kumar L, Naqvi SA, Deitch MJ, Khalid MJ, Naeem K, Qayyum Amjad A, Kumar A, Gebremicael TG, Arshad M. Opportunities and constraints for cleaner production policy in the developing world: a case study of Sindh Region, Pakistan. Environ Dev Sustain. 2023;26:4391–4434. doi: 10.1007/s10668-022-02889-0.

8. Caiza López DL, Shiguango Grefa JF, Ordoñez Bravo EF, Quishpe Mejia MA. Impacto de la agroindustria en el desarrollo económico y sostenibilidad ambiental en Ecuador. RECIENA. 2025;5:33–42. doi: 10.47187/ty6mtj68.

9. Caiza López DL, Ordoñez Bravo EF, Caiza López JC, Illescas Calle AP. Producción agroindustrial y comercialización de pitahaya: estudio de caso en la finca Don Rafa, Palora. RECIENA. 2025;5:18–28. doi: 10.47187/wek9ke44.

10. Campanati C, Willer D, Schubert J, Aldridge DC. Sustainable Intensification of Aquaculture through Nutrient Recycling and Circular Economies: More Fish, Less Waste, Blue Growth. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture. 2022;30:143–169. doi: 10.1080/23308249.2021.1897520.

11. Masi M, Adinolfi F, Vecchio Y, Agnusdei GP, Coluccia B. Toward the Circular Economy in the Aquaculture Sector: Bibliometric, Network and Content Analyses. Sustainability. 2024;16:5405. doi: 10.3390/su16135405.

12. Brugère C, Aguilar-Manjarrez J, Beveridge MCM, Soto D. The ecosystem approach to aquaculture 10 years on – a critical review and consideration of its future role in blue growth. Rev Aquac. 2019;11:493–514. doi: 10.1111/raq.12242.

13. Nuñez Moreno MS. Implementación de la estrategia ambiental Producción más Limpia (PmL) para el proceso productivo de la microempresa Productos Lácteos del Norte. AlfaPublicaciones. 2021;3:28–49. doi: 10.33262/ap.v3i2.2.57.

14. Quiloango-Chimarro CA, Gioia HR, de Oliveira Costa J. Typology of Production Units for Improving Banana Agronomic Management in Ecuador. AgriEngineering. 2024;6:2811–2823. doi: 10.3390/agriengineering6030163.

15. Mercado Mamani SL, Collazos Cabrera JA. Contexto del impacto ambiental generado por la agroindustria en el Perú. Innova Biology Sciences. 2022;2:13–22. doi: 10.58720/ibs.v2i3.50.

16. Organización de Las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial [ONUDI]. Manual de Producción Más Limpia. 2008 [cited 2026 Jul 25];

17. Bernal Figueroa AA, Beltrán Parada CJ, Márquez Márquez AF. Producción Más Limpia: una revisión de aspectos generales. I3+. 2017;3:66–85. doi: 10.24267/23462329.219.

18. Figueroa Robalino JS, Chóez Pin JO. Producción más limpia como mecanismo de gestión ambiental para prevenir, mitigar o eliminar el impacto ambiental generado por la descarga final del agua residual industrial durante el funcionamiento del Camal Municipal del cantón Latacunga [Internet]. 2022 [cited 2026 Jul 25]. Available from: https://agris.fao.org/search/en/providers/124892/records/67124ad07f591113e2a580e4.

19. Rodríguez T, Sánchez I, Pinto O. Descripción del proceso productivo del sector curtiembre, enfocado en la aplicación de producción más limpia. GICOS: Revista del Grupo de Investigaciones en Comunidad y Salud, ISSN-e 2610-797X, Vol 6, No 2, 2021 (Ejemplar dedicado a: Especial 1 CTIE VIII Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología, Innovación y Emprendimiento), págs 196-206 [Internet]. 2021 [cited 2026 Jul 25];6:196–206.

20. Boyd CE, McNevin AA. Resource Use and Pollution Potential in Feed-Based Aquaculture. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture. 2024;32:306–333. doi: 10.1080/23308249.2023.2258226.

21. Chiquito-Contreras RG, Hernandez-Adame L, Alvarado-Castillo G, Martínez-Hernández M de J, Sánchez-Viveros G, Chiquito-Contreras CJ, Hernandez-Montiel LG. Aquaculture—Production System and Waste Management for Agriculture Fertilization—A Review. Sustainability. 2022;14:7257. doi: 10.3390/su14127257.

22. Ibrahim LA, Abu-Hashim M, Shaghaleh H, Elsadek E, Hamad AAA, Alhaj Hamoud Y. A Comprehensive Review of the Multiple Uses of Water in Aquaculture-Integrated Agriculture Based on International and National Experiences. Water (Basel). 2023;15:367. doi: 10.3390/w15020367.

23. Liu Z, Li J, Luo L, Yu Y, Yan J, Sun C, Miao X, Li W. Regime Shifts in Microbial and Water Quality Dynamics in Red Tilapia Ponds. Microorganisms. 2025;13:1553. doi: 10.3390/microorganisms13071553.

24. Kurniawan SB, Ahmad A, Imron MF, Abdullah SRS, Othman AR, Hasan HA. Achieving a Biocircular Economy in the Aquaculture Sector Through Waste Valorization. Toxics. 2025;13:131. doi: 10.3390/toxics13020131.

25. Hleibieh M, Hanc A, Michal P, Hrebeckova T. Composting and Vermicomposting of Fish Sludge with Egg Boxes and Lettuce Wastes with the Addition of Eggshells: Impacts on Chemical Properties, Nutrient Availability, and Safety. Agronomy. 2026;16:473. doi: 10.3390/agronomy16040473.

26. Nenciu F, Voicea I, Cocarta DM, Vladut VN, Matache MG, Arsenoaia V-N. "Zero-Waste" Food Production System Supporting the Synergic Interaction between Aquaculture and Horticulture. Sustainability. 2022;14:13396. doi: 10.3390/su142013396.

27. Burad-Méndez A, Domínguez-May R, Olvera-Novoa MA, Robledo D, Salas S. Economic analysis of Nile tilapia (Oreochromis niloticus) production based on farm size and number of rearing tanks. Lat Am J Aquat Res. 2023;51:747–759. doi: 10.3856/vol51-issue5-fulltext-3071.

28. Dorantes-De-La-O JCR, Maeda-Martínez AN. Bioeconomic model for the evaluation of a backyard aquaculture system for tilapia (Oreochromis niloticus). Lat Am J Aquat Res. 2023;51:282–294. doi: 10.3856/vol51-issue2-fulltext-2999.

29. Bezerra GA, Pires DC, Watanabe AL, Buglione Neto CC, Cardoso AJ da S, Simões ARP, Hisano H. Economic Feasibility and Risk Analysis of Nile Tilapia Juveniles Reared in a Biofloc Technology System. Aquaculture Journal. 2025;5:9. doi: 10.3390/aquacj5020009.

30. Haenen OLM, Dong HT, Hoai TD, Crumlish M, Karunasagar I, Barkham T, Chen SL, Zadoks R, Kiermeier A, Wang B, et al. Bacterial diseases of tilapia, their zoonotic potential and risk of antimicrobial resistance. Rev Aquac. 2023;15:154–185. doi: 10.1111/raq.12743.

31. Delphino M, Joshi R, Alvarez AT. Economic appraisal of using genetics to control Streptococcus agalactiae in Nile tilapia under cage and pond farming system in Malaysia. Sci Rep. 2022;12:8754. doi: 10.1038/s41598-022-12649-9.

32. Firouzi S, Kosari-Moghaddam A, Radgoudarzi M. Resource use efficiency of warm-water fish culture upon different pond sizes. Environ Prog Sustain Energy. 2022;41. doi: 10.1002/ep.13778.