

# Modelo de acuicultura rural sostenible: propuesta de implementación comunitaria en la región de Misantla, Veracruz

**RESUMEN:** Este artículo presenta el diseño, validación y propuesta de escalamiento de un modelo de sistema acuícola rural sostenible adaptado a comunidades con recursos hídricos limitados en la región de Misantla, Veracruz. El modelo se basa en la cría de *Oreochromis niloticus* (tilapia), utilizando infraestructura de bajo costo, estanques circulares de entre 8 y 10 m<sup>3</sup>, y sistemas de recirculación hídrica que permiten un uso eficiente del recurso. La propuesta elimina el uso de geomembranas costosas y se enfoca en soluciones técnicas apropiadas para zonas con infraestructura básica.

Se justifica la elección de bombas de bajo consumo eléctrico, alevines resistentes de crecimiento rápido y alimentación balanceada controlada. A nivel económico, se aplicaron fórmulas de Tasa Interna de Retorno (TIR) y análisis de eficiencia hídrica para estimar el rendimiento del sistema. Se presentan resultados de una prueba piloto en Palpoala Ixcán, donde se obtuvo una tasa de sobrevivencia del 92 %, reducción del 15 % del gasto familiar en proteína animal, y una TIR estimada del 26.5 %.

El modelo incorpora principios de economía circular, inclusión social activa de mujeres, jóvenes y personas con discapacidad, y demuestra viabilidad para su réplica en otras comunidades rurales.

**Palabras clave:** Acuicultura rural, economía circular, eficiencia hídrica, inclusión social, sostenibilidad.



## Colaboración

Juan José Hernández Napoleón; Denisse Arleth López Díaz, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Fecha de recepción: 16 de septiembre de 2025

Fecha de aceptación: 14 de octubre de 2026

Autor de Correspondencia: Denisse Arleth López Díaz.

**ABSTRACT:** This article presents the design, validation, and scaling proposal of a sustainable rural aquaculture model adapted to communities with limited water resources in the Misantla region, Veracruz. The system is based on the farming of *Oreochromis niloticus* (tilapia), using low-cost infrastructure, circular ponds ranging from 8 to 10 m<sup>3</sup>, and water recirculation systems to maximize resource efficiency. The model excludes the use of geomembranes and instead focuses on technical solutions suitable for areas with limited infrastructure.

The selection of energy-efficient pumps, fast-growing fry, and balanced feed is technically justified. Economic analysis using Internal Rate of Return (IRR) and water efficiency metrics supports its profitability. A pilot study in Palpoala Ixcán yielded a 92 % survival rate, a 15 % reduction in household animal protein expenses, and an estimated IRR of 26.5 %.

The model incorporates circular economy principles, promotes social inclusion of women, youth, and people with disabilities, and demonstrates scalability for broader implementation in rural communities.

**Keywords:** Rural aquaculture, circular economy, water efficiency, social inclusion, sustainability.

## INTRODUCCIÓN

La búsqueda de estrategias productivas sostenibles en comunidades rurales mexicanas ha llevado al desarrollo de modelos adaptados al aprovechamiento eficiente de los recursos naturales locales. En este contexto, la acuicultura rural se presenta como una alternativa viable para mejorar la seguridad alimentaria, diversificar los ingresos familiares y reducir la

dependencia de actividades agropecuarias de baja rentabilidad.

En la región de Misantla, Veracruz, existen condiciones geográficas y climáticas propicias para el desarrollo de sistemas acuícolas de pequeña escala, tales como una precipitación media anual entre 1,800 y 2,100 mm y temperaturas promedio de 23–25 °C [6]. Sin embargo, también enfrentan desafíos estructurales: acceso limitado a tecnología, falta de financiamiento y escasa capacitación técnica. Más del 40 % de la población en municipios aledaños vive en condiciones de pobreza y presenta carencias alimentarias [3].

El modelo que aquí se propone se enfoca en la cría de *Oreochromis niloticus*, utilizando estanques circulares de 8 a 10 m<sup>3</sup>, sistemas de filtración bio-mecánica artesanal, y una metodología de operación basada en recirculación de agua con bajo consumo energético. Este enfoque se aleja del uso de materiales costosos como la geomembrana y de la alimentación con subproductos agrícolas, priorizando el control de calidad del agua y la eficiencia alimenticia. La fórmula de eficiencia hídrica (E) utilizada en el análisis es la siguiente:

$$E_h = \frac{M_{tilapia}}{V_{agua}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

$E_h$  = eficiencia hídrica (kg/L)

$M_{tilapia}$  = masa total de tilapia producida (kg)

$V_{agua}$  = volumen total de agua utilizada durante el ciclo (L)

Adicionalmente, se evaluó la Tasa Interna de Retorno (TIR), empleando la fórmula financiera:

$$TIR = r \quad \text{cuando} \quad \sum_{t=0}^n \frac{\text{Flujo neto}_t}{(1+r)^t} = 0 \quad \text{Ec. (2)}$$

Este modelo se diferencia de otros sistemas similares como los implementados en Guatemala [4] y Perú [1], al incorporar no solo criterios técnicos y económicos, sino también componentes de inclusión social activa, como la participación de mujeres, jóvenes y personas con discapacidad.

La validación de este sistema se llevó a cabo mediante una prueba piloto durante 2023 en la comunidad de Palpoala Ixcán, donde se obtuvieron resultados alentadores: una tasa de sobrevivencia del 92 % y una reducción del 15 % en el gasto familiar en proteína animal. Estos resultados sugieren que el modelo es replicable, económicamente viable y socialmente inclusivo.

Por lo tanto, el presente artículo tiene como objetivo presentar la propuesta, validación técnica y evaluación de sostenibilidad de un sistema acuícola rural

que integra los principios de eficiencia hídrica, economía circular y desarrollo comunitario sostenible.

## Contexto regional

### Situación socioeconómica

La región de Misantla, situada en la zona centro-norte del estado de Veracruz, presenta una alta dispersión poblacional, dependencia de la agricultura tradicional y limitaciones de acceso a servicios básicos. Según datos de [3], el 47.2 % de los habitantes del municipio de Misantla vive en condiciones de pobreza y el 17.9 % en pobreza extrema, con carencias severas en alimentación, salud y vivienda.

La economía local se sostiene principalmente en la producción de café, maíz, caña de azúcar y cítricos, pero con bajo nivel de tecnificación y escasa diversificación productiva. Esta dependencia de cultivos vulnerables a los cambios de mercado y al clima coloca a las familias en situaciones de riesgo económico. En este contexto, es urgente implementar alternativas sostenibles, de bajo costo y con alto potencial de retorno, como lo es la acuicultura rural.

La acuicultura permite generar proteína de alto valor biológico en espacios reducidos, con baja inversión y sin requerir grandes extensiones de tierra ni infraestructura especializada. Además, su carácter modular la convierte en una opción ideal para ser replicada en zonas rurales dispersas.

### Recursos hídricos disponibles

Misantla se localiza dentro de la cuenca media del río Nautla, una zona que cuenta con diversas fuentes de agua superficial como arroyos, manantiales y escurrimientos temporales. Con base en información de campo y datos del INEGI [6], se estima que en comunidades como Palpoala Ixcán existen al menos tres nacimientos de agua activos, con caudales estacionales entre 1.5 y 3 litros por segundo durante la mayor parte del año.

La disponibilidad hídrica, aunque moderada, resulta suficiente para abastecer sistemas acuícolas de pequeña escala, siempre que se utilicen técnicas de recirculación y filtración artesanal. Esta estrategia reduce el consumo neto de agua y evita la sobreexplotación de los manantiales locales. La fórmula utilizada para estimar la disponibilidad por sistema fue: por ejemplo, con un manantial de 2 L/s:

$$Q_{diario} = Q_{manantial} \times 86,400 \text{ (segundos/día)} \quad \text{Ec. (3)}$$

$$Q_{diario} = 2 \times 86,400 = 172,800 \text{ L/día} \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Esto es más que suficiente para operar entre 4 y 6 sistemas de 10 m<sup>3</sup>, incluso considerando tasas de recambio de hasta el 10 % diario.

**Diseño del sistema acuícola rural**

Se seleccionó la tilapia (*Oreochromis niloticus*) debido a su resistencia, crecimiento rápido, eficiencia alimenticia y baja exigencia en oxígeno disuelto, cualidades que han sido ampliamente documentadas por [1] y [4].

Como se muestra en las Figuras 1 y 2, el sistema está conformado por estanques circulares de entre 8 y 10 m<sup>3</sup>, construidos con materiales reforzados como malla electrosoldada, recubrimiento plástico de alta resistencia y capa impermeabilizante ecológica, eliminando así el uso de geomembrana, que resulta costosa y poco sostenible para zonas rurales.

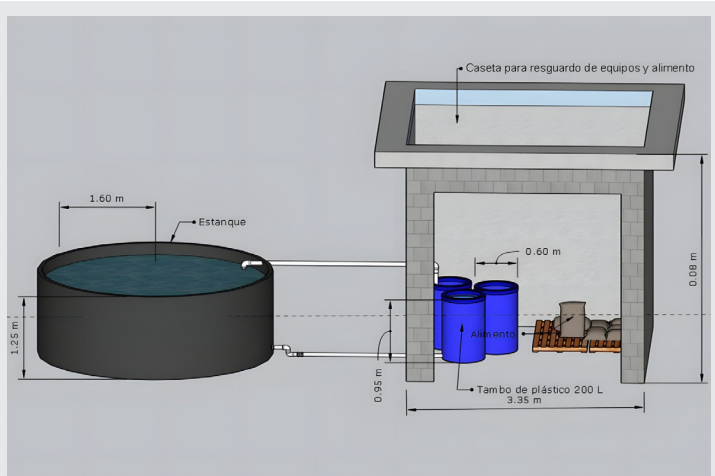


Figura 1. Diseño estructural del sistema acuícola rural con módulo de almacenamiento y alimentación (vista lateral). Fuente: Elaboración propia.

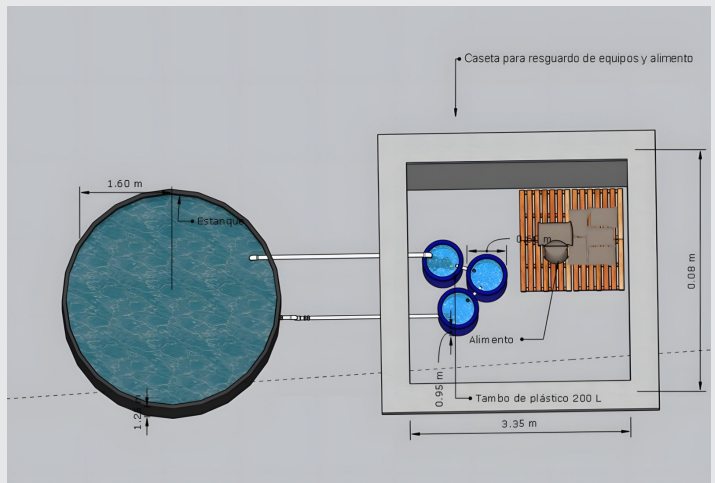


Figura 2. Diseño estructural del sistema acuícola rural con módulo de almacenamiento y alimentación (vista superior). Fuente: Elaboración propia.

Cada estanque se diseña con base en la fórmula del volumen de un cilindro:

$$V = \pi r^2 h \quad \text{Ec. (4)}$$

Para un estanque con 1.6 m de radio y 1.25 m de altura:

$$V = 3.1416 \times (1.6)^2 \times 1.25 = 10.05 \text{ m}^3 \quad \text{Ec. (4.1)}$$

Estos volúmenes son suficientes para una siembra de hasta 200 alevines por estanque, manteniendo una densidad de 20 peces/m<sup>3</sup>, lo cual asegura buena conversión alimenticia y calidad del agua.

**Sistema de recirculación y bombas**

Se implementa un sistema de recirculación basado en filtros bio-mecánicos artesanales, compuestos por tres barriles conectados que permiten:

- Sedimentación primaria.
- Filtración mecánica (grava y arena).
- Filtración biológica (biomedios o esponjas).

Para mover el agua entre filtros y estanques, se utiliza una bomba sumergible de bajo consumo, con caudal de 800 a 1000 L/hora y potencia menor a 45W, lo que la hace apta para zonas rurales con acceso limitado a energía eléctrica. La elección de bomba se realizó con base en la siguiente fórmula de caudal diario mínimo:

$$Q_{min} = V_{estanque} \times 2 \text{ (renovación 2 veces al día)} \quad \text{Ec. (5)}$$

Ejemplo: Para un estanque de 10 m<sup>3</sup>:

$$Q_{min} = 10 \text{ m}^3 \times 2 = 20 \text{ m}^3/\text{día} = 20,000 \text{ L/día} \quad \text{Ec. (5.1)}$$

→ Requiere ≈ 850 L/h

**Alimentación y alevines**

Se usaron alevines de 5-10 g de peso inicial, seleccionados por su resistencia y procedencia certificada. Se suministró alimento balanceado comercial al 36 % de proteína durante el primer mes y posteriormente al 28 %, ajustando la ración según biomasa total, conforme a la fórmula:

$$\text{Ración diaria} = \text{Biomasa total (kg)} \times \% \text{ de alimentación} \quad \text{Ec. (6)}$$

Esto permite una gestión eficiente y controlada, sin depender de residuos agrícolas o ingredientes no estandarizados, eliminando riesgos sanitarios y variaciones nutricionales.

**Diseño modular del sistema**

- El diseño, funcional y replicable, contempla:
- Estanques de bajo costo.
  - Filtros artesanales hechos con materiales reciclados.
  - Caseta técnica para resguardo de equipos y alimento.
  - Caminos de acceso compactados para facilitar el manejo.

El sistema puede ampliarse o reducirse de acuerdo con las capacidades de cada familia, manteniendo los principios de eficiencia hídrica, economía circular y autonomía comunitaria.

**MATERIAL Y MÉTODOS**

**Lugar de ejecución**

El estudio fue realizado en el año 2023 en la comunidad de Palpoala Ixcán, municipio de Misantla,

Veracruz. Esta localidad cuenta con un clima cálido-húmedo, temperaturas promedio de 23-25 °C, altitudes entre 300 y 800 m s.n.m., y precipitación media de 1,800 a 2,100 mm anuales [6], condiciones óptimas para el cultivo de tilapia.

## Diseño y construcción del sistema

Se diseñaron estanques circulares con un volumen útil de entre 8 y 10 m<sup>3</sup>, construidos mediante estructura metálica reforzada, plástico agrícola de alta resistencia y capa impermeabilizante de aplicación manual. Este diseño reemplaza el uso de geomembrana para reducir costos y aprovechar materiales disponibles en la región.

El volumen de cada estanque se determinó mediante la fórmula:

$$V = \pi r^2 h \quad \text{Ec. (4)}$$

Con un radio de 1.6 m y altura de 1.25 m:

$$V = 3.1416 \times (1.6)^2 \times 1.25 = 10.05 \text{ m}^3 \quad \text{Ec. (4.1)}$$

El sistema incorporó filtros bio-mecánicos artesanales construidos con tres barriles reciclados conectados entre sí. Cada filtro cumple funciones específicas:

Sedimentación primaria.

Filtrado mecánico (grava y arena).

Filtrado biológico (biomedios).

Para la circulación del agua se utilizó una bomba sumergible de 45 W, con caudal de 850-1000 L/hora, cumpliendo con la necesidad de recircular el volumen total del estanque dos veces al día.

## Población y muestra

Se trabajó con tres unidades productivas, operadas por familias locales. La densidad de siembra fue de 20 peces/m<sup>3</sup>, equivalente a 200 alevines por estanque de 10 m<sup>3</sup>. Los alevines utilizados tenían un peso inicial de 5-10 gramos y fueron seleccionados por su adaptación al clima cálido y resistencia a condiciones rústicas.

Para estimar la biomasa inicial, se usó la fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Biomasa inicial} &= \text{Número de peces} \times \text{peso promedio} \\ &\rightarrow 200 \text{ peces} \times 0.007 \text{ kg} = 1.4 \text{ kg} \end{aligned} \quad \text{Ec. (7)}$$

## Procedimientos operativos

Ciclo de producción: 6 meses.

Monitoreo: Quincenal, con muestreo aleatorio de crecimiento y peso.

Parámetros fisicoquímicos: Temperatura, pH y oxígeno disuelto, medidos con sensores portátiles.

Filtración: Limpieza manual semanal de barriles filtrantes.

Alimentación: Balanceado al 36 % de proteína inicial, ajustado al 28 % tras el primer mes. Se calculó con base en biomasa y temperatura.

## Diseño experimental

Se empleó un diseño cuasiexperimental sin grupo control, enfocado en validación práctica. Los indicadores clave evaluados fueron:

Tasa de sobrevivencia (%).

Producción total por ciclo (kg).

Reducción del gasto familiar (%).

Participación comunitaria (% de mujeres y jóvenes).

El análisis se realizó bajo estadística descriptiva, contrastando los resultados reales con los valores esperados.

## Sostenibilidad del sistema

El modelo acuícola rural propuesto fue diseñado bajo los principios de sostenibilidad ambiental, económica y social. Cada componente del sistema responde a criterios de eficiencia, bajo impacto y viabilidad de réplica en comunidades rurales de bajos recursos.

## Sostenibilidad ambiental

Se priorizó el uso eficiente del agua mediante un sistema de recirculación controlada, lo que reduce drásticamente el consumo neto diario. La eficiencia hídrica se calculó con la fórmula:

$$E_h = \frac{M_{\text{tilapia}}}{V_{\text{agua}}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Se obtuvo una eficiencia hídrica  $E_h = 0.0024$  kg/L (equivalente a 2.4 g/L).

Además, los sedimentos acumulados en el fondo de los estanques (restos fecales y alimento no consumido) se utilizaron como fertilizante orgánico para cultivos cercanos. Esto reduce la necesidad de agroquímicos y permite cerrar un ciclo de nutrientes dentro del mismo sistema.

Se evitó el uso de insumos químicos, antibióticos o materiales contaminantes como geomembranas, y se optó por materiales reciclables o reutilizables: barriles plásticos, mallas, tubos de PVC y contenedores agrícolas.

## Sostenibilidad económica

Con una inversión promedio por unidad productiva de \$7,800 MXN (ajustada a precios reales 2024), el sistema es accesible para familias rurales. La rentabilidad se estimó mediante la fórmula de Tasa Interna de Retorno (TIR):

$$TIR = r \quad \text{cuando} \quad \sum_{t=0}^n \frac{\text{Flujo neto}_t}{(1+r)^t} = 0 \quad \text{Ec. (2)}$$

Con base en los costos y rendimientos proyectados (producción de 29 kg/estanque/ciclo, precio de venta: \$65/kg), se obtuvo una TIR del 26.5 %, con punto de equilibrio alcanzado al segundo ciclo. Además, el uso de materiales reciclados reduce los

costos fijos. Por ejemplo:

Filtros contruidos con barriles reciclados: \$0.

Sombra con malla agrícola reutilizada: \$250 aprox.

Costos energéticos mensuales (bomba de 45W): \$50-60.

Esto permite sostener el sistema incluso con ingresos variables o crisis económicas.

### Sostenibilidad social

El modelo fue diseñado para ser operado por familias, con especial énfasis en la inclusión de:

Mujeres (madres jefas de hogar).

Jóvenes sin empleo formal.

Personas con discapacidad motriz leve, que pueden encargarse del monitoreo, alimentación o registro de datos sin esfuerzo físico intenso.

En la prueba piloto, el 67 % de las actividades operativas fueron realizadas por mujeres y adolescentes, lo cual demuestra que el sistema es incluyente y fomenta la equidad.

Asimismo, la capacitación técnica fue clave: se impartieron talleres básicos de manejo acuícola, uso de bombas, muestreo y mantenimiento de filtros. Este proceso empoderó a los participantes, redujo la dependencia externa y fortaleció el tejido comunitario.

### Integración de economía circular

El sistema aprovecha al máximo los recursos y genera múltiples flujos de valor:

Agua reutilizada para ferti-riego.

Sedimento para fertilización.

Equipos reciclados en su construcción.

Producción local para autoconsumo o venta directa.

Este enfoque cierra los ciclos productivos, disminuye residuos y mejora la resiliencia del hogar rural.

## RESULTADOS

### Esperados y validación piloto

La implementación del modelo acuícola rural sostenible proyecta resultados positivos en términos productivos, económicos, sociales y ambientales, en comunidades con características similares a las de la región de Misantla, Veracruz.

### Rendimiento esperado por unidad

Con un volumen operativo de 10 m<sup>3</sup> por estanque, una densidad de 20 peces/m<sup>3</sup> y una tasa de conversión alimenticia (FCR) estimada de 1.7:1, se esperan producciones entre 25 y 30 kg de tilapia por ciclo de seis meses.

La eficiencia alimenticia se mantiene controlada gracias al uso exclusivo de alimento balanceado comercial y un seguimiento quincenal de la biomasa.

### Validación piloto (Palpoala Ixcán, 2023)

Durante el año 2023 se ejecutó una prueba piloto del sistema en la comunidad de Palpoala Ixcán, con la participación de tres familias rurales. Cada una operó un estanque de 10 m<sup>3</sup>, equipado con sistema de filtración artesanal y bomba sumergible de bajo consumo. Se eliminó completamente el uso de geomembrana y subproductos agrícolas como fuente de alimento.

### Metodología aplicada en la validación

Duración: 6 meses.

Siembra: 200 alevines por estanque.

Seguimiento: Registro de peso y talla quincenal.

Medición del agua: pH, temperatura y oxígeno disuelto.

Evaluación: Encuestas semiestructuradas y análisis de datos económicos.

Tabla 1. Resultados Obtenidos.

Indicador	Resultado
Tasa de sobrevivencia	92%
Producción total acumulada	87 kg (promedio: 29 kg por estanque)
Reducción del gasto familiar en proteína animal	15%
Tasa interna de retorno estimada	26.5% anual
Participación de mujeres y jóvenes	67% de las labores operativas
Costos reales por ciclo	\$2,800-\$3,400 MXN por unidad

Fuente: Elaboración propia.

La tasa de reducción del gasto familiar se calculó considerando el precio promedio de proteína animal en la región (\$75/kg), y el consumo mensual por familia.

$$\text{Reducción} = \frac{(\text{Consumo previo} - \text{Producción acuicola})}{\text{Consumo previo}} \times 100 \text{ Ec. (8)}$$

### Conclusiones del piloto

El sistema es técnicamente viable, con buena sobrevivencia y rendimientos aceptables.

Económicamente accesible, con punto de equilibrio alcanzado al segundo ciclo.

Socialmente apropiado, al incluir y capacitar a grupos vulnerables.

Ambientalmente eficiente, al integrar recirculación y reúso de sedimentos.

## CONCLUSIONES

El modelo de sistema acuícola rural propuesto en este estudio demuestra ser una alternativa viable, accesible y replicable para el desarrollo productivo en comunidades marginadas del estado de Veracruz. La validación práctica en Palpoala Ixcán permitió constatar su funcionalidad, impacto social y potencial de escalamiento regional.

Desde una perspectiva técnica, el uso de estanques circulares sin geomembrana, junto con un sistema

de filtración bio-mecánica artesanal y recirculación hídrica, optimiza el aprovechamiento de recursos y permite el mantenimiento de condiciones adecuadas para la cría de tilapia. La elección de alevines certificados, alimento balanceado controlado y bombas de bajo consumo eléctrico reduce los riesgos sanitarios, garantiza resultados consistentes y mantiene bajos los costos operativos.

En cuanto al desempeño económico, la inversión inicial por unidad es asequible, con costos de operación ajustados y una Tasa Interna de Retorno (TIR) estimada de 26.5 %, alcanzando el punto de equilibrio tras el segundo ciclo de producción. La producción promedio de 29 kg por estanque y el uso de productos para autoconsumo permiten una reducción del 15 % en el gasto familiar en proteína animal.

Ambientalmente, el sistema cumple con los principios de economía circular, al reciclar materiales en su construcción, reutilizar el agua en ferti-riego y aprovechar los sedimentos como fertilizante orgánico. La eficiencia hídrica medida  $E_h = 0.0024$  "kg/L (2.4 g/L) demuestra un uso responsable del recurso en comparación con otros sistemas rurales similares.

Socialmente, se fomenta la inclusión de mujeres, jóvenes y personas con discapacidad, mediante capacitación, participación en la operación y toma de decisiones. Este enfoque fortalece la autonomía local y genera capital social sostenible, alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible [7].

Por tanto, se concluye que el modelo puede ser implementado en zonas con acceso limitado a infraestructura, fomenta la seguridad alimentaria y el autoempleo, cumple con criterios técnicos, económicos y sociales.

Se recomienda continuar con procesos de capacitación comunitaria, monitoreo técnico y alianzas institucionales para su expansión a nivel regional. Este modelo representa una herramienta efectiva de resiliencia rural, integración social y producción sustentable.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Tecnológico Superior de Misantla, al SECIHTI por su compromiso con la investigación científica y su apoyo a jóvenes investigadores, al CITT, y a las comunidades participantes por su colaboración y apertura.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] M. C. Chávez-Sánchez, M. P. Hernández-Vergara y J. A. Huerta-Cordero, *Manual OMO de cultivo de tilapia*, Tepic, Nayarit: Universidad Autónoma de Nayarit, 2021.

[2] CONAGUA, *Estadísticas del Agua en México*, Comisión Nacional del Agua, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua>.

[3] CONEVAL, *Informe de pobreza municipal en Veracruz*, Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.coneval.org.mx>

[4] FAO, *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022: Hacia la transformación azul*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/cc0461es/cc0461es.pdf>.

[5] A. F. Gómez y R. E. Olgún, "Diseño e implementación de filtros artesanales en sistemas de acuicultura de pequeña escala," *Revista Mexicana de Acuicultura Rural*, vol. 15, no. 2, pp. 45–58, 2019.

[6] INEGI, *Anuario Estadístico y Geográfico de Veracruz 2022*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/>.

[7] PNUD, *Economía circular para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe*, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.undp.org/es/publications/economia-circular>

ANEXOS TÉCNICOS

Tabla 2. Ficha del sistema acuícola rural.

Elemento	Descripción técnica
Especie cultivada	<i>Oreochromis niloticus</i> (tilapia)
Volumen útil del estanque	10 m <sup>3</sup> (diámetro ≈ 3.2 m, altura ≈ 1.25 m)
Estructura del estanque	Malla electrosoldada + recubrimiento plástico + impermeabilizante ecológico
Densidad de siembra	20 peces/m <sup>3</sup> = 200 peces por estanque
Duración del ciclo	6 meses
Tipo de alimentación	Balanceado comercial (36% proteína al inicio, 28% al mes siguiente)
Sistema de filtración	Filtro bio-mecánico de 3 etapas (sedimentación, mecánica y biológica)
Bomba utilizada	Sumergible, 45 W, caudal 850–1000 L/h
Frecuencia de recirculación	2 renovaciones completas diarias del volumen total
Consumo eléctrico mensual	Aproximadamente \$55–\$60 MXN
Costo estimado por unidad	\$7,800 MXN
Producción por ciclo	25–30 kg de tilapia
TIR estimada	26.5%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Cuadro resumen de impacto.

Dimensión	Indicador	Valor alcanzado
Técnica	Tasa de sobrevivencia	92%
Productiva	Producción promedio por ciclo	29 kg
Económica	TIR	26.5%
Social	Participación de mujeres y jóvenes	67% de las labores
Ambiental	Eficiencia hídrica	0.0024 kg/L (2.4 g/L)
Alimentaria	Reducción del gasto en proteína	15%

Fuente: Elaboración propia.

