

INTRODUCCIÓN

La acuicultura es una actividad que consiste en el cultivo y producción de organismos acuáticos. Contribuye al crecimiento y estabilidad del sistema alimentario, conservación de especies, incremento de niveles de nutrición, disminución de impactos ambientales, fomento del autoempleo y erradicación de la pobreza (SADER, 2019). La acuicultura sostenible se entiende como la práctica de producir alimentos seguros. Implica el uso de sistemas y tecnologías de producción que minimicen los impactos negativos sobre el medio ambiente. La acuicultura sin alimentación requiere menos recursos y es particularmente atractiva para la prestación de valiosos servicios ecosistémicos, al reducir el impacto ambiental de la acuicultura alimentada (FAO, 2025). Esta práctica es una de las mejores alternativas para producir alimentos de alta calidad con un impacto ambiental bajo en comparación con otras actividades agroalimentarias (Vázquez-Vera & Chávez-Carreño, 2022).

La cría de tilapia en jaulas se practica en lagos, embalses y, a veces, en aguas marinas. (Eguía & Romana, 2004). El cultivo de esta especie ha sido popularizado debido a las cualidades que presenta, su carne es de excelente sabor, tiene un crecimiento rápido, gran resistencia física, adaptación para vivir en condiciones de cautiverio, así como en estanques con alta densidad de organismos, puede desarrollarse en aguas poco oxigenadas y acepta una amplia gama de tipos de alimento, por lo que resulta altamente rentable (Fideicomiso de Riesgo Compartido [FIRCO], 2017).

La pesca es una actividad que provee de alimento e ingresos económicos a millones de personas en el mundo, por otro lado, la acuicultura es una forma de contrarrestar esta práctica que a la larga puede incidir en la desaparición de especies endémicas en cuerpos acuáticos limitados como los lagos. Los resultados de este experimento ofrecen una alternativa sustentable a los pescadores de la comunidad de San Jerónimo Purenchécuaro que trabajan en proyectos de conservación, teniendo así, una fuente económica que los motive a seguir trabajando en proteger especies amenazadas. Por otro lado, es una alternativa que pretende mantener contralada la población de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el Lago de Pátzcuaro mediante la separación de ejemplares de tamaño pequeño resultado de la pesca, colocándolos dentro de las jaulas sin proporcionar alimento comercial para su posterior cosecha y venta.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el vaso norte del Lago de Pátzcuaro, en la localidad de San Jerónimo Purenchécuaro, municipio de Quiroga, Michoacán.

Jaulas de cultivo.

Las jaulas donde se realizó el experimento tienen forma cúbica con las siguientes dimensiones: 1.22 m x 1.22 m. Estas jaulas fueron elaboradas en la Unidad de Cuarentena de Tilapia y Bagre del Laboratorio de Biología Acuática de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Están elaboradas con un marco de PVC de una pulgada y forradas con malla de polietileno de alta densidad con una abertura de malla de ½ pulgada.

Tratamientos

Se llevaron a cabo tres tratamientos, el tratamiento uno con 10 ejemplares, el tratamiento dos con 20 y el tercero con 40, cada tratamiento se realizó por triplicado, instalando un total de nueve jaulas dentro del lago. Los ejemplares se sembraron de tallas (longitud estándar: 11.917 cm y longitud total: 13.997 cm) y pesos homogéneos (49.85 ± 1.993 g). Las jaulas se mantuvieron completamente sumergidas y distribuidas aleatoriamente, a los ejemplares no se les proporcionó alimento. Se evaluó el desempeño productivo de los ejemplares únicamente con la productividad del sistema. De la igual forma se calculó el crecimiento y supervivencia.

Obtención de los ejemplares

Los ejemplares de tilapia (*O. niloticus*), se obtuvieron de jaulas flotantes de la Presa de Zicuirán del productor Roberto Baldovinos Herrera quien amablemente donó los organismos para esta investigación. Los peces se trasladaron en un contenedor con oxigenación hasta el Lago de Pátzcuaro. Se realizó la biometría de inicio y los ejemplares fueron introducidos en cada jaula de acuerdo a la cantidad de animales por replica.

Alimentación

La dieta de los ejemplares se basó únicamente en el alimento que lograron consumir del cuerpo de agua, esto consistió en fitoplancton, zooplancton y perifiton, es decir, no se proporcionó ningún tipo de alimento comercial.

Biometrías

La biometría de inicio se realizó inmediatamente después de que llegaron los peces al lago y antes de sembrar los organismos en las jaulas. Después de la siembra, se realizaron mensuales, cuatro en total, para posteriormente evaluar el desempeño de los organismos en términos de peso y talla. Para realizar las biometrías se utilizó aceite de clavo (Eugenol) como anestésico debido a su pronta acción y recuperación. La toma de las tallas se hizo mediante un ictiómetro y el peso gracias al uso de una balanza electrónica de precisión de la marca Rhino, modelo BAPRE-3.

Con los valores de peso y tallas de los organismos obtenidos en las biometrías, se calculó el Factor de condición de Fulton (K), la ganancia total de peso (GTP), la tasa de supervivencia (SR), así como la tasa específica de crecimiento (SGR). Las fórmulas que se utilizaron se ilustran en la Tabla 1.

Tabla 1. Fórmulas de los índices de desempeño del crecimiento

Índice	Símbolo	Fórmula
Factor de condición de Fulton.	K	$100 \times \left(\frac{P}{L^3}\right)$
Ganancia total de peso	GTP	PF – PI

Tasa de supervivencia	SR	$100 \times \left(\frac{NF}{NI} \right)$
Tasa específica de crecimiento	SGR	$W0 - Wt / t(d)$

Colecta de muestras de agua

Para el análisis cualitativo de la productividad acuática, las muestras se tomaron tres veces a lo largo del experimento, la primera colecta se obtuvo en la biometría uno, la segunda en la dos y la tercera en la última biometría. Se llevó a cabo un muestreo estacionario mediante una red cónica de fitoplancton con una abertura de 39 μ m y para la fijación de la muestra se utilizó formol al 10%. Las colectas se realizaron en la misma área donde se encontraban las jaulas. Así mismo, se realizó un raspado del perifiton adherido a las redes. Posteriormente, se analizaron las muestras en laboratorio.

Análisis de datos

Se llevaron a cabo los análisis de varianza mediante el uso del paquete estadístico Minitab versión 17, para comparar las medias de peso (w) y tallas (Lt y Ls). Así mismo, se realizó un análisis de estadística descriptiva para obtener los datos de máximos, mínimos y error estándar de los tratamientos para cada variable. Con los resultados de los cálculos y con el uso del programa Microsoft Excel 2019, se elaboraron gráficas de cada parámetro para cada variable por tratamiento en cada una de las biometrías.

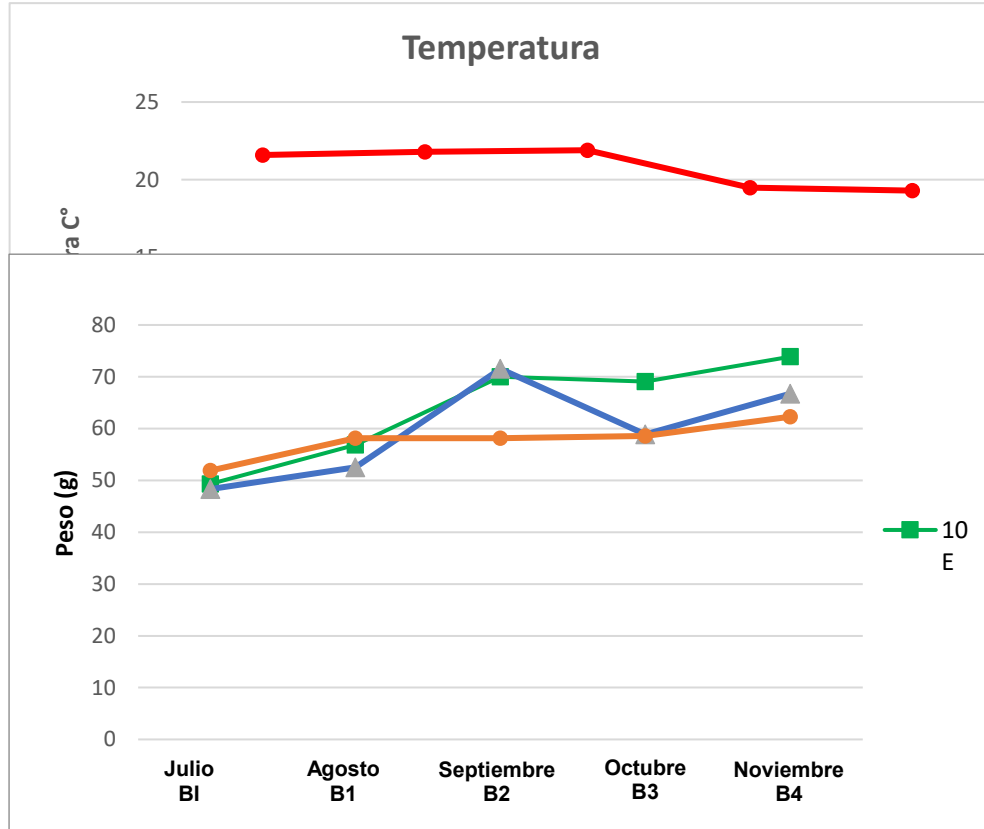
Finalmente, con los resultados del análisis de las muestras de agua, se realizó un listado de la productividad acuática, mediante una descripción cualitativa mediante la observación al microscopio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los datos de las biometrías se procedió a realizar los análisis de varianza y la estadística descriptiva para cada tratamiento. Finalmente se elaboraron gráficas de acuerdo a los parámetros del experimento.

Crecimientos por tratamiento

Figura 1. Curvas de crecimiento



El

análisis de varianza mostró diferencias significativas en el crecimiento de las tilapias entre los tratamientos evaluados. En el tratamiento uno (10E; $p = 0.000$), se registró un incremento desde la biometría inicial (49.32 ± 2.26 g) hasta la segunda (70 ± 3.7 g); no obstante, en la tercera biometría se observó un estancamiento con un ligero descenso (69.09 ± 3.91 g), para posteriormente alcanzar el mayor peso en la cuarta biometría (73.87 ± 4.59 g), con una ganancia total de 24.55 g. En el tratamiento dos (20E; $p = 0.000$), el peso aumentó de manera marcada entre la biometría inicial (48.33 ± 1.9 g) y la segunda (71.52 ± 2.98 g), seguido de una reducción significativa en la tercera (58.88 ± 3.05 g) y un ligero incremento en la cuarta (66.73 ± 2.39 g), sin superar el valor máximo alcanzado en la biometría dos, lo que resultó en una ganancia total de 18.4 g. Finalmente, en el tratamiento tres (40E; $p = 0.027$), los pesos progresaron desde la biometría inicial (51.69 ± 1.82 g) hasta la final (62.29 ± 2.05 g); sin embargo, los valores de la primera, segunda y tercera biometría no mostraron diferencias estadísticas entre sí, siendo la cuarta biometría la que registró el mayor peso del tratamiento.

Temperatura

Figura 2. Datos de la temperatura media mensual en 2024.

La gráfica (Fig. 2) muestra la variación de la temperatura del agua (°C) a lo largo de los cinco meses del experimento. Entre julio (21.6 °C) y septiembre (21.9 °C) la temperatura se mantuvo relativamente estable, con un incremento leve. A partir de octubre, se registró un descenso marcado hasta 19.5 °C, alcanzando el valor más bajo en noviembre con 19.3 °C. La gráfica evidencia la transición térmica asociada al cambio estacional, pasando de temperaturas cálidas durante el verano hacia valores más bajos en el otoño. Este patrón es relevante para la producción de tilapia, ya que la disminución de la temperatura puede afectar la tasa metabólica y, en consecuencia, el crecimiento de los organismos cultivados.

Precipitación

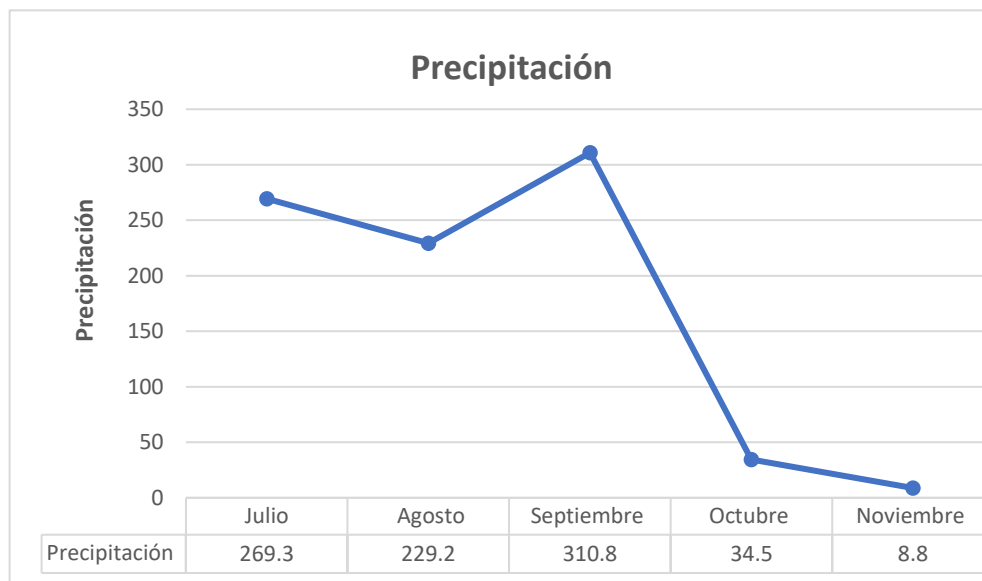
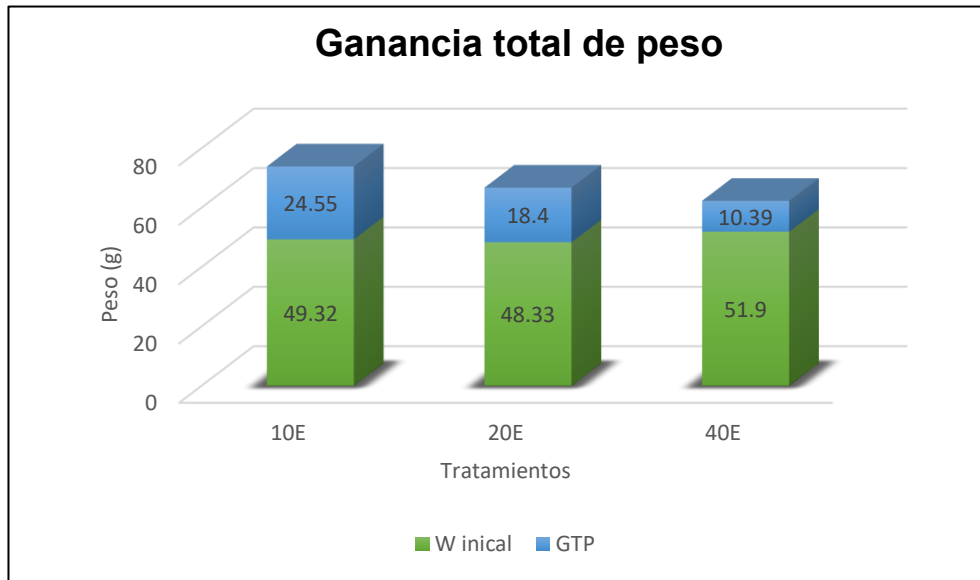


Figura 3. Datos de precipitación media mensual en 2024. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional – Comisión Nacional del Agua (2024)

La gráfica (Fig. 3) evidencia un patrón típico de transición estacional, es decir, abundantes lluvias en verano, alcanzando su máximo en septiembre, seguidas de un marcado descenso hacia finales del otoño. Esta tendencia refleja el fin de la temporada de lluvias y el inicio de la época seca. Durante el periodo experimental (agosto–noviembre de 2024), se observó una estrecha relación entre las condiciones climáticas y el crecimiento de las tilapias cultivadas en jaulas sumergidas en el lago de Pátzcuaro. En la primera fase (agosto–septiembre), las precipitaciones fueron elevadas (229.2–310.8 mm), mientras que la temperatura se mantuvo estable. Estas condiciones coincidieron con un incremento marcado en el peso de los organismos, alcanzándose los valores más altos en la biometría 2 (septiembre), donde los



peces
lograron
registrar

ganancias significativas en todos los tratamientos. Este comportamiento sugiere que la combinación de una mayor disponibilidad de alimento natural, derivada del aporte de nutrientes y productividad acuática asociada a las lluvias, junto con temperaturas estables, favoreció el crecimiento. Posteriormente, en la segunda fase (octubre–noviembre), tanto la precipitación (34.5 a 8.8 mm) como la temperatura (19.5 a 19.3 °C) mostraron un descenso. De manera paralela, el crecimiento de las tilapias se desaceleró notablemente, con un estancamiento en algunos tratamientos e incluso un ligero retroceso en el peso en la biometría 3 (octubre). Aunque en noviembre se registró una leve recuperación en la biomasa, los valores no superaron los alcanzados en septiembre.

En conjunto, los resultados muestran que el crecimiento de las tilapias estuvo directamente influenciado por la interacción de la precipitación y la temperatura. La etapa de mayores lluvias y temperaturas estables favoreció un incremento sustancial en el peso, mientras que la disminución de estos parámetros limitó la ganancia de biomasa en las fases finales del experimento.

Índices de crecimiento

- Ganancia total de peso

Figura 7. Ganancia total de peso durante todo el experimento.

En la gráfica (Fig. 5) se observa que el tratamiento uno (10E) mostró el valor más alto (24.55 g) por encima del tratamiento dos (18.4 g) y tres (10.39 g), dicho de otro modo, las

jaulas con 10 tilapias mostraron una mayor ganancia de peso con respecto a las jaulas con veinte y cuarenta tilapias por m³.

- Tasa específica de crecimiento

El estudio evidenció que las tilapias (*O. niloticus*) en jaulas con menor densidad (10 ejemplares por m³) registraron la mayor ganancia diaria de peso y las tallas más altas durante 136 días de experimento. Esto se debió a la mayor disponibilidad de alimento natural (perifiton y plancton) y espacio por individuo. En contraste, las jaulas con 40 peces mostraron el menor crecimiento, resultado de la competencia por recursos y espacio. Asimismo, la presencia de perifiton fue mayor en encierros con baja densidad y disminuyó en áreas con mayor interacción de los peces, como las superficies de PVC, lo que confirma su consumo como parte de la dieta.

- Supervivencia

Con respecto a la tasa de supervivencia, se obtuvo un resultado bastante favorable, 174 ejemplares llegaron al final del experimento representando un 82.85% de supervivencia, más de tres cuartas partes de los organismos iniciales lograron sobrevivir hasta la etapa final del experimento.

- Índice de condición

De acuerdo a la FAO (2009), la tilapia del Nilo, con un factor de condición de 3.11 tendrá un rendimiento del 86 % con cabeza, 66 % sin cabeza y 33 % en filete sin piel. Ahora bien, con respecto a la tabla 6, basados en los resultados de este trabajo, la única variable que mostró un factor de condición aceptable con un valor de 1.938, fue el tratamiento 20E de la biometría 2. El factor de condición (K) del resto de tratamientos se presentó por debajo de 1.8, resultando en un factor de condición pobre. Cabe destacar que el tratamiento 40E de la biometría inicial mostró un valor aceptable, sin embargo, al haberse presentado en la biometría de inicio no se tomó en cuenta.

Tabla 2. Valores de referencia del Factor de Condición (K).

Índice	Condición
<1.8	Pobre
1.81 – 2.10	Aceptable
2.11 – 2.40	Buena
>2.40	Muy buena

Fuente: Benchmark Genetics (2018)

Productividad acuática

Posterior al trabajo en el laboratorio, con el análisis de las muestras de agua colectadas en el lago, se obtuvieron un total de 11 géneros representando al fitoplancton suponiendo que las tilapias en los encierros se alimentaron en gran medida de estos organismos. Con respecto

al zooplancton, se obtuvieron un total de cuatro grupos de organismos a nivel de orden, clase y familia, sumado a ello se encontraron cuatro géneros, representados por Bósmidos, Rotíferos, Ciliados y Crustáceos. Finalmente se identificaron dos géneros de cianobacterias, cabe destacar que a pesar de que no se realizó un conteo para determinar la abundancia de este género (*Microcystis* sp.) se pudo inferir en cierta medida que existía una gran cantidad en el agua.

DISCUSIÓN

El cultivo de tilapia en jaulas representa una alternativa productiva con ventajas significativas, entre ellas la interrupción del ciclo reproductivo y una inversión inicial relativamente baja (FAO, 2009). Considerando que el alimento puede representar hasta el 70% de los costos en sistemas intensivos (Ayroza, 2011), el aprovechamiento de recursos naturales no solo reduce los gastos de producción, sino que también minimiza la generación de efluentes ricos en nitrógeno y fósforo, asociados a procesos de eutrofización (Boyd et al., 2020; Valenti et al., 2018). Los resultados obtenidos en este estudio evidenciaron que las jaulas con 10 ejemplares (10E) alcanzaron los mayores niveles de crecimiento, mientras que el tratamiento con 20 peces (20E) mostró un desempeño similar, en tanto que las jaulas con 40 organismos (40E) presentaron los valores más bajos. En función de estos hallazgos, se recomienda una densidad de 20–30 peces/m³ para el Lago de Pátzcuaro, de acuerdo con lo planteado por Mane (1979) y considerando las particularidades ambientales respecto a otros sistemas, como la Laguna de Bay en Filipinas. Bajo estas condiciones, tilapias sembradas con un peso inicial de 40–50 g logran tallas comerciales de 75–100 g en un periodo aproximado de cuatro meses. Asimismo, dada su dieta omnívora (Saavedra, 2006), los organismos aprovecharon eficientemente el fitoplancton, zooplancton, bacterias, perifiton y algas filamentosas como principales fuentes de alimento.

CONCLUSIONES

Las tilapias (*Oreochromis niloticus*) cultivadas en jaulas sumergidas en el Lago de Pátzcuaro, a una densidad de 10 organismos/m³ y alimentadas de manera natural, registraron el mejor desempeño productivo, evidenciado en mayores valores de Tasa Específica de Crecimiento (SGR) y Ganancia Total de Peso (GTP). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas respecto al tratamiento con 20 organismos/m³, lo que respalda la recomendación de mantener densidades de cultivo entre 20 y 30 peces/m³, en concordancia con estudios previos. El aprovechamiento del perifiton adherido a las redes y a los tubos de PVC, así como de los microorganismos presentes en la columna de agua, constituyó la principal fuente de alimento que favoreció el crecimiento. Finalmente, la detección de *Microcystis* sp. en las muestras de agua evidenció un exceso de nitrógeno, fósforo y compuestos nitrogenados en el ecosistema, lo cual constituye un factor ambiental relevante a considerar en la gestión del cultivo. Aquí se incluyen los resultados obtenidos en la investigación. Éstos se presentarán en forma de texto, cuadros o figuras y no deberán duplicar la información presentada. Además, deben presentar resultados que puedan ser fácilmente calculables. En la discusión se resaltan los principios más importantes y las relaciones causa-efecto derivadas del análisis de los resultados. Además, se deberá explicar, en función de las observaciones realizadas, el porqué de lo observado, sin especular. Los resultados obtenidos

se compararán con los de otros investigadores y se señalarán las divergencias y las semejanzas.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

Los autores declaran que la presente investigación no recibió financiamiento específico de agencias del sector público, comercial o de entidades sin fines de lucro.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló como parte de la tesis de licenciatura de Javier Venegas Castro para la obtención del título de Biólogo en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Agradecimientos

Los autores expresan su más sincero agradecimiento al Dr. Antonio Campos Mendoza, asesor de la presente investigación, por su orientación, acompañamiento y valiosas aportaciones durante el desarrollo del estudio. Asimismo, agradecen al Dr. Rodolfo Pérez Rodríguez, coasesor del proyecto, por su asesoría y por el apoyo brindado mediante la adquisición de la red utilizada en la construcción de las jaulas experimentales.

De igual manera, se agradece al productor Roberto Baldovinos Herrera por la donación de los ejemplares para la realización del trabajo experimental. Finalmente, los autores reconocen y agradecen a todas las personas que, de una u otra forma, colaboraron en las actividades de campo y contribuyeron al desarrollo exitoso de esta investigación.

LITERATURA CITADA

1. Ayroza, L. M. S. (2011). Custos e rentabilidade da produção de juvenis de tilápia-do-Nilo em tanques-rede utilizando-se diferentes densidades de estocagem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(2), 231–239. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000200001>
2. Benchmark Genetics. (2018). Spring Genetics. Folleto técnico: Puntos clave para la producción eficiente de tilapia (Versión 1.0). https://bmkgenetics.com/wp-content/uploads/2021/05/Technical_Manual_Tilapia_Fingerlings_Spanish-1.pdf
3. Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, D. C., Juarez, L. M., Lockwood, G. S., McNevin, A. A., Tacon, A. G. J., Teletchea, F., Tomasso, J. R., Tucker, C. S., & Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578–633. <https://doi.org/10.1111/jwas.12714>
4. Eguia, R. V., & Romana, E. M. R. (2004). Tilapia farming in cages and ponds (Aquaculture Extension Manual No. 36). SEAFDEC Aquaculture Department. ISBN 971-8511-68-7

5. Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO). (2017). Producción de tilapia a través de la acuicultura. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/firco/es/articulos/produccion-de-tilapia-a-traves-de-la-acuicultura?idiom=es>
6. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2009). *Oreochromis niloticus*. En J. E. Rakocy, V. Crespi & M. New (Eds.), *Fichas técnicas de especies acuáticas cultivadas (CD-ROM multilingüe)*. FAO.
7. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2025). *Guidelines for sustainable aquaculture*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd3785en>
8. Guerrero, R. I. (1973). Cultivo en jaulas de machos y hembras de *Tilapia mossambica* con y sin alimentación suplementaria en un estanque fertilizado. [Informe de investigación].
9. Mane, A. M. (1979). Cultivo de tilapia en jaulas en Laguna de Bay. En *Consulta técnica sobre tecnología de acuicultura disponible en Filipinas* (pp. 320–324). Departamento de Acuicultura, Centro de Desarrollo Pesquero del Sudeste Asiático. <http://hdl.handle.net/10862/3515>
10. Saavedra Martínez, M. A. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. Universidad Centroamericana. <https://core.ac.uk/download/pdf/35144428.pdf>
11. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2019). *Acuicultura, producción y conservación de organismos acuáticos*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/acuicultura-produccion-y-conservacion-de-organismos-acuaticos>
12. Servicio Meteorológico Nacional – Comisión Nacional del Agua. (2024). Pronóstico climático de precipitación 2024 [Archivo PDF]. Gobierno de México. Recuperado de <https://smn.cna.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Pronostico%20clim%C3%A1tico/Temperatura%20y%20Lluvia/PREC/2024.pdf>
13. Valenti, W. C., Kimpara, J. M., Preto, B. de L., & Moraes-Valenti, P. (2018). Indicators of sustainability to assess aquaculture systems. *Ecological Indicators*, 88, 402–413. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.068>
14. Vázquez-Vera, L., & Chávez-Carreño, P. (Eds.). (2022). *Diagnóstico de la acuicultura en México*. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. https://fmcn.org/uploads/publication/file/pdf/Libro%20Acuicultura_2022.pdf