

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Efecto de dos densidades sobre el crecimiento de rana toro cultivadas en un sistema comercial de tanques de flujo continuo de agua

Effect of two densities on the growth of bullfrog cultured in commercial continuous water-flow tank systems

Authors/Autores: Hernández-López, C.H., Jurado-Molina, J., Hernández-Yau, J. A., Ruiz-Velazco, J. M.

ID: e1748

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1748>

Received/Fecha de recepción: August 13th 2024

Accepted /Fecha de aceptación: January 19th 2026

Available online/Fecha de publicación: February 13th 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: Hernández-López, C.H., Jurado-Molina, J., Hernández-Yau, J. A., Ruiz-Velazco, J. M. (2026). Effect of two densities on the growth of bullfrog cultured in commercial continuous water-flow tank systems. *Revista Bio Ciencias*, 13, e1748.
<https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1748>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

Artículo original/ Original article

Efecto de dos densidades sobre el crecimiento de rana toro cultivadas en un sistema comercial de tanques de flujo continuo de agua

Effect of two densities on the growth of bullfrog cultured in commercial continuous water-flow tank systems

Densidades crecimiento rana toro/Bullfrog growth densities

Hernández López, C.H.^{1*} ( <http://orcid.org/0000-0002-6938-0502>), Jurado Molina, J.² ( <http://orcid.org/0000-0001-5611-0733>), Hernández Yau, J. A.² ( <http://orcid.org/0009-0008-8217-515x>), Ruiz Velazco, J. M. ³ ( <https://orcid.org/0000-0003-1193-2164>)

¹Ingeniería en Pesquerías: Instituto Tecnológico de Mazatlán. Tecnológico Nacional de México. Corsario 1, 203, Mazatlán. 82070, Mazatlán, Sinaloa, México.

²Consultor independiente. Pitágoras, 214, Narvarte Poniente, CDMX.

³Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera. Universidad Autónoma de Nayarit. Bahía de Matanchén Km, 12. 63740, San Blas, Nayarit, México.

*Autor de correspondencia:

Carlos Humberto Hernández-López. Ingeniería en Pesquerías. Instituto Tecnológico de Mazatlán. Tecnológico Nacional de México. Corsario 1, 203, Mazatlán. 82070, Mazatlán, Sinaloa, México. Celular: (669) 160 8165. E-mail: carlos.hl@mazatlan.tecnm.mx

RESUMEN

En la acuicultura comercial, el crecimiento es el factor más influyente para lograr la rentabilidad económica. Se evaluaron los efectos de la densidad de siembra sobre el crecimiento de juveniles de rana toro cultivadas en un sistema de flujo de agua continua a escala comercial. Se sembraron 4,500 ranas en densidades de 30 y 60 ranas/m², con tres réplicas por cada densidad y peso inicial de 1.7 g. Las ranas se alimentaron con una dieta extruida y fueron cultivadas durante 45 días. Se utilizó la prueba *t* de Student para evaluar el efecto de la densidad de cultivo sobre parámetros de crecimiento y verificar si el parámetro *b* era significativamente distinto del valor de crecimiento isométrico. El mejor crecimiento correspondió a una densidad de 60 ranas/m² (Valor de *p* = 2.2e-16). Las densidades no influyeron en la Tasa de Crecimiento Absoluto (AGR; *p* = 0.2843) ó sobrevivencia (*p* = 0.0779), pero fueron significativas en el consumo de alimento (*p* = 0.0461), Factor de Conversión Alimenticia Aparente (AFCR; *p* = 0.0123), peso final (*p* = 2.2e-16), longitud final (*p* = 8.607e-08) y biomasa final (*p* = 0.0472). Los resultados del ajuste longitud-peso y la prueba *t* sugirieron un crecimiento alométrico negativo. Las ranas toro crecieron en ambas densidades, pero el mayor crecimiento se observó con una densidad de 60 ranas/m².

PALABRAS CLAVE:

Rendimiento del crecimiento, densidad de cultivo, *Lithobates catesbeianus*, cultivo comercial, rana toro.

ABSTRACT

In commercial farming, growth performance is the most influential factor for achieving economic profitability. We evaluated the effects of stocking density on the growth performance of juvenile bullfrogs cultured in a continuous water-flow tank system on a commercial scale. 4,500 frogs were stocked at densities of 30 and 60 frogs/m², with three replicate ponds per density and an initial weight of 1.7. Frogs were fed an extruded diet and cultured for over 45 days. Student *t*-test, was used to evaluate the effect of culture density on growth parameters and to verify if *b* was significantly different from isometric growth value. The best growth corresponded to a density of 60 frogs/m² (*p* – value = 2.2e-16). The densities did not influence the Absolute Growth Rate (AGR; *p* = 0.2843) or survival (*p* = 0.0779), but had a significant effect in feed intake (*p* = 0.0461), Apparent Factor Conversation Rate (AFCR; *p* = 0.0123), final weight (*p* = 2.2e-16), final length (*p* = 8.607e-08), and final biomass (*p* = 0.0472). The results of the length-weight fitting results and the *t*-test suggested negative allometric growth. The bullfrogs grew successfully at both densities, but performance was better at a density of 60 bullfrogs/m².

KEY WORDS

Growth performance, stocking densities, *Lithobates catesbeianus*, commercial culture, bullfrog

Introducción

El cultivo de ranas representa una alternativa en la acuicultura mundial. Es una tecnología en desarrollo con potencial para la producción de alimentos de consumo humano. La rana toro (*Lithobates catesbeianus*) es la especie de mayor importancia en la acuicultura comercial; su tamaño y masa muscular son atributos biológicos que han incrementado su demanda en los mercados internacionales (Pasteris *et al.*, 2006). En México, la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA) ha promovido la cría de rana toro para diversificar el sector acuícola nacional. Esta se presenta como una alternativa viable debido a las ventajas que ofrece para la producción comercial intensiva, como una reproducción rápida, un ciclo de engorde corto y un crecimiento acelerado, además de una creciente demanda en los mercados nacionales e internacionales. En este contexto, la investigación sobre el cultivo de rana se centra en la rana toro, debido a que es uno de las mejores prospectos para su producción en sistemas controlados (Flores-Nava, 2005). Algunos procesos para su cultivo comercial y experimental han sido documentados: patologías (Rodríguez-Serna *et al.*, 1996), sistemas de producción (Rodríguez-Serna *et al.*, 1996; Islas-Ojeda *et al.*, 2021), densidad de renacuajos (Flores-Nava & Vera-Muñoz, 1999) y calidad de la carne (Padilla-Cerezo *et al.*, 2022). La rana toro es un anfibio carnívoro nativo de Norteamérica, introducido en el sur de Canadá, el centro y norte de México (INAPESCA, 2018). Esta especie es una de las ranas más grandes, alcanzando hasta 20 cm de longitud hocico-cloaca y hasta 800 g de peso (FAO, 2006). En el mercado internacional, las ranas toro constituyen un valioso recurso comercial, apreciado por su uso como alimento (en particular, sus ancas) y medicinal. Como resultado, la cría de ranas toro se ha convertido en un sector acuícola global rentable, con una producción en 2020 que superó las 147.000 toneladas y un valor cercano a los 5,000 millones de dólares (FAO, 2022). Esto la convierte

en un recurso importante en países como México y en toda Latinoamérica. Las estadísticas de producción son escasas y en México, no existen registros regulares de su producción. Sin embargo, estimaciones para el 2018 indican que la producción acuícola alcanzó 700 toneladas (INAPESCA, 2018). Por su alto valor de mercado y demanda (Islas-Ojeda *et al.*, 2021; Musigapan *et al.*, 2022), el cultivo de rana toro representa una oportunidad de producción económicamente competitiva y es considerada una de las nuevas perspectivas para la acuicultura comercial en México.

El cultivo en sistemas de flujo continuo de agua (CWFTS) es uno de los sistemas acuícolas utilizados para diversificar el desarrollo de la acuacultura (Álvarez-Lajonchere *et al.*, 2007; Hernández *et al.*, 2015); se caracteriza por el reciclaje del agua, lo que reduce los impactos negativos asociados a la producción acuícola. Estos sistemas se han utilizado con éxito para la cría larvaria de *Lutjanus guttatus* (Álvarez-Lajonchere *et al.*, 2012), incluyendo el desarrollo osteológico (Rodríguez-Ibarra *et al.*, 2015). En la acuicultura comercial, el rendimiento del crecimiento es el factor más influyente para lograr una rentabilidad técnica y económica (Jurado-Molina *et al.*, 2023). A pesar del conocimiento adquirido sobre el crecimiento de la rana toro, es necesario determinar sus límites y establecer densidades de cultivo para optimizar su producción. La densidad de cultivo es uno de los parámetros clave en la acuicultura, influyendo directamente en el crecimiento, la sobrevivencia, la producción (Gonçalvez de Oliveira *et al.*, 2012), el estrés (Ellis *et al.*, 2002), y las tasas de alimentación (Rowland *et al.*, 2006). Maximizar la producción requiere determinar una densidad de producción óptima. Este estudio evalúa los efectos de la densidad de cultivo en el crecimiento de juveniles de rana toro criados en sistemas de tanques de flujo continuo de agua. Los resultados de este estudio aportan información adicional para fortalecer el conocimiento del cultivo de rana en México.

Material y Métodos

Área de estudio

Se analizó el crecimiento de la rana toro en una granja comercial en Sinaloa, México (23.27429, -106.21546). Los juveniles de rana toro fueron criados en laboratorio (25 días de edad). De la misma cohorte se obtuvieron de la compañía *Nutrifrogs*, en Mazatlán, México, utilizando los protocolos de cría y producción de renacuajos.

Experimento

Durante el experimento piloto, 4,500 juveniles de rana con peso y longitud inicial de (1.7 ± 0.81 g; 2.54 ± 0.72 cm; media \pm SD) se distribuyeron aleatoriamente y se sembraron en sistemas de tanques de flujo continuo de agua de 16.5 m^2 con una profundidad de 20 cm, a densidades de 30 y 60 ranas por m^2 , con tres réplicas para cada densidad. La densidad más baja se determinó con base en la densidad mínima de ranas toro cultivadas por el productor, y la densidad más alta se determinó con el objetivo de duplicar la producción por m^2 . Para los seis tanques se utilizó un revestimiento de plástico especial, con un tubo de PVC de 2" de diámetro para el drenaje. Los tanques se alojaron dentro de una estructura de marco de metal cubierta con plástico de polietileno blanco difuso, estabilizado contra los rayos UV (200 μm de espesor) para servir como invernadero. Los tanques se limpiaron una vez al día por la mañana. Se alimentaron a las ranas dos veces (0800 y 1600 h) con una dieta extruida conteniendo 45 % de proteína cruda y 16 % de lípidos crudos. Durante los experimentos, se utilizó una dieta granulada de 2 mm fabricada por High Quality Food

Pedregal Company. Se alimentaron a las ranas con el 5 % de la biomasa estimada. Cada siete días se tomaron muestras de las ranas para evaluar la sobrevivencia y el aumento de peso y longitud. Se tomaron muestras de 150 ranas de cada tanque con un cucharón. La longitud y el peso total de cada rana se registraron en centímetros y gramos. La alimentación diaria se calculó y ajustó posterior a cada muestreo. Las variables del agua se registraron semanalmente en todos los tanques, incluyendo la temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$) mediante un termómetro líquido de inmersión parcial y el pH con un medidor de pH digital. Las ranas toro se criaron durante 45 días. La tasa de sobrevivencia se estimó revisando diariamente los tanques para detectar ranas toro muertas. El número de ranas sobrevivientes se calculó restando el número de ranas toro muertas del número inicial sembradas; con esta información, el porcentaje de sobrevivencia se calculó con la ecuación siguiente:

$$\text{Sobrevivencia (\%)} = (\text{ranas cosechadas} / \text{ranas sembradas}) \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

El seguimiento del crecimiento, medido en centímetros, se basó en la medición semanal de la longitud total (TL; cm) y el peso (g). La ganancia de peso se calculó de la manera siguiente:

$$\Delta W = W_f - W_i \quad \text{Ecuación 2}$$

donde ΔW es el peso ganado, W_f es el peso final, y W_i es el peso inicial. Se calculó la tasa de crecimiento absoluto (AGR, g/día) de la manera siguiente:

$$\text{AGR} = (W_f - W_i) / t \quad \text{Ecuación 3}$$

donde t es el número de días. La tasa de crecimiento específico (SGR, %/día) se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{SGR} = 100 \times (\ln W_f - \ln W_i) / t \quad \text{Ecuación 4}$$

Se calculó la tasa de conversión alimenticia aparente AFCR de la manera siguiente:

$$\text{AFCR} = \text{alimento suministrado} / \Delta W \quad \text{Ecuación 5}$$

Posteriormente, se utilizó la longitud total y el peso para determinar la relación potencial en las dos densidades de siembra:

$$W = aL^b \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde a es la intersección con el eje y b es el coeficiente de alometría (Ricker, 1975). La ecuación (6) fue ajustada a los datos de peso y talla observados utilizando la subrutina *optim* del paquete estadístico R.

Adicionalmente, se utilizó una prueba t para verificar si b fue significativamente distinto del valor de crecimiento isométrico ($b = 3$). También se utilizó la prueba t de Student para evaluar el efecto de la densidad de cultivo sobre algunos parámetros de rendimiento de la rana toro (AGR, Sobrevivencia, alimento consumido, AFCR, peso final, longitud final y biomasa) y las variables de calidad de agua. En particular, se contrastó la longitud y el peso

total a los 45 días. Se utilizó el paquete estadístico (R Core Team 2024) para efectuar todos los análisis estadísticos y gráficas.

Resultados y Discusión

Debido a los desafíos globales en la producción de alimentos, el cultivo de rana toro es una alternativa. En México, la acuicultura de rana toro ha emergido como una industria importante en los últimos años, impulsada por la creciente demanda interna de stock (renacuajos) y carne (ranas de engorde), así como por el potencial de exportar especímenes vivos a Estados Unidos para su uso en cocina gourmet, aplicaciones médicas e investigación académica. El cultivo comercial de rana toro comenzó en México durante la década de 1950, un período que marcó el inicio de esfuerzos de producción y comercialización más organizados. Actualmente es un recurso apoyado por el gobierno mexicano para promover la investigación sobre nutrición, reproducción y engorde.

En el presente estudio, los resultados de la prueba *t* no sugirieron diferencias en las variables promedio de calidad del agua entre los dos sistemas de tanques de flujo continuo de agua para ambas densidades. Durante el período experimental, la temperatura media del agua se mantuvo dentro de los parámetros adecuados para el crecimiento de la rana en cautiverio, no superando los 29 °C debajo del invernadero construido con respiraderos laterales. Estos resultados son similares a las temperaturas entre 25 y 30 °C reportadas por Braga & Lima (2001), pero ligeramente superiores a las registradas por De Castro *et al.* (2012). El rendimiento del crecimiento de la ranas toro en un sistema de acuicultura comercial de flujo continuo fue el enfoque principal del presente estudio. Nuestros resultados indicaron que la densidad no tuvo un efecto significativo en la tasa de supervivencia (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados del análisis de la prueba *t* del rendimiento de crecimiento en ranas toro cultivadas durante 45 días bajo dos densidades de siembra en sistemas de tanques de flujo continuo. Los valores representan la media ± DE.

Parámetros	Densidades		Valor de <i>p</i>
	30 ranas/m ²	60 ranas/m ²	
Peso final	45.2 ± 4.99	55.3 ± 6.91	2.2e-16
Longitud final (cm)	8.6 ± 0.65	9.0 ± 0.55	8.607e-08
Biomasa final (kg)	149.44	361.41	0.0472
Sobrevivencia (%)	90	93	0.0779
Alimento consumido (kg)	52.69	127.16	0.0461
AFCR	1.2	2.4	0.0123
AGR (g/día)	0.97	1.2	0.2843
SGR (%/día)	7.28	7.73	0.3708

Las tasas de supervivencia de la rana toro fueron superiores al 90 %, como las descritas por De Castro *et al.* (2012), pero un 20 % más altas que las reportadas por Rodríguez-Serna *et al.* (1996). Durante el experimento, se observó sistemáticamente la mortalidad y se relacionó con el canibalismo depredador por parte de individuos más grandes. Una tasa de sobrevivencia del 70 % puede considerarse satisfactoria en la acuicultura (Benetti *et al.*,

2002). En este estudio, las altas tasas de supervivencia probablemente se debieron a una combinación de factores: mantener una buena calidad del agua mediante el suministro e intercambio continuos, utilizar alimentos de alta calidad comprobada, proporcionar recursos acuícolas adecuados y realizar un mantenimiento regular del tanque durante todo el período de cultivo. Rodríguez-Serna *et al.* (1996) mencionan que la rana toro es muy sensible a altas densidades y recomiendan una densidad entre 50 y 100 ranas/m² en sistemas de producción verticales. Nuestros resultados sugieren que se pueden cultivar ranas en un CWFTS con una densidad inicial de 60 ranas/m² sin comprometer la supervivencia. Nuestros resultados también indican que la densidad de población afectó significativamente el crecimiento de la rana toro durante el período de cultivo de 45 días. Los resultados también mostraron que la densidad de población no afectó significativamente la tasa absoluta de crecimiento ni la supervivencia, pero sí influyó significativamente en el consumo de alimento, la talla final y la biomasa final. Cabe destacar que el peso final (y, en consecuencia, la biomasa) fue menor con 30 ranas/m² que con 60 ranas/m² tras el período de cultivo de 45 días (Figura 1).

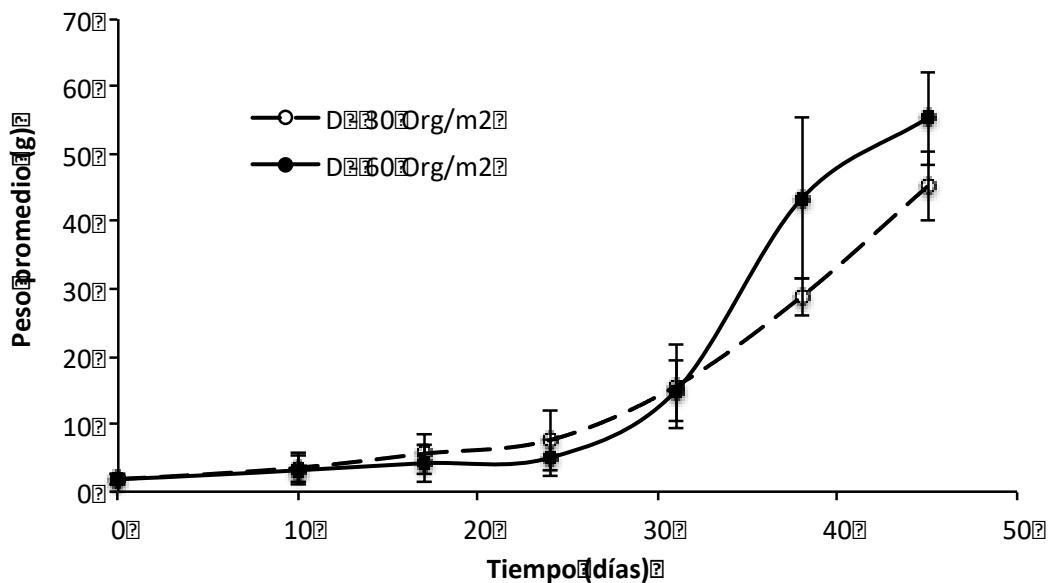
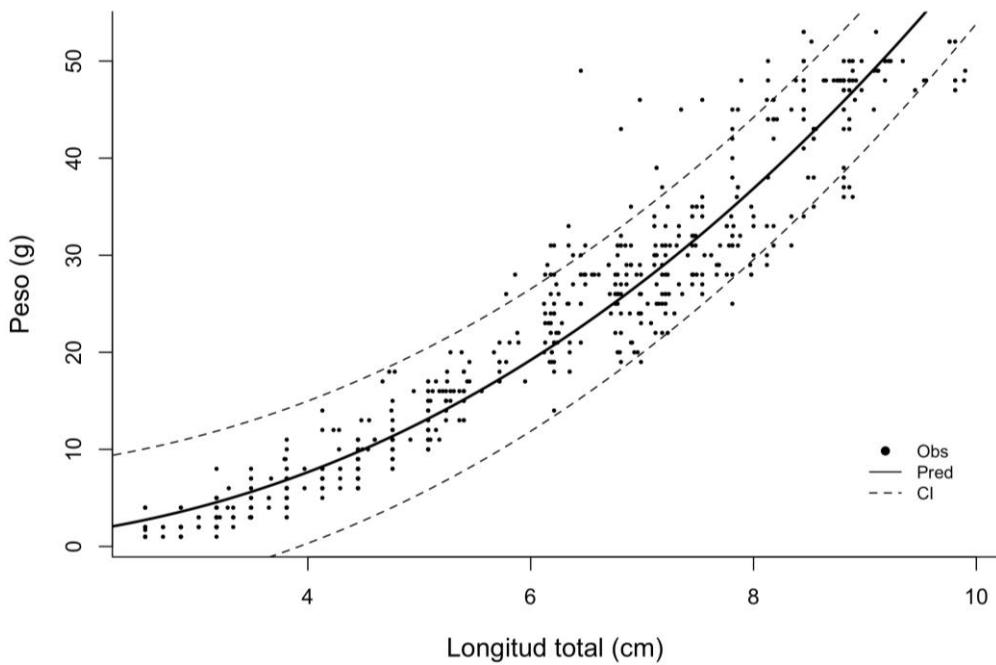


Figura 1. Aumento de peso de ranas toro criadas en dos densidades de población (30 frente a 60 ranas/m²) en un sistema de flujo de agua continuo durante un período de 45 días.

Para temas de engorde, las comparaciones de densidad son relevantes para determinar su comportamiento de peso relativo y planificar la cosecha. A escala comercial utilizando CWFTS, las ranas toro exhibieron un crecimiento exitoso en ambas densidades de población, observándose un rendimiento significativamente mejor con 60 ranas/m². El peso promedio final fue similar durante los primeros 30 días de edad; sin embargo, de los 32 a los 45 días, la densidad de 60 ranas/m² presentó un incremento sustancial de talla y peso en comparación con la densidad de 30 ranas/m² (Figura 1). Los estudios sobre la cría de ranas han demostrado que el tamaño corporal de los organismos de acuicultura puede aumentar a medida que aumenta la densidad de población. Nuestro estudio sugirió una influencia positiva al aumentar la densidad de cultivo a 60 ranas/m². Estos resultados se alinean con la relación positiva directa reportada para ranas toro criadas en sistemas verticales a 50 y 100 ranas/m² (Rodríguez-Serna *et al.*, 1996) y para renacuajos de rana

toro (Flores-Nava & Vera-Muñoz, 1999). La AGR (tasas absolutas de crecimiento) de las ranas toro criadas en criaderos en este estudio fue similar a la reportada por Braga y Lima (2001) para las ranas toro (media 1,01 g/día). En el presente estudio, ranas toro juveniles (peso inicial: 1,70 g) cultivadas durante 45 días en dos densidades lograron una SGR superior al 7 %/día. Este valor supera con creces el rango de SGR de 4.9-5.5 %/día informado por Medeiros-Maia *et al.* (2022) para renacuajos de rana toro alimentados con dietas formuladas a partir de diferentes fuentes de proteínas. Aunque estos resultados no son concluyentes, la diferencia observada podría atribuirse tanto al mayor peso inicial como a las condiciones de cultivo más eficientes en nuestro experimento. De Castro *et al.* (2012) estimaron un AFCR promedio de 1.80 durante 60 días, mientras que Braga y Lima (2001) observaron un rango de AFCR de 1.40 a 1.46 para ranas toro en fase de crecimiento (aumento de peso promedio de 37.5 a 90.12 g durante 45 días). Nuestros resultados son consistentes con estos hallazgos. En la densidad más baja de 30 ranas/m², se registró un AFCR de 1.4; a 60 ranas/m², el AFCR aumentó a 2.4. Esta tendencia se alinea con los valores de AFCR estimados por Rodríguez-Serna *et al.* (1996) en densidades de 50 y 100 ranas toro/m². Respecto a la relación longitud-peso, estos resultados sugieren que la rana toro exhibe un crecimiento alométrico negativo (Figura 2; Tabla 2) caracterizado por un crecimiento en longitud más lento que el crecimiento en peso, y los organismos se vuelven más delgados a medida que aumenta la longitud, estos resultados coinciden con las sugerencias de Pauly (1984) para estimaciones de longitud y peso para peces de aguas tropicales. Los efectos del cautiverio sobre la morfología de los peces, caracterizados por un mayor aumento de peso que de longitud ($b \geq 3$), han sido demostrados previamente (p. ej., Benetti *et al.*, 2002). Es probable que este patrón se deba a la reducción del gasto energético y la acumulación de lípidos en los organismos cautivos. Por ejemplo, Hernández *et al.* (2016) informaron un factor de condición (b) de 3.1 para el pargo rosado cultivado en jaulas, lo que respalda este hallazgo general. El crecimiento alométrico negativo observado en este estudio puede explicarse por la etapa de desarrollo de las ranas. Recientemente habían completado la metamorfosis (período larvario R1-R4) para convertirse en imagos (peso promedio: 1,7 g), etapa caracterizada por la reabsorción de la cola y la acomodación de los órganos internos. Como lo describe Coppo (2003), las ranas en esta etapa y hasta ~50 g experimentan un aumento de peso sustancial, principalmente a través del aumento de masa muscular y grasa, una fase conocida como ganancia previa a la grasa. Después del período imago, los anfibios entran en una etapa de engorde para alcanzar el peso de sacrificio (Mansano *et al.*, 2017). Por lo tanto, identificar la densidad de población óptima durante esta fase es fundamental en la acuicultura, ya que apoya directamente el objetivo principal de acelerar el crecimiento para obtener ganancias comerciales (Jurado-Molina *et al.*, 2023). Por eso, se ha identificado que entre los parámetros de producción, el crecimiento en peso es el principal factor que incide en la rentabilidad económica. Por lo tanto, optimizar la densidad de cultivo es una de las herramientas de control más valiosas para la planificación estratégica y maximizar los beneficios económicos, por lo que estos resultados iniciales aportan información adicional que podría ayudar a mejorar los beneficios económicos de los acuicultores. Sin embargo, estos resultados no deben considerarse concluyentes sino más bien un incentivo para generar nuevos estudios con un espectro mayor de densidades con el fin de encontrar estrategias productivas adecuadas para esta especie. Hasta donde se conoce, estos son los primeros estudios que incluyen estimaciones del crecimiento en longitud y peso de esta especie. Estos hallazgos mejoran nuestra comprensión del comportamiento de la rana toro en condiciones de producción y brindan información clave para desarrollar mejores estrategias para optimizar su crecimiento y rendimiento.

a)



b)

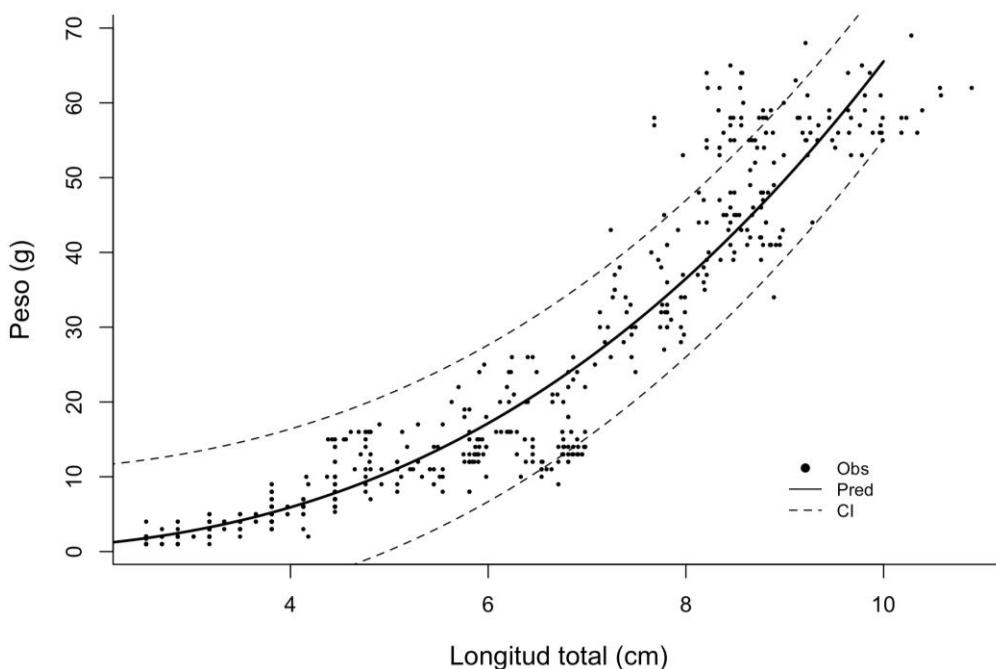


Figura 2. Ajuste de la relación longitud-peso de la rana toro criada en laboratorio y cultivada en sistemas de tanque de flujo continuo de agua con una densidad de 30 org/m² (a) y densidad de 60 org/m² (b). Los círculos sólidos representan valores observados; la línea sólida representa el ajuste del modelo; y la banda sombreada representa el intervalo de confianza (IC) del 95 %.

Tabla 2. Resultados de la longitud-peso de ranas toro cultivadas en sistemas de tanques de flujo continuo de agua por 45 d

Densidad	Parámetros	Estimado	Error estándar	Valor de t	p (> t)
30 ranas/m ²	a	0.33014	0.01787	18.48	<2 x 10 ⁻¹⁶
	b	2.26778	0.02626	86.36	<2 x 10 ⁻¹⁶
60 ranas/m ²	a	0.15574	0.01404	11.09	<2 x 10 ⁻¹⁶
	b	2.62417	0.04205	62.41	<2 x 10 ⁻¹⁶

Conclusiones

Este estudio demuestra que seleccionar una densidad de población óptima mejora significativamente el rendimiento del crecimiento en la acuicultura de rana toro. La producción a 60 ranas/m² resultó en un peso final un 18,3 % mayor y aproximadamente un 58,6 % más de ganancia de biomasa en comparación con 30 ranas/m². Estos hallazgos indican que el uso de una densidad de cultivo adecuada es un factor técnico clave para mejorar la viabilidad y productividad de la cría comercial de ranas.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo (CHHL, JJM). Desarrollo de la metodología (CHHL, JJM). Manejo de software (JJM, CHHL). Validación experimental (CHHL, JAHY). Análisis de resultados (CHHL, JJM). Manejo de datos (CHHL, JAHY). Preparación y redacción del artículo (CHHL, JJM, JMJ). Escritura, revisión, y edición (CHHL, JJM, JMJ). Líder de proyecto (CHHL). Adquisición de fondos (CHHL, JAHY).

Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento

Esta investigación se realizó con fondos propios.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Referencias

Álvarez-Lajonchère, L., Reina-Cañez, M. A., Camacho-Hernández, M. A., & Kraul, S. (2007). Design of a pilot-scale tropical marine finfish hatchery for a research at Mazatlán, Mexico. *Aquaculture Engineering*, 36, 81-96. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2006.07.003>

Álvarez-Lajonchère, L., Abdo de la Parra, M., Rodríguez-Ibarra, L., Velasco-Blanco, g., Puello-Cruz, A., Gonnzáles-Rodríguez, B., Ibarra-soto, A., & Castro-Ibarra, L. (2012). The Scale-up of Spotted Rose Snapper, *Lutjanus guttatus*, Larval Rearing at Mazatlán, México. *Journal of the World Aquaculture Society*, 43(3), 411-422. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2012.00573.x>

Benetti, D., Matera, J. A., Stevens, O. M., Alarcon, J. F., Feeley, M.W., Rotman, F.J., Minemoto, Y., Banner, G., Fanke, J., Zimmerman, S., & Eldridge, L. (2002). Growth, survival,

and feed conversion rates of hatchery-reared mutton snapper, *Lutjanus analis* cultured in floating net cages. *Journal of the World Aquaculture Society*, 33, 349-357.

<https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00511.x>

Braga, L. G. T., & Lima, S. L. (2001). Influence of environmental temperature on the bullfrog performance, *Rana catesbeiana* (Shaw, 1802) in the growing phase. *Revista Brasileira Zootecnia*, 30, 659-1663. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000700001>

Coppo, J. A. (2003). El medio interno de la "rana toro" (*Rana catesbeiana*, Shaw 1802). Revisión bibliográfica. Facultad de Ciencias Veterinarias, UNNE. *Revista Veterinaria*, 14(1), 25-41. <https://doi.org/10.30972/vet.141683>

De Castro, C.S., Agostinho, C.A., Argentim, D., de Alexandre, J.S., de Oliveira, L.C., de Sousa, R. M., & Padilha, P. (2012). Feed digestibility and productive performance of bullfrogs fed in high and low frequency. *Aquaculture*, 326 (329), 123-128. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.11.010>

Ellis, T., North, B., Scaott, A.P., Bromage, N.R., Porter, M., & Gadd, D. (2002). The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 61, 493-531. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb00893.x>

Food and Agriculture Organization [FAO]. (2006). Programa de información de especies acuáticas. *Rana catesbeiana* (Shaw, 1862). [online]. https://firms.fao.org/fi/website/FIRetrieveAction.do?dom=culturespecies&xml=Rana_catesbeiana.xml&lang=es

Food and Agriculture Organization [FAO]. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura-2022 (SOFIA). [online]. <https://openknowledge.fao.org/items/c4cd204c-8ff8-4354-a4a8-820a499e9f3b>

Flores-Nava, A., & Vera-Muñoz, P. (1999). Growth, metamorphosis and feeding behavior of *Rana catesbeiana* Shaw 1802 tadpoles at different rearing densities. *Aquaculture Research*, 30(5), 341-347. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1999.00335.x>

Flores-Nava, A. (2005, October 05). Cultured Aquatic Species Information Programme – *Rana catesbeiana*. FAO Inland Water Resources and Aquaculture Service (FIRI). FAO, Rome. Update CEST 2006. https://www.fao.org/fishery/en/culturedspecies/rana_catesbeiana/en

Gonçalvez de Oliveria, E., Banhos, A., Queiroz, V., Melo, A., Gazzineo, M., Castelo, I., Rocha, R., & Farias, F. (2012). Effects of stocking density on the performance of juvenile pirarucu, (*Arapaima gigas*) in cages. *Aquaculture*, 370(371), 96-101. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.09.027>

Hernández, C., Ibarra, L., Hernández, C. H., Quintero, G., Aragón, E., & Tacon, A. G. (2015). Growth performance of Spotted Rose Snapper in Floating Cages and Continuous Water-Flow Tank Systems. *North American Journal of Aquaculture*, 77(4), 423-428. <https://doi.org/10.1080/15222055.2015.1032458>

Hernández, C. H., Hernández, C., Martínez-Cordero, F. J., Castañeda, N., Rodríguez, G., & Tacon, A. (2016). Effect of density at harvest on the growth performance and profitability of hatchery-reared spotted rose snapper, *Lutjanus guttatus*, cultured in floating net cages. *Journal of the World Aquaculture Society*, 47(1). <https://doi.org/10.1111/jwas.12253>

Instituto Nacional de Acuacultura y Pesca [INAPESCA]. (2018). Carta Nacional Acuicola, edición 2012. (Statistical yearbook of aquaculture, 2012 editions). Mazatlán. <https://inapesca.gob.mx/portal/Transparencia/carta-nacional-acuicola.php>

Islas-Ojeda, E., García-Munguía, A., Chávez-González, L., López-Gutiérrez, M., Hernández-Valdivia, E., & García-Munguía, C. (2021). Sustainable production of bullfrogs (*Lithobates catesbeianus*) with reused water from a Biofloc system. *Abanico veterinario ISSN 2448-6132*. <https://doi.org/10.21929/abavet2021.37>

Jurado-Molina, J., Hernández-López, C. H., & Hernández, C. (2023). Evaluation of fish density influence on the growth of the spotted rose snapper reared in floating net cages using growth models and non-parametric tests. *Ciencias Marinas*, 2023 (49), e3253. <https://doi.org/10.7773/cm.y2023.3253>

Madeiros-Maia, A., Leonardo de Araujo-Pimienta, J., Seixas-Filho J., Pereira-Mello S., Amorim-Dias, G., Pinto, E., Pereira-dos Santos, M., & Maia-Pereira, M. (2022). Feeds formulated with alternative ingredients for bullfrog tadpoles (*Lithobates catesbeianus*). *Research, Society and Development*, 11(11), 1-9. <http://dx.doi.org/10.33449/rsd-v11i11.33514>

Mansano, C. F., Macenta, B., Ullah, K., Nascimento, T., Silva, E., Sakomura, N., & Fernandes, J. (2017). Morphometric Growth Characteristics and Body Composition of Fish and Amphibians. *InTech*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69061>

Musigapan, R., Promya, J., Tongsiri, S., Thiammueang, D., & Chitmanat, C. (2022). Consumer acceptance and new business development of processed frog products in Chiang Mai province. *Food Research*, 6(5), 250-255. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(5\).504](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(5).504)

Padilla-Cerezo, R., Castañeda-Rodríguez, P., & Ramírez-Orejel, J. (2022). Evaluación nutrimental de la dieta, calidad de la canal y carne de rana toro (*Lithobates catesbeianus*). Universidad Autónoma de Nuevo León. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7, 128-134. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume7/7/7/23.pdf>

Pasteris, S. E., Bühler, M. I., & Nader-Macias, M.E. (2006). Microbiological and histological studies of farmed bullfrog (*Rana catesbeiana*) tissues displaying red-leg syndrome. *Aquaculture*, 251, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.05.007>

Pauly, D. (1984). Fish population dynamics in tropical water: a manual for use with programmable calculators. ICLARM, 143, 325.

R Core Team. (2020). R: A language and environment for statistical computing. Vienna (Austria): R Foundation for Statistical Computing. [software] <https://www.r-project.org/>

Ricker, W. E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish population. *Bulletin 191 of the Fisheries Research Board of Canada*, 191, 1-382.

Rodríguez-Ibarra, L.E., Abdo de la Parra, M. I., Aguilar-Zárate, G., Velasco-Blanco, G., & Ibarra-Castro, L. (2015). Desarrollo osteológico de la columna vertebral y del complejo caudal de larvas de *Lutjanus guttatus* (Perciformes: Lutjanidae) en condiciones de cultivo. *Revista de Biología Tropical*, 63(1), 155-164. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572017000100009>

Rodríguez-Serna, M., Flores-Nava, A., Olvera-Novoa, M. A., & Carmona-Osalde, C. (1996). Growth and production of bullfrog *Rana catesbeiana* Shaw, 1802, at three stocking densities in a vertical intensive culture system. *Aquaculture Engineering*, 15(4), 233-242. [https://doi.org/10.1016/0144-8609\(96\)00262-2](https://doi.org/10.1016/0144-8609(96)00262-2)

Rowland, S. J., Mifsud, C., Nixon, M., & Boyd, P. (2006). Effects of stocking density on the performance of the Australian freshwater silver perch, (*Bidyanus bidyanus*) in cages. *Aquaculture*, 253, 301-308. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.04.049>