

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Comportamiento biológico de mojarra tilapia (*Oreochromis niloticus*) y camarón burrito (*Procambarus veracruzanus*) en acuaponía

Biological behavior of tilapia (*Oreochromis niloticus*) and crayfish (*Procambarus veracruzanus*) in aquaponic

Authors/Autores: De La Luz-Morales, G., Serna-Lagunes, R., Cebada-Merino, M., García-Martínez, M.A., Bañuelos-Hernández, K.P., Llarena-Hernández, R.C., Andrés-Meza, P., Zetina-Córdoba, P., Morales-Palacios, I., Del Rosario-Arellano, J.

ID: e1838

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1838>

Received/Fecha de recepción: December 09th 2024

Accepted /Fecha de aceptación: November 05th 2025

Available online/Fecha de publicación: November 14th 2025

Please cite this article as/Como citar este artículo: De La Luz-Morales, G., Serna-Lagunes, R., Cebada-Merino, M., García-Martínez, M.A., Bañuelos-Hernández, K.P., Llarena-Hernández, R.C., Andrés-Meza, P., Zetina-Córdoba, P., Morales-Palacios, I., Del Rosario-Arellano, J. (2025). Biological behavior of tilapia (*Oreochromis niloticus*) and crayfish (*Procambarus veracruzanus*) in aquaponic. *Revista Bio Ciencias*, 13, e1838. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1838>

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

Comportamiento biológico de mojarra tilapia (*Oreochromis niloticus*) y camarón burrito (*Procambarus veracruzanus*) en acuaponía

Biological behavior of tilapia (*Oreochromis niloticus*) and crayfish (*Procambarus veracruzanus*) in aquaponic

Tilapia y acociles en acuaponía/
Nile tilapia and crayfish in aquaponics

De La Luz-Morales, G.¹() , Serna-Lagunes, R.¹()*, Cebada-Merino, M.¹() , García-Martínez, M.A.¹() , Bañuelos-Hernández, K.P.¹() , Llarena-Hernández, R.C.¹() , Andrés-Meza, P.¹() , Zetina-Córdoba, P.²() , Morales-Palacios, I.²() , Del Rosario-Arellano, J.³() .

¹Maestría en Horticultura Tropical. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Orizaba-Córdoba, Universidad Veracruzana. Josefa Ortiz de Domínguez s/n, Peñuela CP. 94945, Amatlán de Los Reyes, Veracruz.

²Programa de Ingeniería en Alimentos: Universidad Politécnica de Huatusco, Huatusco CP. 92100, Veracruz.

³Universidad Interserrana del Estado de Puebla-Chilchotla. Av. Miguel Hidalgo s/n, CP. 7507. Chilchotla, Puebla.

*Corresponding Author:

Ricardo Serna-Lagunes. Unidad de Manejo y Conservación de Recursos Genéticos. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Orizaba-Córdoba, Universidad Veracruzana. Calle Josefa Ortiz de Domínguez s/n, Col. Centro, Peñuela, C.P. 94945, Amatlán de Los Reyes, Veracruz, México. Teléfono: (271) 141 4702. E-mail: rserna@uv.mx

RESUMEN

El sistema alimentario presenta desafíos como el aumento demográfico, contaminación ambiental, calentamiento global y degradación de suelos. La acuaponía es un sistema sustentable que puede contribuir a solucionar los desafíos de seguridad alimentaria. El objetivo del estudio fue evaluar el comportamiento biológico de la mojarra tilapia (*Oreochromis niloticus*) y camarón burrito (*Procambarus veracruzanus*) en un sistema acuapónico. Se construyó un sistema acuapónico basado en camas de sustrato. Se maduró

el sistema proliferando bacterias nitrificantes, se tomaron lecturas de siete parámetros fisicoquímicos (amonio, nitritos, nitratos, calcio, pH, temperatura y oxígeno disuelto) cada 15 días durante 5 meses, con dos réplicas de lectura. Se evaluó el crecimiento y desarrollo de tilapias y acociles realizando biometrías de longitud total y peso, estos fueron analizados con gráficos de cajas y bigotes y les fue aplicado un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para determinar diferencias significativas entre los meses de muestreo. Se estimaron tasas de crecimiento, se evaluaron mediante curvas logarítmicas y ajuste del coeficiente de determinación (R^2). La biología del desarrollo de alevines de presentó aumentos en peso y longitud, con una sobrevivencia mayor al 50 %. Con respecto a los acociles, solo la longitud aumentó, con una sobrevivencia mayor al 50 %. Este sistema acuapónico se posiciona como una transferencia de tecnología para el autoconsumo alimentario en la región centro de Veracruz, México.

PALABRAS CLAVE:

Acuaponía, acocil, alimentos, crecimiento, desarrollo, tilapia.

ABSTRACT

The food system presents numerous challenges, including population growth, environmental pollution, global warming, and soil degradation. Aquaponics is a sustainable system that can help address food security challenges. The objective of the study was to evaluate the biological behavior of tilapia (*Oreochromis niloticus*) and burrito shrimp (*Procambarus veracruzanus*) in an aquaponic system. An aquaponic system utilizing substrate beds was constructed. The system was matured by the proliferation of nitrifying bacteria. Readings of seven physicochemical parameters (ammonium, nitrites, nitrates, calcium, pH, temperature, and dissolved oxygen) were taken every 15 days for 5 months, with two replicates. The growth and development of tilapia and crayfish were evaluated by performing biometrics of total length and weight. These data were analyzed using box and whisker graphs, and a one-way analysis of variance (ANOVA) was applied to determine significant differences between the sampling months. Growth rates were estimated and evaluated using logarithmic curves and adjustment of the coefficient of determination (R^2). The developmental biology of fry demonstrated increases in weight and length, with a survival rate exceeding 50 %. Regarding crayfish, only the length increased, with a survival

rate greater than 50 %. This aquaponic system is positioned as a technology transfer for the self-sufficiency in food production in the central region of Veracruz, Mexico.

KEY WORDS:

Aquaponics, crayfish, development, food, growth, tilapia.

Introducción

A nivel mundial, se presentan desafíos importantes como el crecimiento demográfico humano, la degradación del suelo, inseguridad alimentaria, cambio climático y contaminación ambiental, por ello, diversos países tercermundistas se establecen en crisis, ya que repercute en el sector social, al haber colapsos económicos y alimentarios (Goddek *et al.*, 2015; por ejemplo, en áreas rurales, la acuaponía a pequeña y mediana escala y con fines de autoconsumo, es una alternativa para contribuir a los objetivos de la agenda 2030 (Flores-Aguilar *et al.*, 2024), aunado a que, al desarrollar e implementar proyectos de acuaponía, se contemplan los pilares de la sustentabilidad en la agricultura, la acuacultura y en la producción acuícola (Schoor *et al.*, 2023).

La transferencia y establecimiento de la acuaponía como granjas urbanas y rurales prometen el desarrollo de alimentos para satisfacer las necesidades alimentarias humanas locales (Muñoz-Euán *et al.*, 2024). En este sentido, se busca implementar tecnologías como la acuaponía que contemplen dichos problemas y que el objetivo sea abordarlos de manera sustentable (El-Essawy *et al.*, 2019). La acuaponía se contempla como una tecnología sustentable que ofrece una opción para atender los problemas antes mencionados, para tratar de erradicar el consumo excesivo de agua en la producción de alimentos, evitar la producción de residuos contaminantes, disminuir el uso excesivo de energía y combustibles fósiles, y fungir como alternativa de producción de alimentos altamente nutritivos e inocuos, sin el uso de compuestos químicos, ni daños ambientales (Sawkar *et al.*, 2020).

El aumento poblacional humano genera una importante demanda de alimentos de origen animal y vegetal, y dado que preocupa el futuro de los sistemas convencionales de producción alimentaria para satisfacer dicha demanda, debido a las limitaciones como la disminución de la superficie cultivable, el suministro limitado de agua dulce y la degradación del suelo, son desafíos latentes que se necesitan atacar con tecnologías sustentables como la acuaponía, para apoyar los déficits del sector alimentario a nivel de autoconsumo (FAO *et al.*, 2020). Aunque la acuaponía está en pleno desarrollo, esta puede contribuir de

manera eficiente a solucionar los desafíos de seguridad alimentaria ([Campos-Pulido et al., 2015](#)).

Las especies para utilizar en un sistema de acuaponía se establecen de acuerdo con el tipo de producción que se requiere, la finalidad del proyecto (ya sea experimental, comercial o autoconsumo), pero en general, se utilizan preferentemente cinco especies de peces para la producción primaria de alimentos bajo sistemas acuapónicos (Tabla 1) ([Palm et al., 2018](#)). Para elegir una especie acuícola para un sistema acuapónico, se toma en cuenta el tipo de producción, la facilidad de adquirir la especie, densidad de peces, la tasa o velocidad de crecimiento y desarrollo, y factores de la columna de agua como su temperatura, pH, nitratos, oxígeno y otros parámetros fisicoquímicos, así como la interacción de las especies en el sistema acuapónico, y tasas y tiempos de crecimiento ([Colorado & Ospina, 2019](#)).

Tabla 1. Principales especies acuícolas en acuaponía ([Somerville, 2014](#)).

Especie de cultivo	Temperatura °C	Nitrato mg/l	Nitrito mg/l	Oxígeno Disuelto mg/l	Proteína %	Tiempo de crecimiento
Carpa común (<i>Cyprinus carpio</i>)	25-30°C	<1	<1	>4	30-38	600 gr en 10 meses
Tilapia del Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	27-30	<2	<1	>4	28-32	600 gr en 7 meses
Bagre (<i>Ictalurus punctatus</i>)	25-30	<1	<1	>3	25-36	400 gr en 8 meses
Trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	14-16	<0.5	<0.3	>6	42	1 kg en 15 meses
Cabeza chata (<i>Mugil cephalus</i>)	20-27	<1	<1	>4	30-34	750 gr en 10 meses

La tilapia *O. niloticus* tiene importancia productiva y de consumo dentro de las regiones tropicales y subtropicales, se adapta a los ambientes lenticos, estanques, lagunas, reservorios y a sistemas de acuaponía ([Kaneshima et al., 2022](#)), desarrollándose en temperaturas de 21 a 32 °C ([Ani et al., 2022](#); [Ramos et al., 2022](#)). El aporte nutricional de esta especie a la dieta humana consiste en ácidos grasos, proteínas, vitaminas B, D y E, fósforo y calcio, por lo que su cultivo representa una alta rentabilidad, pero es necesario evaluar su comportamiento biológico en sistemas de recirculación y acuaponía con base en las condiciones climáticas regionales ([El-Kady et al., 2022](#)), ya que se genera información y conocimiento acerca de su adaptabilidad, rentabilidad y metabolismo ([Zappernick et al., 2022](#)).

Mientras que, el estudio y aprovechamiento de crustáceos de agua dulce o acociles en sistemas de acuaponía son escasos, tan solo el camarón *Litopenaeus vannamei* y el langostino malayo (*Macrobrachium rosenbergii*) han sido más estudiados con fines de experimentación y comercialización en acuaponía (Gámez, 2018), ya que se adaptan fácilmente, y de acuerdo con León (2013), *L. vannamei* alcanza de 8.7 a 19 g por individuo, con rendimiento de 1.3 a 13.4 ton ha⁻¹ y supervivencia de 58-98 %. Gámez (2018) reporta una supervivencia del 40-56 %, una tasa de crecimiento de 0.73 g/semana y un peso final de 15.61 %, mientras que, Ronzón-Ortega et al. (2012) reportan pesos en el langostino malayo (*M. rosenbergii*) de 8.10 a 9.20 g y una tasa de supervivencia del 77-93 %.

De los sistemas acuapónicos se obtiene un rendimiento superior cuando se compara con los sistemas de producción convencional acuícola. Por ejemplo, en un sistema acuapónico se obtuvo una supervivencia del 95 % del camarón blanco (*L. vannamei*), lo cual se refleja en un mayor rendimiento y productividad (Schardong et al., 2020), en comparación con los cultivos extensivos en cuanto a supervivencia y rendimiento: 50 %; semi-intensivo e intensivo: 75 %, híper-intensivo: de 80-85 % (Lara-Espinoza et al., 2015; Puentes et al., 2023). Con langostino malayo (*Macrobrachium rosenbergii*), se reporta la supervivencia del 77 % con densidades de siembra de 16 organismos por m² (Ronzón-Ortega et al., 2012); estas condiciones pueden extrapolarse a especies de camarón burrito o acociles nativos como *Procambarus veracruzanus* (Crustacea, Cambaridae) cuyas poblaciones silvestres se encuentran en riesgo debido a la contaminación de su hábitat en el centro de Veracruz, y por lo tanto, la acuaponía es una estrategia de conservación y manejo de estas especies a través de su producción (Lorán-Núñez et al., 2009).

El cultivo de acociles representa una opción viable en sistemas de acuaponía, y debido a su bioecología ligada a su desarrollo larval, buena adaptación, desarrollo y reproducción todo el año (Arredondo-Figueroa et al., 2011); se puede producir en sistemas de recirculación para evaluar su crecimiento y desarrollo (Hernández-Vergara et al., 2018). Es por lo anterior que el objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento biológico (crecimiento y sobrevivencia) de la mojarra tilapia (*Oreochromis niloticus*) y camarón burrito (*Procambarus veracruzanus*) en un sistema acuapónico.

Material y Métodos

El presente trabajo se realizó en una localidad urbana del municipio de Córdoba, Veracruz, México, ubicado a 860 msnm; limita al norte con el municipio de Ixhuatlán del

Café, al sur con Coetzala, al este con Amatlán de los Reyes y al oeste con Fortín y al noreste con el municipio de Atoyac (Figura 1).

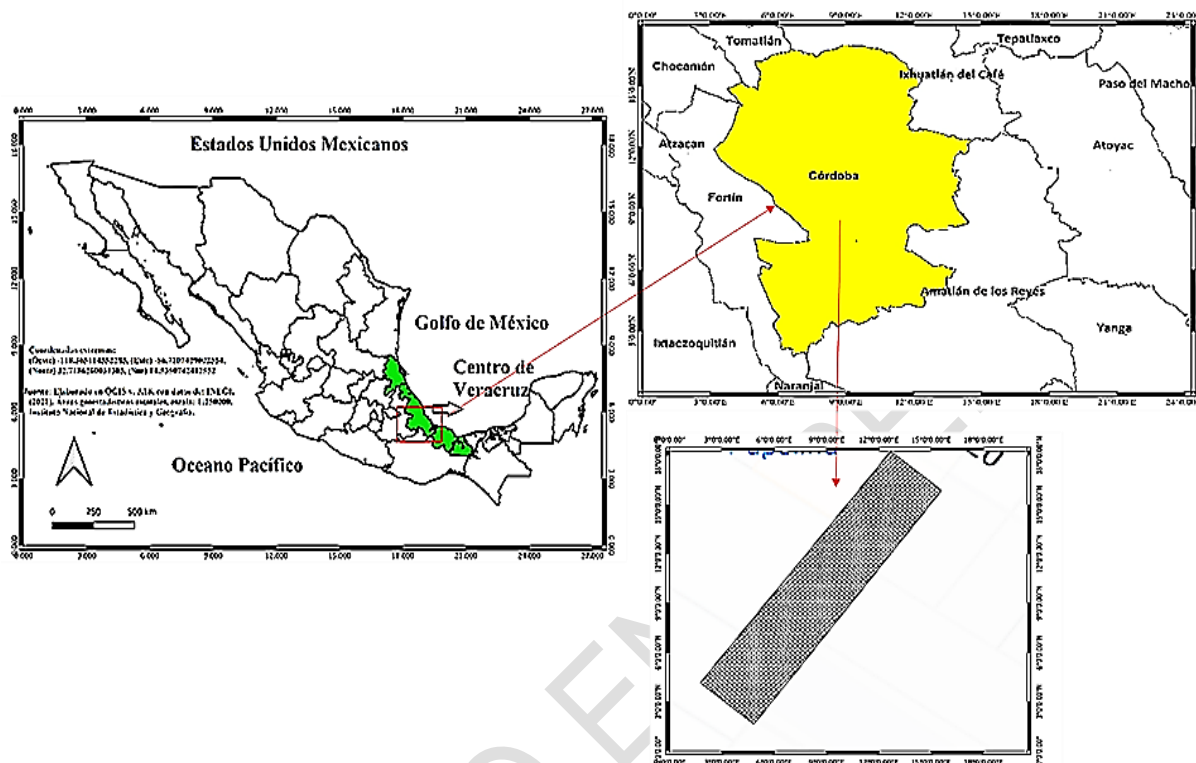


Figura 1. Localización geográfica del área experimental. Fuente: QGIS v. 3.28.

Diseño, construcción, aclimatación y variables del sistema acuapónico.

Se construyó un sistema acuapónico basado en camas de sustrato (media bed) en un bidón de 1000 L. Este se cortó a una capacidad de 700 L, la parte cortada del bidón (300 L) fue llenada con tezontle rojo (granulometría de 3-5 cm) y colocada en la parte de superior, fungiendo como cama para la siembra de plantas de chayote y quelite. Para el bombeo del agua del bidón a la cama de cultivo, se utilizó una bomba sumergible con un flujo de 2000 L/h, para mantener el equilibrio de agua en la cama de cultivo. En el sistema acuapónico se instaló un sifón tipo campana para mantener el nivel de agua a través de dren del exceso, esto permite que el agua inunde la cama de cultivo para que drene automáticamente el exceso de agua cuando esta alcanza el nivel del sifón (Figura 2).

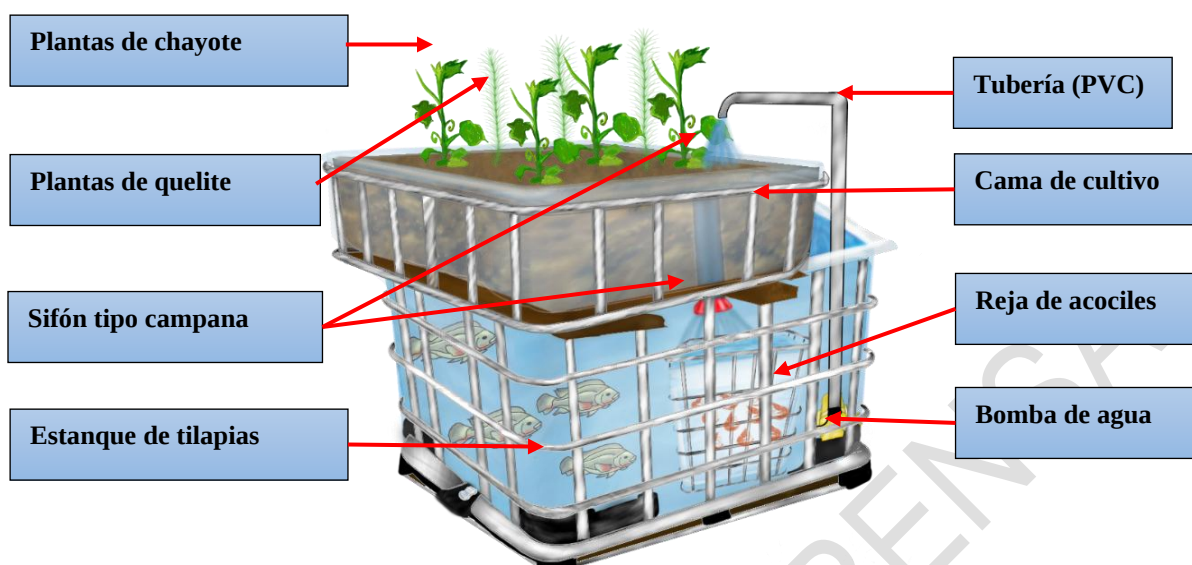


Figura 2. Diseño del sistema acuapónico para evaluar el crecimiento de tilapia y acociles.

El municipio de Córdoba presenta un clima templado-húmedo, con una temperatura promedio de 19.9°C, y varía entre 12 °C a 32 °C, rara vez baja a 8 °C o supera los 36 °C; la precipitación media anual es de 1,800 mm (Figura 2).

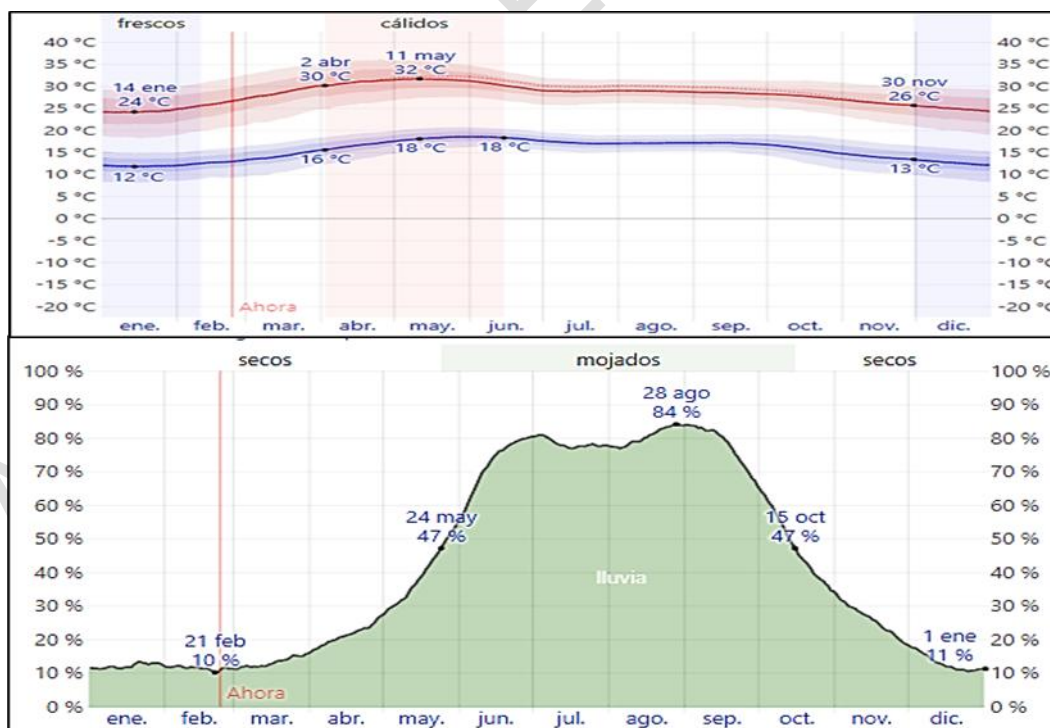


Figura 2. Meteograma de Córdoba durante el periodo del estudio. Fuente

<https://es.weatherspark.com>

La aclimatación consistió en equilibrar la cantidad cloro (Cl) con un kit colorimétrico Pool Style© del agua del sistema acuapónico, hasta obtener entre 0.2 y 0.5 ppm. Este proceso tardó 4 semanas para que proliferaran las colonias de bacterias nitrificantes encargadas de convertir el amonio a nitratos, lo que se logró a partir de agregar alimento para peces como fuente de amonio (Goddek *et al.*, 2019). Los niveles de pH, amonio, nitritos y nitratos fueron evaluados semanalmente mediante el uso del kit colorimétrico API Water Test Kit Freshwater©. Cuando fue necesario, el agua se tituló con cromato de potasio (K_2CrO_4) y nitrato de plata ($AgNO_3$), hasta observar valores equilibrados y menores a 10 ppm de amonio, nitritos y nitratos y un pH alrededor de 7 (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de los parámetros fisicoquímicos del agua del sistema acuapónico.

Parámetros fisicoquímicos	Media	D.E	E. E.	CV	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	23.39	2.74	0.42	11.69	18.5	29.1
pH (unidades)	7.57	0.09	0.01	1.14	7.2	7.6
Amonio (ppm)	0.36	0.23	0.03	62.95	0.25	1
Nitritos (ppm)	0.38	0.52	0.08	137.23	0	2
Nitratos (ppm)	31.51	23.92	3.65	75.9	5	80
Calcio (ppm)	622.72	608.94	92.86	97.79	16	2500
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	4.94	1.51	0.23	30.6	2.2	10

Después de haber aclimatado el sistema acuapónico, se tomaron lecturas de siete parámetros fisicoquímicos cada 15 días durante un periodo de cinco meses, con dos réplicas de lectura durante el periodo de diciembre de 2023 a abril de 2024. En total, se tomaron 43 lecturas de la temperatura (°C) y oxígeno disuelto (DO; mg/L⁻¹) medidos con un detector electrónico marca LAQUAtwin©; el nitrógeno (N; mg L⁻¹), amonio (NH_4^+ ; mg L⁻¹), nitritos (NO_2^- ; mg L⁻¹), nitratos (NO_3^- ; mg L⁻¹), y pH se midieron mediante un kit comercial de colorimetría API Water Test Kit Freshwater©.

Características y evaluación de las especies manejadas el estudio.

Se evaluó la biología del desarrollo de 30 alevines de tilapia gris (*O. niloticus*) de la raza súper macho, los cuales, presentaron 3.5 cm de longitud y un peso de 1.5 g en promedio al iniciar el experimento. Se eligió esta raza ya que presenta importancia en cuanto a producción y consumo, puesto que se adapta a ambientes lenticos, estanques, lagunas, reservorios y acuaponía (Kaneshima *et al.*, 2022), siendo la especie más utilizada debido a su adaptabilidad, rentabilidad y óptimo metabolismo (Zappernick *et al.*, 2022).

La segunda especie acuícola evaluada fueron 15 ejemplares del acocil *Procambarus veracruzanus*, que se recolectaron en arroyos ubicados en el municipio de Córdoba, Veracruz con tamaños entre los 4 a 6 cm. Dentro del estado de Veracruz, el acocil *P. veracruzanus* comúnmente conocido como camarón “burrito”, ha sido poco estudiada, el consumo es regional por comunidades indígenas, que en temporadas de lluvias (junio-septiembre) los recolectan para autoconsumo (Saha *et al.*, 2016). El acocil habita ecosistemas de agua dulce de corrientes lentas como ríos, arroyos y zonas inundables, son omnívoros, presentan semejanza a pequeñas langostas, tienen un cuerpo cubierto por un fuerte tegumento calcificado (exoesqueleto) y se adaptan a temperaturas entre los 20-28 °C. En cuanto al cultivo de acociles, presenta una factible manipulación en relación con otras especies, esto debido a su bioecología ligada a su desarrollo larval, buena adaptación, desarrollo y reproducción todo el año (Arredondo-Figueroa *et al.*, 2011); es una especie que se empieza a producir en sistemas de recirculación para evaluar su crecimiento y desarrollo (Hernández-Vergara *et al.*, 2018).

Evaluación del desarrollo biológico de las especies en acuaponía.

Las biometrías iniciaron en diciembre de 2023 y finalizaron en abril de 2024, lo que implicó 5 meses de experimentación, y equivalente a 22 semanas de experimentación. Para la evaluación de crecimiento y desarrollo de las mojarra y acociles, cada 15 días se realizaron biometrías de longitud total (TL) y peso (gr) de las mojarra y los acociles, los que fueron analizados con gráficos de cajas y bigotes y les fue aplicado un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y pruebas *post hoc* de Tukey, para determinar diferencias significativas entre los meses de muestreo, a un alfa del 0.05 (Zar, 2010).

Con los datos de las biometrías, se estimaron tasas de crecimiento para los individuos de mojarra y acociles, con la siguiente fórmula: $TC = (L_f - L_i) / N^\circ$ de meses evaluados, donde: TC= Tasa de crecimiento, L_i = Longitud inicial, L_f = Longitud final (Rahman *et al.*, 2022). Las TC se evaluaron mediante curvas logarítmicas y el ajuste del coeficiente de determinación (R^2), también se estimó la ecuación de regresión tanto para las mojarra y acociles (Zar, 2010). Las curvas de tendencia logarítmicas se implementan en estudios biológicos de animales en cautiverio con fines de manejo, aprovechamiento y producción, ya que esto permite identificar cómo la temperatura, alimentación, humedad y factores de manejo impactan en la velocidad del crecimiento de las especies (Serna-Lagunes *et al.*, 2010).

El porcentaje (%) de sobrevivencia se calculó con la siguiente fórmula diseñada para este estudio: $TS = Ovf \times 100 / Ovi$, dónde: TS= Tasa de sobrevivencia, Ovi= Organismos vivos inicialmente, Ovf= Organismos vivos finalmente.

Resultados y Discusión

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza, se encontraron diferencias significativas debido al incremento en peso y longitud de las tilapias, mientras que, para los acociles, solo la longitud presentó un incremento significativo (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados del ANOVA aplicado a peso y longitud de mojarra y acociles en acuaponía.

		Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado medio	F	p-valor
Mojarras	Peso	Modelo	2259.77	5	451.95	115.8	< 0.0001
		Meses	2259.77	5	451.95	115.8	< 0.0001
		Error	447.7	114	3.93		
		Total	2707.47	119			
	Longitud	Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado medio	F	p-valor
		Modelo	438.95	5	87.79	145.94	< 0.0001
		Meses	438.95	5	87.79	145.94	< 0.0001
		Error	68.58	114	0.6		
Acociles	Peso	Total	507.52	119			
		Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado medio	F	p-valor
		Modelo	8.05	3	2.68	2.25	< 0.0926
		Meses	8.05	3	2.68	2.25	< 0.0926
	Longitud	Error	66.80	56	1.19		
		Total	74.85	59			
		Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado medio	F	p-valor
		Modelo	4.40	3	1.47	3.61	< 0.0186
		Meses	4.40	3	1.47	3.61	< 0.0186
		Error	22.73	56	0.41		
		Total	27.13	59			

Las pruebas de medias indicaron que durante los meses de estudio se encontraron diferencias significativas, encontrando un incremento en el último periodo o mes del experimento (Figura 4).

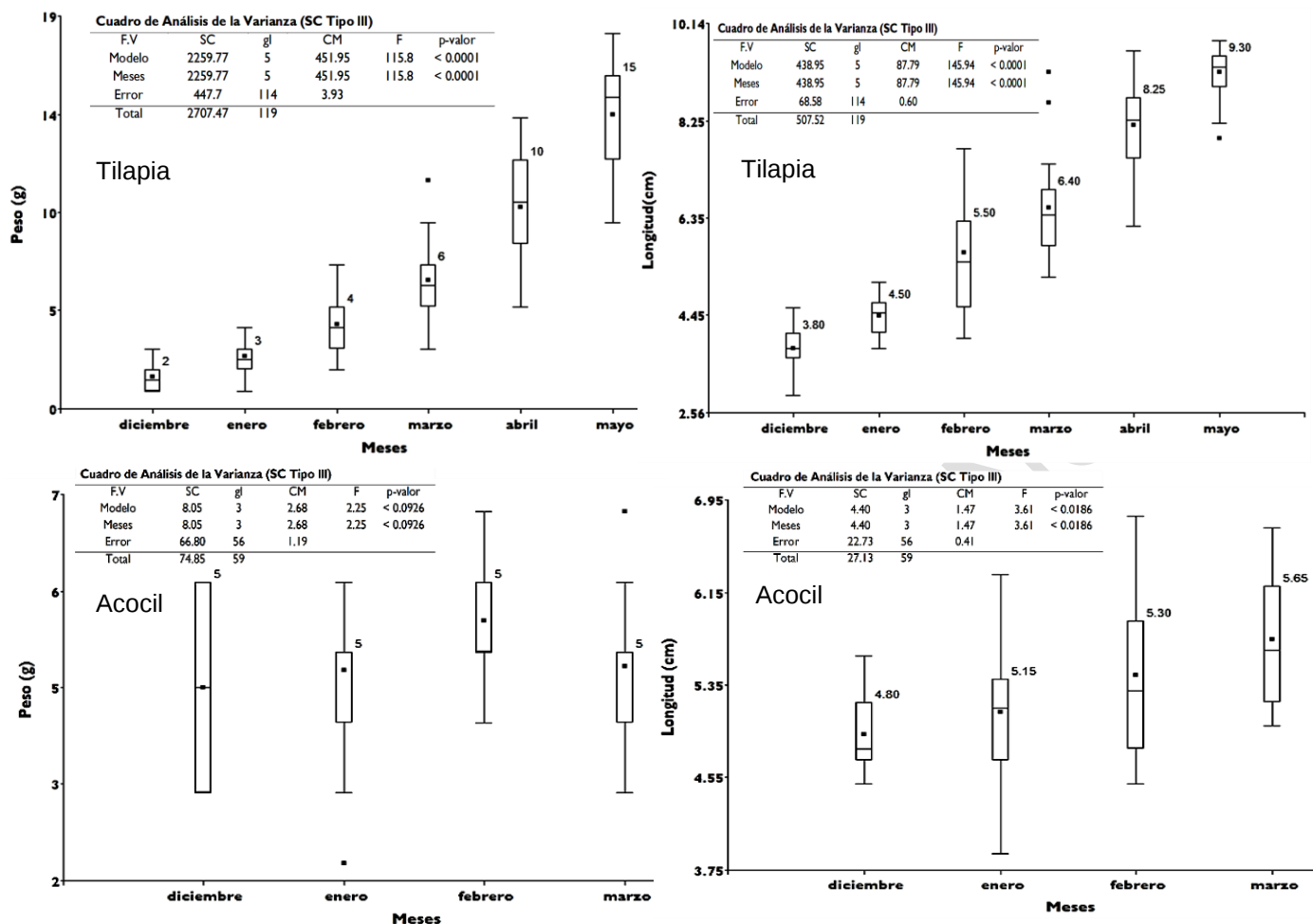


Figura 4. Variación del peso y longitud de *O. niloticus* y *P. veracruzanus* en acuaponía.

Las tasas de crecimiento para *O. niloticus* y *P. veracruzanus* se ajustaron a curvas de tendencia logarítmica, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.90$ y de 0.83 , respectivamente (Figura 5), lo que indica un crecimiento animal que se caracteriza por un crecimiento rápido al inicio y la asíntota se presenta al finalizar el experimento.

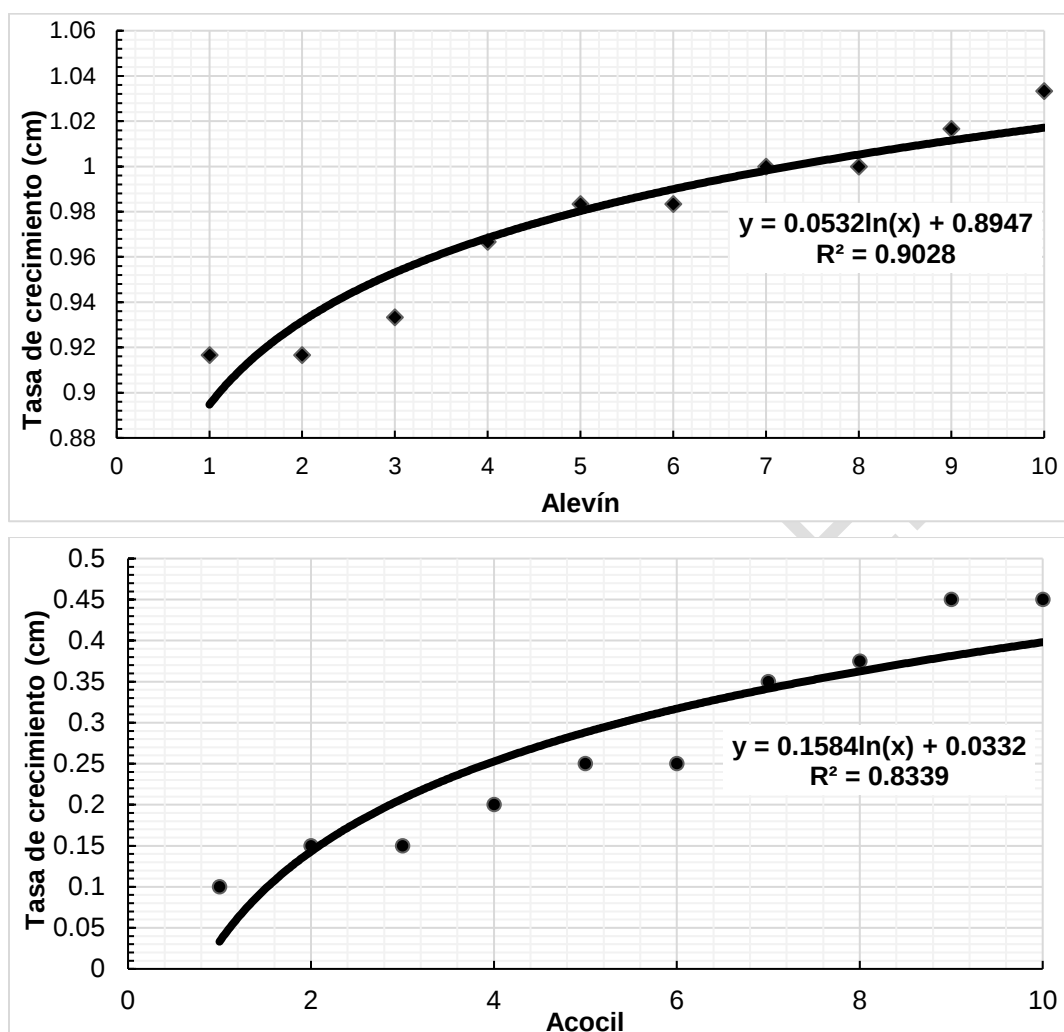


Figura 5. Curvas y tasas de crecimiento de *O. niloticus* (arriba) y *P. veracruzanus* (abajo).

El porcentaje de sobrevivencia en *O. niloticus* se estableció en un 60 %, ya que, de 30 organismos establecidos en el sistema acuapónico, sobrevivieron 18 individuos. En cuanto a sobrevivencia de *P. veracruzanus*, esta alcanzó el 80 %, ya que de 15 organismos que se ingresaron al sistema acuapónico, sobrevivieron 12 ejemplares (Tabla 4).

Tabla 4. Parámetros de sobrevivencia de alevines de mojarra y acociles en acuaponía.

Parámetros de sobrevivencia	Organismos vivos finalmente	Organismos vivos inicialmente	Tasa de sobrevivencia (%)
Mojarra	18	30	60
Acociles	12	15	80

Los alevines de *O. niloticus* se adaptaron a las condiciones del sistema acuapónico, ya que su tasa de crecimiento, desarrollo y sobrevivencia fueron adecuados, al presentar un incremento en longitud, peso y sobrevivencia; no obstante, en otras densidades de cultivo y condiciones más controladas, se puede mejorar el rendimiento y aumentar la sobrevivencia, ya que Barbosa et al. (2022) obtuvieron una sobrevivencia del 81 % y tilapias de 0.567 kg en un sistema acuapónico de balsas flotantes y camas de sustrato.

Cuando comparamos nuestros resultados con los de Ani et al. (2022) quienes compararon dos densidades de siembra de cultivo de tilapia para evaluar su tasa de crecimiento; obteniendo un rendimiento adecuado, puesto que los alevines sembrados (150 peces/m³) aumentaron de su tasa de crecimiento de 17.9 ± 1.7 g a 42.6 ± 3.1 g, mientras que con 300 peces/m³ aumentaron su tasa de crecimiento de 18.2 ± 2.2 g a 32.0 ± 3.8 g. Sin embargo, hay que considerar que el sistema acuapónico utilizado en este estudio fue de 1 m³ con densidad de siembra de 30 alevines, por lo que la densidad puede jugar un papel importante en la variación en las tasas de crecimiento.

En relación con el efecto de los parámetros fisicoquímicos del flujo de agua como pH, amonio, nitritos y nitratos sobre los alevines, estos se mantuvieron en los parámetros estándar, como el pH que se mantuvo en 7.6 unidades, lo que ayuda a los alevines y cualquier especie acuícola, a tener un buen metabolismo, esto se relaciona con lo reportado por Gebauer et al. (2021) quienes indican que la sobrevivencia y desarrollo de los peces está influenciado con un pH de 7.5 a 8, ya de este depende la ingesta alimentaria diaria, la que puede metabolizarse adecuadamente.

Respecto a los acociles de *P. veracruzanus*, existe poca información sobre su biología en acuaponia, sin embargo, en este estudio, tuvieron una adaptación adecuada, ya que en todos los ejemplares, el peso se mantuvo constante y aumentó la longitud durante el experimento; para aumentar la sobrevivencia, se deben incrementar la cantidad de refugios para protección y albergue, además que con la asociación con tilapias, pudo haber propiciado efecto en la reducción de la alimentación y por lo tanto, un peso constante. De acuerdo con Hernández-Vergara et al. (2018), experimentaron con un sistema de recirculación con el policultivo de acociles de *P. acanthophorus* con tilapias *O. niloticus*, y determinaron que, a diferencia de los acociles, las tilapias presentaron una supervivencia y crecimiento similar en todos los tratamientos.

Conclusiones

La biología del desarrollo de alevines de tilapia *O. niloticus* presentó aumentos en peso y longitud, con una sobrevivencia mayor al 50 %. Con respecto a los acociles, solo la longitud aumentó durante el experimento, con una sobrevivencia mayor al 50 %. Las tasas de mortalidad se debieron al comportamiento territorial, a factores de estrés por condiciones de adaptación al sistema acuapónico y a la falta de refugios que fungen como resguardo y protección para peces y crustáceos.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, GLM, RSL, MCM; desarrollo de la metodología, GLM, RSL, MCM; manejo de software, GLM, RSL, MCM; validación experimental, MAGM, EPP, KPBH, PZC; análisis de resultados, GLM, RSL, MCM, MAGM, EPP, KPBH, PAM, RCLH, JLRA; Manejo de datos, escritura y preparación del manuscrito, GLM, RSL, MCM, MAGM, EPP, KPBH, IMP, RCLH, JLRA; redacción, revisión y edición, GLM, RSL, MCM, MAGM, EPP, KPBH, PAM, PZC, IMP, RCLH, JLRA; administrador del proyecto GLM, RSL, MCM; adquisición de fondos, GLM, RSL, MCM, MAGM, EPP, KPBH, PZC. Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

Financiamiento

Esta investigación no recibió financiamiento externo. Esta investigación fue financiada con fondos propios de los autores.

Declaraciones éticas

El presente estudio no requiere aprobación ética.

Declaración de consentimiento informado

No aplica.

Agradecimientos

A Luis David Pérez Gracida por el apoyo técnico en las biometrías. Al CONAHCYT (actualmente SECIHTI) de México por la beca otorgada para estudios de maestría al primer autor.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Ani, J. S., Manyala, J. O., Masese, F. O., & Fitzsimmons, K. (2022). Effect of stocking density on growth performance of monosex Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the aquaponic system integrated with lettuce (*Lactuca sativa*). *Aquaculture and Fisheries*, 7(3), 328-335. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.03.002>
- Arredondo-Figueroa, J. L., Vásquez-González, A., Núñez-García, L. G., Barriga-Sosa, I. de los Á., & Ponce-Palafox, J. T. (2011). Aspectos reproductivos del acocil *Cambarellus* (*Cambarellus*) *montezumae* (Crustacea: Decapoda: Cambaridae) en condiciones controladas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(1), 1. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.1.369>

- Barbosa, P., Povh, J., Farias, K., Silva, T., Teodoro, G., Ribeiro, J., Stringhetta, G., Fernandes, C., & Corrêa Filho, R. (2022). Nile tilapia production in polyculture with freshwater shrimp using an aquaponic system and biofloc technology. *Aquaculture*, 551, 737916. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.737916>
- Campos-Pulido, R., Alonso-López, A., Asiaín-Hoyos, A., Reta-Mendiola, J. L., & Álvaro-De La Cruz, D. A. (2015). La acuaponía, diversificación productiva sustentable. *AgroProductividad*, 8(3), 66. <https://mail.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/663>
- Colorado Gómez, M. A., & Ospina Correa, M. (2019). La acuaponía como herramienta de formación en tiempos de paz. *Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)*. <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/5555>
- El-Essawy, H., Nasr, P., & Sewilam, H. (2019). Aquaponics: A sustainable alternative to conventional agriculture in Egypt – a pilot scale investigation. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(16), 15872-15883. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04970-0>
- El-Kady, A., Magouz, F., Mahmoud, S., & Abdel-Rahim, M. (2022). The effects of some commercial probiotics as water additive on water quality, fish performance, blood biochemical parameters, expression of growth and immune-related genes, and histology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 546. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737249>
- Flores-Aguilar, P. S., Sánchez-Velázquez, J., Aguirre-Becerra, H., Peña-Herrejón, G. A., Zamora-Castro, S. A., & Soto-Zarazúa, G. M. (2024). Can aquaponics be utilized to reach zero hunger at a local level?. *Sustainability*, 16(3), 1130. <https://doi.org/10.3390/su16031130>
- FAO, FIDA, OPS, WFP & UNICEF. (2020). *Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe 2020*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago de Chile. Chile. <https://doi.org/10.4060/cb2242es>
- Gámez, L. C. (2018). Cultivo de acuaponia de camarón (*Litopenaeus vannamei*) y tomate (*Solanum Lycopersicum* L cv uva) en baja salinidad suministrando diferentes concentraciones de nitratos. Instituto Politécnico Nacional. México. <http://www.cienciasinaloa.ipn.mx/jspui/handle/123456789/67>
- Gebauer, T., Gebauer, R., Palińska-Żarska, K., Císař, P., Movchan, O., Tomášek, O., Prokešová, M., Matoušek, J., Hliwa, P., Król, J., Żarski, D., Rebl, A., & Stejskal, V. (2021). Assessment of behavioural and physiological traits as indicators of suitability for European perch aquaculture. *Aquaculture*, 544, 737048. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737048>
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. M. (2019). Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future. pp. 201–229. In: Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., Burnell, G.M. (Eds.). *Springer International Publishing*: Cham, Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>

- Goddek, S.; Joyce, A.; Wuertz, S.; Körner, O.; Bläser, I.; Reuter, M.; Keesman, K.J. *Decoupled Aquaponics Systems BT—Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*; Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., Burnell, G.M., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2019; pp. 201–229. ISBN 978-3-030-15943-6
- Hernández-Vergara, M. P., Cruz-Ordóñez, S. B., Pérez-Rostro, C. I., & Pérez-Legaspi, I. A. (2018). Policultivo del acocil (*Procambarus acanthophorus*) y tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) como estrategia de uso sustentable del agua. *Hidrobiológica*, 28(1), 11–15. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2018v28n1/HernandezV>
- Kaneshima G. K., De La Cruz Barrueto, K. N., Ponciano Quezada, M. Á., Toledo Meza, N., & Malpica, Z. G. C. (2022). Efecto de la temperatura en el crecimiento de juveniles de *Oreochromis niloticus* tilapia en un sistema de recambio acuícola (RAS). *Manglar*, 19(1), 39–44. <https://doi.org/10.17268/manglar.2022.005>
- Lara-Espinoza, C. L., Espinosa-Plascencia, A., Rivera-Domínguez, M., Astorga-Cienfuegos, K. R., & Acedo-Félix, E., & Bermúdez-Almada, M. del C. (2015). Desarrollo de camarón *Litopenaeus vannamei* en un sistema de cultivo intensivo con biofloc y nulo recambio de agua. *AquaTIC*, 43, 1-13. redalyc.org/pdf/494/49447307001.pdf
- León Cañedo, J. A. (2013). Calidad del agua y balance de Cu, Fe, Mn y Zn en un cultivo acuapónico de camarón (*Litopenaeus vannamei*), tomate (*Lycopersicon esculentum*) y lechuga (*Lactuca sativa*) con agua de baja salinidad y cero recambio. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México. [132.248.9.195/ptd2013/agosto/0699503/0699503.pdf](https://ptd2013/agosto/0699503/0699503.pdf)
- Lorán-Núñez, R. M., Valdéz-Guzmán, A. J., & Martínez-Isunza, F.R. (2009). Estudio biológico-pesquero del “burro” *Atya scabra* en el río Los Pescados y río Actopan, Veracruz, México. *Ciencia Pesquera*, 17(1), 5-16. www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/541992/CP17_1_01_Estudio_biologico-pesquero_del_burro_Atya_scabra_en_el_r_o_Los_Pescados_y_r_o_Actopan_Veracruz_M_xico..pdf
- Muñoz-Euán, N., Mendoza-Espinosa, L., & Correa-Reyes, J.G. (2024). The Use of Aquaponic Systems to Achieve the Sustainable Development Objectives of the 2030 Agenda: A Systematic Review. In: Kumar, N. (Ed). *Hydroponics*. Encyclopedia of Sustainability Science and Technology Series. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3993-1_7
- Palm, H. W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S. M., Vermeulen, T., Haïssam Jijakli, M., & Kotzen, B. (2018). Towards commercial aquaponics: A review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture International*, 26(3), 813-842. <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0249-z>

- Puentes, A. J., Ramos, Y. C. M., Prado, W. E., & Hidalgo, J. Á. (2023). Supervivencia del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en relación con los parámetros de calidad del agua. *Revista Granmense de Desarrollo Local*, 7(1): 54-72. files.core.ac.uk/download/587866597.pdf
- Rahman, M. H., Haque, M. M., Alam, M. A., Flura, Rahman, M. H., Haque, M. M., Alam, M. A., & Flura. (2022). A study on the specific growth rate (SGR) at different stages of tilapia (*Oreochromis niloticus*) production cycle in tank based aquaculture system. *International Journal of Aquaculture and Fishery Sciences*, 8(2), 059–065. <http://dx.doi.org/10.17352/2455-8400.000079>
- Ramos Tameirão, E., Marcos Rubim, F., Alexsandra Felix, L., W. Fonseca Gonzaga, L., De Mello Brandão, H., David Solis Murgas, L., & Ferrante, M. (2022). Modelo farmacocinético de florfenicol en tilapias (*Oreochromis niloticus*) sometidas a diferentes temperaturas de crianza. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 33(6), e22433. <https://doi.org/10.15381/rivep.v33i6.22433>
- Ronzón-Ortega, M., Hernández, M., & Pérez-Rostro, C. (2012). Hydroponic and aquaponic production of sweet basil (*Ocimum basilicum*) and giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15, S63–S71. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.1745>
- Saha, S., Monroe, A., & Day, M. R. (2016). Growth, yield, plant quality and nutrition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under soilless agricultural systems. *Annals of Agricultural Sciences*, 61(2), 181-186. <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2016.10.001>
- Sawkar, R. H., Hiregoudar, L. G., & Bharadwaj, S. (2020). Aquaponics: A Modern Agriculture Technology to Overcome Water Scarcity and Drought. *Journal of the Geological Society of India*, 95(1), 108-109. <https://doi.org/10.1007/s12594-020-1392-5>
- Schardong, R. M. F., Moro, M. F., & Bonilla, O. H.,(2020). Aquaponic System with White Shrimp *Litopenaeus vannamei* Rearing and Production of the Plants *Batis maritima*, *Sarcocornia neei* and *Sporobolus virginicus*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 63, 2-11. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2020190118>
- Schoor, M., Arenas-Salazar, A. P., Torres-Pacheco, I., Guevara-González, R. G., & Rico-García, E. (2023). A review of sustainable pillars and their fulfillment in agriculture, aquaculture, and aquaponic production. *Sustainability*, 15(9), 7638. <https://doi.org/10.3390/su15097638>
- Serna-Lagunes, R., Zúñiga-Vega, J. J., Díaz-Rivera, P., Clemente-Sánchez, F., Pérez-Vázquez, A., & Reta-Mendiola, J. L. (2010). Variabilidad morfológica y crecimiento corporal en cuatro poblaciones de *Crocodylus moreletii* en cautividad. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81(3), 713–719. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2010.003.643>
- Somerville, C. (2014). *Small-scale aquaponic food production – Integrated fish and plant farming*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i4021e>

- Zappernick, N., Nedunuri, K. V., Islam, K. R., Khanal, S., Worley, T., Laki, S. L., & Shah, A. (2022). Techno-economic analysis of a recirculating tilapia-lettuce aquaponics system. *Journal of Cleaner Production*, 365, 132753. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132753>
- Zar, J. H. (2010). *Biostatistical Analysis* (5a ed.). Prentice Hall, New Jersey. 944 pp. [Biostatistical Analysis | Pearson eLibrary](#)

ARTÍCULO EN PRENSA