

Revista Ciencias del Mar UAS

Abril - Junio 2024

Núm. 3 Vol.1



U N I V E R S I D A D A U T Ó N O M A D E S I N A L O A



E-ISSN (en trámite)



Artículo Científico

Evaluación de variables productivas de *Oreochromis niloticus* en sistema de recirculación acuícola y acuícola tradicional.

Evaluation of productive variables of *Oreochromis niloticus* in recirculating aquaculture and traditional aquaculture systems.



CREATIVE COMMONS



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el origina



1. Héctor A. Leyva-Hernández



0000-0002-9429-3478

Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología,
Universidad Autónoma de Occidente,
Unidad Regional Los Mochis,
Boulevard Macario Gaxiola s/n, 81217, Sinaloa, México.



2. Julio C. Romero-Salazar

Departamento Académico de Ciencias Naturales y Exactas,
Universidad Autónoma de Occidente,
Unidad Regional Los Mochis,
Boulevard Macario Gaxiola s/n, 81217, Sinaloa, México.



3. Cristhian A. Espinoza-Villegas

Departamento Académico de Ciencias Naturales y Exactas,
Universidad Autónoma de Occidente,
Unidad Regional Los Mochis,
Boulevard Macario Gaxiola s/n, 81217, Sinaloa, México.



4. Paola Valenzuela-García



0009-0003-9528-499X

Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología,
Universidad Autónoma de Occidente,
Unidad Regional Los Mochis,
Boulevard Macario Gaxiola s/n, 81217, Sinaloa, México.



5. Marco A. Arciniega-Galaviz



0000-0001-8532-7130

Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología,
Universidad Autónoma de Occidente,
Unidad Regional Los Mochis,
Boulevard Macario Gaxiola s/n, 81217, Sinaloa, México.



6. Jesús G. Luna-Valdez



0000-0001-6286-3133

Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología,
Universidad Autónoma de Occidente,
Unidad Regional Los Mochis,
Boulevard Macario Gaxiola s/n, 81217, Sinaloa, México.



7. Pedro Hernández-Sandoval



0000-0001-7005-4555

Departamento Académico de Ciencias Naturales y Exactas,
Universidad Autónoma de Occidente,
Unidad Regional Los Mochis,
Boulevard Macario Gaxiola s/n, 81217, Sinaloa, México.

Autor de correspondencia:

pedro.hernandez@uadeo.mx



Evaluación de variables productivas de *Oreochromis niloticus* en sistema de recirculación acuícola y acuícola tradicional.

Evaluation of productive variables of *Oreochromis niloticus* in recirculating aquaculture and traditional aquaculture systems.

► RESUMEN

La finalidad de este trabajo fue evaluar las variables productivas y calidad del agua de un cultivo de tilapia en Sistema de Recirculación Acuícola (SRA) y en Acuícola Tradicional (SAT), cada SRA constó de un contenedor cúbico de 1 m³ conectado a un filtro mecánico (piedra caliza) y a un filtro biológico (tezontle), el flujo permaneció constante con una bomba sumergible en un reservorio donde se captó el efluente, el SAT no tuvo filtros, ambos contaron con aireación constante. Se utilizaron alevines masculinizados (25 m³ por triplicado; N=150), se midieron longitud y peso total cada 21 días, se calculó: Peso Ganado (PG), Crecimiento Promedio Diario (CPD), Tasa de Crecimiento Específica (TCE), Factor de Conversión Alimenticia (FCA), Biomasa (B), Supervivencia (S), Consumo de agua/biomasa final y Rendimiento de Filete (RF). Diariamente se midieron temperatura, oxígeno disuelto, pH y cada tres semanas nitritos, nitratos y amoníaco. Se aplicaron análisis de normalidad, Anova y t-test ($P<0.05$). El SRA fue mejor en PF, CPD, Consumo de Agua: Biomasa Final y RF. La S, FCA, TCE y B fueron similares en ambos sistemas. La calidad de agua en ambos tratamientos se mantuvo en condiciones apropiadas para el cultivo. El SRA fue mejor que el SAT.

Palabras clave: SRA, *Oreochromis niloticus*, variables productivas, variables físico-químicas.



► ABSTRACT

The purpose of this work was to evaluate the productive variables and water quality of a tilapia culture in a Recirculating Aquaculture System (SRA) and in Traditional Aquaculture (SAT), each SRA consisted of a 1 m³ cubic container connected to a mechanical filter (limestone) and a biological filter (volcanic rock), the flow remained constant with a submersible pump in a reservoir where the effluent was captured, the SAT did not have filters, they had constant aeration. Masculinized fry were used (25 m³ in triplicate; N=150), length and total weight were measured every 21 days, the following were calculated: Weight Gained (PG), Average Daily Growth (CPD), Specific Growth Rate (SGR), Factor Feed Conversion (FCA), Biomass (B), Survival (S), Water consumption/final biomass and Fillet yield (RF). Temperature, dissolved oxygen, and pH were measured daily, and Nitrites, Nitrates, and Ammonium were measured every three weeks. Normality, ANOVA and t-test t analysis were applied. The SRA was better in PF, CPD, Water Consumption: Final Biomass and RF. The S, FCA, TCE and B were similar in both systems. The water quality in both treatments was maintained in appropriate conditions for the crop. The SRA was better than the SAT.

Keywords: RAS, *Oreochromis niloticus*, productive variables, physical-chemical variables.

► INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una búsqueda continua de técnicas que permitan producir suficiente alimento para satisfacer la demanda de toda la población (Villa-Cruz, 2009). La acuicultura se considera una gran opción para producir alimentos de origen acuático. A nivel mundial, juega un papel económico muy importante en la industria de producción de alimentos debido al alto contenido de proteína que se encuentra en la harina de pescado como alimento para humanos (Soto-Zarazúa *et al.*, 2010), sin embargo, ejerce presión sobre los recursos bióticos y abióticos y no está libre de la emisión de contaminantes (Tucker & Hargreaves, 2008). El desarrollo de dicha actividad productiva conlleva un deterioro ambiental.



Los Sistemas de Recirculación Acuícola (SAR) surgen para satisfacer una demanda de sistemas productivos más eficientes (FAO, 2016; Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G.M., 2019) que permitan generar menor impacto ambiental negativo que los sistemas tradicionales (Subasinghe, R., Soto, D., & Jia, J., 2009), por otro lado, el crecimiento y desarrollo productivo acuícola dependen del mejoramiento de tecnologías para optimizar los recursos, incrementar la producción, maximizar el uso de agua, nutrientes y minimizar los impactos ambientales negativos, por lo que la implementación de sistemas de recirculación cerrados o de menor intercambio de agua es una necesidad predominante (Béné *et al.*, 2016). Aunque está en sus inicios y aún se considera una innovación reciente, la tecnología básica de SAR existe desde hace más de 65 años, y la primera actividad pionera de investigación de SAR se llevó a cabo en Japón en la década de 1950 (Murray, F., Bostock, J., & Fletcher, D., 2014; Saeki, 1958).

El principio básico del SAR es recircular el agua a través del cultivo acuícola de manera continua, haciéndola fluir a través de contenedores, pero la recirculación implica el tratamiento del agua de descarga y su devolución al sistema acuícola, y de acuerdo con Nilav-Aich, Suman-Nama, Abhilipsa-Biswal & Tapas-Paul (2020) sus principales componentes incluyen un tanque de cultivo, filtro mecánico, filtro biológico, fuente de oxígeno y sumidero y bomba sumergible de circulación de agua, sin embargo, la búsqueda de nuevos elementos que aporten mejoras a los SAR es continua, por tal razón en esta investigación se realizó la comparación de variables productivos de Tilapia en este tipo de sistema con los sistemas de filtración mencionados, con un sistema acuícola tradicional.

► MATERIAL Y MÉTODOS

Obtención de organismos experimentales

Se obtuvieron alevines masculinizados de Tilapia *Oreochromis niloticus* (n=150) de la granja “Desarrollo Integral de Bacurato, S.A. de C.V” en Sinaloa, México, se transportaron en bolsas plásticas con agua a saturación de oxígeno, hasta la Unidad Regional Los Mochis de la Universidad Autónoma de Occidente. Se aclimataron durante dos horas

en una tina de fibra de vidrio de 1000L con agua dulce a saturación de oxígeno y a temperatura ambiente ($25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) y se mantuvieron en estas condiciones por dos semanas.

Descripción de los sistemas experimentales

Consistió en un Sistema de Recirculación Acuícola (SRA) y un Sistema Acuícola Tradicional (SAT) ambos por triplicado. El SRA (Figura 1) estuvo compuesto por un contenedor cúbico de plástico de 1 m^3 de capacidad conectado a un filtro mecánico de 20 L compuesto por piedra caliza (4-7 mm) como medio filtrante, el efluente se hizo pasar por gravedad a través de un filtro biológico (20 L) con tezontle como sustrato, para permitir el desarrollo de bacterias nitrificadoras. El agua recirculó por el SRA con la ayuda de una bomba sumergible de 600L/h (AquaKrill ®, mod. 6004, de 8W) de capacidad, ubicado en un reservorio de 80 L donde se captó el efluente, el flujo se ajustó a 2 L/min. El SAT no contó con sistemas de filtros. Ambos sistemas se mantuvieron con aireación constante con un blower (OM Machine, Mod RB-750 de 1 Hp) y piedras difusoras. En el SAR, cada siete días (semanalmente) se recuperaron niveles de agua pérdida por evaporación, mientras que en el SAT se hizo recambio de agua del 90% del volumen total cada tres semanas.

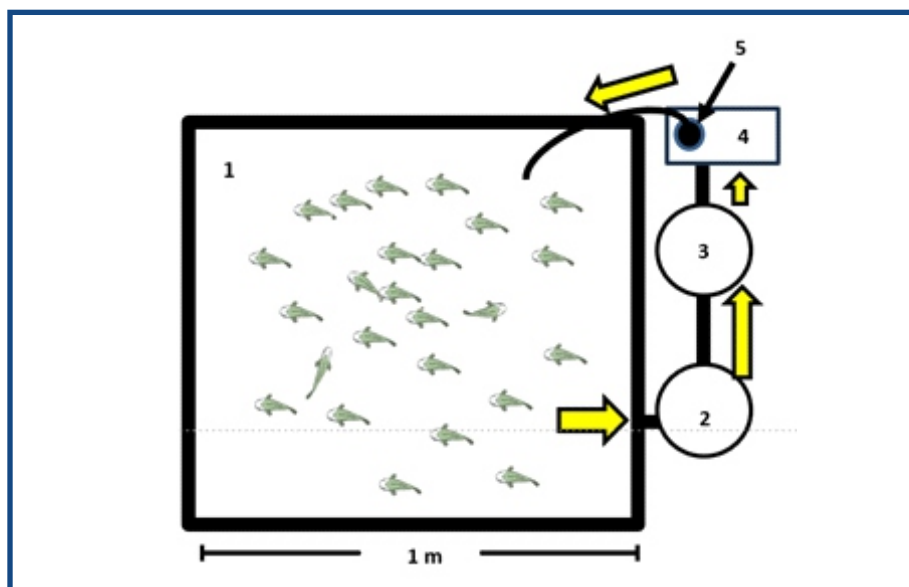


Figura 1 Sistema Recirculación Acuícola (SRA): 1. Contenedor con peces (1000 L), 2. Filtro mecánico (20 L), 3. Filtro biológico (20 L), 4. Reservorio, 5. Bomba sumergible (25 W). Flechas amarillas indican dirección del flujo de agua.



Manejo de Tilapia (*O. niloticus*)

Los organismos fueron colocados al azar en las unidades experimentales a una densidad de 25 alevines por m³, se tomaron medidas de longitud total (LT) con un ictiometro convencional (0.1 mm) y de peso total (PT) con una balanza digital Hyiear (Modelo HS-ML0001, ± 0.1 g). Al inicio del bioensayo se les proporcionó alimento (“El Pedregal”, 45% de proteína, 1.5 mm de diámetro) cuatro veces al día (8:00, 11:00, 14:00 y 17:00 h), después de tres semanas (primera biometría) se redujo a dos raciones (35% proteína) (10:00 y 16:00 h), también se ajustó la cantidad de alimento de acuerdo con la biomasa calculada en cada biometría de acuerdo con tablas de alimentación específicas para tilapia. Se realizaron cinco biometrías, una cada tres semanas, consistieron en medir el PT y LT de cada organismo. Para ello, en el SRA, el 90% del volumen total se trasladó a otro contenedor para reducir el nivel del agua y capturar el total de peces con redes de mano para ser medidos y pesados. Posteriormente la misma agua fue regresada al SRA. En el SAC se realizó el mismo procedimiento, pero el volumen retirado fue reemplazado por agua limpia.

El desempeño productivo (Tilapia)

Se utilizaron modelos estándar (Hernández-Vergara, M. P., Rouse, D. B., Olvera-Novoa, M.A. & Davis, D.A. 2003; Vargas-Rodríguez 2008; López-Aguilar, R., Murillo-Amador, B. & Rodríguez-Quezada, G., 2009):

$$\text{Peso Ganado (PG, g)} = (PF - PI)$$

$$\text{Crecimiento Promedio Diario (CPD, g/día)} = (PF - PI)/t$$

$$\text{Tasa de Crecimiento Específica (TCE, \%/día)} = ((\ln PF - \ln PI)/t) \cdot 100$$

$$\text{Factor de Conversión Alimenticia (FCA)} = AC/PG$$

$$\text{Biomasa (B, kg/m}^3\text{)} = PT / V$$

$$\text{Supervivencia (S, \%)} = (NF / NI) \cdot 100$$

$$\text{Consumo de agua/biomasa final (CA: BF, m}^3\text{/kg)} = CA: BF = m^3 / BF$$

$$\text{Rendimiento de filete (R:F, \%)} = (PTF/PTP) \cdot 100$$



En donde: NF=Número Final de peces; NI=Número Inicial de peces; 100=Constante para expresar el resultado en porcentaje. PT=Peso total; V=Volumen de agua. PF=Peso final; PI=Peso inicial; t=Tiempo. LnPF=Logaritmo natural de peso final; LnPI=Logaritmo natural del peso inicial. AC=Alimento consumido; PG=Peso Ganado. m^3 =Volumen de agua utilizada; BF= Biomasa Final. PTF=Peso Total del Filete; PTP=Peso Total del Pescado.

Variables físico-químicos del agua

Durante el periodo experimental, se mantuvieron las mismas condiciones ambientales de temperatura y fotoperiodo natural para SRA y SAT. Todos los días se midió la temperatura ($^{\circ}C$) y la concentración de oxígeno disuelto (mg/l) con un oxímetro portátil (HANNA®, mod. HI98193), el pH con un potenciómetro portátil (HANNA®, mod. HI98127). Cada tres semanas se determinó la concentración de Nitritos (NO_2^-), Nitratos (NO_3^-) y Nitrógeno Amoniacal Total (TAN) en los tanques de cultivo del SAR y SAT, para ello se utilizó un API Freshwater Master Test Kit®.

Análisis estadístico

Todos los grupos de datos generados fueron sometidos a pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov, $P>0.05$) y homogeneidad de varianza (Levene $P>0.05$). Se calcularon estadísticas descriptivas y se aplicó prueba t-test ($P<0.05$), para comparaciones entre más de dos grupos se utilizó ANOVA unifactorial ($P<0.05$), para el análisis de las diferencias entre medias se aplicó prueba de Tukey ($P<0.05$) (Zar, 1999). Para todos los análisis se utilizó el software estadístico SigmaPlot v.12.5z.

▶ RESULTADOS

Desempeño productivo

Los valores promedio de las variables productivas calculadas se presentan en la Tabla I. Se observaron diferencias significativas (t-test, $P<0.05$) en el Peso Final, Crecimiento Promedio Diario, Consumo de agua/biomasa y en el Rendimiento del Filete, siendo mayor en el SRA, excepto en el consumo de agua, donde fue considerablemente menor en

este. Las demás variables no presentaron diferencias significativas entre ellas ($P>0.05$), sin embargo, se pudo observar que fue ligeramente mayor el Peso Ganado, Crecimiento Promedio Diario, Tasa Especifica de Crecimiento, Biomasa y Supervivencia en el SRA, por otro lado, el FCA fue mayor en el Sistema Acuícola Convencional.

Tabla 1-Se muestran los valores promedio de las variables productivas de *Oreochromis niloticus* en Sistema de Recirculación Acuícola (SRA) y en el Sistema Acuícola Tradicional (SAT).

Variable Productiva	SRA	SAT
Peso Inicial (g)	3.02 ± 0.18	2.56 ± 0.39
Peso Final (g)*	220.01 ± 6.18*	201.69 ± 6.44*
Peso Ganado (g)	216.84 ± 7.94	204.82 ± 14.34
Crecimiento Promedio Diario (g/día)*	2.07 ± 0.06*	1.91 ± 0.06*
Tasa Crecimiento Especifica (%/día)	4.34 ± 0.09	4.29 ± 0.07
Factor de Conversión Alimenticia (FCA)	1.87 ± 0.02	1.93 ± 0.13
Biomasa (Kg/m ³)	5.21 ± 0.29	4.37 ± 0.67
Biomasa Total (Kg)	15.62	13.1
Supervivencia (%)	95 ± 3.5	84 ± 16
Consumo Agua: Biomasa Final (m ³ /Kg)	0.07	1.04
Rendimiento del Filete (R:F %)*	25.6 ± 2.81*	20.22 ± 0.73*

* Indica diferencias significativas (t-test, $P<0.05$, promedio ± Error estándar).

Al comparar el crecimiento promedio en peso (g) de las tilapias en ambos sistemas en cada biometría, se encontraron diferencias significativas (t-test, $P<0.05$) a partir de la segunda biometría, siendo mayor en la SRA que en SAC (Figura 2).

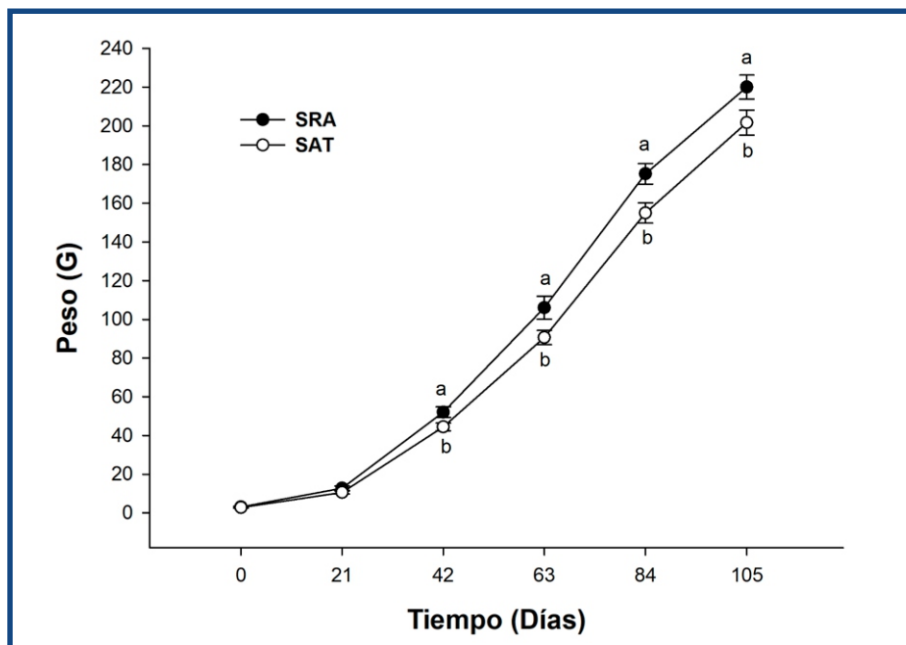


Figura 2-Comparación del incremento en peso de *Oreochromis niloticus* en cada biometría durante el periodo experimental. Se observa promedio ± E.S. (Letras distintas indican diferencias significativas; t-test, $P<0.05$).

Variables físico-químicas del agua

La concentración de oxígeno disuelto, Temperatura, pH y Amoniaco en el SAR y en el SAT no presentaron diferencias significativas (t-test, $P>0.05$) (Tabla II). Sin embargo, se observan valores ligeramente más elevados en el oxígeno disuelto, Temperatura y pH del SRA. La concentración de amoniaco fue más elevada en el SAT al igual que la de nitritos (t-test, $P>0.05$), sin embargo, los nitratos estuvieron en mayor concentración en el SAT (t-test, $P<0.05$) (Tabla II).

En la Tabla III se observan los valores promedio ($\bar{X} \pm E.S.$) de las variables físico-químicas de SRA durante el transcurso del bioensayo, se puede observar que la concentración de oxígeno disuelto (mg/L) disminuyó conforme transcurrió el cultivo, presentó su valor más bajo a los 84 días (cuarta biometría), se presentaron diferencias significativas en el tiempo (ANOVA, $P<0.05$; Tukey $P<0.05$).

Tabla II-Comparación de las variables físico-químicas en el periodo experimental del Sistema de Recirculación Acuícola (SRA) y en Sistema Acuícola Tradicional (SAT).

Variable Ambiental	SRA	SAT	Valor de P
OD (mg/L)	5.41 ± 1.44	5.11 ± 1.48	>0.05
Temperatura (°C)	28.61 ± 0.40	28.49 ± 0.49	>0.05
pH	7.38	7.11	>0.05
Amoniaco (mg/L)	1.15 ± 0.76	2.29 ± 0.78	>0.05
Nitritos (mg/L)	1.59 ± 0.06	2.04 ± 0.11	>0.05
Nitratos (mg/L)	8.18 ± 6.07	3.71 ± 1.25	>0.05

Se observan los promedios ± E.S.

La temperatura, pH y amoniaco de agua no presentaron diferencias significativas (ANOVA, $P>0.05$) durante el desarrollo del bioensayo; los nitritos (NO_2^-) presentaron valores relativamente elevados, pero solo se presentaron diferencias significativas con las demás (ANOVA, $P<0.05$; SNK, $P<0.05$) a los 63 días de cultivo. La concentración de nitratos fue elevada a los 42 días de cultivo presentando diferencias significativas (ANOVA, $P<0.05$; Tukey, $P<0.05$) con los demás. A los 21 días de cultivo no se realizó la lectura de las variables amoniaco, nitritos y nitratos, debido que aún no transcurría el tiempo recomendado para maduración del filtro biológico.

Tabla III-Comportamiento de las variables físico-químicas durante el periodo experimental en el Sistema de Recirculación Acuícola (SRA).

Variable ambiental	Tiempo (días)				
	21	42	63	84	105
OD (mg/L)	7.59 ± 0.19 ^a	5.82 ± 0.21 ^b	5.51 ± 0.62 ^b	3.93 ± 0.43 ^c	4.93 ± 0.37 ^c
Temperatura (°C)	29.17 ± 0.48 ^a	28.77 ± 0.28 ^a	27.43 ± 0.18 ^a	29.67 ± 0.20 ^a	28.00 ± 0.21 ^a
pH	8.87 ± 0.68 ^a	7.29 ± 0.10 ^a	7.33 ± 0.18 ^a	7.07 ± 0.13 ^a	7.01 ± 0.06 ^a
Amoniaco (mg/L)	-	0.42 ± 0.08 ^a	3.42 ± 1.69 ^a	0.33 ± 0.08 ^a	0.42 ± 0.08 ^a
Nitritos (mg/L)	-	0.67 ± 0.17 ^a	5.00 ± 0.00 ^b	0.417 ± 0.08 ^a	0.251 ± 0.00 ^a
Nitratos (mg/L)	-	31.67 ± 4.21 ^a	0.25 ± 0.00 ^b	0.33 ± 0.08 ^b	0.50 ± 0.00 ^b

Se observan los promedios ± E.S. Letras distintas indican diferencias significativas (ANOVA; $P < 0.05$; Tukey; $P < 0.05$).

En el SAT (Tabla IV), la concentración de oxígeno disuelto (mg/L) disminuyó conforme transcurrió el cultivo, se presentaron diferencias significativas (ANOVA, $P < 0.05$; Tukey $P < 0.05$), al igual que en la temperatura del agua y en los valores de pH. La concentración de amoniaco (NH_3) no presentó diferencias significativas (ANOVA, $P > 0.05$) entre sus valores, pero, a partir de los 63 días de cultivo, la concentración fue muy elevada y fuera de los valores óptimos para la especie; Los nitritos (NO_2^-) presentaron valores relativamente elevados durante todo el periodo experimental, especialmente a los 63 días de cultivo (ANOVA $P < 0.05$; Tukey $P < 0.05$), sin embargo, su concentración bajo considerablemente en las siguientes tomas de datos. El nitrato a los 42 días de cultivo se observó una concentración muy elevada, con diferencias significativas (ANOVA $P < 0.05$; Tukey $P < 0.05$) con los demás, las cuales, a pesar de no presentar diferencias significativas se observa un incremento en la concentración de estos.

Tabla IV-Comportamiento de las variables físico-químicas durante el periodo experimental en el Sistema Acuícola Tradicional (SAT).

Variable ambiental	Tiempo (días)				
	21	42	63	84	105
OD (mg/L)	7.65 ± 0.09 ^a	5.75 ± 0.44 ^b	5.52 ± 0.13 ^b	3.94 ± 0.34 ^c	3.65 ± 0.151 ^c
Temperatura (°C)	28.77 ± 0.09 ^a	28.83 ± 0.21 ^a	27.53 ± 0.18 ^b	30.0 ± 0.12 ^c	27.31 ± 0.102 ^b
pH	8.63 ± 1.04 ^a	7.27 ± 0.07 ^b	7.23 ± 0.13 ^b	6.00 ± 0.12 ^c	7.23 ± 0.033 ^b
Amoniaco (mg/L)		0.42 ± 0.08 ^a	4.08 ± 1.92 ^a	1.83 ± 1.09 ^a	2.83 ± 1.167 ^a
Nitritos (mg/L)		2.00 ± 0.06 ^a	5.00 ± 0.06 ^b	0.58 ± 0.22 ^c	0.58 ± 0.222 ^c
Nitratos (mg/L)		8.333 ± 1.67 ^a	1.83 ± 1.09 ^b	1.83 ± 1.09 ^b	2.83 ± 1.17 ^{ab}

Se observan los promedios ± E.S. Letras distintas indican diferencias significativas (ANOVA; $P < 0.05$; Student Newman Keuls; $P < 0.05$).

► DISCUSIÓN

Desempeño productivo

En esta investigación se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el crecimiento en peso (g) de las tilapias entre ambos tratamientos a partir de la segunda biometría (42 días), además, el peso promedio final obtenido fue significativamente mayor en SRA (220.01 ± 6.18 g) que en SAT (201.69 ± 6.44 g), al igual que el crecimiento promedio diario o CPD (2.07 ± 0.06 en SRA y 1.91 ± 0.06 en SAT) y el rendimiento del filete (25.6 ± 2.81 y 20.22 ± 0.73 en SRA y SAT respectivamente) en 105 días de cultivo, al respecto, Wang *et al.* (2023), no encontraron diferencias significativas en el crecimiento y respuesta al estrés en *O. niloticus* en SRA, sometido a distintos regímenes de fotoperiodo (12-L:12-O, 18-L:6-O, 24-L:0-O), pero el crecimiento de las tilapias sometidas a 2000 lx fue significativamente mayor que la expuesta a 1000 y 3000 lx ($P < 0.05$) con peso final de 351.17 ± 10.59 g, eficiencia de crecimiento de 0.77 ± 0.26 , tasa de crecimiento específica de $2.65 \% \pm 0.21$ % por día y coeficiente de conversión alimenticia de 1.30 ± 0.36 en 160 días de cultivo; posiblemente las diferencias sean debido al tiempo de duración de ambas investigaciones, ya que no explican el comportamiento de las variables de calidad de agua en el tiempo. Li, X.L., Li, G., Zhang, S.Y. & Tao, L. (2013), evaluaron el desempeño



productivo del bicultivo de los peces dulceacuícolas *Allogynogenetic crucian* y *Carassius aureatus* en un SRA y la capacidad de remoción de nutrientes por un sistema de humedales acoplado al mismo, obtuvieron que el desempeño productivo está estrechamente relacionado con la calidad de agua. Gullian & Arámburu (2013) evaluaron variables productivas de *O. niloticus* en sistemas de recirculación con mínimo recambio de agua, en función de la densidad de cultivo (400, 500 y 600 peces/m³), y reportaron que esta no tuvo efecto sobre la supervivencia de los organismos, pero si en la homogeneidad de tallas, peso final, tasa específica de crecimiento y tasa absoluta de crecimiento, siendo significativamente menor ($P < 0.05$) en la densidad mayor (600 org/m³). Se observó un mayor crecimiento, peso final, crecimiento promedio diario y rendimiento de filete ($P < 0.5$) mayores en SRA que en el SAT, a pesar de que las variables ambientales no presentaron diferencias significativas entre ambos sistemas, sin embargo, en el SRA se observaron menores concentraciones de amoníaco y nitritos, pero sin diferencias significativas, no obstante, el gasto de agua fue considerablemente menor en SRA. Ramírez-Ballesteros (2013), reportó para *O. niloticus* en policultivo con *Cambarellus montezumae* y *Lactuca sativa*, un peso promedio final de 13.2 g en 90 días del bioensayo, probablemente la diferencia sea debida a la densidad de cultivo utilizadas de 149 peces/m³, contra 25 peces/m³ en este trabajo, por otro lado, la duración de los bioensayos fueron de 90 y 105 días respectivamente, también la supervivencia en este trabajo fue de 94% (SRA) y 84% (SAT), mientras que con Ramírez-Ballesteros (2013) fue de 81%, con las características descritas. Pandal-Baños (2019) por su parte, reportó en un cultivo experimental de tilapia (*O. niloticus*) un crecimiento de 279.93 ± 78.51 g en Sistema Tradicional (ST) y 183.49 ± 38.57 en Biofloc (BFL) ($P < 0.05$), durante 120 días a una densidad de 100 peces m³, el crecimiento final reportado fue superior al de esta investigación, pero el peso inicial fue de 110.92 ± 12.05 (ST) y 108.85 ± 12.59 (BFL), de la misma manera, la supervivencia reportada por este autor (83% en ST y 90% en BFL) fue similar a la encontrada aquí mismo, pero siendo mayor en el SRA que en el SAT. Pilco (2015) evaluó el efecto de dos densidades de cultivo (50 y 75 peces/m³) en las variables



productivas de *Piaractus brachypomus* en un sistema de recirculación acuapónica, encontraron diferencias significativas en el crecimiento ($P < 0.05$), siendo de 70.65 g en promedio en el tratamiento de 50 m³, y de 53.25 g en promedio en los de 75 m³, en 120 días de cultivo, en esta investigación se trabajó con densidades iguales de 25 m³, en ambos tratamientos, pero el crecimiento fue mayor en el SRA, el rendimiento (Kg/m³) fue de 3.54 (50 m³) y de 3.70 (75 m³) Kg/m³, siendo menor que el obtenido en este proyecto 5.21 y 4.37 (Kg/m³), la supervivencia fue de 96% en ambos tratamientos, parecida a la obtenida aquí (95% y 84%), quizás las diferencias se deban a la baja temperatura (26°C promedio) y oxígeno disuelto (4.41 mg/L promedio), sin descartar la biología propia de ambas especies; Juárez-Carballo (2016) evaluó los variables biológicos de la tilapia gris *O. niloticus* en un Sistema de Recirculación Acuapónica (SRAC) con tres especies de vegetales (*Lycopersicon esculentum*, *Capsicum annum* y *Beta vulgaris*) y lo comparó con un Sistema Convencional (SC) durante 120 días, a una densidad de 20 peces/m³, reportó un peso promedio final de 100.2 g en el SRAC, mientras que el SC fue de 87.82 g peso promedio ($P < 0.05$), también en el SRAC se obtuvo la mejor supervivencia, en esta investigación se obtuvo mayor crecimiento (220 y 201 g) en ambos sistemas experimentales (SRA y SAT), en menos tiempo (105 días). Lennard & Leonard (2006), no encontraron diferencias significativas en la biomasa (BT), tasa de crecimiento específica (0.89-1.13) y factor de conversión alimenticia (0.85-1.07) en bacalao (*Maccullochella peelii peelii*) cultivado en conjunto con tres subsistemas hidropónicos (sustrato inundado, raíz flotante y NFT) formando un sistema acuapónico (*Maccullochella peelii peelii* / *Lactuca sativa*), sin embargo, indican que otro criterio para evaluar la eficiencia de un sistema de este tipo, es la eficacia del subsistema hidropónico, la lechuga si mostró diferencias considerables ($P < 0.05$) en orden de Sustrato inundado > Raíz flotante > NFT, ellos concluyeron que la elección del subsistema hidropónico afectó la eficiencia de todo el sistema acuapónico, el periodo experimental fue de 21 días, respecto al Factor de Conversión Alimenticia (FCA), López & Anzoátegui (2013), afirma que es sumamente difícil obtener un valor de uno o menor, sin embargo, Steffens (1997) señala que una buena tasa de



conversión alimenticia se considera en un rango entre uno y dos, García (2014) indica que un valor mayor a dos, significa una baja eficiencia para convertir el alimento en biomasa, considerando lo anterior, en este estudio se obtuvo un valor el FCA en SRA y SAC por debajo de 2 (1.87 ± 0.017 y 1.93 ± 0.134 respectivamente), considerado aceptable, mientras que Juárez-Carballo (2016) reportó un máximo de 1.41, al igual que Rakocy, J., Bailey, D., Martin, J. & Shultz, R. (2000), por otro lado, Saavedra (2006) indica que FCA superiores a lo establecido se relaciona con la falta de alimento, la temperatura del agua y la densidad de siembra de peces en los estanques, así como a la edad de estos.

Calidad de agua

El oxígeno disuelto es indispensable para la supervivencia de los organismos ya que influyen en el metabolismo y el crecimiento, y estos son afectados negativamente cuando los niveles son bajos puesto que la cantidad de oxígeno necesario para llevar a cabo el metabolismo de los nutrientes disminuye, por lo que el metabolismo de rutina y mantenimiento se vuelve prioridad antes que el crecimiento (Martínez, M., Martínez, L. & Ramos, R., 2009), sin embargo, en esta investigación, se considera que no se presentaron problemas fisiológicos atribuidos a la falta del mismo, ya que se presentó baja mortalidad y los peces no dejaron de alimentarse o crecer, si bien, la tasa metabólica aumenta a medida que los peces incrementan su biomasa, el consumo de oxígeno por unidad de peso disminuye (Patti, J., Esteve, M., & Gaviria, J.I., 2011), al respecto, Rakocy, J.E., Losordo, T.M., & Masser, M.P. (2006), indican que la concentración de oxígeno en el sistema acuícola debe ser superior a 5 mg/L, ya que así cubre las necesidades de la especie cultivada y el complejo ambiente bacteriológico presente en el filtro biológico, no obstante, De Graaf (2004) reportó que el nivel mínimo recomendado de oxígeno disuelto en el agua para el cultivo de tilapia es de 3.0 mg/L, en este trabajo el nivel de oxígeno estuvo entre 7.65 ± 0.086 y 3.65 ± 0.15 mg/L por lo que éste parámetro se mantuvo dentro del intervalo óptimo para el crecimiento de los peces, tanto en el SRA y SAT, al final del periodo experimental se observó un descenso en la concentración del mismo, debido al aumento de biomasa en los sistemas de cultivo y mantenerse la supervivencia, sin embargo, la menor



concentración de oxígeno se observó en el SAT, aun y cuando se mantuvieron con aireación artificial constante. Gallardo, Hernández, Pérez, & Ramírez (2014), en un cultivo acuapónico (*O. niloticus*-*Procambarus acanthophorus*/*Zea mays*) registraron las variables físico-químicas y productivas en el tanque de cultivo acuícola, reservorio y biofiltros, reportaron niveles de oxígeno entre 3.7-5.1 mg/L, temperatura entre 25 y 30°C, pH entre 6.8 y 7.6 este último reportado en el sistema de biofiltros, el amoníaco estuvo entre 0.1-1.2 mg/L, estos valores son similares a los reportados en este trabajo (SRA y SAT), y según diversos autores son apropiados para el desarrollo del cultivo de esta especie (De Graaf, 2004; Rakocy *et al.*, 2006; Saavedra, 2006; Patti *et al.*, 2011).

Zhang *et al.* (2011), reportaron que la producción de *Ictalurus punctatus*, *Spinibarbus sinensis* y *Pelteobagrus fulvidraco*, en un SRA evaluado durante dos años, respondió a la variación de la calidad del agua, lo que se reflejó en términos de peso final, tasa de supervivencia, tasa de crecimiento específica y rendimiento. El consumo de oxígeno en peces depende básicamente de la temperatura del agua y del peso corporal (Sastre, Hernández & Cruz, 2004), ya que la temperatura regula la fisiología y el metabolismo tanto del organismo como del cuerpo de agua (Barreto, 2012). La concentración de oxígeno en ambos sistemas de cultivo no presentó diferencias significativas, sin embargo, si se observaron diferencias entre biometrías en ambos sistemas, observándose una relación inversamente proporcional, esto es, al aumentar la biomasa en los sistemas, disminuyó la concentración de oxígeno disuelto en los mismos. Según Meyer (2007), el rango de temperatura óptima para el cultivo de la tilapia es entre los 25 y 32°C, la temperatura de los sistemas usados en esta investigación se mantuvo entre 27.31 y 30.0 °C, con promedios 28.61 (SAR) y 28.49 °C (SAT), sin diferencias significativas por lo que la supervivencia y crecimiento, no se vio afectado por esta variable en particular, por otro lado, en el cultivo acuícola, el intervalo de pH entre 6.5-8.5 favorecen el crecimiento, sin embargo, valores alrededor de 7 se consideran los óptimos. El pH del agua depende especialmente de la concentración de carbonatos, bicarbonatos y dióxido de carbono (CO₂), un alto contenido de CO₂ puede provocar pH ácido, lo cual afecta el aumento de peso de los peces



(MAG, 2001). El pH en SRA y SAT se mantuvo entre 6.00 y 8.63, por debajo de 9, favoreciendo la forma ionizada de amonio (NH_4^+), en niveles de pH mayores a este valor, predomina la forma del amonio no ionizada (NH_3), debido a que el equilibrio de disociación se desplaza hacia la forma NH_3 , siendo más tóxica para los peces (Pérez, 2009). En el SRA la concentración promedio de amoniaco durante el periodo experimental fue de 1.15 mg/L, con intervalo de 0.33 a 3.42 mg/L, mientras que en el SAT fue de 2.29 mg/L con valores entre 0.42 y 4.08 mg/L, de acuerdo con Toscano (2010) niveles por encima de 0.03 mg/L de NH_3 , se consideran tóxicos para la mayoría de los peces, sin embargo, *O. niloticus* tolera concentraciones alrededor de 2.0 mg/L de amonio (Villaruel, 2010), por otro lado, Rubio (2012) en cultivo de tilapia (*O. niloticus*) con lechuga (*Lactuca sativa*) en Sistema de Recirculación Sin Recambio (SRSR) reportó valores de amonio de hasta 24 mg/L al inicio del periodo experimental, para posteriormente mantenerse constante alrededor de 3 mg/L a una densidad de 100 org/m³, mientras que en un Sistema Sin Recirculación Con Recambio (SSRCR), llegó a tener hasta 17 mg/L al inicio y después alrededor de 6 mg/L, estos resultados se atribuyeron a la elevada densidad de cultivo al inicio del experimento y las diferencias entre tratamientos a no realizar recambios. Respecto a los nitratos (NO_3), la concentración promedio fue de 8.18 en SRA y 3.71 mg/L en SAT, sin diferencias significativas, Obirikorang, K.A. *et al.* (2019) reportaron que concentraciones de nitratos entre 1.99 y 2.89 mg/L en diferentes flujos de agua de un SRA (90 L/h, 180 L/h y 360 L/h), no afectaron el crecimiento, no obstante, encontraron que el flujo lento (90 L/h) afecta negativamente el crecimiento. Bailey, Rakocy, Martin & Schultz (2000) estudiaron la producción intensiva de alevines de tilapia del Nilo (4.3 g) en SRA, reportaron que peces sembrados a 200 m³ crecieron ligeramente más rápido (0.78 g/día) que los sembrados con 450 peces/m³ (0.60 g día), donde el nitrógeno amoniacal total (TAN) varió de 0.82 a 1.33 mg/L y el nitrato de 1.3 a 83.8 mg/L, al respecto Segalas, Maxwell, & Meade (2003), mencionan que el nitrato es relativamente no tóxico para la tilapia al exponer alevines a concentraciones de 0, 1, 10, 100 y 1000 mg/L, pero, los niveles de nitritos, mayores a 0.75 mg/L en el agua pueden provocar estrés y por



arriba de 5 mg/L pueden ser tóxicos, aunque esto depende de diversos factores endógenos y exógenos. En esta investigación los niveles de nitritos (NO_2) estuvieron en los intervalos de 0.25 – 5.00 mg/L, y de 0.58 - 5.00 mg/L en SRA y SAT respectivamente, ambos en el límite de los valores considerados tóxicos, ya que según Rubio (2012), niveles de nitritos superiores a 0.75 mg/L en el agua pueden provocar estrés en peces y mayores de 5.00 mg/L pueden ser tóxicos. El exceso de nitrito puede alterar múltiples funciones fisiológicas en peces, incluidos los procesos inmunitarios, respiratorios, endocrinos, reguladores de iones, antioxidantes y excretorios (Kroupova, Machova & Svobodova, 2005), sin embargo, Atwood, Fontenot, Tomasso & Isely (2001), reportaron en *O. niloticus* que la tolerancia al nitrito se vio significativamente afectada por el tamaño de los peces, la 96 h LC_{50} para los peces más pequeños (peso medio 4.4 ± 1.50 g) fue de 81 mg/L y los peces más grandes (90.7 ± 16.43 g) demostraron una 96 h LC_{50} de 8 mg/L. Sun, Ge, Zhu, Xuan & Jiang (2014), sometieron al pez dulceacuicola *Megalobrama amblycephala* a concentraciones de nitrito de 15 mg/L por 72 h y observaron producción de especies reactivas de oxígeno en el hígado. El Sistema de Recirculación acuícola (SRA) mostró los mejores resultados en comparación con el Sistema Acuícola Tradicional (SAT) al presentarse mayores valores en Peso Final, Crecimiento Promedio Diario, Consumo de Agua: Biomasa Final y Rendimiento de Filete con diferencias significativas, también la biomasa total obtenida, fue mayor en el SRA. La implementación de este tipo de sistemas reduce significativamente las cantidades de agua que se utilizan en un sistema convencional. La calidad de agua fue aceptable para el crecimiento de las tilapias en ambos tratamientos (SAT y SRA), aunque sin diferencias significativas entre ellos, sin embargo, se observaron diferencias significativas en varios de ellos al pasar el tiempo de cultivo. Se recomienda hacer lavados más constantes en el sistema de biofiltros descritos para evitar la saturación de estos o en su defecto utilizar contenedores de mayor capacidad. El sistema de biofiltros resultó eficiente hasta los 84 días de cultivo (cuarta biometría), después se saturaron y no realizaron eficientemente su función.



► AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue financiado por Programa de Apoyo al Fortalecimiento de la Investigación y el Posgrado (PIFIP), de la Universidad Autónoma de Occidente (2022). Se agradece a estudiantes de Servicio Social del PE de Biología que apoyaron en la realización de biometrías y toma de datos.

► BIBLIOGRAFÍA

Atwood H.L., Fontenot Q.C., Tomasso J.R., & Isely J.J. (2001). Toxicity of nitrite to Nile tilapia: effect of fish size and environmental chloride. *North American Journal of Aquaculture*, 63, 49–51.

Bailey, D.S., Rakocy, J.E., Martin, J.M., & Schultz, R.C. (2000). Intensive production of tilapia fingerlings in a recirculating system. In: K. Fitzsimmons & J.C. Filho (eds.). Proceedings of the Fifth International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Rio de Janeiro, Brazil, Rio de Janeiro: Panorama da Aquicultura, pp. 328-333.

Barreto, F. (2012). Validación y estandarización de cámaras respirométricas para evaluar el consumo de oxígeno y excreción de amonio en tilapia (*Oreochromis niloticus* var. Spring) bajo condiciones de estrés. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma del Estado de Baja California. México. 69 p. <https://drive.google.com/a/uabc.edu.mx/file/d/0ByZyFBRL67c0Vmo0VIRGeFJXSk0/view?usp=sharing>

Béné, C., Arthur, R., Norbury, H., Allison, E.H., Beveridge, M., Bush, S., Campling, L., Leschen, W., Little, D., Squires, D., Thilsted, S.H., Beveridge, M., Troell, M., & Williams. (2016). Contribution of fisheries and aquaculture to food security and poverty reduction: Assessing the current evidence. *World Development*. 79(2): 177–196. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.11.007>

De Graaf, G. (2004). Optimization of the pond rearing of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus niloticus* L.) The impact of stunting processes and recruitment control PhD. Thesis, Wageningen University, Wageningen. The Netherlands. 167 p. <http://www.nefisco.org/downloads/PHD%20de%20Graaf.pdf>

FAO. (2016). The State of World Fisheries and Aquaculture. Rome, Italy. 200 pp.



- Gallardo-Collí, A, Hernández-Vergara, MP, Pérez-Rostro, CI, & Ramírez-Gutiérrez, SC. (2016).** Biculture tilapia/crayfish in aquaponic system Biculture of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and crayfish (*Procambarus acanthophorus*) and production of green corn fodder (*Zea mays*) in an aquaponic system. *Global Advanced Research Journal of Agricultural Science*. 3;8. 233-244.
- García, M. (2014).** Acuacultura rural en la costa sur de Jalisco: Caso de estudio avances en investigación agropecuaria. *Universidad de Colima México*. 14(2): 29-48. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83715125002>
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G.M. (2019).** Aquaponics food production systems. combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future. Springer. USA. 630 pp.
- Gullian-Klanian, M. & Arámburu-Adame, C. (2013).** Performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings in a hyper-intensive recirculating aquaculture system with low water Exchange. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 41(1): 150-162. <http://dx.doi.org/103856/vol41-issue1-fulltext-12>.
- Hernández-Vergara, M. P., Rouse, D. B., Olvera-Novoa, M.A. & Davis, D.A. (2003).** Effects of dietary lipid level and source on growth and proximate composition of juvenile redclaw (*Cherax quadricarinatus*) reared under semi-intensive culture conditions, *Aquaculture*, 223, 1-4, 107-115. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00135-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00135-2)
- Juárez-Carballo, LE. (2016).** Evaluación de los variables biológicos de la tilapia gris *Oreochromis niloticus* mediante la implementación de un sistema acuapónico. Tesis de maestría en ciencias. Facultad de ciencias biológicas y agropecuarias. Universidad Veracruzana. 66 pp. <https://www.uv.mx/pozarica/egia/files/2017/05/Luis-Enrique-Juarez.pdf>
- Kroupova, H., Machova, J. & Svobodova, Z. (2005).** Nitrite influence on fish: a review. *Veterinary Medicine-Czech* 50, 461-471. <https://vetmed.agriculturejournals.cz/magno/vet/2005/mn11.php>
- Li, X.L., Li, G., Zhang, S.Y. & Tao, L. (2013).** Effect of Recirculating Aquaculture System (RAS) on Growth Performance, Body Composition and Hematological Indicators of Allogynogenetic crucian Carp (*Carassius auratus gibelio*). *Advance Journal of Food Science and Technology*, 3: 348-355. <http://dx.doi.org/10.19026/ajfst.5.3269>



- Lennard, W.A. & Leonard, B.V. (2006).** A comparison of three different hydroponic subsystems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic test system. *Aquaculture International*. 14: 539–550. <https://doi.org/10.1007/s10499-006-9053-2>.
- López, P. & Anzoátegui, D. (2013).** Engorde de la cachama (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1816) cultivada en un sistema de recirculación de agua. *Zootecnia Tropical*, 31 (4): 271-277. <http://ve.scielo.org/pdf/zt/v31n4/art01.pdf>
- López-Aguilar, R., Murillo-Amador, B. & Rodríguez-Quezada, G. (2009).** El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. *Interciencia*, 34(2): 121-126. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/121-c-LOPEZ-6.pdf>
- Martínez, M., Martínez, L. & Ramos, R. (2009).** Dinámica del crecimiento de peces y crustáceos. *Revista electrónica de Veterinaria*. 10(10): 1-16. .
- Meyer, D. (2007).** Introducción a la Acuicultura. EAP. Zamorano. Honduras. 159 p. .
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2001).** Guía para el cultivo de tilapia en estanques. Centro de Desarrollo Pesquero. República de El Salvador. 18 p. <http://www.tilapiasdelosur.com.ar/downloads/GuiaTecnicaTilapiadeElSalvador.pdf>
- Murray, F., Bostock, J., & Fletcher, D. (2014).** Review of Recirculation Aquaculture System Technologies and Their Commercial Application. Stirling Aquaculture, University of Stirling, U K. <https://www.hie.co.uk/media/6168/ras-study.pdf>
- Nilav-Aich, Suman-Nama, Abhilipsa-Biswal & Tapas-Paul. (2020).** A review on recirculating aquaculture systems: challenges and opportunities for sustainable aquaculture. *Innovative Farming*, 5(1), 017–024: 17-24. <https://innovativefarming.in/index.php/IF/article/view/109>
- Obirikorang, K.A., Agbo, N.W., Obirikorang, C., Adjei-Boateng, D., Ahiave, S.E. & Skov, P.V. (2019).** Effects of water flow rates on growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture International*. 27, 449–462. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00342-0>.



- Pandal-Baños, E. (2019).** Evaluación de variables productivos y composición química corporal de la Tilapia gris del Nilo (*Oreochromis niloticus*) durante el periodo de engorda bajo sistemas de cultivo tradicional y con tecnología biofloc. Tesis de Licenciatura. Facultad de medicina veterinaria y zootecnia. Universidad nacional autónoma de México. 91 pp.
- Patti, J., Esteve, M., & Gaviria, J.I. (2011).** Consumo de oxígeno del híbrido de tilapia roja florida *Oreochromis sp.* en agua de mar, bajo condiciones de laboratorio. *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo Investigación de la Universidad de Oriente*. 23 (2), 99 - 106. <https://www.redalyc.org/pdf/4277/427739446002.pdf>
- Pérez, R. (2009).** La situación ambiental de la laguna las Tres Pascualas, Concepción, Chile. Informe preliminar. Unidad de Sistemas Acuáticos, Centro de Ciencias Ambientales. Universidad de Concepción. Chile. 10 p. <https://www.yumpu.com/es/document/view/47622331/1-la-situacion-ambiental-de-la-laguna-las-tres-eula>.
- Pilco Vergaray, J. (2015).** Comportamiento productivo de dos densidades de siembra de *Piaractus brachyomus* “paco” en un sistema acuapónico superintensivo, en el IESPPB. Tesis de Licenciatura. Universidad nacional intercultural de la amazonia. 104 pp. http://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNIA_bf6aa0508879e4627ea5dd3fab105cc4
- Rakocy, J., Bailey D., Martin J. & Shultz, R. (2000).** Tilapia production systems for the lesser antilles and other resource-limited tropical area. Ed. Tilapia Aquaculture. University of the Virgin Islands, agricultural experiment Station. 18 pp. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2004415839>.
- Rakocy, J.E., Losordo, T.M., & Masser, M.P. (2006).** Recirculating Aquaculture tank production systems: Aquaponics-integrating fish and plant culture. In: Southern Regional Aquaculture Center. Publication 454: 1-8. <https://wkrec.ca.uky.edu/files/454fs.pdf>
- Ramírez-Ballesteros, M. (2013).** Evaluación del crecimiento de tilapia, acocil y lechuga en un sistema de recirculación acuapónico en condiciones de laboratorio. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 102 pp. https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000701607



- Rubio, C. S. (2012).** Análisis técnico de producción de tilapia *Oreochromis niloticus* y lechuga acropolis *Lactuca sativa* en acuapónica. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Guasave Sinaloa, México. <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/13077>
- Saavedra, M. M. (2006).** Manejo del cultivo de tilapia. Ed. CIDEA. Managua Nicaragua. 22 pp. <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>
- Saeki, A., (1958).** Studies on fish culture in the aquarium of closed circulating system. Its fundamental theory and standard plan. *Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish.* 23, 684e695.
- Sastre, O., Hernández, G., & Cruz, P. (2004).** Influencia del peso corporal y de la temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de la Cachama Blanca (*Piaractus brachypomus*). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 17: 11-16. <https://www.redalyc.org/pdf/2950/295025891002.pdf>
- Segalas, C., Maxwell, C., & Meade, M. (2003).** The effects of acute exposure to nitrate and nitrite on the metabolic physiology of Nile Tilapia. *Journal of the Alabama Academy of Science*, 1. <https://www.thefreelibrary.com/The+effects+of+acute+exposure+to+nitrate+and+nitrite+on+the+metabolic+...-a0115228078>
- Soto-Zarazúa, M.G., Herrera-Ruiz, G., Rico-García, E., Toledano-Ayala, M., Peniche-Vera, R., Ocampo-Velázquez, R & Guevara-González, R.G. (2010).** Development of efficient recirculation system for Tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture using low-cost materials. *African Journal of Biotechnology*. 9 (3 2) , 5 2 0 3 - 5 2 1 1 . <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/92152>.
- Steffens, W. (1997).** Principios fundamentales de la alimentación de los peces. Editorial Acribia C. A. Zaragoza, España
- Subasinghe, R., Soto, D., & Jia, J. (2009).** Global aquaculture and its role in sustainable development. *Reviews in Aquaculture*, 1: 2-9. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2008.01002.x>
- Sun, S., Ge, X., Zhu, J., Xuan, F. & Jiang, X. (2014).** Identification and mRNA expression of antioxidant enzyme genes associated with the oxidative stress response in the Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala* Yih) in response to acute nitrite exposure. *Comparative biochemistry and physiology. Toxicology & pharmacology: CBP.* 159, 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2013.09.005>



- Toscano, A. (2010).** Evaluación de diferentes tipos de fertilización de estanques para crianza de tilapia. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Pecuarias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 152 p.
- Tucker, C.S. & Hargreaves, J.A. (2008).** Environmental best management practices for aquaculture, first ed. Blackwell Publishing, Iowa. 575 pp. <https://www.wiley.com/enus/Environmental+Best+Management+Practices+for+Aquaculture-p-9780813820279>
- Vargas-Rodríguez, C. F. (2008).** Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana*. 19 : 233 - 240 . https://www.mag.go.cr/rev_meso/v19n02_233.pdf.
- Villa-Cruz, V. (2009).** Efecto del brócoli y sulforafano en dieta de tilapia (*Oreochromis niloticus*) sobre el estrés oxidativo provocado por hidrocarburos aromáticos policíclicos. Tesis de Doctorado en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. 80pp. <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/1153>
- Villarroel, M. (2010).** Evaluación de diferentes niveles de fitasa aplicados mediante aspersión líquida al alimento de *Oreochromis sp* en estado juvenil. Tesis de licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador. 70 p. <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/2359/1/17T0978.pdf>
- Wang, K., Li, K., Liu, L., Tanase, C., Mols, R., & van der Meer, M. (2023).** Effects of light intensity and photoperiod on the growth and stress response of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture and Fisheries*. 8, 85–90. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.03.001>
- Zar, J. (1999).** Biostatistical analysis, 4th Ed. Prentice-Hall, Upper Sadd. River, NJ 718p.
- Zhang, S.H., Li, G., Wu, H.B., Liu, X.G., Yao, Y.H., Tao, L., & Liu, H. (2011).** An integrated recirculating aquaculture system (RAS) for land-based fish farming: The effects on water quality and fish production. *Aquacultural Engineering*. 45, 93-102. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.08.001>.