

RECAMBIO DE AGUA, SU EFECTO SOBRE CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y CRECIMIENTO EN JUVENILES DE TILAPIA ROJA

WATER REPLACEMENT, ITS EFFECT ON PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERISTICS AND GROWTH IN RED TILAPIA JUVENILES

Deyanira Rivas Salazar¹; Ramón Silva-Acuña²; Renny Barrios Maestre³; Adrianyela Noriega Salazar¹

¹Universidad de Oriente, Núcleo Monagas, Escuela de Zootecnia, Departamentos de Nutrición Animal y Forrajes, y Producción e Industria Animal, Venezuela.

²Universidad de Oriente, Postgrado de Agricultura Tropical, *Campus* Juanico, Maturín, Monagas, Venezuela.

³Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Centro de Investigaciones Agrícolas del estado Monagas, Venezuela.

Email: drramonsilvaa@gmail.com

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
04/01/2021

Aceptado:
13/05/2021

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista
ESPAMCIENCIA
12(1):8-16

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i1.260

Se evaluó el efecto de las tasas de recambio sobre las características físico-químicas del agua, rendimiento productivo y modelo de ajuste de crecimiento de juveniles de tilapia roja (*Oreochromis* spp.). Se utilizaron 15 acuarios de 53 L con 10 juveniles cada uno bajo los siguientes tratamientos; recambio de agua 25% diario, 50% cada 7 días y sin recambio, cada tratamiento con 5 réplicas, en el diseño completamente aleatorizado. Los acuarios fueron colmados con agua proveniente de tanques de cultivo de peces del laboratorio. Se utilizaron 150 juveniles entre 6 y 8 cm de longitud total, alimentados a una tasa de 8% de la biomasa. Los peces se distribuyeron de manera aleatoria en grupos de diez por acuario o unidad experimental. Se cuantificaron las variables masa y longitud total; se midió la temperatura, el oxígeno disuelto, pH, amonio no ionizado y nitratos en el agua de los acuarios y sus valores comparados por la prueba LSD ($p \leq 0,05$); de manera similar, se evaluó el grado de ajuste de la masa y longitud con diferentes modelos de crecimiento. Se concluyó que el recambio diario de 25% del agua favoreció el crecimiento de los juveniles de tilapia roja, en masa y longitud final de 12,16 g y 8,81 cm, respectivamente. De manera similar, en este tratamiento se observó los menores valores promedios de temperatura y nitratos, y los más elevados de oxígeno disuelto y amonio no ionizado. El modelo exponencial presentó el mejor ajuste para la masa y longitud total de los juveniles de tilapia roja.

Palabras clave: Recambio de agua, características físico-químicas, modelos de crecimiento, *Oreochromis* spp.

Abstract

The effect of the exchange rates on the physical-chemical characteristics of the water, productive performance and growth adjustment model of juvenile red tilapia (*Oreochromis* spp.) was evaluated. Fifteen 53 L aquariums with 10 juveniles each were used under the following treatments; water exchange 25% daily, 50% every 7 days and without replacement, each treatment with 5 replicates, in the completely randomized design. The aquariums were filled with water from the laboratory's fish culture tanks. 150 juveniles between 6 and 8 cm in total length were used, fed at a rate of 8% of the biomass. The fish were randomly distributed in groups of ten per aquarium or experimental unit. The variables mass and total length were quantified; the temperature, dissolved oxygen, pH, non-ionized ammonium and nitrates in the aquarium water were measured and their values compared by the LSD test ($p \leq 0.05$); similarly, the degree of fit of the mass and length was evaluated with different growth models. It was concluded that the daily change of 25% of the water favored the growth of the red tilapia juveniles, in mass and final length of 12,16 g and 8,81 cm, respectively. Likewise, in this treatment, the lowest average values of temperature and nitrates were observed, and the highest values of dissolved oxygen and non-ionized ammonium. The exponential model presented the best fit for the mass and total length of the red tilapia juveniles.

Keywords: Water exchange, physical-chemical characteristics, growth models, *Oreochromis* spp.

INTRODUCCIÓN

La tilapia roja es un pez teleósteo perteneciente a la familia de los cíclicos, producto del cruce de cuatro especies de tilapia, tres de origen africano y una cuarta israelita: *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis urolepis hornorum* x *Oreochromis aureus* (Beveridge y McAndrew 2001; Castillo, 2001). Está considerada dentro del grupo de peces dulce acuícolas con mayor futuro en cultivos comerciales de climas cálidos, por el rápido crecimiento y la alta adaptabilidad a diferentes ambientes de producción, facilidad de reproducción y crecimiento en cautiverio.

En su uso como alimento para humanos, la tilapia proporciona prolongación en la sensación de saciedad; no posee residuos de mercurio, contiene DHA –el ácido decosaheptaenoico, desarrolla el sistema nervioso central, mejora la circulación sanguínea, disminuye los niveles de colesterol, y ralentiza el deterioro cognitivo–, elevado aporte proteico –cada 100g consumidos aportan 20g de proteína–, protege la salud cardiovascular, mejora la digestión –por la calidad de la proteína–, previene la anemia –aunque con bajo contenido de hierro posee vitaminas del complejo B, magnesio y zinc–, en consecuencia, ayuda a mantener un peso saludable (Betancourth, 2020).

Por otro lado, para el cultivo de tilapia roja (*Oreochromis* spp.) y otras especies, las características físico-químicas del agua representan un factor fundamental para el crecimiento, por esta razón es necesario su monitoreo continuo y la aplicación de técnicas de manejo que mantengan en buenas condiciones y garanticen el desarrollo de los peces. En este aspecto, una de las labores de manejo más eficientes es el recambio del agua, con la finalidad de disminuir los compuestos tóxicos del ambiente, mantener la calidad del agua y sustituir las pérdidas por evaporación.

Con respecto a las tasas de recambio, Buxade (1997) recomienda, de acuerdo a la intensidad del sistema, aplicar en producción extensiva un recambio de agua de 5-10%, en sistemas semi intensivos debe ser una tasa de recambio de 10-20% y por último en sistemas de producción intensivos, conviene aplicar un recambio diario de agua del 90-100%. Por su parte Perdomo *et al.* (2012) consideran que en cultivo de tilapias es necesaria una renovación del 25% diario para favorecer la oxigenación y mantener la calidad del agua.

Boyd (2004) define la calidad del agua como el conjunto de las variables físicas y químicas que influyen en la producción de especies acuáticas; siendo que, las prácticas de manejo de cultivo de peces tienen como objetivo mantener esas variables en el rango adecuado. La temperatura, oxígeno disuelto, pH, amonio no ionizado y

el nitrato son elementos determinantes de las buenas condiciones del agua y del crecimiento de los peces. Por otro lado, Salazar y Flores (2015) hacen referencia a ciertos parámetros ideales para la especie que son descritos en el cuadro 1. Estos parámetros físico-químicos, deben ser cuantificados en las instalaciones de piscicultura.

El crecimiento de los peces es el incremento en longitud o masa, como resultado directo de procesos químicos, osmóticos y otros factores que contribuyen al aporte de material en el organismo, el cual es transferido a muchas partes del cuerpo (Tresierra y Culquichicón 1993). Los procesos de crecimiento de los peces difieren de los mamíferos y de las aves, ya que los peces responden con mayor sensibilidad a las diferencias ambientales, incluyendo la disponibilidad de biomasa, la densidad de población y la temperatura, tanto en condiciones naturales como artificiales; así mismo, si el espacio disponible y alimento no son limitantes, los peces pueden seguir creciendo a lo largo de toda su vida (Weatherley y Gill, 1987).

Cuadro 1. Parámetros físico-químicos del agua ideales para el cultivo de tilapias

Parámetro	Rango
Temperatura del agua	Mínima: > 24 °C
Oxígeno disuelto	> 4,5 mg.L ⁻¹
pH óptimo	6,5 – 9
Visibilidad óptimo	30-45 cm
Dureza (CaCO ₃)	50-350 ppm
Amonio tóxico NH ₃	0,01-0,1 mg.L ⁻¹
CO ₂	< 20 mg.L ⁻¹
Sulfatos	< 18 mg.L ⁻¹ 21
Cloruros	< 5 mg.L ⁻¹
Fosfatos	0.6-1,5 mg.L ⁻¹
Alcalinidad	0,1-0,2 mg.L ⁻¹

Fuente: (Salazar y Flores, 2015)

Los modelos que describen el crecimiento, son útiles para resumir matemáticamente el patrón del desarrollo de un organismo o parte de este durante un período de tiempo (León y Barrera, 2003). Resulta de gran importancia emplear más de un modelo cuando se pretende evaluar esa progresión individual en las poblaciones de peces, por ello, es prudente la comparación de distintos ajustes, junto con la aplicación de un criterio de información estadística (Arzola, 2014).

En este sentido, el estudio del agua y de las variaciones de longitud y masa en los peces es importante para formular planes de manejo que contribuyan al desarrollo de los recursos hidrobiológicos que se cultivan, debido a que el crecimiento y desarrollo de ellos guarda una relación directa con aguas de buena calidad, este trabajo de investigación se plantea con el objetivo de evaluar las características físico-químicas del agua y el ajuste de modelos de crecimiento en juveniles de tilapias rojas con

relación a la masa y la longitud, en tratamientos con diferentes tasas de recambio del agua en condiciones de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Laboratorio de Piscicultura, de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, *Campus Juanico*, localizada geográficamente en las coordenadas 9° 45' LN y 63° 11' LO, altitud de 65 m, temperatura media anual de 28,27° C, y precipitación total anual de 904 mm (Climate-Data.org, 2020).

Se utilizaron quince acuarios de 53 litros de capacidad previamente lavados y colmados con agua proveniente de tanques de cultivo de peces del laboratorio. A cada acuario se le colocó un sistema de aeración continua a igual profundidad y presión. Se utilizaron 150 juveniles de tilapia roja (n=10 por acuario), cultivados en el laboratorio de piscicultura, con tallas entre 6 y 8 cm de longitud total. Los peces se distribuyeron de manera aleatoria en grupos de diez por acuario. Previo al ensayo se alimentaron a saciedad dos veces al día con alimento balanceado comercial formulado para peces y distribuido por Purina de Venezuela con 25% de proteína cruda y durante el ensayo se alimentaron a una tasa de 8% de la biomasa de cada acuario de acuerdo a lo indicado por Morales (1991).

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes: tratamiento 1, recambio parcial diario de 25% del agua de los acuarios; tratamiento 2, recambio parcial, cada 7 días de 50% del agua de los acuarios y, tratamiento 3, sin recambio del agua durante el tiempo de duración del ensayo. En los tratamientos 1 y 2 se aplicó el recambio dirigido, mediante la técnica del sifoneo desde el fondo del acuario, para eliminar restos de alimento no consumido y heces (Marcillo, 2001 y Avnimelech, 2007). Se empleó el diseño completamente aleatorizado con cinco repeticiones. La duración del ensayo fue de 73 días discriminados de la siguiente manera: 10 días en el proceso de selección, 20 días de adaptación al plan de alimentación en dos raciones diarias (mañana y tarde) y 43 días de cultivo. La ración alimenticia fue ajustada cada siete días, para ello se multiplicó la biomasa por el número de peces de la unidad experimental.

Las condiciones físico-químicas del agua (pH, amonio no ionizado y nitrato) se cuantificaron cada siete días. La temperatura se midió diariamente con termómetro marca Aquatic Ecosystems Inc. modelo 407-886-3939. El oxígeno disuelto se determinó siguiendo las instrucciones del método de Winkler modificado (Linares, 2010). El pH, el amonio no ionizado (NH₃) y la concentración de nitratos (NO₃) fueron determinados por colorimetría. El crecimiento (masa y longitud) se determinó registrando la variación semanal de la longitud total y la masa de los peces, retirándolos de los acuarios empleando una red tipo

salabre y trasladados a un acuario con agua limpia conectado al sistema de aireación, colocado al lado de la balanza y la tabla de medición. Una vez pesado y medido cada pez se pasaba a otro acuario auxiliar hasta completar el grupo para finalmente devolverlos a la correspondiente unidad experimental. Este procedimiento se aplicó en los tres tratamientos, en aquellos donde hubo recambios de agua se realizaba antes de extraer el agua, el día correspondiente a las mediciones se suspendió la alimentación para evitar estrés por la manipulación. La longitud total se midió desde la parte anterior de la cabeza hasta el extremo del lóbulo superior de la aleta caudal, usando una cinta métrica fijada a una tabla. Para cuantificar la masa, se empleó una balanza analítica Ohaus modelo AX124 de 0,1 mg de precisión.

Al final del ensayo los promedios obtenidos de las medidas biométricas masa y longitud, se expresaron en términos de crecimiento absoluto en masa (CAM) crecimiento absoluto en longitud total (CALT), tasa de crecimiento en masa (TCAM) y tasa de crecimiento absoluto en longitud total (TCAL) siguiendo las fórmulas aplicadas por Luna y Figueroa (2000).

Con estos valores; además, de realizar el respectivo análisis estadístico de estas variables, se emplearon para ajustarlos a la ecuación linealizada de los modelos: exponencial, logístico, gompertz y monomolecular, para describir el crecimiento de juveniles de tilapia roja. Los análisis de varianza se realizaron previo la exploración de los datos por las pruebas de Shapiro Wilk para determinar la normalidad de los errores y de Bartlett para homogeneidad de varianza. La comparación de medias se realizó al 5% de probabilidad por la prueba Mínima Diferencia Significativa (LSD) y los ajustes de la regresión lineal por modelo de crecimiento se realizaron con el Programa Infostat versión 2019 (Di Rienzo *et al.* 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables físico-químicas del agua de cultivo de los peces

En el cuadro 2, se muestra el resumen del análisis de varianza de las características físico-químicas del agua contenida en los acuarios después de 43 días del inicio del experimento. En él se constata que para los tratamientos se observaron diferencias significativas por la prueba de F, para las variables temperatura (TEM); oxígeno disuelto (OD), amonio no ionizado (ANI); y nitratos (NTA), mientras que para los valores de pH no se detectó diferencias a nivel de tratamientos.

Cuadro 2. Resumen del análisis de varianza de las variables, temperatura (°C) (TEM), oxígeno disuelto (mg.L⁻¹) (OD); pH; amonio no ionizado (mg.L⁻¹) (ANI); y nitratos (mg.L⁻¹) (NTA), en el ensayo sobre la tasa de recambio de agua con juveniles de tilapia roja.

Fuente de variación	GI	TEM	OD	pH	ANI	NTA
Tratamientos	2	1,26**	7,92**	0,52 ^{ns}	0,78**	5601,60**
Error	12	0,10	0,51	0,20	0,38	1215,00
CV%		1,11	8,09	6,51	1,94	67,46

** Significativo por la prueba de F ($p \leq 0,01$); ns= no significativo; Error= Error experimental y CV (%)= Coeficiente de variación.

De manera general, se observó en las comparaciones de los valores promedios de las variables fisicoquímicas del agua (Cuadro 3) para el tratamiento con recambio diario del 25% del agua (Rec25%Diario que le correspondieron los menores valores promedios de temperatura y nitratos así como también los más elevados de oxígeno disuelto y amonio no ionizado.

Cuadro 3. Comparación de los valores promedios de las variables temperatura; oxígeno disuelto, amonio no ionizado, nitritos y nitratos en los tratamientos con recambio parcial y sin recambio del agua.

Variables físico- químicas	Tratamientos (Niveles de recambio de agua)		
	25% diario	50% cada 7 días	Sin recambio
Temperatura (°C)	28,09c	28,37b	28,51a
Oxígeno disuelto (mg.L ⁻¹)	3,32a	2,81b	2,30c
Amonio no ionizado (mg.L ⁻¹)	3,01a	0,48c	1,49b
Nitratos (mg.L ⁻¹)	6,32c	15,66a	11,68b

Valores promedios en las líneas seguidas de letras diferentes difieren estadísticamente por la prueba de Mínima Diferencia Significativa ($p \leq 0,05$).

Particularmente para los valores de la temperatura en el agua de los acuarios el tratamiento Rec25%Diario, presentó los menores valores ($p \leq 0,05$) promedios de temperatura y los promedios de los tratamientos con recambios del agua a los siete días (Rec50%7Dias) y sin recambio (SinRec) estadísticamente diferentes entre sí. El continuo recambio de agua permite controlar y mantener la temperatura en el nivel adecuado para la especie, manteniendo los valores en el rango señalado por Luchini (2006) y Cantor (2007) En todos los tratamientos se mantuvieron dentro de lo adecuado para la especie, no sólo en el recambio continuo que alegan que la temperatura para esta especie varía entre 27 y 32 °C con variaciones de hasta 5°C, en este ensayo los resultados para temperatura se mantuvieron estables.

Para la variable oxígeno disuelto, hubo diferencia estadística entre los tratamientos evaluados, el tratamiento Rec25%Diario se registró la mayor concentración de oxígeno disuelto en el agua. Estos resultados son bajos con respecto a los recomendados para tilapia que deben ser mayores a 4,5 mg.L⁻¹ de acuerdo con Salazar y Flores (2015) aunque Cantor (2007) alega que para cultivo de tilapia los niveles mínimos de OD para un crecimiento normal y baja mortalidad deben mantenerse en un nivel superior a 3 mg.L⁻¹, no obstante en los tratamientos 50% de recambio y sin recambio la concentración de OD está por debajo de los valores críticos, quizás el recambio diario del agua influyó en este resultado al evitar la acumulación de desechos en el tratamiento 1.

Los niveles bajos de oxígeno disuelto en el agua en los tratamientos Rec50%7Dias y SinRec se pueden atribuir a la descomposición de la materia orgánica, el alimento no consumido, al respecto Cantor (2007) señala que esto es consecuencia de la acumulación de las heces, el aumento de la tasa metabólica por el incremento en la temperatura, y la disminución del pH, por el reducido manejo de la calidad del agua. Por su parte Hsien y Quintanilla (2008) explican que la tilapia es capaz de sobrevivir a niveles bajos de oxígeno disuelto (1,0 mg.L⁻¹) por la capacidad que su sangre posee para saturarse de oxígeno, cuando la presión parcial de este es baja.

De manera similar, al oxígeno disuelto, el amonio no ionizado, el tratamiento con Rec25%Diario presentó los mayores valores promedios y este difiere de los tratamientos con Rec50%7Dias y SinRec, que presentan menores valores de amonio no ionizado, estos dos últimos son diferentes entre sí; sin embargo, a diferencia del oxígeno disuelto es el tratamiento con Rec50%7Dias el que presenta el menor valor.

El amonio no ionizado (NH₃) obtuvo el menor resultado (0,48 mg.L⁻¹) en el tratamiento Rec50%7Dias, para los tratamientos Rec25%Diario y SinRec, obtuvo valores de 3,01±0,00 y 1,49±0,01 mg.L⁻¹ respectivamente. El amonio no ionizado que se encuentra en el agua de cultivo, es un elemento tóxico producto de la excreción de los peces, su liberación en el agua es continua mientras los peces respiran, lo cual indica que este compuesto siempre está presente en el agua donde crecen los peces, en referencia a esto Edna y Boyd (1997) alegan que en aguas de cultivo de peces parecieran ser más altas en nitrógeno proveniente del amonio no ionizado (NO₃) que en nitritos y nitratos, como ocurrió en esta investigación.

Los valores obtenidos en esta investigación, son superiores a los recomendados, para cultivos de tilapia tanto en jaulas como en estanques, por Cantor (2007); García y Calvario (2008) y Saucedo *et al.* (2009) quienes indican que los niveles de amonio no ionizado idealmente deben fluctuar entre 0,01 y 0,10 mg.L⁻¹; sin embargo, Cantor (2007) especifica que los niveles de tolerancia

varían entre 0,2 y 2,0 mg.L⁻¹. Los resultados de NH₃ obtenidos en este ensayo, en los tratamientos Rec50%7Dias y SinRec están dentro de los niveles de tolerancia. Ingle de la Mora *et al.* (2003) señalan que no está claro por qué diferentes especies de peces, presentan una sensibilidad diferenciada a la presencia de amoníaco, así por ejemplo la tilapia del Nilo puede tolerar niveles altos que van desde 1,1 a 4,1 mg.L⁻¹ de N-NH₃ durante largos periodos de tiempo, tal como sucedió en este ensayo.

La concentración de amonio no ionizado en el Rec25% Diario puede estar relacionada con la interrupción del ciclo del nitrógeno, lo cual es ocasionado por el recambio de agua, impidiendo que el compuesto (NH₃) sea transformado en nitritos a través del proceso de nitrificación. Saubot (2002) señala que este paso de amonio a nitritos tiene una duración promedio de 5 a 10 días, es decir, que en el agua de los acuarios del tratamiento Rec25%Diario, ocurría poca transformación de este compuesto. Con respecto a Rec50%7Dias y Sin Rec, las concentraciones de amonio no ionizado, fueron menores en comparación con el tratamiento Rec25%Diario, pudiendo atribuir esta diferencia al adecuado ritmo del ciclo del nitrógeno, permitiendo la transformación de este compuesto a nitritos y nitratos que es el producto final del ciclo del nitrógeno. Bautista y Ruiz (2011) puntualizan que niveles de nitratos entre 0 y 40 mg.L⁻¹, son generalmente seguros para los peces, en este ensayo para los tres tratamientos, este compuesto se presentó dentro de los valores de seguridad.

Crecimiento de juveniles de tilapia roja

Los análisis estadísticos de las variables masa y longitud de los juveniles de tilapia revelaron diferencias estadísticas para los tratamientos por la prueba de F a 1 % de probabilidad (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resumen del análisis de varianza para las variables crecimiento en masa (MA) y longitud (LO) de juveniles de tilapia roja en el ensayo sobre la tasa de recambio de agua

Fuente de variación	Gl	Cuadrados medios	
		MA	LO
Tratamientos	2	21,97**	0,94**
Error	12	2,34	0,16
CV (%)		1,52	0,40

** Significativo por la prueba de F ($p \leq 0,01$); Error=Error Experimental; CV (%)= Coeficiente de variación.

La comparación de los valores promedios por la prueba de Mínima Diferencia Significativa a 5% de probabilidad (Cuadro 5) permitió constatar que para las variables masa inicial (MI) y longitud inicial (LI), no se observaron diferencias significativas, tal resultado era de esperarse por la rigurosa selección inicial de los ejemplares usados en la investigación y que permiten atribuir la diferencia

entre los datos a las tasas de recambio de agua evaluadas como única fuente de variación, sin embargo, esas variables, masa final (MF) y longitud final (LF) al culminar la investigación, en el tratamiento donde se realizó el recambio diario del agua en una proporción de 25% (Rec25%Diario), se observaron los mayores valores promedios de masa y longitud, ambas medidas, difieren de los tratamientos con recambio cada siete días de una proporción de 50% del agua (Rec50%7Dias) y sin recambio de agua (SinRec) que presentaron menores valores promedios y estadísticamente fueron similares.

Cuadro 5. Comparación de medias de las variables crecimiento, masa inicial (MI), masa final (MF), longitud inicial (LI), longitud final (LF) y las tasas de crecimiento absoluto en masa (TCAM) y de crecimiento absoluto en longitud (TCAL) en juveniles de tilapia roja en el ensayo sobre la tasa de recambio de agua.

Tratamientos	Variables cuantificadas					
	MI (g)	MF (g)	LI (cm)	LF (cm)	TCAM (g)	TCAL (cm)
25% diario	4,59a	12,16a	6,31a	8,81a	0,17a	0,06a
50% 7 días	4,66a	8,44b	6,37a	8,15b	0,08b	0,04b
Sin recambio	4,79a	8,62b	6,45a	8,00b	0,08b	0,03b

Medias seguidas de letras diferentes en las columnas difieren estadísticamente por la prueba de Mínima Diferencia Significativa ($p \leq 0,05$).

Los resultados obtenidos para masa y longitud de juveniles de tilapia roja en las tres condiciones evaluadas en este ensayo coinciden con la referencia de Moyle y Cech (2000). Estos autores, señalan que las tasas de crecimiento de los peces son altamente variables porque dependen fuertemente de una diversidad de factores ambientales que interactúan, tales como la temperatura del agua, los niveles de oxígeno disuelto, el amonio, el grado de competencia, la cantidad y calidad del alimento ingerido, y el estado de madurez de los peces; en esta investigación, las tasas de crecimiento absoluto en masa y longitud para el tratamiento con 25% de recambio diario, fueron mayores y mostraron diferencia estadística significativa con respecto a los otros tratamientos, lo que permite inferir que la degradación de la calidad del agua es tangible en los casos donde se efectuó el recambio 50% cada 7 días y sin recambio, obviamente, afectando el crecimiento de los peces.

Boyd (1996); Valbuena y Cruz (2006); González *et al.* (2010) y Perdomo *et al.* (2012), afirman que en la crianza de tilapias (*Oreochromis* spp.) se ha observado gran adaptabilidad a distintos ambientes; no obstante, es importante conocer los parámetros físico-químicos del agua, tales como oxígeno disuelto, temperatura, pH, transparencia, dureza, amonio y alcalinidad, como indicadores del bienestar en los peces, las alteraciones en los rangos de tolerancia de estas variables pueden causar

hipoxia, inapetencia, atraso del crecimiento, incremento de la conversión alimenticia, inmunosupresión, susceptibilidad a enfermedades, deterioro de las branquias y mortalidad, lo que se traduce en considerables pérdidas económicas.

En los tratamientos con recambio cada 7 días y sin recambio, donde las concentraciones de amonio no ionizado resultaron dentro del nivel de tolerancia, también hubo acumulación de compuestos nitrogenados producto de la excreción y respiración de los peces, además de restos de alimento no consumido, generando un ambiente propicio para la intervención de las bacterias nitrificantes del ciclo del nitrógeno. Boyd (1990) señala que en este proceso los microorganismos compiten con los peces por el consumo de oxígeno disuelto en el agua, afectando su crecimiento, lo que pudo ocurrir en estos tratamientos, Perdomo *et al.* (2012) y Hahn y Grajales (2016) coinciden que el recambio de agua, es una práctica necesaria para mantener la calidad del agua de los peces.

Modelos de crecimiento de las tilapias rojas

En los cuadros 6 y 7, se muestran los resultados del crecimiento en masa y longitud total de los juveniles de tilapia roja, ajustados a los cuatro modelos de crecimiento evaluados. En ellos se observa que en los tres tratamientos con diferentes niveles de recambio de agua, la curva de crecimiento que mejor describe la variación en longitud y masa de los peces durante los 43 días del ensayo es la que representa al modelo exponencial, debido a que presentó el coeficiente de determinación (R^2) más alto y cercano a 1, indicando la bondad de ajuste del modelo, y el menor cuadrado medio del error, que expresa la proporción de variabilidad en el análisis de varianza de la regresión (Cornell y Berger, 1987).

En los tratamientos de 25% de recambio de agua diario y 50% de recambio cada 7 días (Rec25%Diario y

Rec50%7Dias) para la variable masa el modelo exponencial es muy cercano a 1 y significativamente diferente por la prueba LSD ($p \leq 0,05$); sin embargo, en el tratamiento donde no se realizó recambio de agua durante los 43 días del ensayo (SinRec) aun cuando el modelo exponencial muestra la mayor bondad de ajuste con un coeficiente de determinación de 0,96 no difiere estadísticamente del modelo logístico (0,95) lo que indica tendencia a un cambio de respuesta de los juveniles de tilapia roja generada por las condiciones del agua. Aunque la tilapia es resistente a concentraciones de oxígeno disuelto bajas eso no significa que no afecte el crecimiento mantenerlas a $< 3 \text{ mg.L}^{-1}$. A pesar de que en el tratamiento tres la concentración de oxígeno fue baja, es probable que la falta de recambio por obvias razones mantuviera en un constante estrés a los animales de ese tratamiento, afectando su crecimiento aunque no fue letal, por eso el modelo logístico se acerca al exponencial, ya que tiende a caracterizar bien el crecimiento cuando éste es relativamente lento en estadios tempranos de vida (Griffiths *et al.*, 2010) tal como les pasó a los peces del tratamiento sin recambio.

Estos resultados son similares a los obtenidos por Montana *et al.* (2013) quienes detectaron durante tres períodos continuos de 30 días, para tres grupos (A, B, y C) de alevines de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en sistemas cerrados de recirculación de agua (SCRA), para las variables masa, longitud estándar y longitud total, que los valores de R^2 corresponden con mayor precisión a los modelos exponencial y potencial como se espera para los organismos jóvenes en su fase de crecimiento temprano. Aunque un SCRA bien llevado, puede mantener excelentes niveles para el crecimiento de cualquier especie, lo cual es completamente diferente a las condiciones de este ensayo, en ambos casos se refleja que, independientemente del tipo de cultivo, en las primeras etapas los peces crecen de manera exponencial.

Cuadro 6. Crecimiento en masa de los alevines de tilapia roja sometidos a tres niveles de recambio de agua

Tratamientos (Recambio de agua)	Modelo	Ecuación de crecimiento	CME	R^2
25% diario	Exponencial	$Y = 1,549 + 0,022X$	0,00014	0,98
	Gompertz	$Y = 0,454 + 0,011X$	0,00005	0,97
	Logístico	$Y = 0,285 + 0,001X$	$1,030 \times 10^{-6}$	0,93
	Monomolecular	$Y = 0,775 + 0,003X$	0,00001	0,93
50% cada 7 días	Exponencial	$Y = 1,611 + 0,012X$	0,00022	0,91
	Gompertz	$Y = 0,48 + 0,007X$	0,00007	0,89
	Logístico	$Y = 0,287 + 0,000X$	$1,19 \times 10^{-6}$	0,86
	Monomolecular	$Y = 0,781 + 0,002X$	0,00001	0,86
Sin recambio	Exponencial	$Y = 1,623 + 0,004X$	0,00023	0,96
	Gompertz	$Y = 0,487 + 0,007X$	0,00007	0,92
	Logístico	$Y = 0,288 + 0,000X$	$1,079 \times 10^{-6}$	0,95
	Monomolecular	$Y = 0,784 + 0,002X$	$8,206 \times 10^{-6}$	0,89

CME=Cuadrado medio del error; R^2 = Coeficiente de determinación.

Martínez (2012), en la evaluación del crecimiento de *Carassius auratus* aplicando los modelos lineal, exponencial, gompertz, logístico, Richard y Von Bertalanffy, obtuvo el mejor ajuste con el coeficiente de determinación más cercano a 1 en los modelos lineal y exponencial. Botero y Ospina (2002), en ensayo realizado en jaulas flotantes en las Islas del Rosario, Caribe Colombiano, luego de 118 días de estudio determinaron que el modelo de crecimiento exponencial para la masa presentó un coeficiente de determinación de 0,99 para el *Lutjanus analis* (Pargo palmero).

Carrascal (2011) en ensayo con alevines de carpa común (*Cyprinus carpio*) en sistemas cerrados de recirculación de agua (SCRA) durante 12 semanas de cultivo, comparó dos montajes de cultivos (M1 y M2) con cinco repeticiones cada uno, determinó que la masa se ajustó mejor al modelo

exponencial en las dos pruebas (R^2 M1 = 0,94 y R^2 M2= 0,99); sin embargo, la longitud total se ajustó de manera similar a los modelos exponencial y lineal (R^2 M1= 0,94 y R^2 M= 0,98), estos resultados son similares a los obtenidos en esta investigación y además coinciden con Ramírez (1999), quien afirma que la mayoría de los organismos biológicos exhiben en sus primeras etapas de desarrollo un crecimiento exponencial; no obstante, Santos et al. (2007) evaluaron el crecimiento de varias cepas de tilapia roja y encontraron en el modelo exponencial el mejor ajuste para todas las cepas. Más adelante Costa et al. (2009) evaluaron el crecimiento de varias cepas de tilapia roja y encontraron que el modelo exponencial tenía el mejor ajuste para todas las cepas.

Cuadro 7. Crecimiento en longitud total de los alevines de tilapia roja sometidos a tres niveles de recambio de agua

Tratamientos (Recambio de agua)	Modelo	Ecuación de crecimiento	CME	R ²
25% diario	Exponencial	Y=1,845+ 0,008X	0,00164	0,99
	Gompertz	Y=0,614+ 0,004X	0,00106	0,98
	Logístico	Y=0,305+ 0,000X	0,00003	0,98
	Monomolecular	Y=0,830+ 0,001X	0,00023	0,98
50% cada 7 días	Exponencial	Y=1,864+ 0,005X	0,00402	0,97
	Gompertz	Y=0,623+ 0,002X	0,00157	0,97
	Logístico	Y=0,306+ 0,000X	0,00003	0,96
	Monomolecular	Y=0,832+ 0,000X	0,00024	0,96
Sin recambio	Exponencial	Y=1,881+ 0,004X	0,00301	0,96
	Gompertz	Y=0,632+ 0,002X	0,00113	0,96
	Logístico	Y=0,307+ 0,000X	0,00002	0,95
	Monomolecular	Y=0,835+ 0,000X	0,00018	0,95

CME=Cuadrado medio del error; R²= Coeficiente de determinación.

En contraposición a estos resultados, Solano (2007), indica que en la evaluación del crecimiento de dorada, *Coryphaena hippurus* (Lynnaeus, 1978), el modelo gompertz, presentó mejor ajuste a los valores observados para el crecimiento en talla en relación al modelo de Von Bertalanffy. De manera similar, estudios presentados por Arzola (2014) en corvina (*C. othonopterus*) determinaron que el modelo logístico ofrece bases más objetivas para describir el crecimiento de la corvina; aunque, Zar (1999) explica que cuando los individuos están en las primeras etapas de crecimiento los modelos de gompertz y logístico no se ajustan. En la selección del modelo es importante considerar, además del coeficiente de determinación, al modelo que presenta el menor cuadrado medio del error (CME) del análisis de varianza de la regresión, ya que garantiza mayor confiabilidad de los resultados.

Posiblemente estos autores no consideraron el cuadrado medio del error (CME) de la ecuación ajustada y solo emplearon el coeficiente de determinación. Esta observación toma más sustento porque no es mencionada por los autores antes señalados. De esta manera, es

fundamental considerar el CME esto porque él representa la variabilidad en el ajuste de los datos por la función empleada (Cornell y Berger, 1987).

CONCLUSIONES

El recambio diario de 25% del agua favoreció el crecimiento de los juveniles de tilapia roja, debido a que proporcionó mejor calidad de agua, expresada en mayor concentración de oxígeno disuelto, pH y temperaturas estables y menores valores promedios de nitratos.

Los tratamientos con recambio de 50% y sin recambio de agua generaron acumulación de nitratos que resultaron negativos para el crecimiento de los juveniles de tilapia.

El modelo exponencial fue el que presentó el mejor ajuste para masa y longitud total de los juveniles de tilapia roja, independientemente del tratamiento de recambio de agua utilizado.

LITERATURA CITADA

- Arzola, E. 2014. Aplicación del enfoque multimodelo para la evaluación del crecimiento individual de la curvina golfina *Cynoscion othonopterus* en el Alto Golfo de California. *Ciencia Pesquera* 22(1): 79-88.
- Avnimelech, Y. 2007. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. *Aquaculture*. 264(1): 140-147.
- Betancourth, C. 2020. 7 beneficios y propiedades de la tilapia que no conocías. <https://mejorconsalud.com/7-beneficios-propiedades-la-tilapia-no-conocias/>
- Beveridge, M, y McAndrew, B. 2001. Tilapias: biology and exploitations. Londres: Kluwer Academic Publishers Fish and Fisheries. 505p.
- Botero, J, y Ospina, J. 2002. Crecimiento de juveniles de pargo palmero *Lutjanus analis* (Cuvier) en jaulas flotantes, en Islas del Rosario, Caribe Colombiano. *Bol. Inv. Mar. Cos.* 31: 205-217.
- Boyd, C. 1990. Water quality in warm water fish ponds. Alabama: Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University. pp. 482.
- Boyd, C. 1996. Manejo de suelo y de la calidad de agua en la acuicultura de piscinas. Asociación Americana de Soya (ASA). Caracas, Venezuela. 62 p.
- Boyd, C. 2004. Considerations on water quality and soil in shrimp culture. Alabama USA. 30 p.
- Buxade, C. 1997. Zootecnia, Bases de Producción Animal. Tomo XIII. Mundi Prensa Libros. Madrid, España. 343 p.
- Castillo, C. 2001. Tilapia roja una evolución de 20 años, de la incertidumbre al éxito doce años después. Cali, Valle, Colombia. Disponible en (www.todomaiz.com/acqua-pia/).
- Cantor, F. 2007. Manual de producción de la tilapia. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. Ciudad de Puebla. México. 135p.
- Carrascal, J. 2011. Evaluación de la etapa de levante de carpa común (*Cyprinus carpio*) en sistemas cerrados de recirculación de agua. Tesis. Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ciencias Básicas.
- Climate-Data.Org. 2020. Datos climáticos mundiales (en línea). Consultado 10 ene. 2021 Disponible en:<https://es.climate-data.org/>
- Cornell, J, y Berger, R. 1987. Factors that influence the coefficient of determination in simple linear and non linear models. *Phytopathology* 77: 63-70.
- Costa, A., Reis, R., Freato, T. 2009. Avaliação do crescimento de tilápias de diferentes linhagens através de modelos não lineares. *Archivos de Zootecnia*. 1(58): 561-564.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M., Robledo, C. 2014. INFOSTAT versión 2014. Grupo Infostat, FCA. Universidad Nacional de Cordova. Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
- Edna, H, y C. Boyd. 1997. Dynamics of pond aquaculture. CRS. Press. 1ª ed. Boca Ratón, Florida, Usa. pp. 472.
- García, A., y Calvario, O. 2008. Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Tilapia para la Inocuidad Alimentaria. Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo (CIAD). Mazatlán, Sinaloa, México. 104 p.
- González, R., Romero, O., Valdivié, M. 2010. Influencia de la calidad del agua en la productividad acuícola. [on-línea]. Disponible en: <http://www.vet-uy.com/articulos/piscicultura/050/020/pec020.htm>.
- Griffiths, S., Gary, F., Manson, F., y Dong, L. 2010. Age and growth of Long tail Tuna (*Thunnus tonggol*) in tropical and temperate waters of the central Indo-Pacific. *ICES. Journal of Marine Science* 67(1): 125-134.
- Hahn-Von-Hessberg, C., y A. Grajales. 2016. Evaluación de invernaderos en producciones piscícolas. *Bol.Cient.Mus.Hist.Nat.U.deCaldas*. 20(2):124-137.
- Hsien, S., y Quintanilla, M. 2008. Manual sobre reproducción y cultivo de tilapia. Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura. San Salvador. El Salvador. 68p.
- Ingle de la Mora, G., Villareal, E., Arredondo, L. Ponce, J., Barriga, I. 2003. Evaluación de algunos parámetros de calidad del agua en un sistema cerrado de recirculación para la acuicultura, sometido a diferentes cargas de biomasa de peces. *Hidrobiológica* 13(4): 247-253.
- León, C., y Barrera, B. 2003. Métodos biomatemáticos para análisis de sistemas bioagropecuarios en el Ecuador. INIAP y CIP. Quito, Ecuador. 187 pp.
- Linares, F. 2010. Protocolo de determinación de oxígeno por el método Winkler. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco-División de

- Ciencias Biológicas y de la Salud-Licenciatura en Biología. Xochimilco, México. 1-3.
- Luchini, L. 2006. Tilapia: su cultivo y sistemas de producción. [En línea]. Disponible en:http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/acuicultura/01=Cultivos/01-Especies/_archivos/000008Tilapia/071201_Generalidades%20acerca%20del%20cultivo%20%28Parte%2001%29.pdf.
- Luna, J, y Figueroa, J. 2000. Reproducción y crecimiento en cautiverio de la mojarra criolla *Cichlasoma istlanum* (Pisces: Cichlidae). Rev. AquaTIC.10:19
- Marcillo, F. 2001. Recambios de Agua. [en línea]. Disponible en:<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/8890/1/Clase04.pdf>.
- Martínez, O. 2012. Determinación del efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento de golfish (*Carassius auratus*) en sistemas cerrados de recirculación de agua. Tesis de grado. Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ciencias Básicas. 34p.
- Montana, C., Hurtado, H., Gómez, E. 2013. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry initiation in closed water recirculation systems. Rev Colomb Cienc Pec. 26: 211-218.
- Morales, A. 1991. La tilapia en México. Biología, Cultivo y Pesquerías. A. G. T. México. 190p.
- Moyle, B, y Cech, J. 2000. Fishes an introduction to ichthyology. Prentice Hall. Uppers addle river. New Jersey. USA. Pp: 112-122.
- Perdomo, D., Corredor, Z., Ramírez, L. 2012. Características físico-químicas y morfométricas en la crianza por fases de la tilapia roja (*Oreochromis spp.*) en una zona cálida tropical. Zootecnia Trop. 30(1): 99-108.
- Ramírez, A. 1999. Ecología Aplicada. Diseño y Análisis Estadístico. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Salazar, C., y Flores, C. 2015. Evaluación de los parámetros de crecimiento de alevines de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) con dietas enriquecidas con dos aceites esenciales: Cúrcuma (*Cúrcuma longa*) y Hierba Luisa (*Cymbopogon citratus*). Tesis. Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador.
- Saubot, P. 2002. Ciclo del nitrógeno. [En línea]. Disponible en:http://www.estanquesypeces.com/estanques/ciclo_del_nitrogeno.htm.
- Santos, B., Fonseca, R., Fonseca, F., Freato, T. 2009. Avaliação de curvas de crescimento morfométrico de linhagens de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). Ciênc. Agrotec. Lavras, 5(31): 1486-1492.
- Sauceda, R., Rendón, P., Figueroa, P., Rendón, E., López, C. 2009. Modelo técnico para cultivo de tilapias (*Oreochromis sp.*) en jaulas. Sistema de productos de tilapia. México, México. 133p.
- Solano, F. 2007. Determinación de edad y crecimiento del dorado en el Pacífico Sur Mexicano. *Coryphaena hippurus* (Lynnaeus, 1978). Tesis. Campus Puerto Ángel. Oaxaca, México.
- Tresierra, A, y Culquichicón, Z. 1993. Biología Pesquera. Libertad. Trujillo, Perú.
- Valbuena, R, y Cruz, P. 2006. Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). Orinoquia. 10(1): 57-63.
- Weatherley, A, y Gill, H. 1987. The biology of fish growth. Academic Press. 443p.
- Zar, J. 1999. Biostatistical analysis. 4 ed. Prentice Hall. New Jersey. EUA. 662p.