

**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**



**Determinación del efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento
de goldfish (*Carassius auratus*) en sistemas cerrados de recirculación de
agua**

Oscar Martínez Moreno

Tesis de grado

Director: Hernán Hurtado Giraldo P hD

**Universidad Militar Nueva Granada
Facultad de Ciencias Básicas
Biología Aplicada
2012**

Determinación del efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento de Goldfish (*Carassius auratus*) en sistemas cerrados de recirculación de agua.

1. Justificación

A pesar de que nuestro país es considerado en el ámbito internacional como una potencia hídrica, la cantidad de agua de buena calidad es cada vez menos abundante, tanto a nivel mundial, como en Colombia,. Esto, sumado al elevado costo de la tierra y la inseguridad hacen más difícil su utilización en el cultivo de peces (Colciencias, 2000; Wurts, 2000; Bushman y Pizarro, 2001; Salazar, 2002). Adicionalmente, con frecuencia las aguas de buena calidad para el cultivo de peces que se caracterizan principalmente por tener unos parámetros fisicoquímicos estables (pH, temperatura, oxigenación, NO₂) y estar libres de contaminación, se encuentran alejadas de los centros de comercio. (Timmons et al, 1995).

Todos estos aspectos hacen pertinente desarrollar sistemas de cultivo caracterizados por diseños a mínimo costo, con baja utilización del recurso hídrico, mayor rendimiento por volumen de agua y que puedan ser instalados cerca de los centros de comercio (o incluso en ellos). En ese sentido el Grupo de Ictiología de la Universidad Militar Nueva Granada está adelantando investigaciones en sistemas cerrados de recirculación con varias especies tanto de consumo como ornamentales, (Montaña et al, 2005; Leal et al, 2007; Rodríguez et al, 2007; Hernández et al, 2010, Carrascal J. 2011).

El goldfish (*Carassius auratus*) es una de las especies más distribuidas en el mundo siendo muy apetecida en el mercado ornamental llegando a encontrarse en casi todos las tiendas que comercializan con peces. Esto, debido a su facilidad de cultivo y reproducción, su adaptación a una gran variedad de climas y su resistencia a diferentes enfermedades (Marshall E. 2003).

Con el fin de contribuir a los procesos de optimización de los sistemas acuícolas diseñados por el grupo de Ictiología, se planteó evaluar el crecimiento de

Carassius auratus en Sistemas Cerrados de Recirculación (SCR) a tres densidades diferentes, ya que los SRC tienen diferentes ventajas como pueden ser, el incremento en la productividad, la producción continuada a lo largo de todo el año con independencia de las condiciones climáticas externas, además de esto, se puede incrementar el índice de conversión de los alimentos, al igual que mejorar el control de la calidad del agua de cultivo (Galli O,2007).

Otras ventajas son la reducción en el volumen de agua residual a tratar, la flexibilidad de ubicación de la piscifactoría en función de la cercanía del mercado, y la bioseguridad pues se pueden implementar procesos la prevención sanitaria de los escapes e incluso como elemento necesario para trabajar con especies no nativas (Galli O,2007).

Si bien, lo anterior es importante para la implementación de sistemas de recirculación cabe anotar que la densidad de siembra es otro factor determinante en los sistemas acuícolas, ya que afecta directamente en la salud y bienestar de las especies que se cultivan y a su vez influye directamente en la productividad del sistema (Tankersley y Butz, 1998).

2. Objetivos:

2.1 Objetivo general:

Determinar el efecto de la densidad de siembra sobre la cinética de crecimiento y la supervivencia de *C. auratus* en sistemas cerrados de recirculación de agua.

2.2 Objetivos específicos:

- Identificar la cinética de crecimiento de goldfish (*C. auratus*) a tres diferentes densidades de siembra en Sistemas Cerrados de Recirculación.
- Establecer la sobrevivencia de goldfish (*C. auratus*) a tres diferentes densidades de siembra en Sistemas Cerrados de Recirculación.

- Determinar los parámetros fisicoquímicos del agua del cultivo de Goldfish (*C. auratus*) en tres diferentes densidades de siembra en Sistemas Cerrados de Recirculación.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 Generalidades de *Carassius auratus*

C. auratus es un miembro de la familia Cyprinidae a la cual pertenecen las carpas. A lo largo de los siglos se han desarrollado un gran número de variedades, siendo las más conocidas la Cometa, Shubunkin, Cola de Velo, Telescopio, Cabeza de León y Oranda. Estos peces presentan aleta dorsal, aleta caudal, aleta anal, dos aletas pélvicas y dos aletas pectorales. El desarrollo e incluso el número de aletas cambian según la variedad (Rakocy et al, 2006). En general son peces rústicos y tolerantes a cambios grandes de temperatura y concentración de nitratos, viven en ambientes fríos con temperaturas de unos 19 °C, aunque resiste variaciones muy grandes. (Smartt y Bundell, 1996; Smartt, 2001).

En general *C. auratus* es un pez pacífico y sociable, con tendencia a nadar en grupos. Sin embargo, durante la época reproductiva se incrementa el nivel de agresividad, especialmente en los machos. Presenta cortejo, su fertilización es externa, llevando a posturas de hasta 10.000 huevos. El desarrollo dura entre 5-7 días, tiempo en el cual los alevinos inician la búsqueda de alimento (Smartt y Bundell, 1996; Smartt, 2001).

Se han desarrollado sistemas de cultivo de *C. auratus* en estanques y sistemas de recirculación, siendo los primeros los más utilizados, si bien, la introducción de estas especies en sistemas acuícolas naturales puede poner en peligro la supervivencia de especies nativas de los lugares donde no sea originaria, ya sea por la competencia por alimento o por predación entre otros factores.

la demanda de esta especie en diferentes países como consecuencia de su gran aceptación como especie ornamental hacen pertinente el desarrollo de sistemas de cultivos apropiados, es por esto que se ha pensado en la tecnificación del cultivo utilizando SRC lo que permite aumentar la productividad y mantener un control sobre las condiciones fisicoquímicas del sistema así como del crecimiento de la especie, siendo más estudiados las variables de temperatura, densidad de siembra y alimento suministrado. (Moreira, R.L Da Costa, J.M, 2010)

Se han reportado estudios en sistemas de recirculación en tanques y SCR que indican una alta tolerancia de *C. auratus* a condiciones extremas, (Abramenko et al.1997), incluyendo altos niveles de turbidez, y fluctuaciones en el pH y la temperatura, pruebas de laboratorio han revelado niveles de tolerancia de pH entre 4.5 y 10.5 y preferencias por niveles entre 5.5 y 7.0 (Szczerbowski 2001).

3.2 Importancia económica de los peces ornamentales

El mercado de los peces ornamentales a nivel global es de gran magnitud, pues se estima que llega a mover US\$3000 millones con una tasa de crecimiento del 14% desde 1985 (Panne y Luchini, 2008). Es importante destacar el mercado de Estados Unidos (siendo el mayor y más cercano para Colombia), ya que es el país con mayor importación de peces ornamentales principalmente desde Indonesia, Filipinas, Colombia, Perú y Brasil, comercializando un total 44 millones de individuos anuales generando aproximadamente US\$ 47 millones en ganancias (Panne y Luchini, 2008). Este es un mercado en el cual Colombia puede mejorar su participación, si se logra tecnificar los sistemas de cultivo y generar productos de buena calidad, que sean masivos y a un costo competitivo. (Colciencias, 2000).

Es importante añadir que la gran mayoría de los peces ornamentales importados por Estados Unidos provienen del sudeste asiático (Harvey, 2004) lo cual podría indicar que la cercanía geográfica de Colombia constituye una ventaja al disminuir costos y tiempo de transporte de los peces. Adicionalmente, en el

mercado Colombiano *C. auratus* es uno de los peces de mayor aceptación, encontrándose en todas las tiendas que comercian con peces ornamentales (Zambrano, 2006), razón por la cual deben generarse sistemas de cultivo que sean económicos y que soporten una gran cantidad de peces para satisfacer la demanda.

La actividad en Estados Unidos en cuanto a la producción de peces ornamentales es limitada y se centra especialmente en estado de La Florida el cual produce 33 millones de peces, que corresponde a 2/3 del total producido en dicho país, por lo que tiene que importar gran parte de dichos peces para satisfacer su demanda local, dentro de los países exportadores de peces hacia Estados Unidos se destacan Singapur, Malasia, Indonesia, Vietnam y la India, llegando a cifras de comercialización de US\$ 300 millones. En Suramérica se encuentran Perú, Venezuela y Brasil con US\$ 10 millones (Panne y Luchini, 2008; Gosh et al, 2003).

En 2010, Estados Unidos realizó importaciones de Goldfish por alrededor de US\$ 20 millones siendo su principal proveedor Singapur aportando US\$6 millones, seguidos de China y Tailandia con US\$ 4 millones, Colombia participó con exportaciones por cerca de 60.000 dólares. (Zepol, 2010).

En Colombia la acuicultura ornamental se ubica principalmente en el Valle, el Eje Cafetero y Antioquia, donde generalmente se utilizan los sistemas tradicionales de estanques con flujo continuo de agua que no abastece completamente la demanda del mercado interno por lo que no hay suficiencia de ejemplares para lograr una exportación a otros países (Ladines M, 2007).

3.3 Acuicultura en sistemas de recirculación

Aunque los SCR se pueden utilizar para el cultivo de otros grupos de animales acuáticos (Tankersley y Butz, 1998), estos se están estudiando y empleando especialmente para el cultivo de peces, tanto marinos como de agua dulce (Colt, 1991; Ebeling et al, 1995; Ji et al, 1997; McGee y Chichra, 2000) primando las especies de consumo sobre las ornamentales.

Los sistemas de recirculación de agua son sistemas de producción cerrados que continuamente filtran y reciclan el agua, están diseñados para minimizar los recambios de esta en las unidades de cultivo lo que posibilita la piscicultura a gran escala generando poca o ninguna contaminación. Estos sistemas deben cumplir varias funciones entre las que se destacan: aireación, remoción de partículas sólidas, remoción de amonio y nitrito, regulación del pH entre otras (Colt, 1991; Ebeling et al, 1995).

3.3.1 Aireación

Tanto en los sistemas tradicionales de acuicultura como en los que emplean recirculación, el oxígeno es uno de los principales factores limitantes. Niveles menores que los necesarios conducen a una mala calidad en el agua, factores de conversión alimenticia reducidos, reducción en el crecimiento e incremento en la mortalidad. Ya que influye en el comportamiento y en la apetencia del alimento por los peces (Colt, 1991).

En general en los SRC por la alta densidad que manejan, las concentraciones de oxígeno disuelto se registran en un rango de entre 3 a 7ppm (kraused J, 2006) lo cual hace imperativo buscar soluciones para mantener los niveles en los rangos adecuados de la especie, los más comunes son los métodos de aireación mecánicos que mejoran la concentración de oxígeno en el agua. Los principales tipos de aireación mecánica son bombas verticales, de difusión, pulverizadores, Aireadores en gravedad, tubos e U, turbinas rápidas, aireación por caída y oxigenadores; El tipo de sistema de oxigenación utilizado depende de las condiciones físicas y el tamaño de los sistemas de recirculación utilizados.

También se pueden utilizar sistemas de oxigenación los cuales introducen oxígeno puro al sistema pero esos sistemas tienen un costo elevado. (McGee M, Cichra, C. 2000)

Si bien los sistemas de aireación son un suplemento para las demanda biológica de oxígeno producida en los SRC también es importante mencionar que estos pueden generar una dependencia energética en cuanto al consumo de energía

eléctrica que se utiliza para su funcionamiento haciendo que aumenten los costos de producción.

3.3.2 *Remoción de partículas sólidas*

Las partículas finas producidas por el alimento no ingerido, las heces de los peces, las algas o bacterias desprendidas de los biofiltros, se pueden acumular en los SCR, constituyendo desechos sólidos indeseables; En un sistema de recirculación, estos desechos pueden influir sobre todos los demás procesos del sistema, constituyendo una fuente importante en la demanda de oxígeno e incorporación de nutrientes al agua y pueden afectar la salud de los peces actuando sobre las branquias y aumentando su exposición a los patógenos. Estas partículas sólidas se pueden eliminar utilizando sistemas de sedimentación o de filtración mecánica (Ji et al, 1997; McGee y Chichra, 2000).

La filtración en los sistemas de recirculación, se puede lograr por diferentes métodos como filtros mecánicos, filtros de gravedad, filtros químicos, filtros biológicos. (kraused J, 2006).

Filtros mecánicos

Se utilizan para eliminar partículas en suspensión, estos emplean las diferencias en el tamaño de la partícula en solución. Este proceso es importante para mantener la transparencia del agua y reducir la cantidad de materia orgánica biodegradable en el sistema. (Moreira R, 2010)

Filtros químicos

Son principalmente unidades que acumulan o concentran una sustancia en una superficie o interface. Los más utilizados en acuicultura son los filtros de Carbono los cuales se emplean para eliminar productos orgánicos de excreción (Coll Morales, 1991).

Filtración por gravedad

Es uno de los más utilizados por su economía y facilidad de instalación, en estos sistemas el agua que contiene al material a filtrar entra por la parte superior y pasa hacia abajo a través de las capas del filtro. Un tubo perforado o un suelo

simplemente perforado proporcionan el sistema de conexión del agua limpia. La gravedad proporciona la energía necesaria para inducir el flujo a través del filtro. (Moreira R, 2010)

3.3.3 *Remoción de amonio y nitrito.*

El amonio es un compuesto nitrogenado, gaseoso, incoloro y alcalino. Se caracteriza por su alta solubilidad en agua. Es el principal producto del catabolismo de los peces siendo excretado a través de las branquias. (McGee y Cichra, 2000), por lo que es importante estar monitoreando sus niveles (Gosh et al, 2003). El amonio se puede encontrar en dos formas, ionizado (NH_4^+), y no ionizado (NH_3), estando sujeto su equilibrio al pH y la temperatura, presentando más toxicidad la forma no ionizada (NH_3) (Galli, et al, 2007).

Entre los efectos adversos del amonio no ionizado (NH_3) podemos destacar la inhibición del crecimiento, disminución de la fecundidad y las defensas, alteraciones de las branquias y del sistema nervioso (Masser et al, 1999). La tolerancia de los peces a estos efectos adversos depende del tipo y tamaño del pez, su estado general de salud, los niveles de oxígeno disuelto y el pH. Este último es particularmente importante, ya que los niveles de amonio no ionizado dependen del pH, y se incrementan considerablemente a medida que este aumenta (tabla 1) (McGee y Cichra, 2000).

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante destacar que uno de los principales aspectos positivos de los SCR es que en ellos se desarrollan colonias de bacterias que llevan a cabo la transformación del amonio a nitrito y de este a nitrato. Este último sólo es tóxico a concentraciones muy elevadas (200-300 ppm dependiendo de las especies) (Turnbull y Timmons, 1993; Randall et al, 2002).

Tabla 1: Relación entre el pH y la temperatura en el porcentaje de amonio toxico (Tabla de Wuhrman y Woker 1948)

		TEMPERATURA °C							
pH	16	18	20	22	24	26	28	30	32
6.5	0.09	0.11	0.13	0.15	0.18	0.20	0.22	0.26	0.29
7.0	0.30	0.34	0.40	0.46	0.52	0.60	0.70	0.81	0.95
7.2	0.47	0.54	0.63	0.72	0.82	0.95	1.10	1.27	1.50
7.6	0.74	0.86	0.99	1.14	1.30	1.50	1.73	2.00	2.36
7.8	1.17	1.35	1.58	1.79	2.05	2.35	2.72	3.13	3.69
8.0	2.88	3.32	3.83	4.37	4.99	5.71	6.55	7.52	8.77
8.2	4.49	5.16	5.94	6.76	7.68	8.75	10.00	11.41	13.22
8.4	6.93	7.94	9.09	10.30	11.65	13.20	14.98	16.96	19.46
8.6	10.56	12.03	13.68	15.40	17.28	17.28	21.83	24.45	27.68
8.8	15.76	17.82	20.08	22.38	24.88	24.88	30.68	33.90	37.76
9.0	22.87	25.57	28.47	31.37	34.42	34.42	41.23	44.84	49.02
9.2	31.97	35.25	38.69	42.01	45.41	45.41	52.65	56.30	60.38
9.4	42.68	46.32	50.00	53.45	56.86	56.86	63.79	67.12	70.72
9.6	54.14	57.77	61.31	64.54	67.63	67.63	73.63	76.39	79.29
9.8	65.17	68.43	71.53	74.25	76.81	76.81	81.57	83.68	85.85
10.0	74.78	77.46	79.92	82.05	84.00	84.00	87.52	89.05	90.58
10.2	82.45	84.48	86.32	87.87	89.92	89.92	91.75	92.80	93.84

Los nitritos se obtienen por oxidación del amonio por las bacterias nitrificantes que están presentes en los sistemas acuáticos. En general se puede decir que concentraciones altas de nitritos se pueden observar cuando el sistema se está estabilizando (primeras semanas), después de esto las condiciones biológicas del sistema permiten regular los niveles de nitritos (Randall et al, 2002). El exceso de nitritos es un problema importante en los sistemas de recirculación debido a que estos se fijan en las moléculas de hemoglobina de los peces inhibiendo el transporte de oxígeno en la sangre. Se considera que una concentración superior a 0.3 mg/ l puede ser perjudicial para los peces (Turnbull y Timmons, 1993).

El nitrato es el producto final de la “nitrificación” y el menos tóxico de los productos nitrogenados. En los sistemas de recirculación se controla por medio de sistemas de biofiltración que complementan al intercambio de agua y que gracias a las bacterias nitrificantes pueden ser una solución eficiente para el control de los niveles de amonio y nitritos. (Zarsky D, 2010)

Además de esto, se pueden utilizar sistemas que usen otras especies para la eliminación o procesamiento de los nitratos como son los sistemas acuaponicos,

los cuales se basan en cultivos de plantas situados en los tanques de biofiltro lo que ayuda a reducir la toxicidad del agua para los peces, y permite que los compuestos de nitrato resultantes sean removidos por las plantas para su nutrimento. (Ramirez D, 2006)

3.3.4. Regulación del pH y KH

El metabolismo de los peces (liberación de CO₂) y la nitrificación bacteriana resulta en la formación de ácidos que disminuyen la capacidad buffer del agua y bajan el pH (ecuación 1)

$$\text{pH} = \text{pK} + \log \frac{[\text{sal}]}{[\text{ácido}]}$$

Esto indica que a mayor cantidad de sales la cantidad de ácido será menor afectando los procesos metabólicos de los peces, Para resolver esto se utilizan compuestos como el bicarbonato de sodio o minerales que puedan servir como fuentes de carbonatos.

Estos compuestos ayudan a nivelar los niveles de ácidos con equilibrios reversibles entre el CO₂ gaseoso y el CO₂ disuelto en la sangre de los organismos (Chen y Ling, 2006),

El KH indica el valor de dureza carbónica o dureza temporal, se produce a partir de la disolución de carbonatos en forma de bicarbonatos y puede ser eliminada al hervir el agua o por la adición del hidróxido de calcio (Ca(OH)₂).

La regulación de los valores de KH y GH dependen en gran medida de la concentración de sales principalmente calcio y magnesio y depende en gran medida de las variaciones CO₂ y del pH presente en el agua, y se puede controlar con recambios de agua si los valores son muy altos (200 a 400 ppm) o con adición de esta sales si lo niveles son muy bajos, (Krause J, et al, 2006).

3.4 Ventajas y desventajas de un sistema de recirculación de agua

En un sistema de recirculación se presentan ventajas como: (Galli, y Miguel, 2007)

1. Bajo requerimiento de agua al utilizar recirculación y biofiltros que optimizan al máximo el recurso hídrico.
2. Bajo requerimiento de tierra e independencia del clima ya que puede montarse en recintos cerrados.
3. Se puede manejar con más facilidad el tratamiento de algunas enfermedades.
4. Reducción de la cantidad de desechos y la posibilidad del tratamiento de los mismos directamente en los sistemas.
5. un mejor control de la temperatura y calidad del agua.
6. Mayor flexibilidad en cuanto a la ubicación de las instalaciones, llevando al interesante concepto de la acuicultura urbana o semiurbana.

Sin embargo se pueden encontrar algunas desventajas (Masser et al. 1999):

- Generalmente presenta un mayor costo de infraestructura, especialmente en sistemas intensivos y superintensivos altamente sofisticados.
- Dependencia de la energía eléctrica.
- Mayor posibilidad de aparición de enfermedades en caso de problemas de calidad del agua
- Necesidad de personal altamente entrenado

Cabe señalar que este proyecto utiliza sistemas de cultivo a mínimo costo ya probados por el grupo de investigación, los cuales son sencillos, de fácil montaje y mantenimiento pero requieren cierto nivel de conocimiento, lo cual necesariamente contribuye a mitigar estas desventajas de los sistemas de recirculación (Leal y Vargas, 2006).

3.5 Efectos de la densidad de cultivo sobre el crecimiento

La cantidad de peces presentes en un sistema de cultivo puede afectar el crecimiento de estos organismos por competencia intraespecífica, (por disponibilidad de alimento, efectos metabólicos debido a la acumulación de desechos tóxicos tipo amonio y nitritos, incremento en el estrés que lleva a

agresividad y eventualmente a lesiones) y disminución de los niveles de oxígeno, (Paul et al, 2006; Bailey, 2000).

Lo ideal es combinar tanto la densidad de siembra como la tasa de alimentación, para obtener una cantidad más alta de individuos que aumenten en peso y longitud en menor tiempo manteniendo condiciones adecuadas en los sistemas de recirculación (Seber y Wild, 1989).

3.6 Modelos de crecimiento

En los modelos de crecimiento como el de Von Bertalanffy se asume que la tasa de crecimiento está determinada en gran medida por la relación entre catabolismo y anabolismo. En un modelo como el de von Bertalanffy, este supone que la tasa de crecimiento K se relaciona con el catabolismo, mientras que la longitud proyectada al infinito (L) se relaciona con el anabolismo. La modelación del crecimiento dependiente de la densidad se expresa entonces como una función de la biomasa de la población. Cuando la densidad es baja el incremento en biomasa es mayor, pero disminuye al aumentar la densidad, en términos generales, el manejo inapropiado de la densidad puede llevar a daños económicos, ya sea por desuso de los recursos o por pérdida del producto (EIFAC, 1994).

Lineal y exponencial

En el contexto del presente trabajo resulta de gran importancia caracterizar la acumulación de biomasa y demás procesos de crecimiento con el fin de establecer el efecto de las diferentes densidades de siembra a través del tiempo y el proceso de crecimiento y desarrollo de los peces (Lunger y Rasmussen, 2006; Quinn y Keough, 2002).

Uno de los modelos más usados para determinar el crecimiento de un organismo o un individuo es el modelo lineal, que utiliza la siguiente fórmula: (Tomado de: Seber, G; Wild, J.1989. Non linear Regression. Wiley Interscience).

$$Y=MX+b$$

Donde m representa la pendiente y el valor de b determina el punto donde la recta corta al eje Y (la *ordenada al origen*).

Otro modelo que expresa el crecimiento de un organismo es el exponencial, el cual se aplica generalmente a una magnitud M , tal que su variación en el tiempo puede ser proporcional a su valor, y se expresa por la ecuación: (Tomado de Seber, G; Wild, J 1989. Non linear Regression. Wiley Interscience.)

$$M_t = M_0 \cdot e^{rt}$$

En donde M_t = el valor de la magnitud cuando $t > 0$

M_0 = es el valor inicial de la variable cuando $t = 0$

r es la tasa de crecimiento durante el lapso entre $t = 0$ y $t > 0$

e = constante.

Modelos Sigmoidales

Los modelos sigmoidales han sido utilizados para describir el comportamiento de algunas poblaciones de individuos. Uno de los más empleados es el logístico descrito por la siguiente expresión:

$$f(x) = \frac{\alpha}{1 + e^{-k(x-\gamma)}}$$

En el cual α es una asíntota $f(x) \rightarrow \alpha$ cuando $x \rightarrow \infty$. Correspondería al valor en el cual el individuo tiende a estabilizar su masa o talla y por lo tanto la tasa de crecimiento se iguala a cero. La máxima tasa se alcanza en $f(x) = \alpha/2$, en un tiempo que corresponde a $x = \gamma$. La ecuación fue derivada por Verhulst para describir el crecimiento de una población o un órgano.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en la Universidad Militar Nueva Granada sede Cajicá en los laboratorios de ictiología, los individuos se adquirieron a proveedores especializados en producción de peces ornamentales, teniendo en cuenta que los peces no mostraron signos externos de enfermedad como aletas

en mal estado, nadado errático, manchas algodonosas, tendencia a frotarse con piedras u otros objetos, ojos opacos y lesiones externas (Ostrow, 1995).

Los individuos adquiridos eran juveniles clínicamente sanos con pesos de 5.2 ± 0.5 gr y longitud estándar de 2.7 ± 0.6 cm

4.1 Montaje de sistemas de recirculación

Para el montaje del sistema se utilizó un diseño adaptado de los sistemas propuestos por Ebeling et al, 1995, Johnson y Wardlow (1997), Diver (2000), Woods (2000), Montaña y colaboradores (2005),

El sistema estaba compuesto por:

Sistemas Cerrados de Recirculación

Se utilizó un tanque plástico de 250 litros para el mantenimiento de los peces, se empleó además un tanque plástico de 100 litros como biofiltro, (se llenó hasta las $\frac{3}{4}$ partes con grava). Los tanques de peces y el biofiltro se conectaron entre sí en la parte inferior con tubería PVC de 1 pulgada, colocando una válvula de bola de 1 pulgada entre los tanques para restringir el paso de agua para efectos de limpieza de los biofiltros (figura 1).

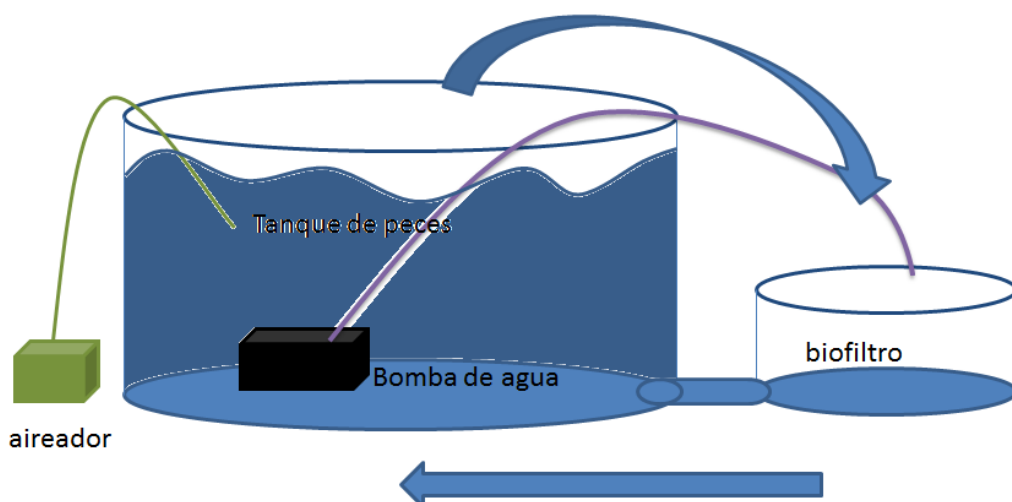


Figura 1. Esquema de sistema de cultivo con recirculación de agua.

Para el bombeo de agua se utilizó una bomba de agua de 1000 litros/hora Resun®, que se conectó por medio de una manguera, hasta el biofiltro,

adicionalmente se colocó un aireador de 2500 cm³/minuto Resun® que sirvió para oxigenar el tanque de los peces.

El volumen total en los SCR fue de 280 litros (200 litros en el tanque de los peces y 80 litros en el biofiltro).



Figura2. Montaje de un sistema de recirculación cerrado (SRC)

4.2 Condiciones de cultivo

Se utilizaron ejemplares de *C. auratus* de 2 a 3 cm de longitud, se realizó un periodo de aclimatación de una semana dentro de los sistemas de cultivo.

Los animales utilizados fueron manejados de acuerdo con lo establecido por los cánones de la ética en la experimentación animal (International Council for Laboratory Animal Science, 1997).

Las condiciones de mantenimiento de los peces se presentan en la tabla 2:

Tabla 2: condiciones de mantenimiento de los peces

Parámetro	Valor
pH	6.0-7.0
Temperatura	18-20 ° C aprox
Fotoperiodo:	12 hora de luz, 12 horas de oscuridad
Amonio total	menor de 2mg / l
Nitrito	menor de 1 mg / l
Nitratos	Hasta 100 mg / l

Concentrado	truchina 45%® de proteína bruta
Alimentación	5% de la masa corporal/día.

Para el mantenimiento de las condiciones fisicoquímicas se realizaban cambios parciales de agua (cambio de una ¼ parte de agua del sistema cada 15 días).

4.3 Tratamientos

Se utilizaron seis sistemas de recirculación, los cuales consistían de tres tratamientos con dos repeticiones:

Tratamiento 1. 40 peces por sistema de 280 l.

Tratamiento 2. 70 peces por sistema de 280 l.

Tratamiento 3. 100 peces por sistema de 280 l.

A los peces se les realizó un seguimiento durante cuatro meses. Culminado este tiempo, se evaluó nuevamente el experimento para los mismos tratamientos por otros cuatro meses con otros ejemplares.

4.4 Registro de datos de los sistemas de recirculación.

Cada 15 días se registraban las variables fisicoquímicas como; temperatura (termómetro Brand® -150-250 °C), pH (potenciómetro), nitratos, nitritos y amonio (Kits comerciales Nutrafin® basados en métodos colorimétricos), temperatura con termómetro de columna de mercurio marca Mengete® rango -20 a 110°C.

Mensualmente se tomaron 20 individuos al azar de cada sistema y se midieron variables biológicas tales como: longitud estándar, longitud total y peso

4.6 Análisis estadístico

Se empleó un diseño complementario al AZAR, donde se llevó a cabo una prueba de Shapiro Wilks para determinar si los valores de crecimiento evaluados

presentaban una distribución normal, a continuación se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si había diferencia entre los tratamientos en cada uno de los muestreos realizados (muestreos mensuales) usando como nivel de significancia del 5% ($P < 0.05$ error tipo I) (Zar, 1999), para lo cual se utilizó el software R versión 2.15.1 de libre distribución en internet (<http://www.r-project.org/>).

Se evaluaron algunos modelos de crecimiento (lineal, exponencial, Gompertz, logístico, Richard, Von Bertalanffy) por medio de regresión no lineal, para cada uno de los tres tratamientos. Se seleccionaron los modelos que presentaron los mejores ajustes, dependiendo del coeficiente de determinación obtenido. Los modelos fueron comparados mediante los intervalos de confianza de sus parámetros, con el fin de establecer si se presentan diferencias entre los distintos tratamientos.

5. RESULTADOS

La supervivencia registrada fue del 93% (ver tabla 3)

Tabla 3 porcentaje de supervivencia de los individuos para los dos ensayos

supervivencia						
Ensayo	1			2		
Tratamiento	40	70	100	40	70	100
% supervivencia	90	90	92	100	92	93

5.1 Parámetros fisicoquímicos.

Los principales parámetros fisicoquímicos se expresan en la tabla 4.

Tabla 4: Parámetros fisicoquímicos en los dos ensayos en todos los tratamientos

pH Tratamiento	Ensayo 1		pH Tratamiento	Ensayo 2	
	promedio	desv estandar		promedio	desv estandar
40	6,27	0,74	40	6,8	0,3
70	6,23	0,84	70	6,8	0,5
100	6,26	0,59	100	6,8	0,3

Temperatura Tratamiento	Ensayo 1	
	promedio	desv estandar
40	18,2	0,5
70	18,1	0,6
100	18,1	0,5

Temperatura Tratamiento	Ensayo 2	
	promedio	desv estandar
40	18,0	0,1
70	18,0	0,1
100	18,0	0,1

Amonio Tratamiento	Ensayo 1	
	promedio	desv estandar
40	0,1	0,1
70	0,3	0,2
100	0,2	0,1

Amonio Tratamiento	Ensayo 2	
	promedio	desv estandar
40	0,3	0,2
70	0,3	0,2
100	0,3	0,0

Nitritos Tratamiento	Ensayo 1	
	promedio	desv estandar
40	0,3	0,1
70	0,3	0,1
100	0,3	0,1

Nitritos Tratamiento	Ensayo 2	
	promedio	desv estandar
40	0,2	0,1
70	0,2	0,1
100	0,3	0,1

Nitratos Tratamiento	Ensayo 1	
	promedio	desv estandar
40	39,3	8,9
70	37,1	11,1
100	40,0	11,5

Nitratos Tratamiento	Ensayo 2	
	promedio	desv estandar
40	38,6	7,5
70	41,4	6,3
100	43,6	8,0

La temperatura promedio a lo largo de todo el experimento fue de 18.1 ± 0.3 °C. Se observó que esta fue constante durante todo el estudio, de acuerdo con la temperatura ambiente del agua para Cajicá.

Los niveles de pH en los dos ensayos fueron relativamente bajos. En el primero se registraron valores promedio de 6.6 ± 0.7 y de 6.7 ± 0.5 . Los niveles de amonio se mantuvieron en el rango adecuado tolerable para la especie, sin embargo, en el segundo ensayo se evidenció un aumento en densidad 70 correspondiente a 0.75 mg/l que no representa niveles críticos para la supervivencia de la especie.

Según la tabla de Wuhrman y Woker para un pH de 6.6 a una temperatura promedio de 18 °C la cantidad de amonio toxico presente en los SCR fue de 0.30 mg/l valor que no está dentro de los rangos peligrosos para la especie.

Los niveles de nitritos se mantuvieron estables con un valor máximo de 0.5 mg/l.

En cuanto a los niveles de nitratos estos se mantuvieron en los rangos tolerables para la especie con un máximo de 65 mg/l.

5.1 Aspectos Biológicos

Los datos de densidad manejados en cada tratamiento se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5. Equivalencias de las densidades iniciales por sistema

tratamiento	Ensayo 1			Ensayo 2	
	Numero de peces	Densidad (#peces / 10l)	Densidad (gr / 10l)	Densidad (#peces / 10l)	Densidad (gr / 10l)
T1	40 peces	1.5 peces / 10l	3.22 ± 0.45 gr/10l	1.5 peces / 10 lt	4.92gr ± 0.21 /10l
T2	70 peces	2.5 peces /10l	6.22gr ± 0.36 /10l	2.5 peces /10 lt	7.75gr ± 0.35 /10l
T3	100 peces	3.6 peces /10l	10.32gr ± 0.17 / 10l	3.6 peces /10 lt	11.14gr ± 0.24 /10l

Se observó durante el experimento que hubo un aumento en el crecimiento del *C. auratus* en los sistemas de recirculación aunque este no fue estadísticamente significativo.

El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias significativas entre los ensayos ($P < 0.05$), por lo que se decidió analizarlos de forma separada, tomando el primer ensayo como A y el segundo como B.

Tabla 6. Cuadros comparativos de peso, longitud estándar y longitud total

Letras mayúsculas; comparación entre tratamientos, letras minúsculas diferentes en sentido horizontal indican diferencias significativas entre los muestreos, letras mayúsculas diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas entre los. $P < 0.05$; $n = 20$.

Peso	0	1	2	3	4
40-A	2.26 ± 1.09 Aa	2.63 ± 1.56 Ab	2.41 ± 0.95 Aa	2.75 ± 1.10 Aa	3.65 ± 0.93 Aa
70-A	2.49 ± 0.78 Aa	2.80 ± 0.75 Aa	3.03 ± 0.55 A Aa	3.43 ± 0.68 A Aa	3.8 ± 0.78 Ab
100-A	2.89 ± 0.88 Aa	3.02 ± 0.91 Aa	3.14 ± 0.79 A Aa	3.53 ± 0.86 A Aa	3.92 ± 0.85 AA

Peso	0	1	2	3	4
40-B	3.45 ± 0.22 B Ba	3.79 ± 0.26 Bb	4.49 ± 0.46 B Bb	4.69 ± 0.44 B b	4.85 ± 0.45 Bb
70-B	3.10 ± 0.32 B a	3.62 ± 0.48 B a	4.28 ± 0.50 B ab	4.56 ± 0.46 B b	4.9 ± 0.58 Bb
100-B	3.12 ± 0.32 Ba	3.30 ± 0.32 Ba	3.99 ± 0.62 Ba	4.23 ± 0.43 Ba	4.62 ± 0.38 Bb

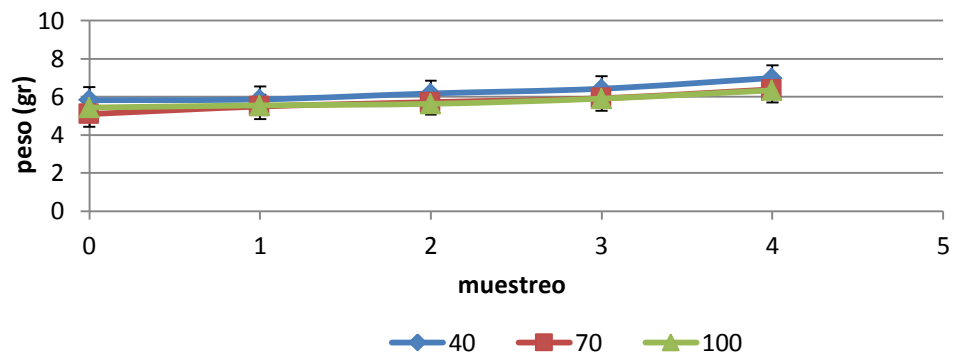
Long estándar	0	1	2	3	4
40-A	3.48 ± 0.52 Aa	3.83 ± 0.63 Aa	4.07 ± 0.71 A Aa	4.5 ± 0.55 Aa	4.84 ± 0.64 Aa
70-A	3.29 ± 0.43 Aa	3.37 ± 0.39 Aa	3.45 ± 0.36 Aa	3.70 ± 0.48 Aa	3.9 ± 0.45 Aa
100-A	3.36 ± 0.51 Aa	3.38 ± 0.60 Aa	3.40 ± 0.58 Aa	3.60 ± 0.57 Aa	4.06 ± 0.68 Aa

Long estándar	0	1	2	3	4
40-B	4.17 ± 0.30 B a	4.40 ± 0.35 Bb	4.64 ± 0.33 Bb	4.97 ± 0.52 Bb	5.02 ± 0.58 Bb
70-B	4.07 ± 0.35 B a	4.38 ± 0.42 Bb	4.53 ± 0.57 Bb	4.93 ± 0.62 Bb	5.1 ± 0.54 Bb
100-B	4.07 ± 0.52 Bb	4.27 ± 0.37 Bb	4.29 ± 0.55 Bb	4.71 ± 0.68 Bb	5.06 ± 0.63 Bb

Long Total	0	1	2	3	4
40-A	5.16 ± 0.68 Aa	5.25 ± 0.86 A AA	5.30 ± 0.99 Ab	5.49 ± 0.93 Ab	6.0 ± 0.54 Ab
70-A	4.67 ± 0.60 Aa	4.71 ± 0.56 A Aa	4.91 ± 0.63 Ab	5.22 ± 0.80 A Ab	5.87 ± 0.68 Ab
100-A	4.78 ± 0.70 Aa	4.85 ± 0.76 A Aa	4.90 ± 0.78 Ab	5.16 ± 0.65 A Ab	5.67 ± 0.67 Ab

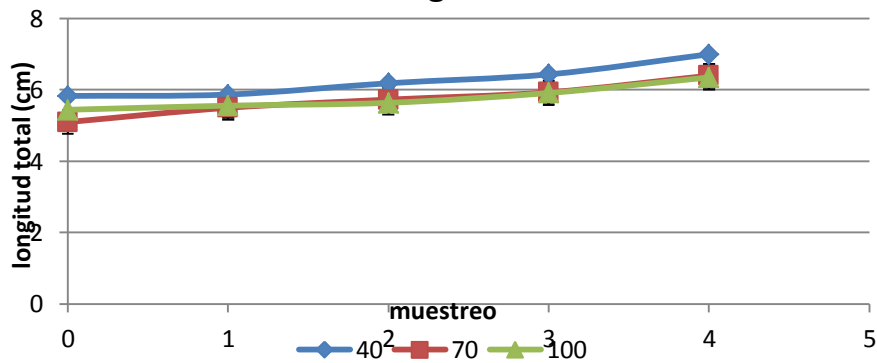
Long Total	0	1	2	3	4
40-B	6.05 ± 0.49 B b	6.02 ± 0.36 B b	6.34 ± 0.37 Bb	6.53 ± 0.40 Bb	$6,84 \pm 0,46$ Bb
70-B	5.52 ± 0.69 B b	6.28 ± 0.42 Bb	6.54 ± 0.40 Bb	6.64 ± 0.52 Bb	$6,92 \pm 0,54$ Bb
100-B	6.10 ± 0.52 B b	6.26 ± 0.42 Bb	6.37 ± 0.36 Bb	6.66 ± 0.55 Bb	$7,02 \pm 0,54$ Bb

variacion del peso en cada densidad



Grafica 1, variación de la longitud total en cada densidad

variacion de la longitud total en cada densidad



Grafica 2. Variación del peso en cada densidad

Se evaluaron los modelos de crecimiento Lineal, Exponencial, Gompertz, logístico, Richard, Von Bertalanffy, obteniendo que el modelo lineal y el modelo exponencial son los que presentaron mejor ajuste con el crecimiento de *C. auratus* como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7: evaluación de los modelos de crecimiento lineal y exponencial en cada densidad

Lineal	R ²	Ecuación	exponencial	R ²	Ecuación
	40 A	0.76		Y=0.1615x+1.9284	40 A
40 B	0.96	Y=0.3955x+2.7425	40 B	0.96	Y=2.8732e ^{0.10x}
70 A	0.82	Y=0.2193x+1.1924	70 A	0.82	Y=1.2933e ^{0.11x}
70 B	0.98	Y=0.4906x+2.179	70 B	0.98	Y=2.3736e ^{0.13x}
100 A	0.92	Y=0.2603x+1.2069	100 A	0.89	Y=1.2904e ^{0.13x}
100 B	0.97	Y=0.3985x+2.2648	100 B	0.97	Y=2.4065e ^{0.11x}

6. DISCUSIÓN

6.1 Físicoquímicos

La densidad de siembra es uno de los factores determinantes en el montaje de los sistemas de recirculación de agua, si bien a mayor densidad es posible una mayor ganancia económica, un aumento en la cantidad de peces en el sistema puede afectar las variables físicoquímicas, así, entre más individuos haya en el sistema, mayor será la liberación de productos metabólicos que pueden llegar a afectar la calidad del agua (Kestemont, 1995).

De esta manera, los sistemas de recirculación utilizados mostraron en general niveles de físicoquímicos estables que no alcanzaron valores críticos que afectaran la supervivencia y crecimiento de la especie en las tres densidades estudiadas. Lo anterior demuestra que los sistemas diseñados y evaluados en esta investigación son adecuados, e incluso pudieron haber soportado una mayor densidad de peces pues según los resultados obtenidos no ha llegado todavía a la capacidad de carga del sistema en cuanto a la tolerancia y asimilación de físicoquímicos lo cual puede decir que se pueda elevar la densidad de los sistemas aumentando la productividad (Ebeling et al, 1995).

Los niveles de pH se mantuvieron dentro de los parámetros tolerables (6.0-7.8 para *C. auratus* según Smartt y Bundell, 1996) registrando un promedio

de 6.5 ± 0.7 en el primer ensayo y de 6.8 ± 0.4 en el segundo ensayo; Valores estables y óptimos de pH son importantes para mantener un adecuado metabolismo de los peces, los valores bajos de pH registrados pudieron causar estrés, variación en niveles de dureza del agua causando menor crecimiento de *C. auratus* en la densidad 100 tanto el longitud como en peso.

Los niveles de amonio se mantuvieron en los parámetros óptimos registrados para la especie por Smartt y Bundell (1996), a pesar que los niveles de pH estuvieron inclinados hacia rangos acidos, lo que puede incidir en una posible mayor proporción de amonio toxico que depende no solo del pH sino de la temperatura, aun así los valores registrados no fueron peligrosos para la especie.

Los nitritos fueron estables en los sistemas de recirculación (ver tabla 4). Para *C. auratus* se reporta niveles adecuados de 0 a 0.8 mg/l (Smartt, y Bundell, 1996). Estos niveles permiten un mejor comportamiento en la cinética del crecimiento en términos de peso y longitud de *C. auratus*.

Los niveles de nitrato encontrados en los sistemas estuvieron entre 20 y 70 mg/l. Estos niveles no afectaron el crecimiento en *C. auratus*, (Marshall y Ostrow, 2003) ya que se reportan condiciones toxicas en valores mayores a 200 mg/l, lo cual hace a esta especie muy resistente, además, niveles de nitratos adecuados pueden indicar un incremento en las poblaciones bacterianas en el biofiltro lo cual muestra una maduración del mismo lo que favoreció el crecimiento de los peces en las tres densidades estudiadas (Marshall y Ostrow, 2003).

La temperatura registrada en los experimentos estuvo siempre en los rangos tolerables para la especie ($15 - 34$ °C). Aunque la temperatura promedio fue de 18.1 ± 0.14 °C Se puede evidenciar que este promedio estuvo por debajo del óptimo para la especie que se encuentra entre 20 y 24 °C según Smartt y Bundell (1996). Lo que pudo afectar su rendimiento metabólico (Chapman, 2000), pues se observó que los peces no crecieron a

una tasa mayor, probablemente originado por el descenso en el metabolismo generado por la baja temperatura. Además y sumado a lo anterior, se puede decir que a una menor temperatura, peces de tamaño pequeño como los utilizados en los ensayos se ven más afectados ya que a medida que un individuo es más pequeño tiene mayor área expuesta a las variaciones ambientales lo que lo hace más vulnerable a los cambios de temperatura, que de acuerdo con la relación Área/Volumen, una mayor área expuesta tendrá una pérdida de calor más alta haciendo que sus procesos metabólicos sean menores debido a cambios en el factor Q10, pues este factor determina la velocidad de las reacciones metabólicas y como se afectan si varía la temperatura en 10°C.(Smith A, 2011)

De esta manera al disminuir la temperatura en el agua se reduce la velocidad a la que ocurre las reacciones catalizadas por enzimas lo que es evidencia de un metabolismo más lento y con esto un menor crecimiento en comparación con temperaturas más elevadas. (Smith A, 2011)

Al comparar esos resultados con otros estudios se puede determinar que la temperatura es uno de los factores más limitantes en el crecimiento no solo de *C. auratus* sino en la mayoría de las especies ectotermicas, (Handeland Sigurd O, 2008).

Un estudio hecho en salmón, demuestra que una temperatura menor induce a un metabolismo más lento por lo tanto menor tasa de conversión alimenticia y menor tasa de crecimiento, y estos valores van aumentando a medida que se llega a la temperatura óptima para la especie(Handeland Sigurd O, 2008).

Asimismo, estudios realizados por el grupo de investigación en ictiología de la Universidad Militar (Leal A, 2006) demostraron el efecto en el crecimiento de *C. auratus* al variar la temperatura comprobando que a menor temperatura las tasas de crecimiento disminuyen. (Smartt, 2001).

El efecto de la temperatura en el crecimiento de peces ha sido ampliamente documentado; Fonds et al, (1995) para *Paralichthys olivaceus*, Kausar y Salim

(2006) para *Labeo rohita*, Fu-Guang et al, (2009) para el híbrido de *Morone saxatilis* x *M. chrysops*, demostrando que la temperatura del agua afecta la temperatura corporal, la ingesta de alimento, la tasa de crecimiento, el factor de conversión alimenticia entre otros procesos fisiológicos del organismo. Sin embargo, Buckel et al, (1995) reportan que es la interacción entre la temperatura y el tamaño corporal lo que afecta significativamente el consumo de alimento y crecimiento de los peces.

Aunque no se implementaron sistemas de calefacción de agua en los SCR cabe resaltar la importancia de estos en el crecimiento de los peces, pues una adecuada temperatura (23-26°C) aumentaría su metabolismo haciendo que su crecimiento sea mayor, y por tanto, más eficiente el sistema, sin embargo, es importante mencionar que si bien el objetivo de este trabajo no es evaluar variables económicas al implementar estos sistemas, de antemano se conoce que los sistemas de aumento de temperatura del agua implican un aumento considerable en los costos (Paul y Graeme, 2006).

A partir de este y otros trabajos el grupo de Ictiología ha mejorado los diseños de los sistemas cerrados de recirculación y ha logrado aumentar la densidad de *C. auratus* en alrededor de 400 ind/sistema (1200 g de biomasa) (comunicación personal Hurtado, 2011). Así mismo, el grupo ha cultivado especies tropicales como es el caso del tiburoncito (*Ariopsis seemanni*) iniciando con individuos de 3g y 5 cm de longitud total, con densidades de siembra de 1 pez/2.5L (100 individuos/tanque de 250 L) y en un periodo de cuatro meses los peces alcanzaron un peso promedio de 17 g y una longitud total de 20 cm (1700 g. biomasa) (Hurtado et al, 2008).

6.2. BIOLÓGICOS

Se evidenció una tendencia al aumento en peso, longitud estándar y total y según los análisis estadísticos, no hubo diferencias significativas entre cada una de las densidades estudiadas ($p < 0.05$), aunque se observa diferencia de peso ($p > 0.05$) entre los dos ensayos debido a que no se logró obtener un

lote de peces de iguales condiciones a las del ensayo 1 para poder iniciar el ensayo 2.

Se analizaron los modelos de crecimiento los cuales muestran un mejor ajuste en los modelos lineal y exponencial, con un R^2 más cercano a 1, (tabla 7). Al evaluar otros modelos de crecimiento como: el modelo de Gompertz, logístico, Richard, Von Bertalanffy, no fue posible que se ajustaran con los resultados obtenidos ya que los individuos se encontraban en las primeras etapas de crecimiento (Zar, JH. 1999).

A partir del análisis estadístico de las variables de crecimiento, se puede decir que los sistemas de recirculación de agua son igualmente eficientes en cada una de las densidades evaluadas: 40, 70, y 100 peces/tanque. Y que se puede mejorar el rendimiento de los mismos en sistemas con mayores densidades ya que los niveles de fisicoquímicos no se afectaron con las densidades estudiadas por lo que se supone se puede aumentar la densidad evaluando el impacto del incremento en los niveles de fisicoquímicos disueltos en el agua.

Ya que se hacía recambios parciales de agua y se limpiaban los biofiltros una vez al mes se previnieron problemas de acumulación de sólidos disueltos lo que perjudica no solo la salud de los peces sino que altera los niveles de fisicoquímicos.

Los parámetros fisicoquímicos en general se mantuvieron en condiciones tolerables para la especie, si bien, la densidad es uno de los factores que limita el cultivo en los SCR, los niveles estables de fisicoquímicos pueden indicar que no se ha alcanzado la capacidad máxima de esos sistemas y así los químicos liberados por los peces en la liberación de desechos pudieron ser bien controlados y neutralizados tanto por el medio (agua) como por las bacterias nitrificantes presentes en el sistema, si se implementan estos sistemas comercialmente, se debería estudiar la utilización de mayores densidades de siembra que podría aumentar la productividad, analizando de la misma manera la producción de fisicoquímicos para encontrar un punto de capacidad de carga que sea más rentable a los sistemas.

Los organismos estudiados no presentaron cambios fenotípicos en su coloración, forma, apariencia externa,

CONCLUSIONES

En general no se observaron diferencias en el crecimiento en términos de peso y longitud en la densidades estudiadas para *C. auratus* en sistemas cerrados de recirculación de agua, así mismo, en cada una de las densidades se registró un aumento de peso y aumento en las longitudes total y estándar, que no fueron estadísticamente significativos para suponer un crecimiento mayor en alguna de las densidades estudiadas.

Los niveles de nitritos, nitratos, pH y temperatura y amonio se mantuvieron en los rangos tolerables para las especie, lo que indica que no afectaron el crecimiento de *C. auratus*.

Los sistemas de recirculación podrían soportar densidades de siembra mayores a los analizados.

La supervivencia para *C. auratus* registrados en los sistemas de recirculación fue alta por lo que la siembra de esta especie puede tener un alto aprovechamiento en este tipo de sistemas.

RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluar los sistemas de recirculación con mayores densidades de siembra para conocer la capacidad de carga de los sistemas y de esta manera poder implementarlos aumentando así la ganancia económica.

Se podrían establecer sitios para la implementación de estos sistemas en los cuales la temperatura ambiente sea mayor para aumentar el metabolismo de los peces, con esto, se lograría obtener mayor crecimiento en menor tiempo, aumentando la productividad del sistema, o bien se podría implementar algún tipo de ayudas que logren el mismo propósito como termostatos pero a riesgo de incrementar los costos de operación del sistema.

Es recomendable dada la estabilidad de los sistemas intentar utilizarlos con otras especies para determinar su viabilidad.

Bibliografía

1. Bailey Burgess P. 2000. Tropical Fish Iopaedia. A Complete guide to fish care. Howell Book House, New York.
2. Biocomercio Sostenible 2002. Información básica sobre el mercado mundial de peces ornamentales. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Bogotá, Colombia.
3. Carrascal J. 2011. Evaluación de un sistema cerrado de recirculación de agua para el levante de carapa común (*Cyprinus carpio*). Trabajo de grado, Programa de Biología Aplicada, Facultad de Ciencias, Universidad Militar "Nueva Granada", Bogotá, D. C. 58 p.
4. Chapman FA. 2000. Ornamental fish culture, freshwater. En "Encyclopedia of Aquaculture". Stickney RR (Editor). John Wiley & Sons, Inc.
5. Chen Shulin, Ling Jian. 2006. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors, *Aquacultural Engineering*, 34: 179–197
6. Colciencias. 2000. Editorial. La Investigación en acuicultura. Colombia, *Ciencia & Tecnología*. 18:2.
7. Colt J. 1991. Aquacultural production systems. *J. Anim. Sci.* 69:4183-4192
8. Diver S, 2000. Aquaponics- Integration of hydroponics with aquaculture. *Apropiate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRA)*.
9. Ebeling J, Jensen G, Losordo T, Masser M, McMullen J, Pfeiffer L, Rakocy J, Sette M. 1995. Model Aquaculture recirculation system (MARS). Engineering and operations manual. Department of Agricultural Education and Studies. Iowa State University. USA
10. EIFAC. European inland fisheries advisory commission report of the third session of the working party on stocking. EIFAC occasional paper No. 28, 1994
11. Galli Oscar, miguel F. 2007. Sistemas de recirculación y tratamiento de aguas. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos CENADAC.

12. Gosh A, Mahapatra BK, Datta NC. 2003. Ornamental fish farming, Successful small scale aqua business in India. *Aquaculture Asia*, 8:14-18
13. Gosh A, Mahapatra BK, Datta NC. 2003. Performance of plastic biofilter media with different configuration in a water recirculation system for the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) *Aquacultural Engineering* 29 139–154
14. Handeland S O, Albert K. Imstrand, 2008, The Effect of Temperature and Fish Size on Growth, Feed Intake, Food Conversion Efficiency and Stomach Evacuation Rate of Atlantic salmon post-smolts, *Journal for Aquaculture*, vol 283, 36-42.
15. Harvey DJ. 2004. Aquaculture outlook. Domestic aquacultural production higher and imports up. En "Electronic Outlook Report from Economic Research Series. United States Department of Agriculture, LDP-AQS-19
16. Hernández C A, Guzman G, 2009, Sistemas De Producción De Acuicultura Con Recirculación De Agua Para La Región Norte, Noreste Y Noroeste De México, *Revista Mexicana de Agronegocios Año XIII. Volumen 25. Julio-diciembre del 2009.*
17. Hernandez C, Gómez E, Hurtado H. 2009. Estudio preliminar del levante de juveniles de Arawana plateada (*Osteoglossum bicirrhosum*) en sistemas cerrados de recirculación. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 6:96-113.
18. Hill JE, Yanong RPE. 2002. Freshwater ornamental fish commonly cultured in Florida. Circular 54, Institute of Food and Agriculture Sciences, University of Florida
19. Hurtado H, Gómez E, Tovar MO. 2010. Montaje y evaluación de un sistema acuapónico Goldfish (*Carassius auratus*)-Orégano (*Oreganum vulgare*). Proyecto de Investigación CIAS 585. Bogotá.
20. International Council for Laboratory Animal Science. 1997. Principios éticos de la experimentación animal. *Biomédica* 17:325
21. Ji YQ, Adelman IR, Maher J, Skurla J. 1997. Evaluation of Recirculating aquaculture systems. Minnesota Department of Agriculture. Minnesota, USA.

22. Johnson DM, Wardlow GW. 1997. A prototype Recirculating aquaculture-hydroponic system. University of Arkansas. Department of Agricultural & Extension education
23. Krause J et al, 2006, Design Guide For Recirculating Aquaculture System, Rowan university.
24. Ladines M, Sanabria A, Daza P. 2007. Producción de Peces Ornamentales en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, INCODER Colombia.
25. Leal A, Vargas V, Hurtado H. 2005. Elaboración de un sistema de recirculación de agua semi intensivo para el mantenimiento de goldfish (*Carassius auratus*). Memorias V Seminario Internacional de Acuicultura. Universidad Nacional de Colombia.
26. Leal A, Vargas V, Rodríguez D, Moreno P, Gómez E, Hurtado H. 2007. Estudio preliminar del efecto de la temperatura del agua sobre el crecimiento de *Carassius auratus* mantenido en sistemas de recirculación. Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, 3:163-175.
27. Lorenzoni M, Corboli M, 2007, Growth and reproduction of the goldfish *Carassius auratus*: a case study from Italy Gherardi: Biological Invaders in Inland Waters ch13 Page Proof page 259.
28. Lunger, Angela; Rasmussen Michael R. 2006; Fish stocking density impacts tank hydrodynamics Aquaculture nº 254.
29. Mancera, N; Alvarez R. 2008. Comercio de peces ornamentales en Colombia Acta biológica. Colombiana, Vol. 13 No. 1, 2008.
30. Martinez O, Hurtado H. 2005. Estudio preliminar de las preferencias térmicas de goldfish (*Carassius auratus*) en relación con la masa corporal. Memorias V Seminario Internacional de Acuicultura. Universidad Nacional de Colombia.
31. Marshall E. Ostrow, 2003 Goldfish: everything about aquariums, varieties, care, nutrition, diseases, and more, Barron's Educational Series.
32. Masser MP, Rakocy J, Losordo TM. 1999. Recirculating aquaculture tank production systems. Management of recirculating systems. SRAC Publication 452. Southern Regional Aquaculture Center, USA.

33. McGee M, Cichra C. 2000. Principles of water recirculation and filtration in aquaculture. Document FA12. Institute of Food and Agricultural Sciences. Extension. University of Florida, USA.
34. Montaña C, González MA, Cachón C, Hurtado H. 2005. Montaje y ensayo preliminar de un sistema de recirculación de agua para cultivo de *Onchorhynchus mykiss* . Revista Facultad de Ciencias, Universidad Militar Nueva Granada. 1:88-90.
35. Moreira, R.L Da Costa, J.M, 2010, Performance Of *Carassius Auratus* With Different Food Strategies In Water Recirculation System Universidade Federal do Ceará (UFC). Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Engenharia de Pesca. Campus do Pici. Fortaleza, CE. Brazil.
36. Naciones Unidas, 2010. Estado mundial de la pesca y la acuicultura, departamento de pesca y acuicultura de la FAO.
37. Ostrow M. 1995. Goldfish. Segunda edición. Barron's Educational Series, Inc.
38. Panne S, Luchini I. 2008. Panorama actual del Comercio Internacional de peces ornamentales.
39. Paul N De Ionno, A Graeme, L Wines. 2006. A bioeconomic evaluation of a commercial scale recirculating finfish, *Aquaculture* n° 259.
40. Posel p. 2008. Situación actual y perspectivas de la producción y comercialización de peces ornamentales. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* ed 21, 455-522.
41. Priestley, SM, Stevenson A, 2006, Growth Rate and Body Condition in Relation to Group Size in Black Widow Tetras (*Gymnocorymbus ternetzi*) and Common Goldfish (*Carassius auratus*), *American Society for Nutrition. J. Nutr.* 136: 2078S–2080S.
42. Quinn G, Keough M. 2002. Experimental design and data analysis for biologists. Cambridge University Press, U.K.
43. Randall D, Buggren W, French K. 2002. *Animal Physiology. Mechanisms and adaptations.* Quinta edición. Freeman and Company. New York, USA
44. Rakocy J, Masser M, Losordo T. 2006. *Recirculating aquaculture Tank Production Systems.*

45. Ramírez D, Sabogal D, Gómez E, Rodríguez D, Hurtado H. 2009. Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónicos goldfish-lechuga. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 5:154-170.
46. Rodríguez L, Mora D, Moreno P, Rodríguez D, Hurtado H. 2007. Influencia de la densidad de siembra sobre el crecimiento y sobrevivencia de alevinos de tilapia roja (*Oreochromis sp*) en un sistema de recirculación. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 8:177-186
47. Salazar G. 2002. El cultivo de organismos acuáticos en pequeña escala en Colombia. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura INPA.
48. Seber G, Wild J. 1989. *Non linear Regression*. Wiley Interscience.
49. Smartt J, Bundell JH. 1996. *Goldfish breeding and genetics*. T.H.F. press
50. Smartt H. 2001. *Goldfish varieties and genetics. Handbook for breeders*. Fishing News Books
51. Smith Amanda A., Alex M. Zimmer, 2012, Branchial and extra-branchial ammonia excretion in goldfish (*Carassius auratus*) following thermally induced gill remodeling *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 162 (2012) 185–192.
52. Tamaru, CS; Ako H; 1999. Using commercial feeds for the culture of freshwater ornamental fishes in Hawaii. U.N.J.R. Technical Report No 28.
53. Tankersley RA, Butz SW. 1998. Design, construction, and evaluation of a laboratory-scale recirculating aquaculture system for the captive care of freshwater mussels. *Proceedings of the Conservation, Captive Care, and propagation of freshwater mussels symposium*, pg 127-134.
54. Tarkan A S, Cucherousset j, 2010. Growth and reproduction of introduced goldfish *Carassius auratus* in small ponds of southeast England with and without native crucian carp *Carassius carassius*, *1 Salmon & Freshwater Team, Centre for Environment, Fisheries & Aquaculture Science, Londres. Pag 102-108*
55. Tetzlaff BL, Heidinger RC. 1990. Basic principles of biofiltration and system design. *SIUC fisheries Bulletin No.*). Fisheries and Illinois aquaculture center.
56. Timmons MB, Youngs WD, Bowser PR, Rumsey G. 1995. Design principles of water reuse systems for salmonids. *Agriculture and Biological Engineering, Extension bulletin 462, Department of Agriculture and*

Biological Engineering. New York State College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University. Ithaca, New York, USA.

57. Timothy G, 2003, the Effect of Diet Type and Feeding Rate on Growth, Morphological Development and Behaviour of Larval and Juvenile Goldfish *carassius auratus*, Rhodes University Grahamstown
58. Turnbull, RD; Timmons MB. 1993. Use of biological filters in recirculating aquaculture systems. Extension Bulletin 463. Department of Agriculture and Biological Engineering. Cornell University, Ithaca, NY.
59. Woods J, 2000. The urban aquaculture manual. Chapter 2. A simple recirculation system. Web of Creation.
60. Wurts WA. 2000. Sustainable aquaculture in the twenty-first century. Rev. Fish. Sci. 8:141-150.
61. Zar JH. 1999. Biostatistical analysis. Fourth Edition. Prentice Hall.
62. Zarski D, Kucharczyk D, Targońska K, , Krejszeff S, Czarkowski T, Babiarz E, Nowosielska D. 2010. Dynamics of nitrogen and phosphorus in closed and semi-closed recirculating aquaculture systems during the intensive culture of goldfish, *Carassius auratus auratus* (L.), juveniles. Arch. Pol. Fish. 18: 187-193