SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA Y TAMAÑO DEL ACUARIO PARA CULTIVO DE *PTEROPHYLLUM SCALARE* (CICHLIDAE)

Daniel Mauricio Nieto
Universidad del Valle, Apartado Aéreo 25360, Cali, Colombia.
correo electrónico: nieto.daniel221@gmail.com

Pedro Tabares
Universidad del Pacífico, Apartado Aéreo 10299, Buenaventura, Colombia.
correo electrónico: ventalevines@gmail.com

Jaime R. Cantera Kintz
Universidad del Valle, Apartado Aéreo 25360, Cali, Colombia.
correo electrónico: jaime.cantera@correounivalle.edu.co

RESUMEN

Los sistemas de recirculación de agua pueden usar más eficientemente los recursos hídricos y ser más productivos. Se construyó un sistema cerrado compuesto por 24 acuarios con temperatura $\sim$ 27,5°C, pH $\sim$6,5, amonio y nitritos cero. Se estudió el efecto del tamaño de acuario sobre crecimiento, sobrevivencia y productividad de alevines de *P. scalare* durante 7 semanas. Se recolectó información relacionada al funcionamiento y efecto del sistema de recirculación y de biofiltros sumergibles sobre los alevines y calidad de agua. El sistema de recirculación presentó la ventaja de optimizar el manejo de los parámetros al estar conformado por un mismo cuerpo de agua. Se detalló que la producción de alimento vivo es clave ya que al excluirlo de la dieta, se observaban mortalidades de hasta 100 % de los alevines. Los biofiltros fueron efectivos controlando amonio y nitritos, pero no sólidos disueltos totales (TDS) ni nitratos. Se propone el monitoreo continuo de TDS debido a su costo y facilidad y mayor uso de vegetación para reducir los residuos disueltos y optimizar el uso de agua. Se recomienda usar biofiltros para controlar el amonio y optimizar la temperatura para prevenir la no-inflación de la vejiga natatoria (SBN). Con una densidad inicial de 7 alevines/Litro, se obtuvieron sobrevivencias de 7-22 %, identificando posibles causas como alta contaminación disuelta, sobrealimentación, acumulación de detritos, amonio durante la incubación, y SBN. No se hallaron diferencias significativas en el crecimiento, en la sobrevivencia ni en la productividad para tamaños de acuario entre 14,3 y 32,6 L.
Palabras clave: amonio, biofiltro, Colombia, pez ángel, nitratos, productividad, SBN, TDS

ABSTRACT

Water recirculation systems can use more efficiently hydric resources and be more productive. It was built a closed system composed by 24 aquariums with temperature $\sim$27,5°C, pH $\sim$6,5, ammonia and nitrites zero. It was studied the effect of aquarium size on growth, survival and productivity of *P. scalare* fingerlings during 7 weeks. It was collected information related to functioning and effect of the recirculation system and of submergible biofilters on the fingerlings and water quality. The recirculation system featured the advantage of optimizing the handling of parameters because it was formed by the same water body. It was observed that live food production is a key factor because

when it was excluded from diet there occurred mortalities even of 100 % of fingerlings. Biofilters were effective on ammonia and nitrites control, but not on total dissolved solids (TDS) nor nitrates. It is proposed continuous TDS monitoring due to its cost and easiness, and more use of vegetation in the system to control dissolved wastes and optimize water use. Biofilter use is recommended to control ammonia and optimize temperature to prevent swim bladder non-inflation (SBN). With an initial density of 7 fingerlings/Liter it was obtained survivals of 7-22 %, identifying possible causes like high dissolved contamination, overfeeding, detritus accumulation, ammonia during incubation and SBN. There were not found significant differences on the growth, survival, nor productivity for aquarium sized between 14,3 and 32,6 L.

Key words: angelfish, ammonia, biofilter, Colombia, nitrates, productivity, SBN, TDS

INTRODUCCIÓN

El subsector ornamental es un componente del sector acuícola que tiene el potencial para contribuir al crecimiento económico de un país (FAO 2014). Se estima que unos 1,5 billones de peces ornamentales son exportados anualmente a nivel mundial (Ploeg 2004). Según el Incoder, en Colombia en el 2005 se exportaron 29.512.391 ejemplares vivos, equivalentes a US $6.257.551. Sin embargo, en Colombia el comercio está centrado en la extracción de ejemplares del medio natural y no en el cultivo, lo que ha desequilibrado los ecosistemas (Mancera-Rodríguez & Álvarez-León 2008).

Algunas de las características que deben tener en cuenta al elegir una especie ornamental a cultivar son facilidad de reproducción en cautiverio, gran cantidad de huevos por postura, tolerancia a cambios en el medio, resistencia a las enfermedades, crecimiento rápido, simplicidad del cultivo, valor estético, demanda del público, aceptación en el mercado, y rentabilidad (Jadhav 2009). Es por todo esto que el pez escalar, *Pterophyllum scalare*, es una especie de gran importancia comercial en el ámbito ornamental en Colombia (Salinas-Coy & Agudelo-Córdoba 2000).

El pez escalar, también conocido como pez angular y pez ángel, es originario del río Tapajoz y sus afluentes. Es una de las especies de mayor demanda debido a su color, forma y bajo precio (Soriano & Hernández 2002, Farahi *et al.* 2010). Su gran adaptabilidad y resistencia ha permitido su

introducción en la producción comercial tanto para fines piscícolas como ornamentales (Soriano & Hernández 2002).

Presentan territorialidad al alcanzar los 3 meses. Posteriormente, a los 7 meses comienza a aparecer comportamiento sexual y los machos compiten por las hembras (Umezawa *et al.* 1986). Tras el emparejamiento, el macho comienza a actuar de manera más agresiva contra otros machos (Cacho *et al.* 2006). Según Salinas-Coy & Agudelo-Córdoba (2000) y Ortega-Salas *et al.* (2009) la frecuencia de posturas es de 8-20 días con un tamaño de postura entre 300 y 400 huevos, de los cuales alrededor del 96 % estuvieron fertilizados. La eclosión ocurre a las 24-40 horas de la postura, y los alevines solo pueden alimentarse después del día 4-6, cuando ya han consumido el vitelo y pueden nadar libremente (Agudelo 2005).

Actualmente existen numerosos estudios sobre esta especie. Se conoce que el alimento vivo produce mayores crecimientos que el seco (Degani & Yehuda 1996, Soriano & Hernández 2002, Ortega-Salas *et al.* 2009). También que mayores niveles de oxígeno disuelto (DO), y menores de CO_2 y amonio causan más altas sobrevivencias (Mitranescu *et al.* 2010). Del mismo modo, se conoce que su ambiente natural, el río Tapajoz, presenta un pH de 6,5$\pm$0,4 y un nivel de sólidos disueltos totales (TDS) de alrededor de 8 ppm (Duncan & Fernandes 2010).

En un estudio la densidad inicial de cultivo es uno de los factores más importantes. Ortega-Salas *et al.* (2009) cultivó escalares a una densidad inicial de 2,5 alevines/Litro obteniendo sobrevivencias entre 50 % y 66,3 %. Atencio-García *et al.* (2006) halló que no existieron diferencias significativas en el crecimiento al cultivar a densidades de 0,050 y 0,15 alevines de *Brycon sinuensis* por cm^2 de superficie durante 18 días. Degani (1993) encontró que aumentar la densidad de cultivo de escalares de 0,1 a 0,4 alevines/Litro durante 60 días resultaba en diferencias significativas en el crecimiento. Asprilla (2011) recomienda cultivar a una densidad de unas 200 larvas en 27 Litros. Sin embargo, ninguno de estos cuatro estudios se realizó en un sistema con recirculación de agua.

Los sistemas de recirculación de agua eliminan dos problemas importantes de la acuicultura: los altos costos por el consumo de agua y la contaminación de las fuentes naturales. Estos sistemas se enfocan en la calidad y ahorro del agua, removiendo los desechos y sólidos disueltos y suspendidos y manteniendo óptimos los parámetros del agua como oxígeno disuelto, CO_2, pH, dureza, amonio, nitritos y nitratos (Heinsbroek & Kamstra 1990). Un modo de lograr esto es mediante el uso de filtros biológicos o biofiltros, que utilizan una combinación de bacterias nitrificantes y en algunos casos plantas acuáticas. El amonio (NH_4^+) se oxida por medio de Nitrosomonas hasta nitritos (NO_2^-) y luego nitratos (NO_3^-) mediante Nitrobacter. Por último, las plantas acuáticas se encargan de incorporar a su biomasa la materia inorgánica disuelta como nitratos, fosfatos, dióxido de carbono y calcio, además de alcalinizar el agua (US National Academy of Sciences 1969, Soderberg 1995).

Según Heinsbroek & Kamstra (1990), en un sistema de recirculación se debe tener en cuenta un nivel adecuado de flujo de agua tanto en los acuarios como en el biofiltro, una amplia superficie de biofiltración y un volumen adecuado del sistema. La literatura técnica como PAES (2014) recomienda sistemas de recirculación con seis a ocho recambios de agua para el cultivo de peces en general, mientras que la literatura científica se refiere sólo a levante de salmónidos en flujo de agua de una vía, recomendando cuatro cambios de agua por hora y una velocidad de corriente máxima de 3,3 cm/seg después de la cual se suspenden los residuos, dificultando su limpieza (Westers & Pratt 1977, Soderberg 1995).

Otras de las ventajas de un sistema de recirculación sobre los tradicionales estanques en tierra, acuarios independientes con aireación, e incluso sobre estanques con entrada de agua y sin recirculación son, el aislamiento de patógenos, la posibilidad de estar lejos de una gran fuente de agua, e incluso un gran aumento en la densidad de cultivo, pudiéndose cultivar hasta unas 70 veces más peces por volumen de agua como fue el caso del Stuttgart National Aquaculture Research Center con *Trachinotus carolinus* (ARS 2010).

Por otro lado, el tamaño de acuario para el cultivo de escalares varía según la edad de los peces. Se recomienda usar acuarios o estanques de más de 70 u 80 litros por cada pareja para la reproducción, de unos 20 a 50 litros para la incubación y de unos 150 litros para el alevinaje (Córdoba 2009, Asprilla 2011). Un tamaño de acuario pequeño incluso con densidades bajas puede ser problemático ya que las aletas de los alevines se pueden erosionar debido al contacto con las superficies o a la sobrepoblación, y además puede incrementar la competencia (Pelis & McCormick 2003). Por otro lado, un acuario muy grande puede ser problemático para alimentar, ya que es difícil distribuir el alimento homogéneamente para los alevines, causando menores crecimientos (Delincé 2013).

A pesar de la importancia de conocer el tamaño adecuado de los acuarios usados tanto en la larvicultura como alevinaje, no existe literatura científica que evalúe el uso de distintos tamaños de acuario bajo una misma densidad inicial de cultivo, del mismo modo, la información relacionada al caudal de recirculación es escasa y en general no es de índole científico. A partir de esta falta de información, este estudio busca evaluar estadísticamente el efecto del tamaño de acuario sobre el crecimiento, sobrevivencia y productividad de los alevines durante un periodo de 7 semanas en un sistema semi-intensivo de cultivo con recirculación de agua. Como objetivo adicional se plantea recolectar información relacionada al uso, funcionamiento, y efecto del sistema de recirculación y de los biofiltros sumergibles sobre los alevines y la calidad del agua, además de reportar las observaciones que se consideren necesarias.

MÉTODOS

El estudio se realizó en zona residencial del sur de Cali, Colombia, donde se ejecutó el proyecto de investigación durante 27 meses: 18 de planeación, ingeniería y construcción de la infraestructura, y 9 de la ejecución del proyecto.

Infraestructura (ver Apéndice).

La infraestructura incluía 24 cajas organizadoras de plástico usadas como acuarios con ventajas sobre el vidrio como menor costo, portabilidad y resistencia. Se usaron cajas grandes (32,6 L), medianas (23,3 L) y pequeñas (14,3 L) que fueron ubicadas sobre una estantería de aluminio con refuerzos. Los niveles tenían como piso tablones de madera no impermeabilizada resistente a la humedad.

Se instaló un filtro biológico o biofiltro de 151, 36,5 y 28 cm de largo, ancho y alto respectivamente. El filtro estaba diseñado en zig-zag vertical y tenía nueve etapas. En la primera, velo suizo que retenía las partículas grandes y se podía lavar fácilmente dos veces al día, y guata, para evitar que las partículas más pequeñas pasaran. En la segunda, el termostato. En la tercera y cuarta, plantas acuáticas amazónicas, *Hygrophila* sp. cuya función era incorporar los nitratos, CO_2 disuelto, etc. De la quinta a la séptima etapa, había piedras calizas para alcalinizar, entremezcladas con gran cantidad de piedra pómez. En la séptima y octava piedra matrix y carbón activado para aumentar la superficie que sirvió de sustrato para las bacterias nitrificantes (Soderberg 1995). Finalmente, en la novena etapa guata para evitar que ingresaran partículas grandes al compartimiento de la motobomba.

Se instaló una motobomba Resun PG-12000 que recirculaba agua (hasta 70 L/min) en paralelo hacia los 24 acuarios mediante tuberías de 1 pulgada. Sobre cada acuario se realizó una perforación en la tubería, cubriéndola con guata para reducir la fuerza en la salida del agua. En cada acuario, había un tubo de una pulgada que recogía el agua del fondo y la llevaba por rebose a la tubería principal de retorno para finalmente regresarla al filtro biológico. Durante la fase experimental, los acuarios designados al levante de alevines se modificaron recortando el tubo que recogía agua del fondo y girándolo, dejando la mitad de la zona transversal sin sumergir. Durante las primeras 3 semanas, la entrada de este tubo se tapó con velo suizo y para las restantes 4 con angeo, que tiene un menor número de malla. Se destinaron 13 acuarios a los reproductores y 8 acuarios (4 grandes y 4

pequeños) a la crianza de alevines.

Condiciones del sistema.

El agua usada en el sistema provenía del acueducto y era suministrada a temperatura 24°C con pH 7,1 y TDS ∼70 ppm. Según datos reportados por Emcali (2015) algunos de los parámetros fisicoquímicos del agua son: nitratos 1,24 ppm, cloro libre 1,68 ppm, cloruros 16,6 ppm, sulfatos 8,18 ppm y dureza total 49 ppm $CaCO_3$. El agua adicionada al sistema para remplazar pérdidas por evaporación, fugas, o para hacer recambios era previamente declorada. Semanalmente se recambiaban aproximadamente 140 Litros de agua equivalentes al 19 % del volumen total del sistema.

El proyecto estaba ubicado a 1000 msnm (675 mmHg) y la salinidad del agua era ∼0 g/L, por lo que el máximo posible de oxígeno disuelto (DO) era 7,0 g/L (USGS 2013). La entrada de luz solar se obstruyó para evitar daño a los alevines y acumulación de algas. Se ubicó una bombilla de luz 5W ahorradora, evitando la incidencia directa a cualquiera de los acuarios con una placa de icopor. Además, se ubicó una lámpara de 5W LED iluminando a las plantas acuáticas y se usó un termostato para calentar el agua a ∼27-28°C. Por otro lado, se adicionaron piedras calizas al biofiltro para elevar el pH y la dureza, y reducir los cambios de pH.

El amonio y los nitritos se monitorearon dos veces por semana. Los nitratos al no ser tan contaminantes se monitorearon sólo desde la fase experimental semanalmente y para controlarlos se introdujeron plantas acuáticas *Hygrophila* sp. Los sólidos disueltos totales (TDS), indicador indirecto de la contaminación del agua ya que incluye nitratos, carbonatos, calcio, magnesio, entre otras sustancias solubles en agua, se mantuvieron en el rango del agua potable (50-200 ppm). Sin embargo, el río Tapajoz, de donde provienen los escalares, tiene tan solo alrededor de 8 ppm (Palanna 2009, Duncan & Fernandes 2010)

Instrumentos de medición.

Se usaron los dispositivos Oxycheck HI-9147 de Hanna Instruments para medir el DO y temperatura,

ECO Testr pH2 de Oakton para medir pH y TDS-Meter de HM Digital para medir TDS. Todos estos dispositivos fueron calibrados semanalmente. El amonio, nitritos y nitratos fueron medidos con el kit de colorimetría API Freshwater Master Test Kit de API, que si bien no presenta una gran precisión, su versatilidad permite realizar múltiples pruebas simultáneamente.

Parentales y reproducción.

Los reproductores eran principalmente de variedad mármol sin velo, todos con una edad entre 8 meses y un año y medio. Se formaron las parejas artificialmente trasladándolas directamente a cada uno de los acuarios los cuales tenían entre 14,3 y 32,6 L, diferente a lo recomendado por Córdoba (2009) y Asprilla (2011). Adicionalmente, a cada acuario se le colocaron imágenes en la mayoría de sus caras simulando el interior de un río amazónico para evitar contacto visual con de los peces de los otros acuarios.

Las puestas de huevos se retiraron mediante sifoneo, uno o dos días antes de la natación de las larvas, de este modo no era necesario desprender a la fuerza los individuos sino que ellos se desprendían fácilmente. Las larvas posteriormente se trasladaban a los acuarios de incubación donde terminaban su desarrollo.

Alimento vivo para alevines.

Se usaron nauplios de artemia eclosionados a partir de quistes de la marca Mackay Marine proveniente de Great Salt Lake, Utah. Según FAO (1996), la artemia proveniente de este lago tiene una longitud promedio de 486 µm y un peso promedio por quiste de 2,42 μg. Diariamente 1,5 gramos de quistes de artemia eran hidratados, decapsulados con solución de hipoclorito de sodio, y posteriormente enjuagados y trasladados a un litro de solución de 18 g/L de sal marina natural con pH 8,0, donde se esperaba aproximadamente 48 horas para su eclosión. Se obtuvo un rendimiento aproximado de 12.480 nauplios por gramo de quiste de artemia, para un total de 18.720 nauplios en 1,5 gramos de quistes. Luego de eclosionar, los nauplios eran filtrados y trasladados a agua dulce

para suministrarlos a los alevines.

1. Fase descriptiva: sistema de recirculación y alimentación.

Se analizaron las ventajas y desventajas de un sistema de recirculación sobre un sistema de acuarios independientes con filtros sumergibles. Se describió el efecto de los biofiltros sobre los alevines y sobre la calidad del agua, y la cantidad óptima de recambio de agua. También se realizaron descripciones sobre el consumo y respuesta de los alevines a distintos tratamientos (infusorios de yema de huevo, truchina, quistes y nauplios de artemia, y gránulos molidos de TetraColor Tropical Granules en distintas edades).

2. Fase experimental: tamaño de acuario.

Con el fin de evaluar si el tamaño de acuario tenía un efecto estadísticamente significativo en el crecimiento y sobrevivencia de los alevines de escalares, se planteó un experimento de 7 semanas de duración en un sistema con recirculación de agua diseñado para cultivo semi-intensivo, donde se pretendía muestrear las siguientes tres variables: longitud total de los alevines (semanal), altura (semana final) y conteo de individuos muertos (diario), a la vez que se monitoreaban los parámetros del agua. El factor tamaño de acuario tenía dos niveles: acuarios grandes (32,6 litros de agua y 27,5 cm de altura del agua) y acuarios pequeños (14,3 Litros y 23,5 cm de altura). La densidad inicial de cultivo en todos los acuarios fue de 7 alevines/Litro, es decir, 230 alevines en los acuarios grandes y 100 en los pequeños.

Alimentación.

La alimentación incluyo nauplios de artemia desde el primer día de nado libre de los alevines, racionando la producción diaria de 18.720 nauplios entre los ocho acuarios. Desde la segunda semana de nado libre, se suministró TetraColor Tropical Granules pulverizado. La alimentación fue proporcional a la cantidad inicial de alevines y a la edad de los mismos de modo que a los acuarios grandes se les suministraba unas 2,3 veces más alimento que a los acuarios pequeños. Los nauplios

y el alimento pulverizado fueron suministrados en la mañana a alrededor de las 09:00h y en la tarde alrededor de las 17:00h.

Medición de los parámetros acuáticos.

La estabilidad en las condiciones ideales del agua se asumió como un punto clave del experimento, por ello se determinaron el oxígeno disuelto (DO) y la temperatura en cada uno de los acuarios y el biofiltro, hasta obtener promedios y estandarizar las condiciones para extrapolarlas al resto del muestreo. El pH, amonio y nitritos se midieron dos veces a la semana en cada acuario y en el filtro, mientras que los nitratos solo una vez a la semana. Además, durante las últimas semanas de fase experimental, se midieron semanalmente los TDS.

Medición y conteo de alevines.

La sobrevivencia se obtuvo a partir del registro y extracción diarios de los individuos muertos en cada acuario. Para medir la longitud y altura se fotografiaron al menos cuatro individuos al azar de cada acuario sobre una placa de petri con una cuadricula milimetrada de referencia adherida, posteriormente cada imagen se analizó con el programa ImageJ. No se tuvo en cuenta el peso de los alevines ni la biomasa al ser imprecisa esta medida debido a la imposibilidad de retirar toda el agua que rodea a los alevines sin hacerles daño, además no está documentado adecuadamente su procedimiento en la literatura y en el comercio de los peces ornamentales es más relevante la longitud total que el peso, ya que muy rara vez se llegan a pesar los individuos al comercializarlos.

Diseño estadístico.

Se tuvo una única fuente de variación o variable independiente, el tamaño de acuario, con dos niveles: grande y pequeño. Las unidades de muestreo fueron los acuarios y no los peces para evitar la pseudoreplicación. Por esto, y por cuestiones de presupuesto, se trabajó con un tamaño de muestra pequeño de n = 4 acuarios.

Las variables dependientes analizadas estadísticamente, y por medio de gráficos de caja, fueron

longitud promedio ($\bar{L}$), desviaciones estándar de la longitud de los individuos respecto del promedio (σL), porcentaje de sobrevivencia transformado a distribución lineal continua mediante la función de regresión logística Logit (Slogit), delta de longitud total o crecimiento longitudinal total (dL), un indicador de productividad que factoriza el crecimiento con la sobrevivencia (dL*S %) y la tasa de crecimiento longitudinal (dL/dt), adaptada para la longitud a partir de la tasa de crecimiento específico en peso (Atencio-García et al. 2006). Del mismo modo, se analizaron las variables promedio de altura final ($\bar{A}$), desviación estándar de alturas finales (σA), porcentaje de sobrevivencia final transformado a distribución lineal continua Logit (Slogit) y un indicador de productividad que factoriza la altura final con la sobrevivencia ($\bar{A}$*S %).

Se realizaron análisis de varianza no paramétricos por rangos, usando la prueba estadística de Mann-Whitney, que tiene un mínimo de potencia de 86,4 % respecto a la T-student. Esta prueba no requiere que los datos tengan una distribución normal, la cual sería difícil de probar en este experimento debido al bajo tamaño de muestra (n = 4), solo requiere distribución continua, homocedasticidad y similar distribución. Por otro lado, para probar la homocedasticidad se usó el estadístico W de Levene, que permite evaluar dos muestras de varianzas que no provienen de poblaciones de datos normales (Zar 2007).

RESULTADOS

1. Fase descriptiva: sistema de recirculación y alimentación.

Reproducción.

Aunque inicialmente los parámetros fisicoquímicos del agua (excepto el nitrato) estaban en el rango óptimo, la reproducción sólo ocurrió luego de reducir la fuerza en la caída del agua a los acuarios y aumentar considerablemente la cantidad de alimentación. Se observó que de las 13 parejas

establecidas, cuatro nunca pusieron huevos, cuatro de 1 a 3 veces en total, tres pusieron una puesta mensual, y sólo dos pusieron huevos a un ritmo de una puesta cada 8 a 15 días.

Decesos de reproductores.

En los acuarios destinados a reproducción, tanto en acuarios grandes (32,6 L) como medianos (23,3 L) y pequeños (14,3 L) se presentaron decesos de reproductores. En los acuarios cuyo nivel de agua estaba cerca del límite (acuarios grandes y pequeños) se observó que los peces podían llegar a saltar fuera del acuario. Por otro lado, se observó que cuando en un acuario se presentaba una enfermedad, ésta no se extendía a otros acuarios a pesar de compartir el mismo cuerpo de agua.

Alimentación de alevines.

Se observó que el alimento no ingerido (yema de huevo, Tetra, o artemia) se convertía en un floculo que se depositaba al fondo de los acuarios y en el cual ocasionalmente quedaban atrapados los alevines.

Se evidenció que el uso de Tetra molido en los primeros días de vida, especialmente si no se combinaba con artemia, resultaba en grandes mortalidades, llegando incluso a 0 % sobrevivencia. Sin embargo, si era suministrado luego de 2 semanas era bien recibido y asimilado por los alevines. La yema de huevo, como único alimento durante los primeros días, ocasionaba bajas sobrevivencias, pero más altas que con Tetra molido. No se observó respuesta en absoluto de los alevines a la truchina.

El uso de nauplios de artemia durante los primeros días presentó las mejores sobrevivencias. Sin embargo, debía combinarse con alimento seco luego de 2-3 semanas, debido a la demanda de los alevines. Por otro lado, ya que la artemia se había decapsulado, el material no eclosionado se podía brindar a los alevines de más de 1 mes de vida como un complemento a la alimentación.

Decesos en alevines.

Se observó gran mortalidad de individuos con la siguiente sintomatología: intestino vacío, nado errático y discontinuo, reposo y nado lateral en el fondo de los acuarios. Al extraer estos individuos a otro recipiente para ver si se recuperaban, ninguno de ellos lo hacía incluso si se les adicionaba nauplios de artemia o infusorios.

Biofiltros: succión de los alevines.

En los biofiltros sumergibles se detalló una gran mortalidad, la succión atrapaba a los alevines en la guata, y los expelía fuera del agua a las paredes del acuario, esto ocurría especialmente si el acuario era pequeño. En el sistema de recirculación se observó que muchos individuos vivos eran arrastrados por la corriente y atrapados en la malla. En la Fig. 1, en un diagrama de caja, se resumen los porcentajes semanales de individuos que murieron atrapados en estas mallas para cada tamaño de acuario.

Biofiltros: calidad del agua y recambios.

En los acuarios de incubación el amonio se elevó a más de 2 ppm y en los de larvicultura se observaron niveles de amonio entre 0,5 y 2 ppm. Sólo en los acuarios con biofiltro y en el sistema de recirculación la concentración de amonio fue 0 ppm.

En los acuarios de larvicultura, las lecturas de TDS llegaron a marcar 200 ppm, mientras que el agua del acueducto (declorada) marcaba 70 ppm. Al reducir los sólidos disueltos hasta 100 ppm se observó menor cantidad de muertes.

La temperatura se estabilizó a alrededor de 27,5°C con un termostato. La oxigenación fue elevada gracias a la caída del agua tanto en los acuarios como de regreso al filtro. En la tabla 1 se presentan los promedios de temperatura y DO para cada acuario y el biofiltro tanto con la entrada abierta de agua a los acuarios (oxigenada) como con la entrada cerrada.

En el sistema de recirculación, el pH se mantuvo en 6,1-6,8, el amonio y nitritos en cero, y los

nitratos y TDS se fueron incrementando lentamente (tabla 2). Al final de la fase experimental la concentración de nitratos fue de 80 ppm, la TDS de 198 ppm y la dureza 93,6 ppm. Los parámetros del agua fueron similares en todos los acuarios por la suficiencia en el flujo de agua.

2. Fase experimental: tamaño de acuario.

Se observó que en los acuarios G3, G4 y P4 había mayor cantidad de individuos con la sintomatología previamente descrita (intestino vacío, nado errático y discontinuo), por lo que mediante gráficos de caja se compararon las variables Slogit (Fig. 2a) y dL (Fig. 2b) entre estos acuarios y los normales (G1, G2, P1, P2 y P3). Por otro lado, en las tablas 3, 4 y 5 se reportan los datos semanales de $\bar{L}$, σL, S %, Slogit, dL, dL/dt y dL*S %, los datos de $\bar{A}$, σA, S %, Slogit y $\bar{A}$*S % y los valores P y estadísticos de las pruebas de Levene y de Mann-Whitney comparando acuarios grandes y pequeños (tanto incluyendo como excluyendo los acuarios con el defecto) para todas las variables previamente mencionadas excepto S %. En esta tabla también se presentan las fórmulas de transformación boxcox para lograr homocedasticidad si originalmente no la había. Los resultados de las pruebas Mann-Whitney evidencian que no hay ningún valor crítico, es decir ningún $P<0,05$.

Por último, por medio de gráficos de caja se comparan las distintas variables entre acuarios grandes y pequeños. La Fig. 3 grafica los valores de Slogit, la Fig. 4 los valores de dL y la Fig. 5 los valores de dL*S %. Estas figuras presentan en el iterativo (a) tanto los datos de los acuarios con el defecto como los normales, mientras que en el iterativo (b) se excluyen los del defecto.

DISCUSIÓN

1. Fase descriptiva: sistema de recirculación y alimentación.

Reproducción.

Según Luna-Figueroa *et al.* (2000) los escalares alimentados con alimento seco de 45 % de proteína

ponen huevos alrededor de cada dos semanas. Sin embargo, en este estudio a pesar de alimentar con TetraColor Tropical Granules que tiene 47,5 % de proteína, solo 2 de las 13 parejas pusieron huevos cada 8-15 días y 4 nunca pusieron. Es posible que esto se deba a que los reproductores no eligieron ellos mismos sus parejas sino que se les asignaron, colocando macho y hembra en cada acuario. Además, como se sexó por morfología y no por comportamiento, es probable que no todas las parejas fueran macho y hembra. Del mismo modo, el alto nivel de los nitratos (>80 ppm) pudo haber tenido un efecto negativo sobre la reproducción, ya que en el hábitat natural los nitratos, y en general los sólidos disueltos, se encuentran por debajo de 10 ppm (Duncan & Fernandes 2010).

Decesos de reproductores.

Los decesos debidos al salto fuera del acuario se presentaron únicamente en los acuarios cuyo nivel de agua se encontraba cerca del máximo del recipiente, es decir, en los acuarios grandes y pequeños, ya que los medianos tenían un margen entre agua y borde de unos 5 cm. A partir de esto, se recomienda guardar un límite razonable en la altura del agua respecto a la altura del recipiente. Por otro lado, pese a que las enfermedades se propagaban entre individuos del mismo acuario, no se propagaron a los de otros aun cuando todo el sistema compartía el mismo cuerpo de agua. Es posible que la carga bacteriana del filtro, por donde recircula el agua antes de ir a los demás acuarios neutralizara los patógenos. También es posible que los individuos que enfermaron fueran más vulnerables que los demás a tales patógenos y que estos se distribuyeran a lo largo de todo el sistema.

Alimentación de alevines.

Para respetar la asunción inicial de alimentar según la densidad inicial de peces, se debió sobre-alimentar, principalmente los acuarios G1 y P4, donde las sobrevivencias fueron por debajo del promedio. Sin embargo, es bien conocido que la sobrealimentación tiene un impacto negativo ya que se reducen la tasa de conversión y la eficiencia digestiva, lo que termina por contaminar el agua

(Silva-Ribeiro *et al.* 2012)

En cuanto a los distintos alimentos, Homes (2011) & Asprilla (2011) recomiendan alimentar los alevines de escalares durante las primeras tres semanas con alimento vivo, como los nauplios de artemia, haciendo énfasis en el uso de infusorios de paramecio a partir de cáscara de banano durante al menos el primer día de nado libre de las larvas. Las observaciones confirman lo descrito, si se adicionaba alimento seco antes de dos o tres semanas no sólo no era bien recibido por los alevines sino que además se acumulaba en el fondo empeorando la calidad del agua. Por otro lado, se detalló que no era necesario el uso de infusorios en el primer día ya que los alevines respondían positivamente a la artemia desde el primer día de nado aun cuando la cepa usada está reportada por la FAO (1996) como una de las de mayor diámetro de los nauplios con 486 μm.

Decesos de alevines. Según los acuicultores locales, un método para corregir la acumulación de la materia orgánica en el fondo es el sifoneo, al menos diario, antes de la primera alimentación. Sin embargo, esta práctica se realizó solo semanalmente por lo que los nitratos se elevaron más, se formaron cúmulos de detritos cubiertos de hongos y bacterias y se aumentó el material en suspensión. Según Muncy *et al.* (1979) niveles altos de sólidos en suspensión causan decesos en los alevines debido a que se atrofian sus branquias, las cuales se ven incapaces de expeler los detritos.

Por otro lado, se identificó qué causaba la sintomatología de nado errático de los alevines en el fondo de los acuarios. Zilberg *et al.* (2004) describe el mismo comportamiento, señalando que comienza a presentarse hacia alrededor de las dos semanas de vida, y que consiste en un una hipertrofia en las células de las glándulas de gas, por lo que no se infla la vejiga natatoria. Esto causa que sean incapaces de mantener su posición en la columna de agua, y por tanto de alimentarse eficazmente, lo que resulta en muerte o mal crecimiento.

De la no-inflación de la vejiga natatoria (swim bladder non-inflation ó SBN) se conoce que puede tener causas genéticas y que también puede ser causada por temperaturas por debajo del óptimo o

por desinfectantes como azul de metileno, peróxido de hidrogeno y acriflavina (Zilberg *et al.* 2004; Sanabria *et al.* 2009). Sin embargo, no se usó ningún desinfectante ya que mataría a las bacterias de los biofiltros. La única explicación sería la temperatura sub-óptima (23-25°C) en los acuarios de incubación que no tenían termostato. También, es posible que la dureza y nitratos elevados, o el aumento del amonio por la ausencia de un biofiltro en las incubadoras, hubiera aumentado los casos de SBN.

Biofiltros: succión de los alevines.

Se decidió forrar la tapa superior de los biofiltros sumergibles con velo suizo y reducir la aireación, lo cual resultó muy efectivo ya que únicamente quedaban atrapados los individuos muertos y débiles. En el sistema de recirculación, como se mencionó anteriormente, muchos alevines saludables quedaban atrapados en la malla de salida. Ya que como se observa en la Fig. 1 las muertes en la malla ocurren solo en las primeras semanas, es probable que el problema se solucione reduciendo la velocidad de salida del agua, para que la corriente no arrastre los alevines.

Se propone para futuros estudios evaluar el efecto de la velocidad de la corriente en la tubería de salida sobre la sobrevivencia desde los recién nacidos, hasta el primer mes. La velocidad de la corriente en la tubería de salida es dada por la ecuación de continuidad (Kane & Sternheim 1989).

Ecuación 1:

$$V = Q/A, \tag{1}$$

Donde A = área transversal de la tubería de salida,

Q = caudal de entrada de agua al acuario (es igual al de salida),

V = velocidad de la corriente de salida de agua.

Biofiltros: Calidad del agua y recambios.

Se evidenció que en el sistema de recirculación los niveles de oxígeno fueron altos, no solo debido

a la caída del agua tanto en los acuarios como de regreso al filtro, sino a la turbulencia y contacto agua-aire en el interior de las tuberías. Además se probó la facilidad en el control de la temperatura, ya que un único termostato regulaba la temperatura de 24 distintos acuarios gracias a que todos eran parte del mismo cuerpo de agua mientras en el sistema tradicional de acuarios independientes se hubieran requerido 24 termostatos. Por otro lado, el sistema de recirculación permitía mantener la misma calidad de agua para todos los acuarios y controlarlos mediante una misma operación, mientras que en el sistema de acuarios independientes se requerirían mediciones, ajustes de pH y cálculos de recambios de agua para cada acuario.

En cuanto a los biofiltros, tanto el presente en el sistema de recirculación como los sumergibles en los acuarios individuales probaron su eficacia manteniendo bajo control el amonio y los nitritos. Esto no pasó en los acuarios de incubación donde el amonio se elevaba por encima de 2 ppm ya que no tenían biofiltro y se les realizaba los cambios de agua sólo hasta que las larvas podían nadar. Si bien el amonio no causaba mortalidades inmediatamente, ocasionaba daños en los tejidos de riñones, hígado y branquias, que con la edad serían más notorios (Karasu-Benliam *et al.* 2008).

Por esto, para controlar el amonio tanto como sea posible en los acuarios de incubación, se recomienda realizar cambios diarios de agua por agua del acueducto declorada y que se ubiquen cerca de la aireación piedras muy porosas como carbón activado o piedra matrix para albergar bacterias nitrificantes. Como se mencionó previamente, no se recomienda el uso de biofiltros sumergibles en las incubadoras ya que succiona a las larvas que no pueden nadar todavía.

Recapitulando, la diferencia de TDS entre el agua del sistema y el agua del acueducto se calculó en más de 100 ppm al final de la fase experimental. Haciendo una analogía a la eutrofización de los lagos, donde también aumenta la cantidad de nutrientes inorgánicos disueltos en el agua, los sólidos en suspensión y disminuye la transparencia, en ellos es común la presencia abundante de nitratos, fosfatos, sulfatos, cloruros, calcio, magnesio, entre otros. Esta alta cantidad de nutrientes disponibles

permiten la propagación de algas, patógenos y parásitos (US National Academy of Sciences 1969; Ostfeld et al. 2010).

Ya que los TDS incluyen la suma de toda esta contaminación y en general son medidos por dispositivos económicos y fáciles de usar, se recomienda adquirirlos y realizar monitoreo constante de la lectura en los acuarios y en el agua proveniente del acueducto. Por otro lado la contaminación disuelta (CD) se puede disminuir aumentando el volumen de recambio de agua semanal e incorporando más plantas acuáticas, ya que éstas incorporan la materia inorgánica disuelta a su biomasa (US National Academy of Sciences 1969). Para calcular la cantidad de agua a recambiar se modificó y despejó la ecuación de balance de masas (Royal Society of Chemistry 2006). Y partiendo de la ecuación 2 se despejó la variable VR obteniendo la ecuación 3.

Ecuación 2:

$$(V_T – V_R) * CD_0 = V_T * CD_F \tag{2}$$

Donde V_T = volumen total del sistema,

V_R = volumen de agua a recambiar, siempre menor a V_T

CD = contaminación disuelta = TDS en acuario - TDS en agua declorada del acueducto

Ecuación 3:

$$V_R = V_T * \Delta CD / CD_0 \tag{3}$$

Donde ΔCD = cambio que se pretende realizar en la concentración de TDS,

V_R = volumen estimado de agua a recambiar para lograr el cambio ΔCD

La reducción en la contaminación es asintótica por lo que para lograr reducción casi total de los CD se requeriría cambiar casi el 100 % del agua, lo que sería impráctico. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, las plantas acuáticas pueden reducir gran parte de este problema ya que al incorporar a su biomasa la CD, reducirían la tasa a la que esta se incrementa (US National Academy

of Sciences 1969).

2. Fase experimental: tamaño de acuario.

Como se mencionó previamente, no fue posible trabajar con un mayor número de acuarios para aumentar el tamaño de muestra ya que el presupuesto en costo y tiempo no alcanzaron para diseñar un sistema de recirculación más extenso con más acuarios.

En los acuarios en los que el defecto estaba presente, se detalló un menor crecimiento y una mayor cantidad de muertes después de la segunda semana. Esto correspondería a no-inflación de la vejiga natatoria (SBN), ya que no sólo se presentó el comportamiento mencionado anteriormente del nado errático en el fondo del acuario, sino que esta condición se hace evidente precisamente a las dos semanas de vida de los alevines, y produce menores crecimientos (Zilberg *et al.* 2004). Es posible que fuera ocasionado al cruzar dos peces consanguíneos, ya que la mayoría de los reproductores usados provenían de la misma granja de peces.

De las pruebas de análisis de varianza no paramétricas Mann-Whitney sobre cada una de las variables al comparar acuarios grandes y pequeños, ninguna rechazo la hipótesis nula de igualdad entre las muestras.

No se rechazó ninguna hipótesis nula de igualdad entre las muestras al comparar acuarios grandes y pequeños mediante las pruebas de análisis de varianza no paramétricas Mann-Whitney, es decir, no existen diferencias significativas para $\bar{L}$, σL, Slogit, dL, dL/dt, dL*S %, $\bar{A}$, σA y $\bar{A}$*S % entre acuarios grandes y pequeños. En resumen, bajo una misma densidad inicial, el tamaño de acuario no afecta el crecimiento, la sobrevivencia, ni la productividad, al menos si este se encuentra entre 14,3 y 32,6 L.

Incluyendo los acuarios con el defecto se evidencian valores similares de Slogit, dL y dL*S %, lo cual no ocurre al excluirlos, donde se aprecia un mejor dL (crecimiento) y dL*S % (productividad) en los acuarios pequeños, a la vez que una tasa de mortalidad uniforme, mientras que en los acuarios

grandes se observa una gran tasa de mortalidad en las primeras semanas pero baja en las últimas semanas.

Sin embargo, es probable que las aparentes diferencias (visibles en las figuras pero no en las pruebas estadísticas) sean inexistentes y producidas por el bajo tamaño de muestra al excluir los acuarios con el defecto (n1=3, n2=2). Además, se observa que las desviaciones estándar son grandes comparadas con la diferencia entre los promedios de acuarios grandes y pequeños, en otras palabras, la varianza dentro de grupos es grande comparada con la varianza entre grupos. Esto se ve corroborado por el análisis estadístico que señala, como se mencionó previamente, que no existen diferencias significativas entre acuarios grandes y pequeños para las variables mencionadas.

3. Conclusiones.

El sistema de recirculación presentó la gran ventaja sobre los acuarios independientes con biofiltro sumergible de compartir el mismo cuerpo de agua, lo cual permite hacer una única medición de cada parámetro y extrapolarla a todo al sistema. Además en una sola operación controlar la temperatura, pH y calcular la cantidad exacta de agua del acueducto a reponer. Por otro lado, tanto el biofiltro del sistema de recirculación como el biofiltro sumergible fueron efectivos en el control del amonio y nitritos, pero no de TDS ni nitratos. Se propone el monitoreo continuo de TDS, debido a su bajo costo y facilidad, a la vez que el uso de mayor vegetación en los sistemas de recirculación para control de contaminación disuelta, y mayor optimización del uso de agua.

La producción de alimento vivo es clave ya que los alevines de menos de un mes no reciben alimento seco. El alimento vivo ausente o en cantidad insuficiente puede incluso causar mortalidad del 100 % de los alevines.

Se recomienda que todo acuario lleve un biofiltro o al menos material poroso, como carbón activado, disperso en su interior para controlar el amonio. Del mismo modo, se recomienda que la temperatura sea óptima para evitar la no-inflación de la vejiga natatoria (SBN).

Al usar una densidad de 7 alevines/Litro, se obtuvieron sobrevivencias de 7-22 %. Se identificaron posibles causas como alta contaminación disuelta, sobrealimentación, acumulación de detritos por baja frecuencia de sifoneo, daños por amonio en los primeros días de vida y SBN.

Por otro lado, bajo una misma densidad inicial, no se hallaron diferencias significativas en el crecimiento, en en la sobrevivencia, ni en la productividad para tamaños de acuario entre 14,3 y 32,6 L.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco enormemente a mi familia por el incondicional apoyo, en especial a mi abuela Ana María y a mi papá Gilberto, quienes no solo costearon todos los gastos del proyecto sino que todos los días trabajaron conmigo en las distintas labores del laboratorio. Agradezco a mi director de tesis Pedro Tabares por la gran ayuda y la información compartida, que no solo me fue de utilidad durante el proyecto sino que lo será para toda la vida. Agradezco a mi codirector Jaime Cantera y a los profesores Raúl Neira, Andrés Carmona y Germán Bolívar que me ayudaron a aclarar todas las dudas y a resolver los problemas que continuamente iban surgiendo.

LITERATURA CITADA

Agudelo, D.A. (2005), "Establecimiento de un centro de reproducción de *Pterophyllum scalare* (pez ángel o escalar)". *Revista lasallista de investigación*, Vol. 2 No. 2, pp. 26-30

ARS (2010), "Recirculating Water Helps Aquaculture", *Agricultural Research Magazine*, Vol. 58 No. 9, pp. 4-6

Asprilla, I.V. (2011), *Experiencia en la cría y reproducción del pez escalar Scalare Pterophyllum en el municipio de Buenaventura.* Tesis de pregrado, Universidad del Pacífico. Buenaventura.

Atencio-García, V.J., Pardo-Carrasco, S.C., Barrera, U.A. and Martinez, E.C. (2006), "Efecto de la densidad de siembra en el alevinaje de la dorada (*Brycon sinuensis* Dahl, 1955)", *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, Vol. 19 No. 2, pp. 197-203

Córdoba, L.E. (2009) *Reproducción del pez escalar o ángel (Pterophyllum scalare Liechestein, 1823) en estanquesw de tierra del centro de investigacion y producción acuícola Henry Von*

Prahl del corregimiento N°8, vereda Sabaletas, municipio de Buenaventura (Valle). Tesis de pregrado, Universidad del Pacífico. Buenaventura.

Degani, G. (1993), "Growth and body composition of juveniles of Pterohyllum scalare (Litchenstein) (Pisces;Cichlidae) at different densities and diets". *Aquaculture Research*, Vol. 24 No. 6, pp. 725-730

Degani, G. and Yehuda, Y. (1996), "Effects of diets on reproduction of angelfish, Pterophyllum scalare (Cichlidae)", *Indian Journal of Fisheries*, Vol. 43 No. 2, pp.121-126

Delincé, G. (2013), *The Ecology of the Fish Pond Ecosystem*, Kluwer Academic Publishers, CA.

Duncan, W.P. and Fernandes, M.N. (2010), "Physicochemical characterization of the white, black, and clearwater rivers of the Amazon Basin and its implications on the distribution of freshwater stingrays (Chondrichthyes, Potamotrygonidae)". *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, Vol. 5 No. 3, pp. 454-464

Emcali (2015), "Informe de ensayos fisicoquímicos", disponible en: `www.emcali.com.co` (Visitado 10 Junio 2015).

FAO (1996), *Manual on the Production and Use of Live Food for Aquaculture*, FAO, Roma, Italia.

FAO (2014), "Ornamental fish", disponible en: `www.fao.org/fishery/topic/13611/` (Visitado 12 Julio 2014).

Farahi, A., Kasiri, M., Talebi, A. and Sudagar, M. (2010), "Effect of different feed types on growth, spawning, hatching and larval survival in angel fish (*Pterophyllum scalare* Litchenstein, 1823)", *Internation Journal of the Bioflux* Society, Vol. 3 No. 4, pp. 299-303

Heinsbroek, L.T.N. and Kamstra, A. (1990), "Design and performance of water recirculation systems for eel culture". *Aquacultural Engineering*, Vol. 9 No. 3, pp. 187-207

Homes, B. (2011), *Acompañamiento en la reproducción y manejo del pez ornamental Gurami Perla, Trichogaster leeri, en la empresa "acuacultivos el pacífico S.A. Buenaventura."* Tesis de pregrado, Universidad del Pacífico. Buenaventura.

Jadhav, U. (2009), *Aquaculture technology and environment*, PHI Learning Private Limited, New Delhi, India.

Kane, J.W. and Sternheim, M.M. (1989), *Física*, 2nd ed., traducido por Vázquez, J.C., Mirabent, D.J., Reverte, New York, NY

Karasu-Benlia, A.Ç., Köksalb, G. and Özkulc, A. (2008), "Sublethal ammonia exposure of Nile tilapia (Oreochromis niloticus L.): Effects on gill, liver and kidney histology", *Chemosphere*, Vol. 72 No. 9, pp. 1355-1358

Luna-Figueroa, J., Figueroa-Torres, J. and Hernández, L.P. (2000), Efecto de alimentos con diferente contenido proteíco en la reproducción del pez angel *Pterophyllum scalare* variedad perlada (Pisces: Cichlidae). Ciencia y mar•, Vol. 4 No. 11, pp. 3-9

Mancera-Rodríguez, N.J. and Álvarez-León, R. (2008), "Comercio de peces ornamentales en Colombia", *Acta Biológica Colombiana*, Vol. 13 No. 1, pp. 23-52

Mitranescu, E., Furnaris, F., Tudor, L., Simion, V., Manascurta, S., Mitranescu, D. and Gonciarov, M. (2010), "Correlation between water physical chemical parameters and survival rate of *Pterophillum scalare* aquarium fish". *Lucrări stiinłifice medicină veterinară*, Vol. 43 No. 2, pp. 170-175

Muncy, R.J., Atchison, G.J., Bulkley, R.W., Mensel, B.W., Perry, L.G. and Summergelt, R.C. (1979), Effects of suspended solids and sediment on reproduction and early life of warm water fishes: a review, Corvallis Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development & U.S. Environmental Protection Agency, Corvallis, OR

Ortega-Salas, A. A., Cortés, G.I. and Reyes-Bustamante, H. (2009), "Fecundity, growth, and survival of the angelfish *Pterophyllum scalare* (Perciformes: Cichlidae) under laboratory conditions". *Revista de Biología Tropical*, Vol. 57 No. 3, pp. 741-747

Ostfeld, R.S., Keesing, F. and Eviner, V. (2010), "Influence of Eutrophication on Diseas in Aquatic Ecosystems: Patterns, Procceses, and Predictions", in Johnson, P.T.J. & Carpenter, S.R. (Ed.), *Infectious Disease Ecology: Effects of Ecosystems on Disease and of Disease on Ecosystems*, Princeton University Press, Princeton, NJ, pp. 71-99

PAES (2014), 2014 *Master catalog*, PENTAIR Aquatic Eco-Systems, Apopka, FL

Palanna, O.G. (2009), *Engineering Chemistry*, Tata McGraw-Hill Education Private Limited, New Delhi, India.

Pelis, R.M. and McCormick, S.D. (2003), "Fin development in stream- and hactchery-reared Atlantic salmon". *Aquaculture*, Vol. 220 No. 1-4, pp. 525-536

Ploeg, A. (2004), "The volume of the ornamental fish trade", *Ornamental Fish International Journal*, Vol. 2 No. 1, pp. 48-61

Royal Society of Chemistry (2006), "Chemicals in the Environment: Assessing and Managing Risk", in Hester, R.E, Harrison, R.M. (Ed.), *Issues in Environmental Science and Technology*, Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.

Salinas-Coy, Y. and Agudelo-Córdoba, E. (2000), *Peces de importancia económica en la cuenca amazónica colombiana*, Scripto Ltda., Bogotá, Colombia.

Sanabria, C., Diamant, A. and Zilberg, D. (2009), "Effect of commonly used disinfectants and temperature on swim bladder non-inflation in freshwater angelfish, *Pterophyllum scalare* (Lichtenstein)", *Aquaculture*, Vol. 292 No. 1, pp. 158-165

Silva-Ribeiro, F.A., Avendaño-Vazquez, L., Kochenborger-Fernandes, J.B. and Kazue-Sakomura, N. (2012), "Feeding level and frequency for freshwater angelfish", *Revista Brasileira de Zootecnia*, Vol. 41 No. 6, pp. 1550-1554

Soderberg, R.W. (1995), *Flowing water fish culture,* Lewis Publishers, Boca ratón, FL

Soriano, M.B. and Hernández, D. (2002), "Tasa de Crecimiento del Pez Ángel *Pterophyllum scalare* (Perciformes: Cichlidae) en Condiciones de Laboratorio". *Acta universitaria*, Vol. 12 No. 2, pp. 28-33

Umezawa, S., Yokoyama, T. and Taneda, K. (1986), "Group effect on oxygen consumption and some observations on the habit of the Angelfish, *Pterophyllum scalare*", *Zoological Science*, Vol. 3 No. 1, pp. 245-253

US National Academy of Sciences (1969), *Eutrophication: Causes, Consequences, Correctives, National academies*, Washington D.C

USGS (2013), "6.2 Dissolved Oxygen", Wilde F.D. (ed.), en National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data, disponible en: `http://water.usgs.gov/owq/FieldManual/Chapter6/6.2_ver3.pdf` (Visitado 19 Junio 2015)

Westers, H. and Pratt, K.M. (1977), "Rational Design of Hatcheries for Intensive Salmonid Culture, Based on Metabolic Characteristics". *The Progressive Fish-Culturist*, Vol. 39 No. 4, pp. 157-165

Zar, J.H. (2007), *Biostatistical Analysis*, 5th ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ

Zilberg, D., Ofir, R., Rabinski, T. and Diamant, A. (2004), "Morphological and genetic characterization of swimbladder non-inflation in angelfish *Pterophyllum scalare* (Cichlidae)", *Aquaculture*, Vol.230 No. 1-4, pp. 13-27

Tabla 1. Promedios de temperatura y oxígeno disuelto

Acuario	Oxígeno disuelto				Temperatura
	Entrada abierta		Entrada cerrada		
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	
G1	6,7	6,8	6,0	6,0	27,3
G2	6,7	6,8	6,1	6,0	27,3
G3	6,7	6,8	6,4	6,3	26,6
G4	6,8	6,8	6,6	6,4	26,6
P1	6,8	6,8	6,2	6,2	27,4
P2	6,8	6,8	6,3	6,3	27,3
P3	6,8	6,8	6,3	6,1	27,3
P4	6,8	6,8	6,2	6,2	26,9
Promedio	6,8	6,8	6,3	6,3	27,1
Biofiltro	6,9	6,9	6,8	6,8	27,5

Tabla 2. Promedios semanales de pH, amonio, nitritos, nitratos y TDS.

Semana	pH	Amonio	Nitritos	Nitratos	TDS
0,0	6,3	0	0	80	*
0,5	6,6	0	0	*	*
1,0	6,7	0	0	80	*
1,5	6,5	0	0	*	*
2,0	6,7	0	0	80	*
2,5	6,3	0	0	*	*
3,0	6,6	0	0	80	163
3,5	6,8	0	0	*	*
4,0	6,6	0	0	80	165
4,5	6,3	0	0	*	*
5,0	6,3	0	0	80	177
5,5	6,1	0	0	*	*
6,0	6,2	0	0	80	184
6,5	6,2	0	0	*	*
7,0	6,3	0	0	80	197

Tabla 3. Promedios semanales de longitud, crecimiento longitudinal, sobrevivencia y variables derivadas, donde $\bar{L}$ = longitud promedio, σL = desviación estándar de la longitud de los individuos respecto de $\bar{L}$, S % = porcentaje de sobrevivencia, Slogit = transformación a distribución lineal continua de S % mediante la regresión logística logit, dL = delta de longitud total o crecimiento longitudinal, dL/dt = tasa de crecimiento longitudinal, y dL*S % = indicador de productividad a partir de crecimiento y sobrevivencia.

Acuario	Tamaño	Tiempo	Sub-n	$\bar{L}$	σL	S %	Slogit	dL/dt	dL	dL*S %
G1	grande	0	8	4,41	0,36	100,00 %	*	*	*	*
G1	grande	1	5	7,05	0,55	40,11 %	-0,1741	2,64	2,64	1,0589
G1	grande	2	5	8,06	1,17	24,96 %	-0,4780	1,01	3,65	0,9110
G1	grande	3	7	8,12	0,73	19,46 %	-0,6169	0,06	3,71	0,7220
G1	grande	4	5	8,49	0,96	19,46 %	-0,6169	0,37	4,08	0,7940
G1	grande	5	5	10,24	1,89	11,20 %	-0,8992	1,75	5,83	0,6530
G1	grande	6	5	12,41	3,77	11,20 %	-0,8992	2,17	8,00	0,8960
G2	grande	0	6	5,96	0,50	100,00 %	*	*	*	*
G2	grande	1	8	6,56	0,84	88,67 %	0,8935	0,60	0,60	0,5320
G2	grande	2	6	8,54	2,53	42,39 %	-0,1332	1,98	2,58	1,0937
G2	grande	3	7	9,81	1,95	25,65 %	-0,4622	1,27	3,85	0,9875
G2	grande	4	6	8,86	2,68	24,66 %	-0,4850	-0,95	2,90	0,7151
G2	grande	5	7	10,45	2,62	22,69 %	-0,5324	1,59	4,49	1,0188
G3	grande	0	6	5,37	0,16	100,00 %	*	*	*	*
G3	grande	1	9	5,91	0,35	94,44 %	1,2301	0,54	0,54	0,5100
G3	grande	2	6	5,74	0,38	61,09 %	0,1959	-0,17	0,37	0,2260
G3	grande	3	8	7,04	0,79	16,63 %	-0,7001	1,30	1,67	0,2777
G3	grande	4	5	7,81	1,58	7,83 %	-1,0708	0,77	2,44	0,1911
G3	grande	5	6	10,55	2,13	7,83 %	-1,0708	2,74	5,18	0,4056
G3	grande	6	6	10,89	2,23	7,83 %	-1,0708	0,34	5,52	0,4322
G4	grande	0	6	5,15	0,67	100,00 %	*	*	*	*
G4	grande	1	6	6,14	0,35	96,70 %	1,4669	0,99	0,99	0,9573
G4	grande	2	9	5,37	0,63	57,63 %	0,1336	-0,77	0,22	0,1268
G4	grande	3	6	7,51	1,15	25,14 %	-0,4739	2,14	2,36	0,5933
G4	grande	4	7	8,45	1,05	9,60 %	-0,9739	0,94	3,30	0,3168
G4	grande	5	5	9,07	1,47	9,13 %	-0,9979	0,62	3,92	0,3579
G4	grande	6	6	10,13	1,28	9,13 %	-0,9979	1,06	4,98	0,4547
P1	pequeño	0	7	5,79	0,47	100,00 %	*	*	*	*
P1	pequeño	1	5	6,55	0,65	72,38 %	0,4184	0,76	0,76	0,5501
P1	pequeño	2	6	8,04	0,64	47,07 %	-0,0510	1,49	2,25	1,0591
P1	pequeño	3	8	9,03	1,51	25,21 %	-0,4723	0,99	3,24	0,8168
P1	pequeño	4	6	9,53	1,56	21,75 %	-0,5560	0,50	3,74	0,8135
P1	pequeño	5	5	11,97	1,42	16,00 %	-0,7202	2,44	6,18	0,9888
P1	pequeño	6	6	14,77	1,05	16,00 %	-0,7202	2,80	8,98	1,4368

Acuario	Tamaño	Tiempo	Sub-n	$\bar{L}$	σL	S %	Slogit	dL/dt	dL	dL*S %
P2	pequeño	0	10	5,33	0,52	100,00 %	*	*	*	*
P2	pequeño	1	5	6,83	1,21	71,39 %	0,3971	1,50	1,50	1,0709
P2	pequeño	2	7	6,65	0,92	59,74 %	0,1714	-0,18	1,32	0,7886
P2	pequeño	3	8	9,13	1,49	25,83 %	-0,4581	2,48	3,80	0,9815
P2	pequeño	4	6	8,67	2,74	17,36 %	-0,6776	-0,46	3,34	0,5798
P2	pequeño	5	4	13,65	4,47	11,00 %	-0,9080	4,98	8,32	0,9152
P2	pequeño	6	5	17,44	3,92	11,00 %	-0,9080	3,79	12,11	1,3321
P3	pequeño	0	8	6,13	0,65	100,00 %	*	*	*	*
P3	pequeño	1	6	6,51	1,10	83,93 %	0,7179	0,38	0,38	0,3189
P3	pequeño	2	5	8,67	0,79	70,33 %	0,3748	2,16	2,54	1,7864
P3	pequeño	3	7	8,13	1,46	45,61 %	-0,0765	-0,54	2,00	0,9122
P3	pequeño	4	4	11,49	3,27	35,72 %	-0,2552	3,36	5,36	1,9146
P3	pequeño	5	5	14,16	3,91	18,42 %	-0,6463	2,67	8,03	1,4791
P4	pequeño	0	6	4,90	0,53	100,00 %	*	*	*	*
P4	pequeño	1	8	5,80	0,66	100,00 %	*	0,90	0,90	0,9000
P4	pequeño	2	6	6,70	0,80	82,00 %	0,6585	0,90	1,80	1,4760
P4	pequeño	3	5	6,17	1,14	31,00 %	-0,3475	-0,53	1,27	0,3937
P4	pequeño	4	6	8,55	0,42	7,00 %	-1,1234	2,38	3,65	0,2555
P4	pequeño	5	7	8,84	2,43	7,00 %	-1,1234	0,29	3,94	0,2758
P4	pequeño	6	5	10,32	2,39	7,00 %	-1,1234	1,48	5,42	0,3794

Tabla 4. Promedios de altura, sobrevivencia y variables derivadas, donde $\bar{A}$ = altura final promedio, σA = desviación estándar de la longitud de los individuos respecto de $\bar{A}$, S % = porcentaje de sobrevivencia, Slogit = transformación a distribución lineal continua de S % mediante la regresión logística logit, y $\bar{A}$*S % = indicador de productividad a partir de crecimiento y sobrevivencia.

Acuario	Tamaño	Sub-n	$\bar{A}$	σA	S %	Slogit	$\bar{A}$*S %
G1	grande	5	3,8	2,015	11,20 %	-0,8992	0,4256
G2	grande	7	3,43	1,567	22,69 %	-0,5324	0,7782
G3	grande	6	3,98	0,884	7,83 %	-1,0708	0,3116
G4	grande	6	3,41	0,78	9,13 %	-0,9979	0,3113
P1	pequeño	6	5,12	0,57	16,00 %	-0,7202	0,8192
P2	pequeño	5	7,56	2,163	11,00 %	-0,9080	0,8316
P3	pequeño	5	5,58	1,741	18,42 %	-0,6463	1,0278
P4	pequeño	5	3,66	1,544	7,00 %	-1,1234	0,2562

Tabla 5. Resultados del análisis estadístico.

Tiempo	Variable	Prueba	Todos los acuarios					Excluyendo G3, G4 & P4				
				Levene		Mann-Whitney			Levene		Mann-Whitney	
			BoxCox	W	P	W	P	BoxCox	W	P	W	P
0	longitud	L-p	x	0,01	0,932	16	0,665	x	8,17	0,065	5	0,773
0	longitud	L-d	x	3,53	0,109	15	0,471	x	0,04	0,861	4	0,387
1	longitud	L-p	x	0,36	0,571	19	0,885	x	1,50	0,308	8	0,387
1	longitud	L-d	x	1,00	0,357	12	0,112	x	0,05	0,830	4	0,387
1	longitud	Slogit	x	1,56	0,267	19	0,377	(X+1, 1.9)	8,40	0,063	6	1,000
1	longitud	dLt	x	0,50	0,505	19	0,885	x	5,50	0,101	7	0,773
1	longitud	dL/dt	x	0,50	0,505	19	0,885	x	5,50	0,101	7	0,773
1	longitud	dLt*S %	x	0,25	0,636	18	1,000	x	0,00	0,952	6	1,000
2	longitud	L-p	(X, 1.5)	5,37	0,060	16	0,665	x	0,70	0,465	7	0,773
2	longitud	L-d	x	3,37	0,116	18	1,000	(X, -0.2)	6,62	0,082	9	0,149
2	longitud	Slogit	x	0,00	0,952	10	0,052	x	0,11	0,762	3	0,149
2	longitud	dLt	x	0,49	0,511	16	0,665	x	0,22	0,670	6	1,000
2	longitud	dL/dt	(X, 1.6)	5,50	0,057	18	1,000	x	0,13	0,741	9	0,149
2	longitud	dLt*S %	x	0,39	0,556	13	0,194	x	0,78	0,443	6	1,000
3	longitud	L-p	x	0,04	0,854	17	0,885	x	1,94	0,258	6	1,000
3	longitud	L-d	x	1,98	0,209	15	0,471	x	3050,65	0,000	*	*
3	longitud	Slogit	x	0,20	0,668	11	0,061	x	0,11	0,757	4	0,387
3	longitud	dLt	x	1,59	0,253	21	0,471	x	0,38	0,580	6	1,000
3	longitud	dL/dt	x	0,06	0,819	20	0,665	x	1,31	0,335	8	0,387
3	longitud	dLt*S %	x	0,09	0,779	16	0,665	x	4,49	0,124	6	1,000
4	longitud	L-p	x	1,80	0,229	12	0,112	x	1,06	0,378	4	0,387
4	longitud	L-d	x	1,36	0,288	16	0,665	x	0,43	0,558	4	0,387
4	longitud	Slogit	x	0,01	0,923	17	0,885	x	0,44	0,554	6	1,000
4	longitud	dLt	x	4,04	0,091	15	0,471	x	0,32	0,611	4	0,387
4	longitud	dL/dt	x	0,00	0,969	13	0,194	x	0,02	0,903	5	0,773
4	longitud	dLt*S %	x	0,73	0,427	15	0,471	x	0,88	0,418	5	0,773
5	longitud	L-p	x	2,74	0,149	14	0,312	x	0,95	0,402	3	0,149
5	longitud	L-d	(X, 0.6)	5,25	0,062	15	0,471	x	0,45	0,551	5	0,773
5	longitud	Slogit	x	0,00	0,947	18	1,000	x	1,86	0,266	7	0,773

Tiempo	Variable	Prueba	Todos los acuarios					Excluyendo G3, G4 & P4				
				Levene		Mann-Whitney			Levene		Mann-Whitney	
			BoxCox	W	P	W	P	BoxCox	W	P	W	P
5	longitud	dLt	x	0,88	0,385	16	0,665	x	0,65	0,478	3	0,149
5	longitud	dL/dt	x	2,55	0,161	13	0,194	x	0,00	0,957	3	0,149
5	longitud	dLt*S %	x	0,24	0,641	16	0,665	x	0,00	0,981	5	0,773
6	longitud	L-p	x	1,40	0,303	8	0,383	*	*	*	*	*
6	longitud	L-d	x	0,04	0,859	10	1,000	*	*	*	*	*
6	longitud	Slogit	x	1,09	0,355	10	1,000	*	*	*	*	*
6	longitud	dLt	x	0,10	0,771	7	0,190	*	*	*	*	*
6	longitud	dL/dt	x	0,82	0,416	8	0,383	*	*	*	*	*
6	longitud	dLt*S %	x	0,35	0,585	9	0,665	*	*	*	*	*
final	altura	A-p	x	2,81	0,144	12	0,112	x	0,66	0,475	3	0,149
final	altura	A-d	x	0,02	0,904	17	0,885	x	0,48	0,537	6	1,000
final	altura	Slogit	x	0,00	0,947	18	1,000	x	1,86	0,266	7	0,773
final	altura	A-p*S %	x	0,10	0,761	14	0,312	x	1,70	0,283	3	0,149

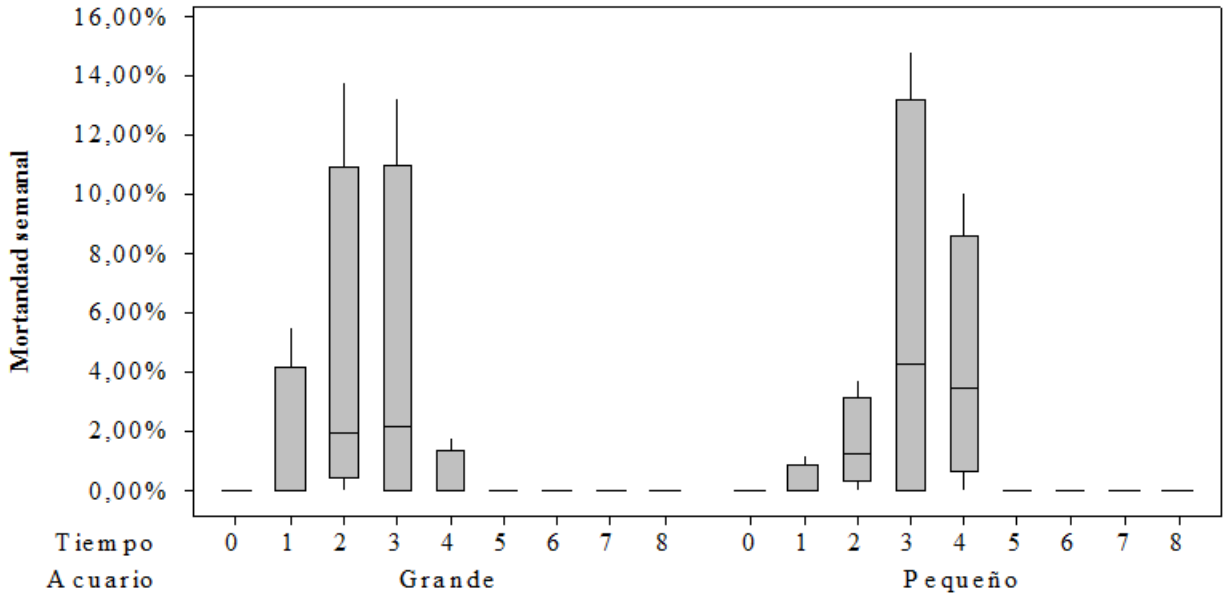
Figura 1. Mortalidad semanal de alevines en la malla de salida de cada acuario. Se presentan los valores de Mortalidad semanal en las mallas de velo suizo en el tubo de salida de cada acuario. El tiempo en semanas del gráfico no corresponde a las semanas de muestreo, sino a las semanas reales de vida de los alevines.

Figura 2. Comparación entre acuarios con y sin defecto para dL y Slogit. Los acuarios que en los que se observa el defecto son G3, G4 y P4, provenientes de la misma puesta de huevos. Estos acuarios se comparan con los demás acuarios (G1, G2, P1, P2 y P3) a partir de las variables crecimiento longitudinal total ó dL (a) y sobrevivencia en regresión logística ó Slogit (b).

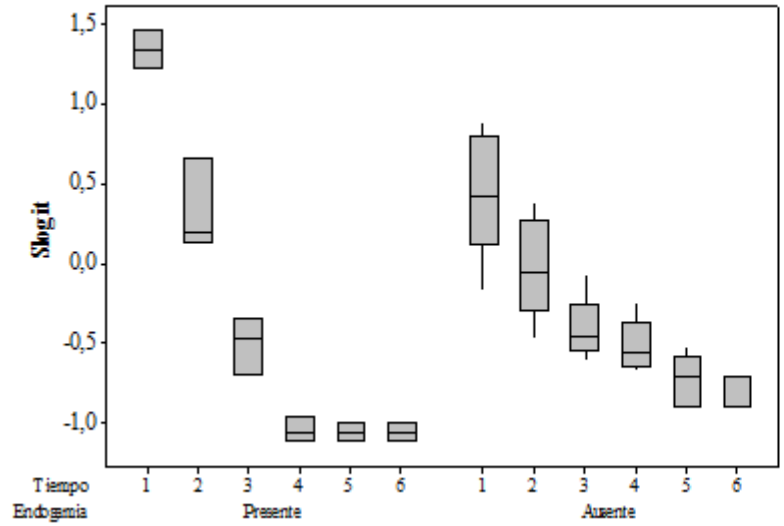
Figura 3. Comparaciones entre acuarios grandes y pequeños para Slogit. Se comparan los acuarios grandes y pequeños respecto a la regresión logística de la sobrevivencia o Slogit. (a)Comparación incluyendo todos los acuarios. (b) Comparación excluyendo acuarios con el defecto.

Figura 4. Comparaciones entre acuarios grandes y pequeños para dL. Se comparan los acuarios grandes y pequeños respecto al crecimiento longitudinal total o dL. (a) Comparación incluyendo todos los acuarios. (b) Comparación excluyendo acuarios con el defecto.

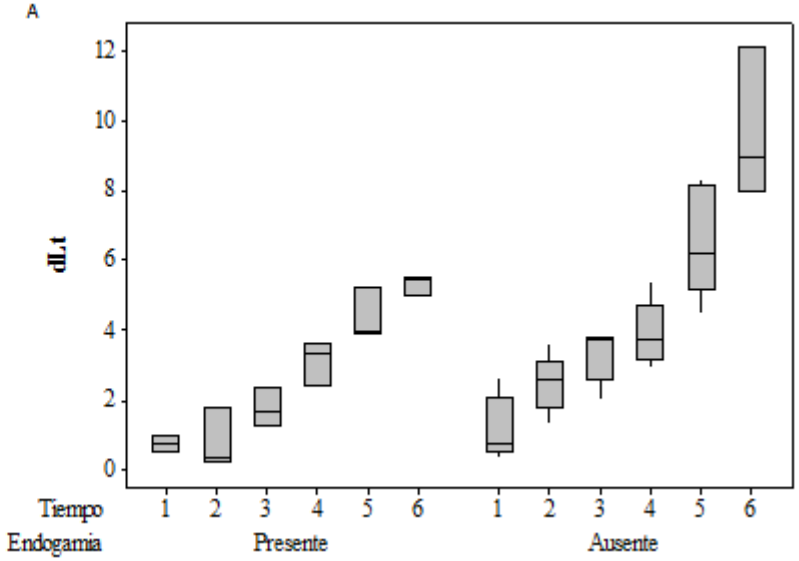
Figura 5. Comparaciones entre acuarios grandes y pequeños para dL*S %. Se comparan los acuarios grandes y pequeños respecto al indicador de crecimiento y sobrevivencia dL*S %. (a) Comparación incluyendo todos los acuarios. (b) Comparación excluyendo acuarios con el defecto.

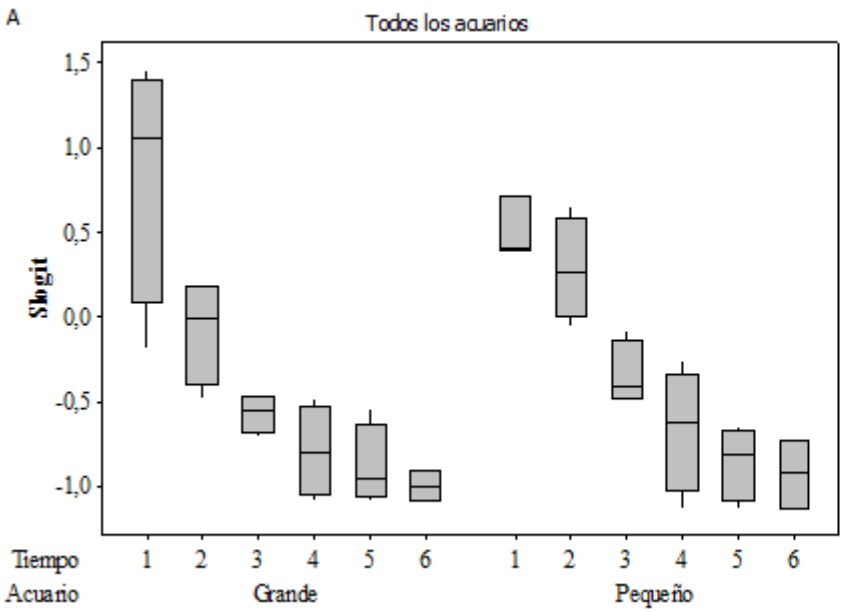

16,00%
14,00%
12,00%
10,00%
8,00%
6,00%
4,00%
2,00%
0,00%
Mortandad semanal
Tiempo
0 1 2 3 4 5 6 7 8 0 1 2 3 4 5 6 7 8
Acuario
Grande
Pequeño

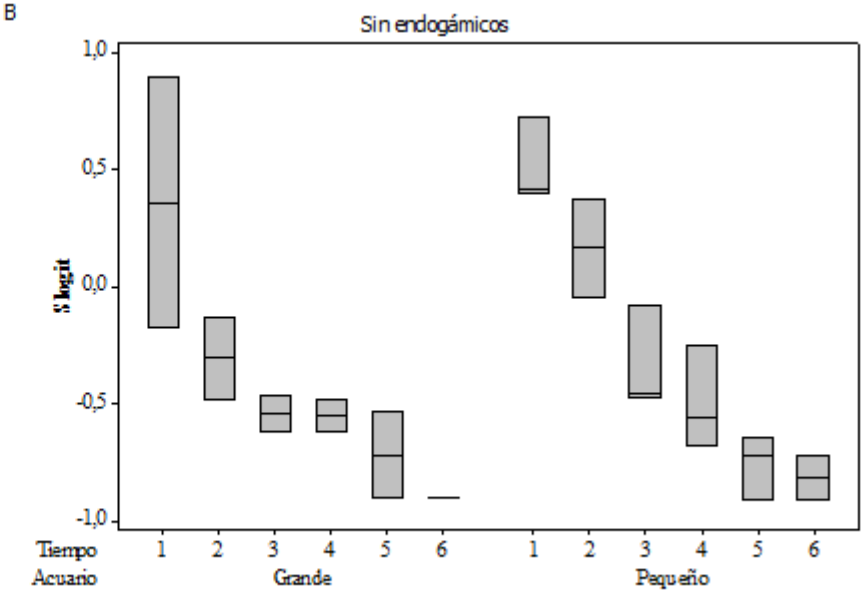
B

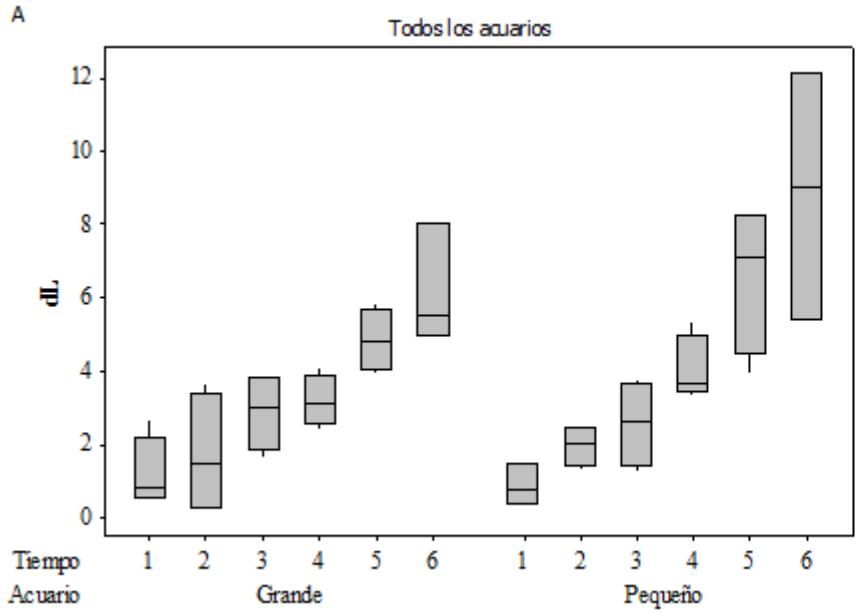

1,5
1,0
0,5
0,0
-0,5
-1,0
Slogit
Tiempo
Endogamia
1 2 3 4 5 6 1 2 3 4 5 6
Presente
Ausente

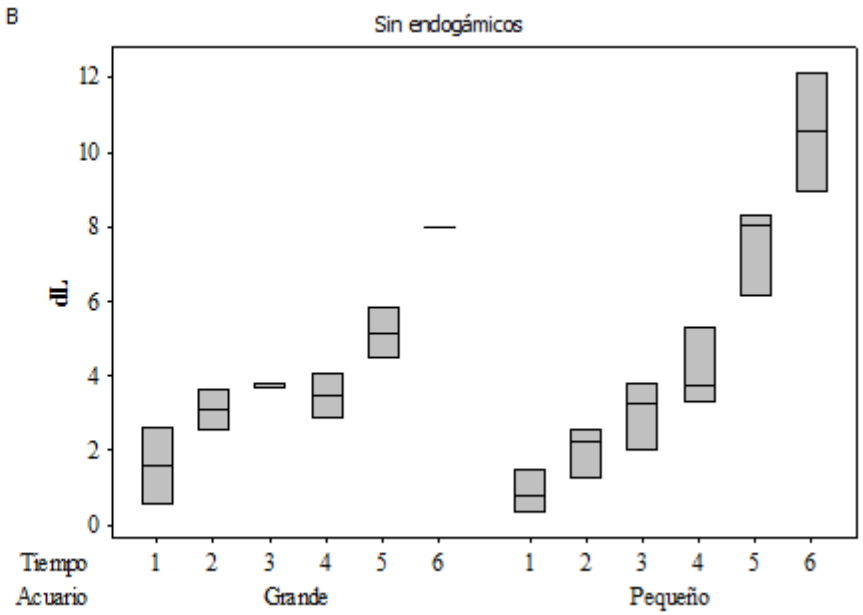
A

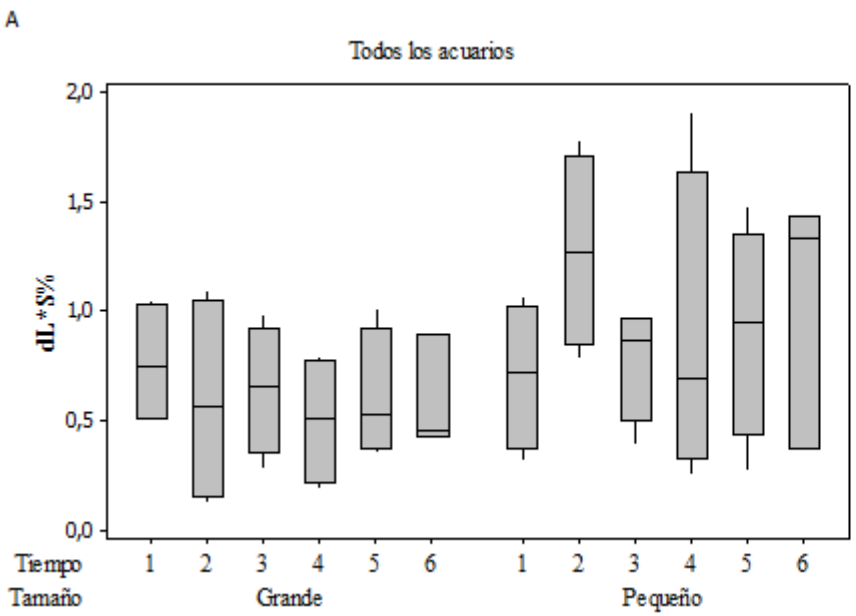

12
10
8
6
4
2
0
dL.t
Tiempo
Endogamia
1 2 3 4 5 6 1 2 3 4 5 6
Presente
Ausente

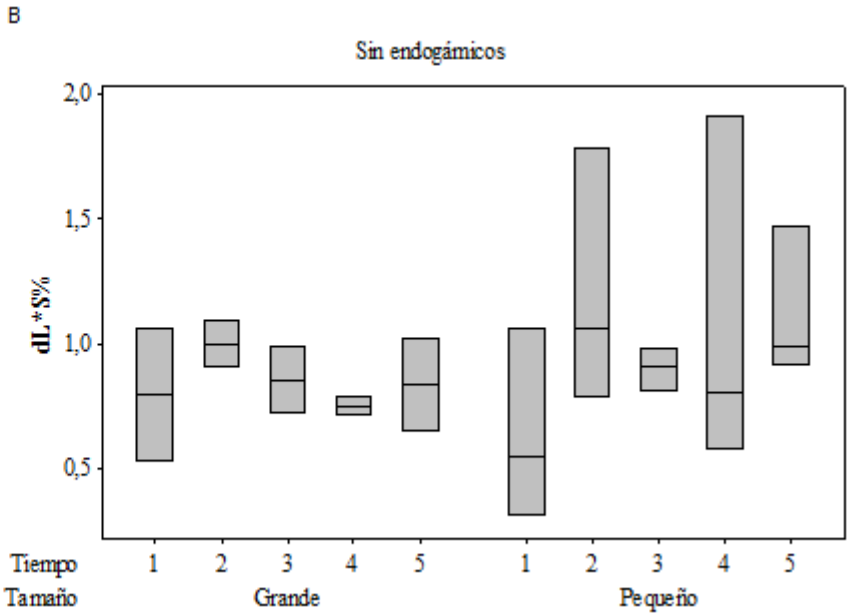

A
Todos los acuarios
Slogit
1,5
1,0
0,5
0,0
-0,5
-1,0
Tiempo
Acuario
1 2 3 4 5 6 1 2 3 4 5 6
Grande
Pequeño


B
Sin endogámicos
Slogit
1,0
0,5
0,0
-0,5
-1,0
Tiempo
Acuario
1 2 3 4 5 6 1 2 3 4 5 6
Grande
Pequeño

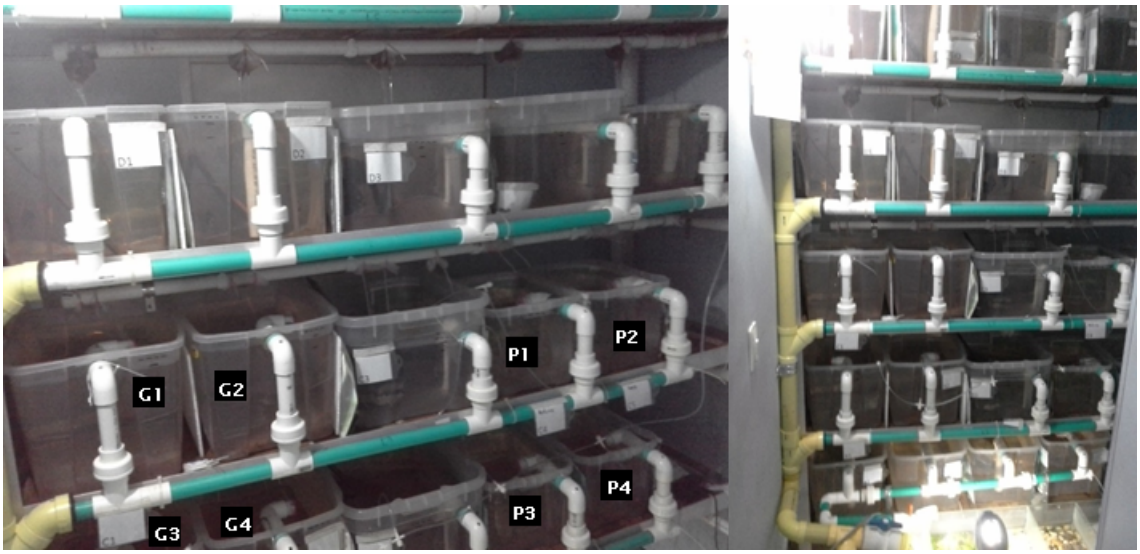

A
Todos los acuarios
dL
0
2
4
6
8
10
12
Tiempo
Acuario
1 2 3 4 5 6
Grande
1 2 3 4 5 6
Pequeño


B
Sin endogámicos
dL
0
2
4
6
8
10
12
Tiempo
Acuario
1 2 3 4 5 6
Grande
1 2 3 4 5 6
Pequeño


A
Todos los acuarios
dL*S%
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
Tiempo
Tamaño
1 2 3 4 5 6 1 2 3 4 5 6
Grande
Pequeño


B
Sin endogámicos
dL*S%
2,0
1,5
1,0
0,5
Tiempo
Tamaño
1 2 3 4 5 1 2 3 4 5
Grande
Pequeño

ÁPENDICE



Sistema de recirculación. Apróximadamente 720 Litros de agua. Posee cinco niveles con 24 acuarios en total. Encima de cada acuario se encuentra un tubo con un agujero cubierto por guata que reduce la presión y velocidad del agua que cae. En la imagen de la izquierda, debajo del nivel ”D”se observan los niveles ”B” y ”C” los cuales corresponden a los acuarios usados para el muestreo. En estos dos niveles se observan los cuatro acuarios grandes: G1, G2, G3 & G4, y los cuatro pequeños: P1, P2, P3 & P3. Los demás acuarios fueron usados para albergar los reproductores por lo que no se contaba con más espacio libre. En los acuarios del nivel ”B” y ”C” se evidencian los tubos de recolección de agua girados a los 90°mientras en los demás, llegan hasta el fondo.




La primera etapa del biofiltro contiene el velo suizo que evita el paso de partículas grandes, luego la guata, que evita el paso de partículas pequeñas. En la etapa dos, se aloja el termostato. En las etapas 3 y 4 se encuentran las plantas acuáticas *Hygrophila* sp. En las etapas 5, 6 y 7 se ubica un mosaico de piedras calizas y piedra pómez. En las etapas 7 y 8, debajo de la piedra caliza se ubica el carbón activado y la piedra matrix, dos componentes muy porosos que alojan la mayoría de las bacterias nitrificantes del sistema. En la etapa nueve se encuentra la segunda guata, encargada de evitar el paso de partículas al compartimiento de succión de la bomba. Y finalmente se encuentra dicho compartimiento, diseñado para estar solo ocupado con agua con el fin de que una disminución en el nivel total de agua del sistema, sea por una fuga, por evaporación o por retención de agua por los acuarios no deje inmediatamente sin agua a la bomba, lo que podría dañarla permanentemente. Este compartimiento da un margen extra de aproximadamente 13 Litros.