

Evaluación del Efecto de Diferentes Tiempos de Retención Hidráulica en la Remoción de Sólidos Sedimentables en Tanques Circulares con Rebalse Central en un Sistema de Recirculación de Agua

Sánchez Ortiz, I.A. ¹, Estudiantes Ingeniería en Producción Acuícola²

Resumen

Objetivo. El principal objetivo del presente proyecto fue evaluar el efecto de diferentes tiempos de retención hidráulica en la eficiencia de captura y evacuación de sólidos sedimentables en tanques de cultivo circulares con drenaje por medio de rebalse interno con tubos concéntricos en un sistema de recirculación de agua para acuicultura. **Materiales y Métodos.** Se utilizaron 8 tanques circulares de 250 L como parte de un sistema de recirculación localizado en el Programa Ingeniería en Producción Acuícola de la Universidad de Nariño, se utilizó truchas con pesos entre 20 y 30 gr con una densidad de siembra inicial de 1 kg/m³, se proporcionó alimento comercial con 48% de proteína a una tasa de alimentación del 3% del peso vivo por día en tres raciones, se controló diariamente los caudales de ingreso a los tanques y monitoreó parámetros de calidad del agua: pH, temperatura y oxígeno disuelto; se realizó sifoneos diarios para extraer los sólidos sedimentables acumulados en los tanques, se filtró y secó el material sólido y se pesó para calcular el porcentaje de remoción aparente. **Conclusiones.** Se presentaron diferencias significativas en la remoción aparente de sólidos sedimentables para los tratamientos 1, 3 y 4 (0,5; 2; y 4 recambios/hora) con eficiencias medias del orden del 93%; sin embargo, fueron diferentes del tratamiento 2 (1 recambio/hora) que reportó una eficiencia promedio cercana al 87%, los datos de concentración de oxígeno disuelto, pH y temperatura registrados en las unidades de cultivo no reportaron diferencias estadísticamente significativas para los cuatro tratamientos.

Palabras clave: Acuicultura, remoción de sólidos, sistemas de recirculación

Keywords: Aquaculture, solids removal, recirculating systems

1. Introducción

La acuicultura ha experimentado un crecimiento muy marcado en los últimos años debido a múltiples factores tales como el agotamiento de las reservas de peces disponibles para la pesca extractiva. Según la FAO [1], la acuicultura ha crecido más que otros sectores de la producción de alimentos con un valor promedio de 8,8% por año desde 1970, en comparación con apenas 1,2% anual en la captura de pescado y 2,8% por año en los sistemas de producción de carne terrestre en el mismo periodo.

¹ Ing. Civil, Esp. M.SC. Profesor Asistente Universidad de Nariño. Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Universidad de Nariño. Ciudad Universitaria-Torobajo. iaso@udenar.edu.co

² Estudiantes Asignatura Núcleo Problémico I - Hidrodinámica, IV Semestre Ingeniería en Producción Acuícola, Universidad de Nariño.

En el año 2000, América Latina y el Caribe ocuparon el tercer lugar en términos del valor de producción por continente, representando 5% del valor total de la producción acuícola mundial [2].

De acuerdo con Crab et al [3], el intensivo desarrollo de la industria de la acuicultura ha sido acompañado por el aumento en los impactos ambientales. La descarga de efluentes de la acuicultura en los ambientes acuáticos presentan altas cargas de nutrientes, diversos compuestos orgánicos e inorgánicos tales como nitrógeno total, amonio, fósforo y materia orgánica [4]. Los impactos ambientales generados por la acuicultura, como sedimentación, hipernitrificación y eutrofización de los cuerpos de agua y la polución por residuos químicos empleados en las diferentes fases del cultivo, pueden establecer nuevos límites para esta actividad.

En acuicultura se han utilizado diversas alternativas de tratamiento de los efluentes, bien sea para su descarte final o para su reúso, como ocurre en los sistemas de cultivo intensivo.

Un sistema de recirculación para acuicultura (SRA) consiste en un conjunto integrado de dispositivos que permiten el reciclaje del agua, permitiendo una utilización más eficiente e independiente de las condiciones climáticas y una reducción del volumen de efluentes en sistemas de producción acuícola. En tales sistemas, los biofiltros asumen la función de la degradación de la materia orgánica y la remoción biológica del amonio y las formas de nitrógeno generadas. Sin embargo, un sistema de tratamiento de aguas residuales cobra validez y justifica su eficiencia en función de la correcta y oportuna remoción de sólidos dentro de las unidades de cultivo ya que la permanencia prolongada de sólidos tales como las heces y el alimento no consumido generarán la descomposición de la materia orgánica, consumo del oxígeno disuelto (OD) y alteración negativa de los parámetros de calidad del agua.

En los SRA existe una caída en los niveles de OD provocada por la respiración de los peces, por los procesos de degradación de la materia orgánica (MO) y la transformación u oxidación del nitrógeno amoniacal total (NAT). En relación al consumo de oxígeno provocado por la degradación de la MO y los procesos oxidativos del NAT, una cierta parte podría reducirse por medio de la remoción oportuna de los sólidos producidos en las unidades de cultivo ya que ellos contienen cantidades importantes de materia orgánica, por ello la importancia de disponer de sistemas eficientes que permitan capturar y evacuar los sólidos con la mayor eficiencia y a la mayor brevedad posible.

Según Timmons et al. [5], los tanques son diseñados considerando el costo de producción, espacio de utilización, sostenimiento de la calidad del agua y manejo de peces. Los estanques circulares suelen utilizarse por motivos tales como: Proveen agua de calidad uniforme en la unidad de cultivo; permiten ser operados bajo una amplia gama de velocidades de rotación; los sólidos sedimentables pueden ser rápidamente eliminados por medio de un adecuado sistema de drenaje.

Una ventaja de los tanques circulares es su habilidad para auto limpiarse, se pretende que la columna de agua esté en constante rotación dentro del tanque y que dicha velocidad sea lo más uniforme posible desde la pared hacia el centro como de la superficie hasta el fondo, y que sea lo suficientemente rápida para permitir la auto limpieza del tanque.

Las velocidades del agua en tanques circulares, en contraste con los raceways, son en gran medida, controlables independientemente de las tasas de recambio de agua, siendo el factor más crítico el diseño de las configuraciones de entrada y salida.

En tanques circulares se pueden lograr mezclas relativamente completas, con una buena calidad del agua, optimizando el diseño de la estructura de entrada del afluente y seleccionando una tasa de recambio de modo que los parámetros limitantes de la calidad de agua no disminuyan la producción cuando el sistema alcance su capacidad de carga. Normalmente estos tanques se operan mediante la inyección de flujo de agua de forma tangencial a la pared del tanque con un radio externo tal que el agua gire alrededor del centro del tanque, creando una rotación primaria de flujo. Un flujo radial se crea hacia adentro, a lo largo de la profundidad del tanque lo que mueve a los sólidos sedimentables al drenaje central, creando la propiedad de auto limpieza y creando una zona muerta sin rotación de flujo donde se acumulan los sólidos sedimentables; por ello, el centro del tanque se constituye en una ubicación recomendable para el drenaje de fondo. Uno de los diversos sistemas empleados para el drenaje consiste en un rebalse (*stand pipe*) ubicado en el centro de la unidad de cultivo, que posee la propiedad de capturar y transportar los sólidos sedimentables cercanos al drenaje, para su evacuación a intervalos, o de manera continua a través de un sistema de tubos concéntricos como el ilustrado en la Figura 1.

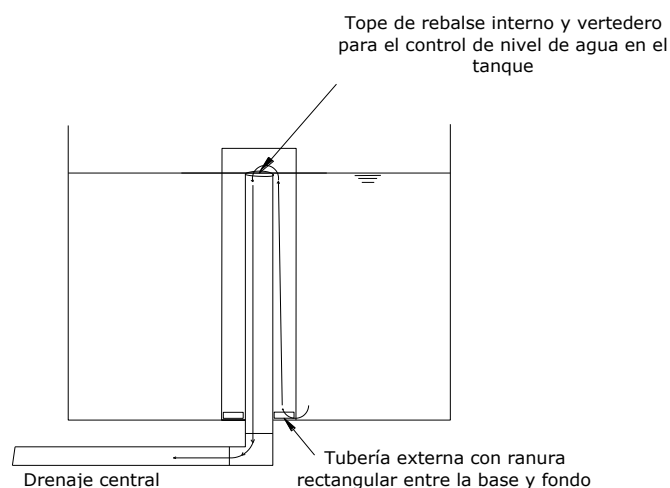


Figura 1. Rebalse interno compuesto por dos tuberías concéntricas.
(Fuente: Adaptado de Timmons et al, 2002).

El sistema de la figura consta de dos tuberías concéntricas, un externa con ranuras perforadas en la base de la tubería que fuerzan al flujo a subir desde el fondo del tanque arrastrando los sólidos sedimentados y la tubería interna actúa como vertedero para controlar la profundidad del agua dentro del tanque.

En el tratamiento de aguas residuales de acuicultura cobra importancia la evaluación de diferentes sistemas de drenaje del agua residual y sólidos en las unidades de cultivo para identificar opciones que proporcionen mejores eficiencias de remoción de residuos sólidos generados por las excretas de los peces y alimento no consumido con el fin de posibilitar la reutilización del efluente en sistemas de recirculación.

Como parte de las actividades que se han desarrollado en el Programa Ingeniería en Producción Acuícola de la Universidad de Nariño y en consecuencia con su modelo curricular de la enseñanza problémica, desde hace algunos semestres se ha evaluado diferentes opciones de drenajes en tanques circulares en el laboratorio de sistemas de recirculación. Los resultados obtenidos el año pasado permitieron determinar que entre cuatro diferentes tipos de drenaje estudiados a saber: rebalse lateral externo; doble drenaje con rebalse lateral externo; tubería perforada de fondo y rebalse lateral externo; y rebalse central por sistema de tubos concéntricos, el más eficiente en cuanto a la remoción aparente de los sólidos sedimentables fue el tanque con rebalse central por tubos concéntricos.

El objetivo principal del presente proyecto consistió en evaluar el efecto de diferentes tiempos de retención hidráulica (TRH) en la eficiencia de captura y evacuación de sólidos sedimentables en tanques de cultivo circulares con drenaje por medio de rebalse interno con tubos concéntricos en un sistema de recirculación de agua para acuicultura.

2. Materiales y Métodos

2.1 Localización. El proyecto se realizó en el Laboratorio de Especies Vivas e Hidráulica del Programa de Ingeniería en Producción Acuícola de la Universidad de Nariño.

2.2 Procedimiento. Se adecuaron ocho (8) tanques circulares dispuestos con drenajes de rebalse central por tubos concéntricos

2.3 Materiales.

- Como material biológico se utilizó alevinos de trucha arco iris con un peso promedio de 50 gr, con densidad de siembra de 8 animales/tanque.
- Tanques circulares plásticos de 250 litros. (8 unidades), con una densidad inicial de 1.0kg/m^3
- Instalación hidráulica de suministro de agua y suministro de aire con piedras difusoras.
- Motobomba centrífuga de 2.0 H.P.
- Aireador tipo Blower de 2.5 H.P.
- 3 Tanques de almacenamiento de agua de 1000 litros para mantenimiento de agua de recambio.
- Biofiltro de flujo descendente con una capacidad máxima de 1000 litros.
- Sedimentador convencional.

2.4 Variables evaluadas – Métodos. Se realizó muestreos de peces para verificar el peso y longitud con el fin de determinar la cantidad de alimento a suministrar para un período de 20 días, previa aclimatación de los peces.

Se controló diariamente los caudales de ingreso a los tanques circulares y se verificó los niveles del agua en las unidades de cultivo, el decantador y el biofiltro.

Se realizó monitoreo diario de parámetros de calidad del agua: pH, temperatura y Oxígeno Disuelto por medio de pH metro, termómetro y oxímetro digitales.

Se realizó sifoneos diarios para extraer los residuos acumulados de los tratamientos, posteriormente el líquido sifoneado se dejó en reposo para propiciar la sedimentación de los sólidos, se retiró el líquido sobrenadante y el restante pasó a través de papel filtro para retención de los sólidos, finalmente el filtro y los sólidos se sometieron a secado a una temperatura del orden de 80°C, se dejó enfriar y se pesó para calcular el porcentaje de remoción aparente según la siguiente expresión:

$$E.R.A. = \frac{AP - SSC}{AP} * 100\% \quad [1]$$

Donde:

E.R.A.: Eficiencia de remoción aparente (en porcentaje)

AP : Cantidad de alimento proporcionado en el día (gramos)

SSC : Sólidos sedimentables colectados, filtrados y secados en un día (gramos)

Con base en lo anterior, se evaluó las eficiencias de los sistemas de drenaje para cuatro tipos de periodos de retención hidráulica diferentes, donde cada uno de ellos conservó una relación del doble de tiempo en relación al anterior así: 0,5; 1,0; 2,0; y 4,0 recambios por hora.

Respecto a los animales utilizados en el experimento, las metodologías empleadas se presentan a continuación:

Transporte: Los animales fueron trasladados desde las jaulas flotantes de la estación piscícola INTIYACO, hasta el laboratorio de Hidráulica del Programa de Ingeniería en Producción Acuícola de la Universidad de Nariño; para ello se sometió a los animales a un período de ayuno de 24 horas con el fin de evitar la presencia de alimento en el tubo digestivo de los animales transportados lo cual incrementa el consumo de oxígeno disuelto por los procesos de digestión, asimilación y excreción, además de la eliminación de desechos los cuales disminuyen la calidad del agua en las bolsas de transporte. Posteriormente los animales fueron empacados en bolsas plásticas calibre 3 con capacidad de 15 litros las cuales se adecuaron de forma redondeada en el fondo para evitar esquinas muertas que puedan comprimir los peces. Cada bolsa se llenó con 1/3 de agua, 10 animales de 15 gramos, finalmente se llenó con 2/3 de oxígeno (aproximadamente 10 litros), y se introdujo los peces en una cantidad de 15 individuos por bolsa por un tiempo de 2 horas hasta la aclimatación.

Aclimatación en laboratorio. Las bolsas con los animales, se introdujeron en la unidad experimental durante 15 minutos para equilibrar la temperatura una vez transcurrido este tiempo se agregó agua del tanque a las bolsas y al mismo tiempo se retiró el mismo volumen, esto con el fin de equilibrar el pH; a cada bolsa se agregó 15 g de cloruro de sodio (sal marina), como tratamiento profiláctico. Los animales aclimatados se liberaron en la unidad experimental brindándole un periodo de adaptación de 7 días, tiempo en el cual se suministró alimento a saciedad.

Plan de manejo y siembra. Después de aclimatar a los ejemplares, se repartió 8 animales para cada unidad experimental. Los individuos restantes sirvieron de reposición en caso de mortalidad en cualquiera de los tanques a ser investigados, lo anterior con el propósito de que las variables a evaluar no se vean afectadas por la ausencia de animales.

Alimentación. Se realizó con balanceado comercial del 48% de proteína, 2.800 Kcal/kg de gránulos de 3.5 mm de diámetro, la cantidad a suministrar se calculó, teniendo en cuenta la biomasa de la unidad experimental y la tasa de alimentación (3%), distribuyéndose en tres comidas en el horario de 7a.m, 12m y 5 p.m.

3. Diseño Experimental

En el experimento se utilizó básicamente un factor: Caudal: 1; 2; 3; 4 que a su vez se expresó como tiempo de retención hidráulica o recambio en las unidades de cultivo.

El experimento consistió en un Diseño Completamente al Azar (DCA), donde el factor correspondió a los diferentes caudales de ingreso a los tanques.

Cada unidad experimental estuvo conformada por un tanque de 250 litros con sistema de ingreso del agua por medio de tubería vertical perforada para garantizar un flujo tangencial que favoreció la formación de un vórtice para acumulación de sólidos en la zona central de fondo. De igual manera cada tanque recibió suministro de aire proveniente de un blówer de 2,5 HP. Todos los tanques tuvieron un mecanismo de control del nivel por medio de una tubería vertical central.

El número total de tratamientos fue de 4, con dos repeticiones. A continuación, la Figura 2 ilustra la disposición de las unidades de cultivo evaluadas dentro del laboratorio en el que se llevó a cabo el experimento.

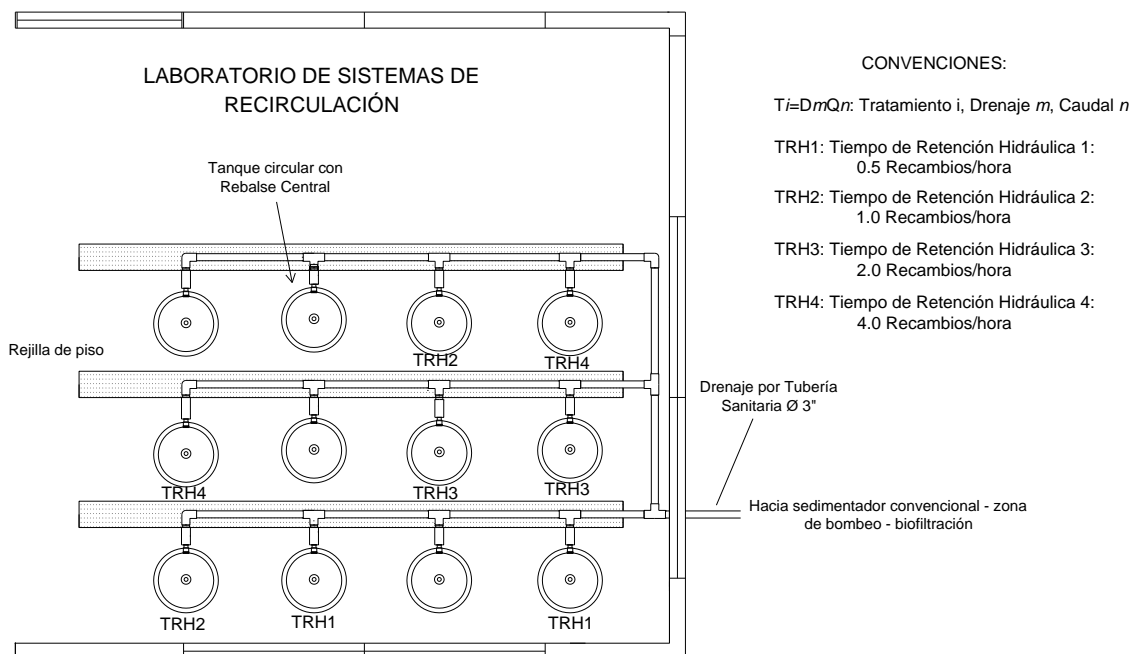


Figura 2. Disposición de las unidades de cultivo y los tratamientos evaluados con sus respectivos TRH.

4. Resultados y Discusiones

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros medidos.

4.1 Resultados de remoción aparente de sólidos sedimentables

El análisis estadístico indicó que no hubo diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la remoción aparente de los sólidos sedimentados entre los tratamientos 1 (0,5 recambios/hora), 3 (2,0 recambios/hora) y 4 (4,0 recambios/hora); sin embargo, si hubo diferencias entre estos tres tratamientos y el tratamiento 2 (1,0 recambio/hora). Tal situación se debió fundamentalmente al bajo consumo del alimento suministrado en estos tanques durante un cierto tiempo del experimento, lo que contribuyó a la mayor sedimentación de sólidos formados por alimento no consumido. Puesto que este tipo de sólidos es más denso que las heces de los animales, tendieron a permanecer más tiempo en los tanques por su dificultad para ser arrastrados por el flujo efluente, registrando de esta manera los menores porcentajes de remoción aparente. La situación en mención se puede apreciar en la Figura 3.

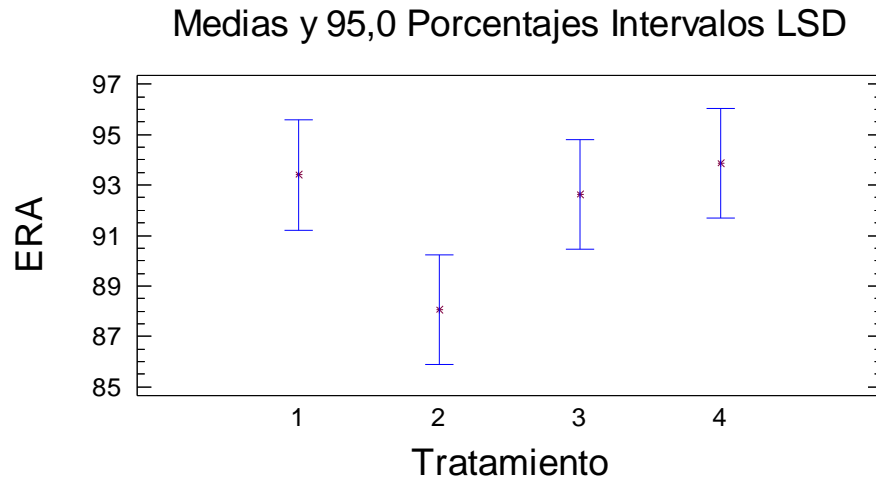


Figura 3. Diagrama de medias para la remoción aparente entre los diferentes tratamientos

4.2 Resultados de análisis de oxígeno disuelto en las unidades de cultivo

El análisis estadístico indicó que no hubo diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la concentración del oxígeno disuelto entre los cuatro tratamientos. A continuación la Figura 4 ilustra el gráfico de cajas y bigotes obtenido a partir del análisis de varianza.

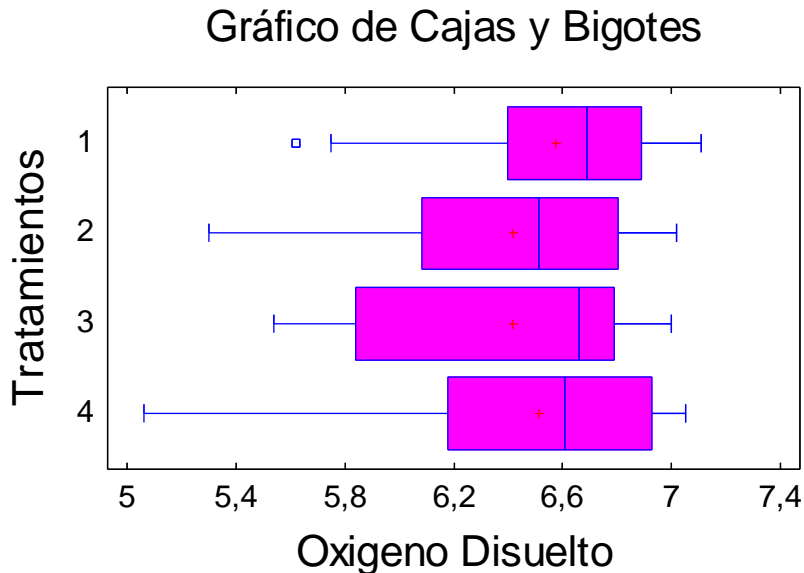


Figura 4. Gráfico de cajas y bigotes para concentración de oxígeno disuelto en los diferentes tratamientos

4.3 Resultados de análisis de temperatura en las unidades de cultivo

El análisis estadístico indicó que no hubo diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la temperatura registrada entre los cuatro

tratamientos. A continuación la Figura 5 ilustra el gráfico de cajas y bigotes obtenido a partir del análisis de varianza.

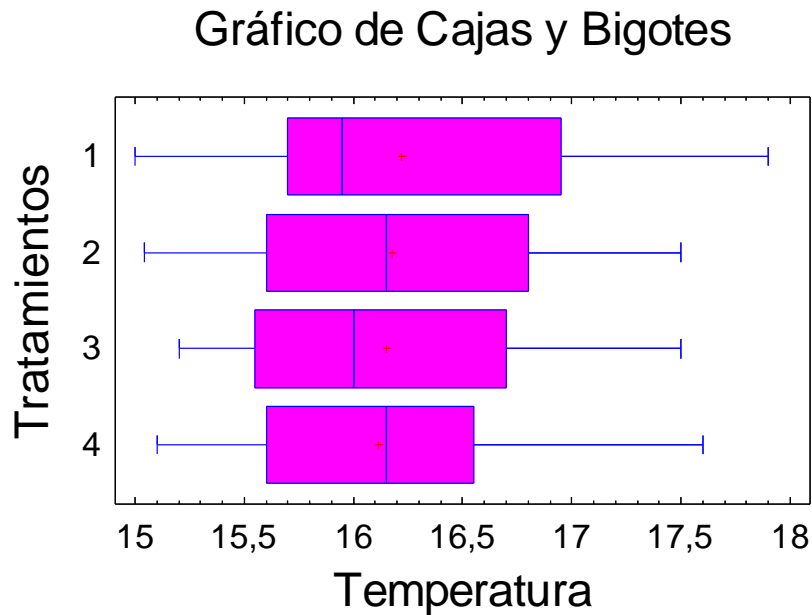


Figura 5. Gráfico de cajas y bigotes para temperatura en los diferentes tratamientos

4.4 Resultados de análisis de pH en las unidades de cultivo

El análisis estadístico indicó que no hubo diferencias estadísticamente significativas en cuanto a los valores de pH registrados entre los cuatro tratamientos. A continuación la Figura 6 ilustra el gráfico de cajas y bigotes obtenido a partir del análisis de varianza.

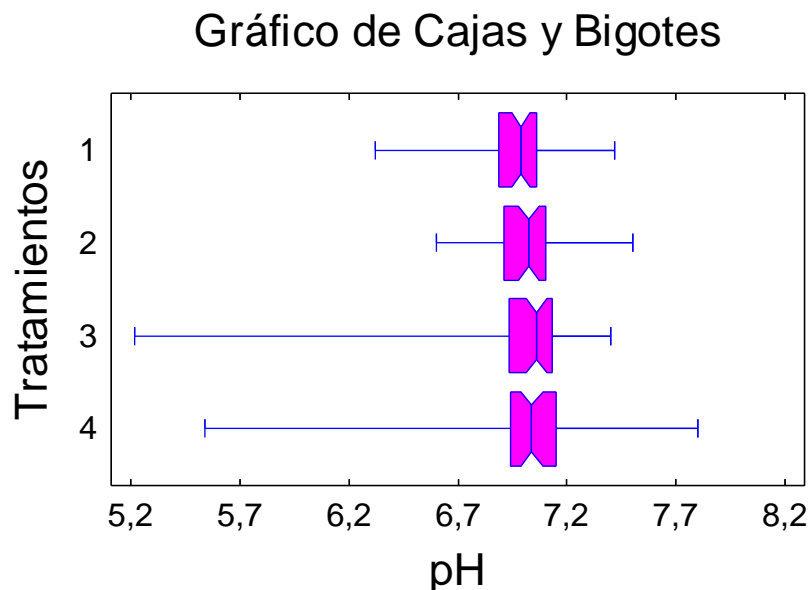


Figura 9. Gráfico de cajas y bigotes para pH en los diferentes tratamientos

Conclusiones

- De acuerdo con el análisis de varianza se presentaron diferencias significativas en cuanto a la remoción aparente de sólidos sedimentables para los tratamientos 1, 3 y 4 (0,5; 2; y 4 recambios/hora respectivamente); sin embargo, estos tres tratamientos fueron diferentes del tratamiento 2 (1 recambio/hora) que reportó menor eficiencia.
- La implementación de sistemas de rebalse central por tubos concéntricos y con la geometría utilizada en este experimento reporta iguales resultados en términos de remoción de sólidos sedimentables para recambios que oscilen entre 0,5 y 4 veces por hora, lo cual indica que en términos de economía es preferible utilizar únicamente 0,5 recambios/hora para reducir los costos de bombeo del fluido a recircular
- Los datos de concentración de oxígeno disuelto, pH y temperatura registrados en las unidades de cultivo no reportaron diferencias estadísticamente significativas para los cuatro tratamientos.

Recomendaciones

- Se recomienda estudiar en los 12 tanques existentes los efectos de la utilización de diferentes relaciones de áreas entre los tubos concéntricos por medio de diferentes diámetros externos y de esta manera producir diferentes velocidades ascensionales con iguales tiempos de retención hidráulica
- Igualmente se recomienda que una vez implementados los doce tanques con el mismo sistema de drenaje se evalúe los efectos de diferentes densidades de siembra y el cultivo de diferentes especies ya que la densidad, tamaño y forma de las heces varía de manera muy importante entre ellas.

Agradecimientos

Los estudiantes del IV Semestre quienes participaron en el presente proyecto, así como el docente coordinador del mismo desean expresar sus sinceros agradecimientos a:

- Comité Curricular y de Investigaciones Departamento de Recursos Hidrobiológicos y Dirección Departamento de Recursos Hidrobiológicos
- Consejo de la Facultad de Ciencias Pecuarias
- Profesor, Ingeniero Roberto García Criollo
- Laboratorista, Ingeniero Camilo Lenin Guerrero Romero
- Profesor, Magister Álvaro Burbano

Bibliografía

1. Food And Agriculture Organization Of The United Nations-FAO. "The State of World Fisheries and Aquaculture 2006". FAO Fisheries and Aquaculture Department. Rome. 2006. 162 p.
2. Ibid.

3. R. Crab; Y. Avnimelech; T. Defoirdt; P. Bossier; W. Verstraeteet. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture* v.270. pp. 1-14
4. R.H. Piedrahita. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture* v.226. 2003. Pp. 35–44.
5. M.B. Timmons; J.M. Ebeling; F.W. Wheaton; S.T. Summerfelt; B.J. Vinci. *Sistemas de recirculación para la acuicultura*. Fundación Chile. 747 p.M.B. Timmons et al., *Sistemas de Recirculación para la acuicultura*. Fundación Chile. 2002. 747 p.