



Revista MVZ Córdoba

ISSN: 0122-0268

editormvzcordoba@gmail.com

Universidad de Córdoba

Colombia

Maigual E, Yemall; Sánchez O, Iván; Matsumoto, Tsunao
Desempeño de tanques decantadores de sólidos en un sistema de recirculación para producción de
tilapia

Revista MVZ Córdoba, vol. 18, núm. 2, mayo-agosto, 2013, pp. 3492-3500

Universidad de Córdoba

Montería, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69328078010>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Desempeño de tanques decantadores de sólidos en un sistema de recirculación para producción de tilapia

Performance of sedimentation tanks in a recirculating system for tilapia production

Yemall Maigual E,¹ M.Sc, Iván Sánchez O,^{1*} M.Sc, Tsunao Matsumoto,² Ph.D.

¹Universidad de Nariño, Departamento de Recursos Hidrobiológicos. Ciudad Universitaria, Barrio Torobajo Carrera 42 # 18-109. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. ²Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho UNESP, Campus de Ilha Solteira, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil. Alameda Bahia, 550 CEP: 15.385-000 - Ilha Solteira, São Paulo - Brasil.
*Correspondencia: iaso@udenar.edu.co

Recibido: Diciembre de 2011; Aceptado: Septiembre de 2012.

RESUMEN

Objetivo. Comparar la eficiencia de remoción de sólidos, turbidez y color aparente en un decantador convencional y uno de columna en un sistema de recirculación acuícola (SRA) para cultivo de tilapia. **Materiales y métodos.** Se cultivaron tilapias con densidad entre 30 y 33 kg/m³ en un SRA, el cual constó de: caja de nivel constante, tubería en PVC, tres tanques de cultivo, decantador convencional de flujo horizontal (D.Con), decantador de columna de flujo ascendente (D.Col), reactor de lecho fluidizado trifásico, reactor para transferencia de oxígeno, compresor, blower, electrobomba. El D.Con operó con volumen útil (VU) de 1.4 m³ y tiempo de retención hidráulica (TRH) de 2.94 h, fue vaciado una vez por semana para lavado y colecta del lodo, representando sustitución del 55% del volumen del sistema. El D.Col operó con 0.30 m³ de VU y TRH de 0.553 h. Se realizaron 3 sangrados diarios, representando sustitución semanal de 50% del volumen. **Resultados.** Las eficiencias promedio de remoción fueron: para sólidos totales de 34.01 y 44.44%; sólidos suspendidos 64.45% y 71.71%; sólidos volátiles 21.10 y 45.65%; para turbidez 65.51 y 62.79%; para color aparente 56.37 y 50.91%, respectivamente en el D.Con y el D.Col. **Conclusiones.** Ambos decantadores son útiles en la remoción de los parámetros estudiados y presentaron comportamientos semejantes en remoción de turbidez y color aparente. Sin embargo, el D.Col es más eficiente que el convencional para remoción de los sólidos, ocupa menor espacio, menor volumen y requiere menor porcentaje de renovación, mostrando viabilidad para su utilización en SRA.

Palabras clave: Acuicultura, gravimetría, recirculación, tilapia, SRA (*Fuente: DeCS*).

ABSTRACT

Objective. To compare the removal efficiency of solids, turbidity and apparent color between a conventional and a column settling tanks in a recirculating aquaculture system (RAS) for tilapia farming. **Materials and methods.** Tilapia with a stocking density between 30 and 33 kg/m³ were cultured in a RAS consisting of a water level control box, PVC piping system, three plastic tanks for culture, conventional horizontal flow settling tank (Con.ST), column vertical flow settling tank (Col.ST), three phase fluidized bed reactor, oxygen transfer reactor, air compressor, air blower, centrifugal pump. The Con.ST operated at a volume of 1.4 m³ and hydraulic retention time (HRT) of 2.94 h; and was drained weekly for washing and sludge collection, representing a 55% discharge of system water volume. The Col.ST operated with a volume of 0.30 m³ and HRT of 0.553 h. Three daily partial draining operations were executed, representing a discharge of 50% of the system volume. **Results.** The mean solids removal efficiencies were: 34.01 and 44.44% for total solids; 64.45 and 71.71% for suspended solids; 21.10 and 45.65% volatile solids; 65.51% and 62.79% for turbidity; and 56.37 and 50.91% for apparent color, respectively for Con.ST and Col.ST. **Conclusions.** The two settling devices are useful on removal of the studied parameters and presented similar performance on turbidity and apparent color removal; however, the Col.ST was more efficient than Con.ST for solids removal, requires less space, less volume and requires less discharge water volume, displaying feasibility for its use on RAS.

Key words. Aquaculture, gravimetry, recirculation, tilapia, RAS (*Source: DeCS*).

INTRODUCCIÓN

Las actividades ejercidas por el hombre, como la acuicultura, producen efectos negativos en la biota acuática (1). La intensificación de la acuicultura ha provocado un incremento en la concentración de nutrientes, conduciendo al aumento de la materia orgánica e inorgánica, presencia de sólidos disueltos, e hipernitrificación de los cuerpos hídricos, esto promueve la introducción de otros residuos, como sustancias químicas y los antibióticos que pueden contaminar el ambiente (2).

La naturaleza y la extensión de los impactos ambientales producidos por los efluentes de la acuicultura dependen del tipo de sistema de cultivo, de las tasas de producción, de la calidad y cantidad de la fuente y del tiempo de retención hidráulica (TRH). Así mismo del cuerpo receptor, de la especie cultivada y las fases de producción, del tipo de alimento y las tasas de alimentación y de procedimientos de manejo como el tratamiento de los efluentes (3).

El vertimiento de efluentes crudos o con tratamiento insuficiente en los cuerpos receptores generan impactos negativos en sus características físico químicas, constituyendo riesgos potenciales para la salud pública en comunidades rurales. Principalmente cuando tales cuerpos son utilizados como fuentes de agua doméstica sin el debido tratamiento o si se usan con fines recreacionales (4,5). Para evitar tales impactos existen diversas directrices, guías, restricciones y normativas regionales, nacionales

e internacionales que regulan la disposición final de efluentes en los recursos hídricos o en el suelo (6-11).

Para producir biomasa a partir de organismos acuáticos se pueden emplear sistemas semicerrados o cerrados (12), los cuales incrementan el tiempo de uso del agua en el sistema y permiten la remoción de parte de los contaminantes presentes en los efluentes.

Entre las principales razones que justifican intensificar la producción acuícola se encuentran: la regulación ambiental que prohíbe o limita la disposición final de las aguas residuales (13). Son importantes los riesgos de bioseguridad que limitan la captación y uso de cierto tipo de aguas, escasez y/o costo del líquido, la demanda por el control de calidad y transparencia del agua, el alto costo del alimento, limitaciones de espacio y el control térmico (13).

Los sistemas de recirculación acuícola (SRA) son sistemas cerrados que representan alternativas compactas para el cultivo intensivo de especies (14). Se requieren menos del 10% del agua y una proporción mucho menor de área que las requeridas por otros sistemas acuícolas para producir la misma cantidad de peces (14).

Los SRA deben incluir dispositivos para el mejoramiento y mantenimiento de la calidad del agua dentro de los rangos óptimos requeridos por las especies cultivadas. De igual manera,

la presencia de sistemas de tratamiento de las aguas garantiza que en un vertimiento eventual de los efluentes se minimicen los impactos producidos en el ambiente.

La remoción de sólidos separados de manera rápida y oportuna, facilita el tratamiento complementario posterior de las aguas residuales (AR). Por ello la remoción de partículas de concentrado no consumido, heces y *flocs* de los bioreactores en un SRA, constituye el proceso unitario más relevante (15). Lo anterior es importante en un SRA debido a que el agua se recircula por bombeo. Mc Millan et al (16) evaluaron los efectos del bombeo en el tamaño de las partículas presentes en el agua de un SRA y sus resultados mostraron que las bombas quiebran las partículas de mayor tamaño y generan partículas con tamaños moderadamente menores cuya remoción resulta más difícil y costosa.

Tanto en los tanques de cultivo como en las unidades de sedimentación de los sistemas de recirculación la acumulación de los sólidos puede promover un ambiente capaz de albergar patógenos. Adicionalmente, los sólidos que no son rápidamente eliminados pueden desintegrarse en partículas menores que liberan nutrientes, degradan la calidad del agua y ejercen demanda biológica de oxígeno (17).

Para la remoción de sólidos en las unidades de cultivo, es muy común en acuicultura el uso de tanques circulares con entrada tangencial del agua y salida localizada en el fondo ya que permiten obtener patrones de flujo más estables. Esto permite una distribución más homogénea del oxígeno disuelto y los metabolitos y mejores condiciones de auto limpieza, gracias a las características de flujo rotacional (18).

Para la remoción de partículas del agua residual se utilizan diversos métodos, los cuales pueden clasificarse como: filtración mecánica, también conocida como colado o micro tamizado, la filtración profunda, llamada filtración por arena y la sedimentación. También es posible el uso de otros métodos para la remoción de partículas, tales como la flotación y la filtración a través de membranas (19).

La sedimentación, es la separación por acción de la gravedad, de partículas suspendidas cuya masa específica es mayor que la del agua (20). La filtración mecánica se realiza a través de dispositivos tales como rejillas o tamices que retienen partículas y objetos de cierto tamaño y permiten el paso del líquido, la filtración profunda consiste en la remoción de partículas

cuando el agua es forzada a fluir a través de capas de material granular de diversos tamaños y espesores (19).

El objetivo del presente trabajo fue comparar la eficiencia en la remoción de sólidos totales, suspendidos y volátiles, así como la disminución de la turbidez y color aparente en dos tipos de decantadores utilizados como mecanismos de tratamiento primario en un sistema de recirculación para el cultivo de tilapia nilótica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio. Los dos experimentos se realizaron en los Laboratorios de Hidrología e Hidrometría y Saneamiento de la Facultad de Ingeniería de la Universidade Estadual Paulista UNESP, campus de Ilha Solteira, São Paulo (Brasil), localizado en las coordenadas 20°25'58" de latitud sur y 51°20'33" de longitud oeste, a una altitud de 335 metros sobre el nivel del mar.

Componentes del sistema evaluado. El SRA estuvo compuesto por: una caja de nivel constante, un sistema de tubos de PVC para distribución del agua, tres tanques plásticos para el cultivo de los peces dotados de entrada tangencial del líquido por tubería vertical perforada y salida de fondo, un tubo semicircular para control del nivel en los 3 tanques y colecta de sus efluentes, sistemas de decantación para remoción de sólidos de tipo convencional y de flujo ascendente, un reactor aerobio de lecho fluidizado con circulación en tubos concéntricos, un reactor tubular para transferencia de oxígeno y remoción de CO₂, un compresor y un blower para generación, distribución e inyección de aire en reactores y las unidades de cultivo respectivamente, una bomba centrífuga para recirculación del efluente tratado y un tanque de succión. El perfil esquemático del sistema se presenta en la figura 1.

Animales, densidad de cultivo y alimentación.

El cultivo de tilapia nilótica en el SRA se realizó con una densidad máxima que osciló entre 30 y 33 kg/m³. Los animales utilizados en ambos experimentos provenían de una estación de cultivo de tilapia en jaulas flotantes localizada en un brazo del río São José dos Dourados en cercanías a la ciudad de Ilha Solteira. Los pesos promedio iniciales de los animales utilizados fueron de 280 g y 323 g para el primer y segundo experimento respectivamente, se realizó una comparación de medias de los pesos de los peces sembrados y se observó que no hubo diferencias estadísticamente significativas pues se obtuvo un valor p de 0.0679. En ambas experiencias

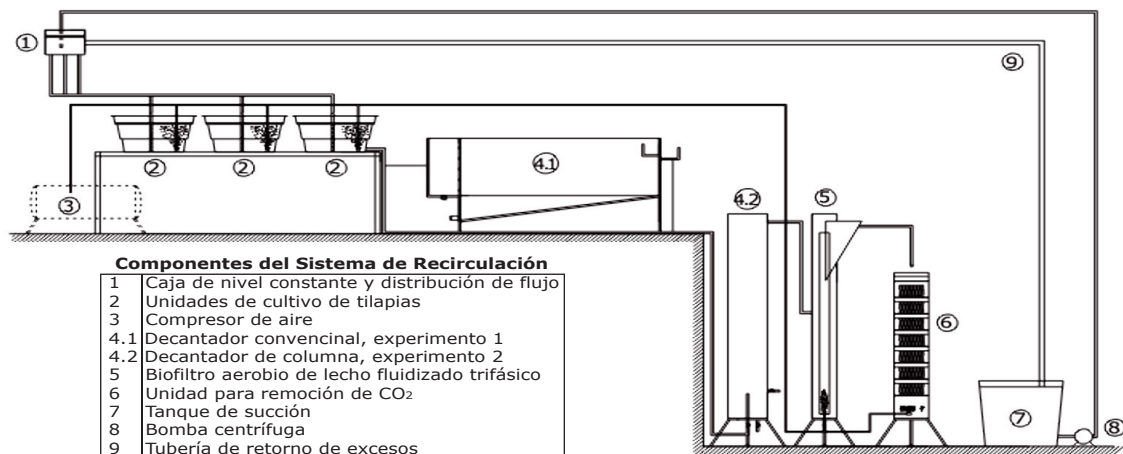


Figura 1. Perfil del sistema de recirculación y sus componentes.

los peces fueron alimentados con concentrado comercial a razón de 1.2% de la biomasa por día.

Parámetros evaluados. Se utilizó el método gravimétrico para la determinación de las concentraciones de sólidos totales (ST), sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos disueltos totales (SDT). El color se determinó por método espectrofotométrico y la turbidez por método nefelométrico según lo recomendado por APHA, AWWA & WEF (21).

En el primer experimento, donde se evaluó el desempeño del sedimentador convencional se tomaron muestras tres veces por semana, para un total de 18 datos por parámetro; en el segundo experimento, donde se utilizó el sedimentador de flujo ascendente se tomaron muestras dos veces por semana, para un total de 23 datos por parámetro.

En cada experimento los puntos de muestreo

se localizaron a la entrada y a la salida de la unidad de decantación, las muestras se tomaron por medio de válvulas dispuestas para tal fin en las tuberías de conducción del afluente y del efluente.

Para calcular las eficiencias de remoción en las unidades de decantación se multiplicó por 100 la diferencia de valores a la entrada (afluente) y a la salida (efluente) de la unidad de decantación en estudio y se dividió entre el valor registrado en el afluente. Los valores de eficiencias de remoción para cada parámetro obtenidos en los dos decantadores fueron sometidos a un análisis de comparación de medias utilizando para ello el software Statgraphics Centurión XV.II.

Detalles de las unidades de decantación. Los sistemas de decantación fueron diseñados para remoción de partículas sólidas con diámetro mayor o igual a 0.2 mm. Los detalles y medidas principales de las unidades de decantación evaluadas se presentan en la figura 2.

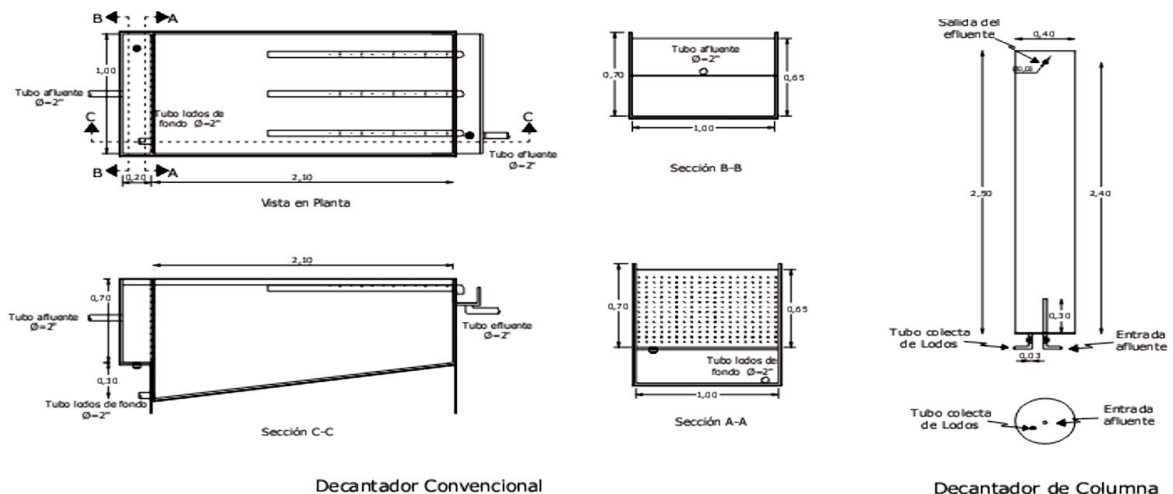


Figura 2. Vistas principales y detalles geométricos de los decantadores.

En el primer experimento se evaluó durante 1.5 meses un decantador convencional (D.Con) de flujo horizontal en lámina metálica con volumen útil de 1.4 m³ y tiempo de retención hidráulica (TRH) de 2.94 horas. Dicho decantador fue vaciado en su totalidad una vez por semana con el propósito de realizar las operaciones de descarte del lodo sedimentado y el lavado de esta unidad de tratamiento. Éste vaciado representó una sustitución de agua del 55% del volumen del sistema.

Para el segundo experimento se evaluó por 2.8 meses un decantador de columna (D.Col) de flujo ascendente en tubo de PVC de 400 mm diámetro, con 0.30 m³ de volumen útil, TRH de 0.553 horas. La entrada del agua se realizó por medio de un tubo de 25 mm de diámetro y 0.30 m de longitud localizado en la base del decantador. Para su limpieza se realizó un sangrado de 30 litros 3 veces por día durante toda la semana, representando así el 48% del volumen total del decantador y la sustitución parcial semanal de 50% del volumen de agua del sistema.

RESULTADOS

En la entrada del D.Con se registraron concentraciones de ST que oscilaron entre 190.0 mg/L y 848.5 mg/L; en su salida tales concentraciones variaron entre 100.0 mg/L y 416.0 mg/L. En el afluente del D.Col se midieron valores de ST que oscilaron entre 312.0 mg/L y 1022.0 mg/L; las registradas en el efluente variaron entre 138.0 mg/L y 502.0 mg/L. La figura 3 presenta los diagramas de cajas y bigotes de las concentraciones registradas para los sólidos totales.

Las eficiencias de remoción de ST en los dos decantadores alcanzaron valores máximos cercanos al 70%. Con base en los resultados de la comparación de medias se concluyó que

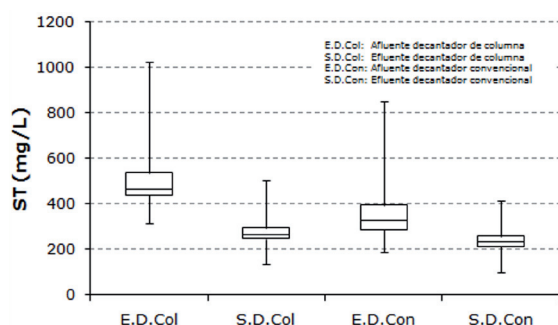


Figura 3. Diagrama de cajas y bigotes de concentraciones de ST registradas a la entrada y salida de los decantadores.

hubo diferencias estadísticamente significativas ($p=0.00199$), con un mejor desempeño para el decantador de columna cuya eficiencia media fue de 43.68%, mientras que la eficiencia media del D.Con fue del 25.69%.

A la entrada del D.Con se registraron concentraciones de sólidos suspendidos totales entre 9.0 y 196.0 mg/L, mientras que a la entrada del D.Col tales concentraciones variaron entre 14.0 y 109.0 mg/L. En la figura 4 se presentan los diagramas de concentraciones de SST.

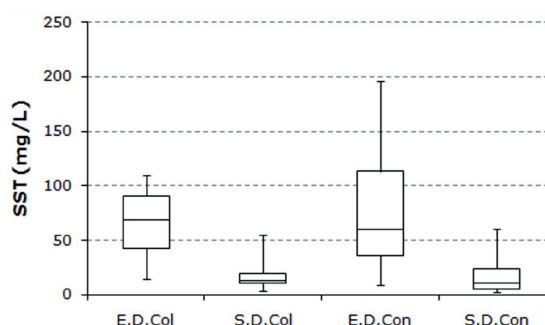


Figura 4. Diagrama de cajas y bigotes de concentraciones de SST registradas a la entrada y salida de los decantadores.

Al analizar los datos de eficiencias de remoción se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney para comparación de las medianas de las muestras. Los resultados reportaron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.00428$), donde el mejor desempeño lo logró el D.Col con una mediana de 73.00%, el D.Con registró un valor de 42.50%.

La concentración promedio de sólidos volátiles totales en la entrada del D.Con fue de 115.5 mg/L y en el D.Col fue de 208.5 mg/L, en los efluentes de dichas unidades de tratamiento primario las concentraciones medias fueron de 69.0 mg/L en el D.Con y de 139.0 mg/L en el D.Col. En la figura 5 se ilustran las concentraciones de SVT.

Los máximos valores de eficiencia de remoción de SVT en los sistemas evaluados fueron 93.94% para el D.Con y 84.85% para el D.Col. Como fruto de la comparación de medias de las eficiencias de remoción de este parámetro se concluyó que hubo diferencias estadísticas altamente significativas ($p=0.00008$), con un mejor desempeño para el D.Con cuya eficiencia media fue de 80.58%, mientras que la eficiencia media del D.Col fue del 45.81%.

Los valores de turbidez registrados en la entrada del D.Con variaron de 2.9 uT a 68.4 uT; y en la salida variaron entre 1.6 uT y 5.3 uT. Por su

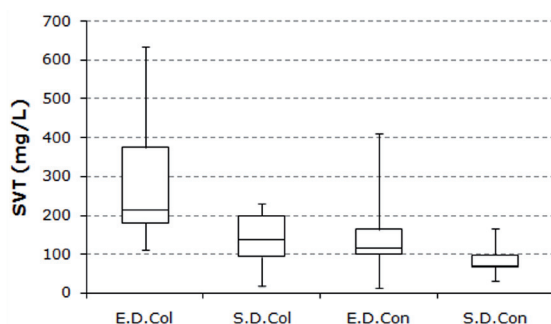


Figura 5. Diagrama de cajas y bigotes de concentraciones de SVT registradas a la entrada y salida de los decantadores.

parte, los valores en el D.Col oscilaron de 9.2 a 70.3 uT y de 2.5 a 10.1 uT para la entrada y la salida de esta unidad de tratamiento. Los valores del coeficiente de variación (CV) a la entrada de los dos tipos de decantador superaron el 65% y a su salida los valores calculados de CV fueron menores al 36%. La figura 6 presenta una ilustración de los valores obtenidos para este parámetro.

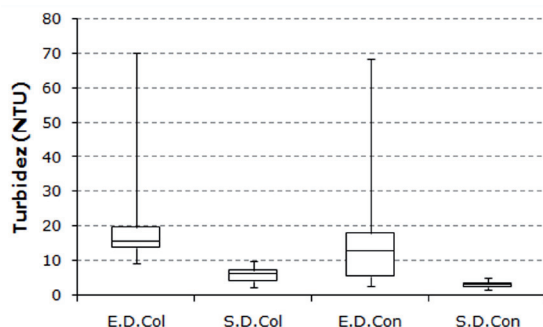


Figura 6. Diagrama de cajas y bigotes de valores de turbidez registrados a la entrada y salida de los decantadores.

Al realizar la comparación de medias de las eficiencias de remoción de turbidez se determinó que no hubo diferencias estadísticamente significativas ($p=0.55717$). Con base en los valores registrados se tiene que las eficiencias promedio de remoción de turbidez en los decantadores fueron 67.52% para el D.Con y de 63.39% para el D.Col

Con relación al color aparente, el afluente al D.Con registró valores que oscilaron entre 43.0 y 241.0 uH, con valor promedio de 95.0 uH; en su efluente los valores variaron entre 17.0 y 61.0 uH, con promedio de 30.2 uH. En el afluente al D.Col se midieron valores que oscilaron entre 27.0 y 125.0 uH, con valor promedio de 67.4 uH; en su efluente los valores variaron entre 8.0 y 85.0 uH, con promedio de 31.0 uH. Los valores

del CV en el afluente registraron valores hasta del 53% y en efluente superaron el 43%, valores específicos para el D.Con. La figura 7 presenta la variación de los valores correspondientes a las mediciones del color aparente.

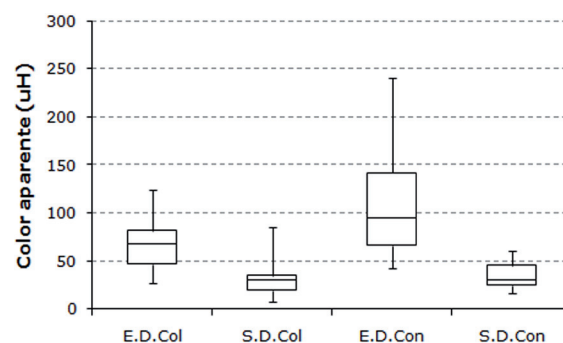


Figura 7. Diagrama de cajas y bigotes de valores de color aparente registrados a la entrada y salida de los decantadores.

Con base en los resultados de la comparación de medias de las eficiencias de remoción se concluyó que no hubo diferencias estadísticamente significativas ($p=0.36$) en el desempeño de los decantadores evaluados. La eficiencia media calculada en la remoción de este parámetro fue de 60.35% para el sistema con uso del decantador convencional y de 53.74% para el sistema en el que se implementó el decantador de columna.

DISCUSIÓN

Los valores de eficiencias de remoción de sólidos totales demostraron que el decantador de columna tuvo un mejor desempeño, presentando además la ventaja de retener menos volumen de líquido y requerir menor porcentaje de renovación de agua por semana. Algunos autores como Hendricks (22) afirman que los sedimentadores de flujo ascendente logran sortear muchos de los problemas hidráulicos que presentan los sedimentadores de flujo horizontal.

Las mayores concentraciones de SST medidas en el primer experimento se debieron a que durante la etapa inicial de la investigación se identificó en los tubos de salida de los tanques de cultivo una acumulación progresiva de sólidos que en algunas ocasiones los obstruía de manera parcial. Esto libera eventualmente cantidades acumuladas de sólidos que fueron retenidos en la cámara de entrada al sedimentador convencional gracias a la presencia de una lámina perforada (Sección A-A de la figura 2). Esta última redujo la velocidad de entrada y homogeniza el del flujo

según lo recomiendan Crites y Tchobanoglous (23). Para evitar tales acumulaciones se optó por el mantenimiento preventivo de los tubos a partir de la tercera semana de la investigación, mientras que en el experimento 2 con el D.Col tal rutina se adoptó a lo largo de todo el proyecto.

Las eficiencias de remoción de SST obtenidas en este estudio, principalmente por el D.Col, superaron los valores reportados por Timmons y Ebeling (14). Las altas eliminaciones cobran relevancia pues los sólidos suspendidos son un ítem de principal importancia desde la perspectiva de la producción de residuos y del impacto ambiental producido por la acuicultura (24).

Al diseñar sistemas de remoción física de sólidos por acción gravitacional, como los evaluados en este estudio, se debe garantizar que las condiciones hidráulicas propicien la velocidad de sedimentación típica de las partículas. Para ello se puede considerar que Timmons y Ebeling (14), establecieron que las velocidades de sedimentación de las heces de los peces varían entre 1.7 y 4.3 cm/s. También cilindros simulando heces de tilapia con gravedad específica (ge) de 1.05 registraron velocidades de sedimentación de 3.8 cm/s y que para heces de trucha con ge de 1.005, la mediana de dicha velocidad fue de 1.7 cm/s. En estudios con *Paralichthys californicus* alimentados con diferentes dietas comerciales se han reportado velocidades medias entre 1.7 y 4.4 cm/s (25), para raciones peletizadas, la velocidad de sedimentación es mayor, pues alcanza hasta 14 cm/s (26).

El mejor desempeño en la remoción de ST y SST por parte del D.Col se debió a su configuración de flujo vertical ascendente, la cual garantiza que los sólidos menos pesados permanezcan en suspensión durante un tiempo mayor, lo anterior propicia el aglutinamiento de las partículas y su sedimentación en virtud de los mayores tamaños que puedan adquirir, garantizando así la posibilidad de espesar los lodos en un mínimo volumen (27). Sin embargo, ese mismo hecho hace que las fracciones de sólidos coloidales de más difícil sedimentación puedan ser arrastradas por las líneas de flujo ascendente hasta su salida de la unidad de decantación a través del efluente.

En decantadores de flujo horizontal como el D.Con la trayectoria de sedimentación de las partículas puede ser alterada por cambios

de temperatura (28), o por movimientos superficiales en la masa líquida. No obstante, al desarrollar los experimentos dentro del Laboratorio de Hidrología e Hidrometría de la UNESP no hubo incidencia de corrientes de viento ni cambios drásticos de temperatura que alterasen la sedimentación de las partículas.

En cuanto a la disminución de la turbidez, los dos sistemas evidenciaron un comportamiento muy semejante, aunque la literatura sobre evaluaciones de desempeño de sistemas de tratamiento del agua para SRA no suele citar este parámetro de calidad del líquido, principalmente producido por materiales coloidales y en suspensión (23), su eficiente remoción del agua es importante puesto que puede influir en el crecimiento, conversión alimenticia y supervivencia de especies como la tilapia (29).

La presencia de color debido a partículas coloidales no sedimentables es un problema común en las aguas residuales de acuicultura (30). En los sistemas evaluados el SRA que utilizó el D.Con registró valores de color aparente superiores al del sistema con D.Col debidos al tipo de medio soporte utilizado en el reactor aerobio de lecho fluidizado. En el segundo experimento se utilizó arena para filtros que no afectó el color del agua. En contraste, en el primer experimento se utilizó carbón activado granular que evidenció una liberación significativa de color generado por sólidos finos en suspensión y sólidos disueltos, que según Spellman (31), son los responsables del color en el agua.

Se puede concluir que las dos configuraciones de decantadores son muy útiles en la remoción de los parámetros estudiados pues pese a las notables variaciones en los valores afluentes presentaron comportamientos semejantes en cuanto a la disminución de la turbidez y el color aparente. Sin embargo, los resultados obtenidos indican que el decantador de columna es más eficiente que el convencional para remoción de los sólidos totales y suspendidos producidos en el sistema de recirculación. Además, de las ventajas que representa el D.Col en términos de eficiencia, este tipo de decantadores ocupa menor espacio, requiere de menor volumen para su operación por su más bajo TRH y precisa de un menor porcentaje de descarte y renovación de agua, mostrando viabilidad para su utilización en SRA.

REFERENCIAS

1. Maillard VM, Boardman GD, Nyland JE, Kuhn DD. Water quality and sludge characterization at raceway-system trout farms. *Aquacult Eng* 2005; 33(4):271-284.
2. Piedrahita RH. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquacult* 2003; 226(1-4):35-44.
3. Summerfelt RC, Clayton RD. Aquaculture effluents: overview of EPA guidelines and standards and BMPS for ponds, raceways, and recycle culture systems. Proceedings from the conference; 2003 October 9; Ames, Iowa. Publication Office, North Central Regional aquaculture Center, Iowa State University; 2003.
4. Igbinosa EO, Okoh AI. Impact of discharge wastewater effluents on the physico-chemical qualities of a receiving watershed in a typical rural community. *Int J Environ Sci Tech* 2009; 6(2):175-182.
5. Spellman FR. Handbook of Water and Wastewater Treatment plant Operations. 2nd Edition. Boca Raton, Florida: CRC Press; 2009.
6. Resolución 3180 de 2008 de 9 de septiembre, por el cual se adopta el formulario de registro de vertimientos en el Distrito Capital. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Secretaría Distrital de Ambiente; 2008.
7. Decreto 1594 de 1984 de 26 de junio, por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. *Diario Oficial República de Colombia*. número 36700; 1984.
8. Decreto 3930 de 2010 de 25 de octubre 25, por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. *Diario Oficial República de Colombia*. número 47837; 2010.
9. State of Idaho, Division of Environmental Quality. Idaho Waste Management Guidelines for Aquaculture Operations. Idaho: Division of Environmental Quality; 1997.
10. Norwegian Pollution Control Authority. SFT Report 1759/2000: Development of HARP Guidelines-Harmonised Quantification and Reporting Procedures for Nutrients. Oslo; Norwegian Institute for Water Research (NIVA); 2000.
11. Federal Water Pollution Control Act [As Amended Through P.L. 107-303, November 27, 2002]. Public Law 92-50033 U.S. Code 1251 et seq. U.S. Congress; 2002.
12. Flimlin G, Buttner J, Webster D. Aquaculture Systems for the Northeast, NRAC Publication No. 104-2008. Northeastern Regional Aquaculture Center; 2008.
13. Avnimelech Y. Bio-filters: the need for a new comprehensive approach. *Aquacult Eng* 2006; 34(3):172-178.
14. Timmons MB, Ebeling JM. Recirculating aquaculture, 2nd Ed. Ithaca, NY: Northeastern Regional Aquaculture Center; 2010.
15. Summerfelt RC, Penne CR. Solids removal in a recirculating aquaculture system where the majority of flow bypasses the microscreen filter. *Aquacult Eng* 2005; 33(3):214-224.
16. McMillan JD. Pumping effect on particle sizes in a recirculating aquaculture system. *Aquacult Eng* 2003; 27(1):53-59.
17. Davidson J, Summerfelt ST. Solids removal from a coldwater recirculating system-comparison of a swirl separator and a radial-low settler. *Aquacult Eng* 2005; 33(1):47-61.
18. Oca J, Masalo I. Flow pattern in aquaculture circular tanks: Influence of flow rate, water depth, and water inlet & outlet features. *Aquacult Eng* 2013; 52(1):65-72.
19. Lekang OI. Aquaculture Engineering. Oxford: Blackwell Publishing; 2007.
20. Von Sperling M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Terceira Edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

21. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed. Washington, D.C.; American Public Health Association: 1998.
22. Hendricks DW. Fundamentals of water treatment unit processes physical, chemical, and biological. Boca Raton, FL: CRC Press Taylor and Francis Group; 2011.
23. Crites R, Tchobanoglous G. Small and Decentralized Wastewater Management Systems. New York: McGraw-Hill; 1998.
24. Bureau DP, Hua K. Towards effective nutritional management of waste outputs in aquaculture, with particular reference to salmonid aquaculture operations. Aquac Res 2010; 41(5):777-792.
25. Merino GE, Piedrahita RH, Conklin DE. Settling characteristics of solids settled in a recirculating system for California halibut (*Paralichthys californicus*) culture. Aquacult Eng 2007; 37(2):79-88.
26. Wong KB, Piedrahita RH. Settling velocity characterization of aquacultural solids. Aquacult Eng 2000; 21(4):233-246.
27. Cripps SJ, Bergheim A. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. Aquacult Eng 2000; 22(1-2):33-56.
28. Kawamura S. Integrated design and operation of water treatment facilities 2nd Ed. New York: John Wiley & Sons, Inc; 2000.
29. Ardjosoediro I, Ramnarine IW. The influence of turbidity on growth, feed conversion and survivorship of the Jamaica red tilapia strain. Aquacult 2002; 212(1-4):159-165.
30. Sandu S, Brazil B, Hallerman E. Efficacy of a pilot-scale wastewater treatment plant upon a commercial aquaculture effluent I. Solids and carbonaceous compounds. Aquacult Eng 2008; 39(2-3):78-90.
31. Spellman FR. Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operators. Second Edition. Boca Raton FL: CRC Press Taylor and Francis Group; 2009.