

MONTAJE Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS EN CUATRO SISTEMAS DE DRENAJE DE TANQUES CIRCULARES, CON RECIRCULACIÓN DE AGUA PARA CULTIVO DE TRUCHA ARCOÍRIS

ASSEMBLY AND PRELIMINARY EVALUATION OF SOLIDS REMOVAL IN FOUR DRAINAGE SYSTEMS OF CIRCULAR TANKS, WITH WATER RECIRCULATION FOR RAINBOW TROUT FISH CULTURE

Roberto G. Criollo¹, Iván A. Sánchez Ortiz²

¹Ingeniero en Producción Acuícola. Universidad de Nariño, Departamento de Recursos Hidrobiológicos
Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ingeniería.

²Ingeniero Civil, Especialista y M. Sc. Universidad de Nariño, Departamento de Recursos Hidrobiológicos.
rogarc_udenar@yahoo.es

RESUMEN

El presente proyecto tuvo como finalidad el montaje y evaluación preliminar de la eficiencia de remoción de sólidos en cuatro diferentes tipos de drenaje instalados en tanques circulares de 250 L de capacidad, localizados en el laboratorio de sistemas de recirculación del Programa Ingeniería en Producción Acuícola de la Universidad de Nariño. El volumen utilizado en cada tanque fue de 213 L y la biomasa inicial del proyecto fue de 1.08 kg por cada m³. Se realizó un pre ensayo de 15 días y la evaluación propiamente dicha duró 11 días. Se alimentó los peces dos veces por día y se realizó la colecta diaria de los sólidos sedimentados acumulados en cada uno de los doce tanques estudiados (cuatro tipos de drenaje con tres réplicas) por medio del sifoneo de agua de fondo. El líquido colectado se pasó a través de filtros de papel, dichos filtros con el material retenido se secaron en horno y por diferencia de

pesos se calculó la cantidad diaria de sólidos no evacuados por el sistema de drenaje de las unidades de cultivo. A la cantidad de sólidos sedimentables (SS) producidos por día se le restó el peso de los sólidos no evacuados por cada tanque y se calculó la eficiencia de captura y remoción de SS de cada sistema. Los datos analizados indicaron que para las condiciones del experimento, el sistema de drenaje con rebalse lateral externo, ofreció mayores eficiencias de remoción de SS de las unidades de cultivo, en relación con las presentadas por los sistemas de drenaje central de fondo, rebalse central y salida lateral simple. Tal configuración garantiza mejores condiciones de auto limpieza de los tanques y mejor calidad del agua en las unidades de cultivo.

Palabras clave: acuicultura, trucha arco iris, recirculación, sólidos, remoción, drenaje.

ABSTRACT

This project was aimed at assembling and preliminary evaluation of the efficiency of removal of solids in four different types of drain installed in circular tanks of 250 L capacity, located in the laboratory recirculation systems in engineering program in aquaculture production of the University of Nariño. The used volume

in the tanks was 213 L and the initial biomass of the project was 1.08 kg for each m³. It was realized a 15 days pre-test and the evaluation period was of 11 days. The fishes were feeded twice a day, and the accumulated settled solids were collected daily in each one of the twelve analyzed tanks (four kind of drainage with three

repetitions) by siphoning of bottom water. The collected liquid was passed through paper filters which were dried in oven; by weight difference was calculated the daily amount of non-removed solids by the fishculture tanks drainage. To the daily produced settling solids (SS) amount it was subtracted the daily weight of non-removed solids in each tank and was calculated the capture and removal efficiency of SS at each drainage system. The analyzed data indicated that for the experimental conditions, the external lateral

burst drainage system offered higher efficiencies of SS removal in the fishculture tanks, compared with the registered bottom center drain; overflow central; and simple side exit. Their drainage configurations guarantee better self-cleaning conditions into the tanks and better water quality in the culture units.

Key words: aquaculture, rainbow trout, recirculation, solids, removal, drainage.

INTRODUCCIÓN

Acuicultura y los impactos ambientales

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 (2006), 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.

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 FAO.

De acuerdo con Crab *et al.* (2007), 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 (Piedrahita, 2003). 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 por

mecanismos físicos, químicos, biológicos o la combinación de los anteriores, bien sea para su descarte final o para su reúso, como ocurre en los sistemas de cultivo intensivo.

Sistemas de recirculación para acuicultura

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 se incluye además de las unidades de cultivo un sistema de tratamiento de las aguas para su reutilización. 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.

Tanques circulares

Según Timmons *et al.* (2002), los tanques de cultivo se diseñan considerando el costo de producción, espacio de utilización, sostenimiento de la calidad del agua y manejo de peces. El uso de tanques circulares es recomendable por razones como: Proveen agua de calidad uniforme, permiten ser operados bajo una amplia gama de velocidades de rotación; los SS pueden ser rá-

pidamente eliminados por medio de un drenaje central.

Timmons *et al.* (2002), recomiendan para el diseño de tanques circulares relaciones diámetro/profundidad entre 5:1 y 10:1, aunque también se han reportado relaciones bajas del orden de 3:1.

Velocidad del agua en el tanque

Una ventaja de los tanques circulares consiste en su habilidad para auto limpiarse. Se pretende que la columna de agua debe estar en constante rotación dentro del tanque y que la velocidad de rotación sea lo más uniforme posible tanto desde la pared hacia el centro como de la superficie hasta el fondo.

Las velocidades del agua en tanques circulares, en contraste con los raceway, 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 de acuerdo con Timmons *et al.* (2002).

Estructuras de entrada del flujo

En tanques circulares se pueden lograr mezclas relativamente completas, además se puede mantener una buena calidad del agua, optimizando el diseño de la estructura del efluente 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 los tanques circulares son operados 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 estanque, creando una rotación primaria de flujo. Un flujo radial se crea hacia adentro, a lo largo de la profundidad del tanque lo cual mueve a los SS al drenaje central, creando la propiedad de auto limpieza y tornándose una zona muerta sin rotación de flujo donde se acumulan los sólidos sedimentables en el fondo.

Generalmente en tanques circulares las tuberías de entrada se colocan un poco alejadas de

la pared de modo que los peces puedan desplazarse en ese espacio, este diseño es una manera efectiva de lograr un mezclado uniforme, evitar la interrupción de la circulación de flujo, generar velocidades uniformes a lo largo del fondo y radio del tanque y transportar efectivamente los residuos sólidos al fondo y a fuera por el drenaje central.

Producción y captación de sólidos en los tanques de SRA

Según Timmons *et al.* (2002), la producción de sólidos sedimentables en una SRA se encuentra en función de la cantidad de alimento suministrado (con base en materia seca), generalmente oscilando entre un 20% y 40%; sin embargo, un valor recomendado para efectos de diseño y control de sistemas de recirculación es asumir un 25%.

Previa a la conducción de los efluentes de los tanques de cultivo se realiza su captación por medio de estructuras de salida, cuyas características geométricas e hidráulicas pueden variar de manera significativa.

Puesto que los sólidos dentro de las unidades de cultivo están conformados por las excretas de los peces, residuos finos del alimento y alimento no consumido, la rápida remoción de dichas unidades puede contribuir a evitar la contaminación del agua por la descomposición progresiva de la materia orgánica. Con base en lo anterior, un factor importante en los SRA es un adecuado sistema de drenaje de agua residual desde el tanque de cultivo.

Estructuras de salida de flujo para remoción de sólidos sedimentables

Entre los tipos de sistemas de drenaje de tanques circulares se encuentran los de doble salida (tipo Cornell), de rebalse central, de rebalse lateral, o de salida lateral. Cualquiera que sea la alternativa, desde el punto de vista hidráulico deberá contribuir a la evacuación de residuos sólidos de la manera más eficiente posible. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los tipos de drenaje evaluados en el

experimento según lo descrito por Timmons *et al.* (2002).

Salida de rebalse interno. Los estanques circulares para cultivo de peces, concentran en el fondo y centro los SS, siendo el centro del tanque de cultivo la ubicación lógica para el drenaje de fondo, por ello un sistema de drenaje bastante empleado consiste en un rebalse (*stand pipe*), ubicado en el centro del tanque. Este tipo de drenaje puede ser diseñado para capturar y almacenar los SS cercanos al drenaje, para que sean evacuados a intervalos, o de manera continua (Figura 1a). Consta de dos tuberías concéntricas, una 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, la otra tubería interna actúa como vertedero para controlar la profundidad del agua dentro del tanque.

Drenaje doble. Según Losordo *et al.* (1999b), la descomposición de los residuos sólidos de los peces y del alimento no consumido, pueden causar una significativa disminución de la cantidad de oxígeno y producción de grandes cantidades de nitrógeno amoniacal en los tanques de cultivo. Hay tres categorías de residuos sólidos: sólidos pesados sedimentables, sólidos suspendidos y finos o sólidos disueltos.

Los sólidos pesados son generalmente más fáciles de evacuar y deben ser removidos del tanque lo más rápidamente posible; una forma de hacerlo es localizando el drenaje en el fondo del tanque. En tanques con patrón de flujo circular y mínima agitación, los sólidos se acumulan en el fondo y centro del tanque. Es frecuente el uso de un drenaje central con dos salidas, donde una pequeña tubería transporta los sólidos más densos desde el fondo y una tubería mayor con alto flujo transporta los sólidos suspendidos desde la parte superior de la columna de agua del tanque (Figura 1b).

De rebalse lateral. Los tanques circulares para cultivo de peces con entrada del flujo tangencial, concentran los SS en el fondo y centro, siendo la parte central del tanque de cultivo la ubicación lógica para el drenaje de fondo, al cual se le adapta

una salida y control de nivel lateral. El drenaje central de fondo se comunica a un sistema de control de nivel con un tubo lateral concéntrico o a una caja para control de nivel (Figura 2a).

Otra alternativa consiste en la colecta del efluente por medio de una tubería horizontal perforada o con aberturas longitudinales, localizada en el fondo y que por su posición permite arrastrar junto con el líquido saliente, sólidos sedimentables y una porción de sólidos suspendidos. El líquido colectado pasa hacia un sistema de control de nivel por medio de tubos concéntricos o por una caja de control de nivel, tal como lo indica la Figura 2b.

Diseño Experimental

Según Lagos *et al.* (2001), un diseño completamente aleatorizado es considerado como el más simple, sus tratamientos tienen un arreglo que les permite estar con una casualidad irrestricta. Lo anterior implica que los tratamientos se distribuyen al azar en todas las unidades experimentales, pudiendo ser el número de repeticiones igual o diferente.

Para las condiciones definidas en el experimento se realizó un Diseño Completamente Aleatorizado (D.C.A), para lo cual se establecieron las variables del modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \xi_j(i) + \eta_k(ij)$$

Donde:

- Y_{ijk} : variable respuesta (eficiencia de evacuación de sólidos sedimentables)
- μ : media poblacional
- T_i : efecto medio del i -ésimo tratamiento
- $\xi_j(i)$: error experimental asociado a la j -ésima unidad experimental
- $\eta_k(ij)$: error de muestreo asociado a la k -ésima muestra

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.

En el presente proyecto se evaluó en un SRA, diferentes tipos de sistemas de captura y remoción

de sólidos de fondo en tanques de cultivo, para iguales tiempos de retención hidráulica, con el fin de verificar su eficiencia en cuanto a captación y evacuación de los sólidos generados en tanques de cultivo de sección circular.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El proyecto se realizó en el laboratorio de sistemas de recirculación del Programa de Ingeniería en Producción Acuícola de la Universidad de Nariño, localizado a una altitud aproximada de 2540 msnm, latitud 01°09' Norte y longitud 77°08' Oeste, según el Instituto de Estudios Medio ambientales y Meteorológicos IDEAM - Pasto, Colombia, 2006.

Materiales y equipos

En el laboratorio citado, se encuentra instalado un SRA con 12 tanques de 250 litros, cada uno de ellos dispone de un sistema de entrada de agua proveniente de una red ramificada de diámetro 3" y derivaciones para el sistema de distribución de 1". Además dispone de una red mallada para distribución de aire por tubería de 2" y derivaciones de 1/2". En los 12 tanques se adecuó diferentes sistemas de drenaje de la siguiente manera: 3 tanques con doble drenaje (adaptación del tipo Cornell), 3 tanques con drenaje de rebalse central, 3 tanques con drenaje de rebalse lateral, 3 tanques con salida y rebalse lateral. La disposición de los mismos dentro del laboratorio se puede apreciar en la Figura 3.

En el experimento se utilizó 240 dedinos de trucha arco iris, procedentes de la estación de jaulas flotantes "Inti Yaco" de la Universidad de Nariño, localizada en el Lago Guamués, con un peso promedio inicial de 11,5 g. La densidad de siembra correspondió a 20 animales/tanque equivalente a 1.08 kg/m³, a los animales se les proporcionó concentrado comercial con 40% de proteína.

El SRA dispone también de una red, correspondiente a la instalación hidráulica de suministro

de agua y suministro de aire, con piedras difusoras para cada unidad de cultivo. Los efluentes de los doce tanques son colectados por medio de tubería sanitaria de 4" de diámetro, que los transporta hacia un sedimentador convencional de sección rectangular, que consta básicamente de tres zonas: entrada, zona de sedimentación y zona de salida; en ésta última se encuentra la tubería de succión de una motobomba centrífuga de 2,0 hp, que eleva el efluente del decantador hacia un tanque de almacenamiento, ubicado a 9.9 metros, donde posteriormente pasa por gravedad hacia un biofiltro de flujo ascendente con capacidad de 800 L, el efluente ingresa a la red ramificada que llevó el flujo de agua tratada de nuevo hacia los 12 tanques. El suministro de aire se realizó por medio de un aireador tipo blower de 2.5 hp, del cual se derivó por medio de red ramificada en tubería de presión hacia cada unidad de cultivo.

Métodos

Partida del experimento

Una vez instalados los equipos y elementos necesarios, se inició llenando de agua las unidades de cultivo y el sedimentador, luego se puso en funcionamiento la motobomba para llenar el tanque elevado o reservorio y el biofiltro de flujo ascendente. Se dispuso cuatro piedras difusoras para suministro de aire en la base del biofiltro; el aire provino desde el mismo blower con el que se abasteció las unidades de cultivo.

Se verificaron y ajustaron los caudales de ingreso a las unidades de cultivo, que para el caso fueron de 0,05 L/s para cada tanque o unidad de cultivo.

Recepción y adaptación de los animales

Una vez en el laboratorio se procedió a someter los dedinos a un tratamiento con sal marina, a una concentración del 1%, seguido de la aclimatación y traspaso a las unidades de cultivo, introduciendo los 240 dedinos, 20 por tanque con un peso promedio de 11,5 g. Después de dos días, se inició la alimentación de los animales a voluntad; las mortalidades que se presentaron durante el período de aclimatación y adaptación de los dedinos de trucha fueron sustituidas por otros animales, ya en condiciones normales de funcionamiento del sistema con recirculación y aireación, 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 25 días. Después de dos semanas de adaptación se estableció en función de la biomasa un porcentaje de alimentación del 1 %, con lo cual la cantidad de concentrado a suministrar fue de 10.88 gramos por unidad de cultivo.

Monitoreo de la remoción de sólidos

Según lo expresado por Timmons *et al.* (2002), la producción de SS puede asumirse como un 25% del peso en base seca del alimento proporcionado. Con base en lo citado en el anterior ítem, la producción estimada de SS es de 2,5 g en cada tanque.

Para verificar la anterior condición se procedió a alimentar dos veces al día y a la mañana siguiente recoger por sifoneo los sedimentos acumulados en el fondo, para los tanques con re-

balse lateral interno, rebalse lateral externo y lateral; los tanques con drenaje central de fondo se evacuaron y recogieron desde la válvula de drenaje del sistema. El volumen de agua retirado de los tanques fue reemplazado con agua del acueducto previamente declorinada.

Los sedimentos se recolectaron en recipientes plásticos para luego pasarlos en papel filtro, se dejaron secar al aire y después se secaron en horno a 80°C durante una hora, para finalmente pesarlos en balanza de precisión. Con base en los datos de pesos obtenidos y por diferencia con el valor del peso de sólidos producidos se determinó el porcentaje de remoción para cada tipo de sistema de drenaje. Los procedimientos anteriores se repitieron durante siete (7) días, para lo cual se sacaron los promedios de dosis residual recolectada para los tratamientos en cuestión.

Con el fin de realizar una caracterización del agua utilizada en el SRA, 15 días después de iniciada la siembra de los dedinos, se tomaron muestras puntuales de agua a la entrada de las unidades de cultivo, tomando alícuotas de cada unidad de cultivo y en la tubería de drenaje principal que recolecta el agua residual de los tanques, como a la salida del sistema en general. A las muestras de agua se les realizó el análisis de los siguientes parámetros: oxígeno disuelto, amonio, nitritos, turbiedad y temperatura del agua; debido a limitaciones de tiempo no fue posible evaluar de manera continua los parámetros físico – químicos del agua.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Caracterización de las aguas residuales

A partir de las muestras de agua tomadas después del periodo de pre-ensayo y con base en los análisis de algunos parámetros físico-químicos del agua, fue posible realizar una caracterización del agua residual y recirculada en el SRA, cuyos resultados se indican en las Tablas 1 y 2.

Según los parámetros medidos del agua, se aprecia que el valor del oxígeno disuelto perma-

neció casi que constante de 6.0 mg/L en las unidades de cultivo, posiblemente por la buena aireación suministrada y está en el rango sugerido Losordo *et al.* (1999a), el valor del amonio está por encima de los valores normales para el cultivo de trucha reportado como 0.05 mg/L y el valor del pH indica tendencia básica, sin embargo se considera valores normales en un rango de 7.0 a 8.0, lo anterior puede deberse al efecto de la temperatura del agua, siendo el pH ideal para el

cultivo de 7.0. Los valores de turbiedad pueden deberse a la presencia de sólidos suspendidos.

Monitoreo de remoción de sólidos en las unidades de cultivo

A partir de las muestras de agua tomadas después del periodo de pre-ensayo y con base en los procedimientos ya mencionados, se logró determinar los valores promedio de sólidos remanentes en las unidades de cultivo medidas durante los siete días del experimento, cuyos resultados se presentan en la Tabla 3.

El tratamiento 1 (T1) corresponde al drenaje central de fondo tipo Cornell, el tratamiento 2 (T2) al drenaje central de fondo con rebalse interno, el tratamiento 3 (T3) al drenaje central de fondo con rebalse lateral externo y el tratamiento 4 (T4) representó al sistema con salida lateral.

A partir de las diferencias de peso entre la cantidad de sólidos esperada en las unidades de cultivo y el valor de los sólidos recolectados por sifoneo se pudo determinar el porcentaje de evacuación de los sólidos sedimentables en cada tipo de drenaje.

La Tabla 4 presenta los resultados obtenidos para el sistema de drenaje consistente en el do-

ble drenaje (T1); el sistema de drenaje central de fondo con rebalse interno (T2); El drenaje de fondo con rebalse lateral externo (T3) y el drenaje por salida lateral y rebalse externo (T4). En dicha tabla, PA corresponde al peso de concentrado proporcionado por día, PSSE es el valor de producción de sólidos sedimentables esperados por día, DRSR es la dosis residual de sólidos recolectada por día y PESS es el porcentaje de evacuación de sólidos sedimentables.

Para determinar si hubo diferencias significativas entre los resultados obtenidos para cada uno de los tipos de drenajes evaluados, se realizó un análisis de varianza cuyos resultados se presentan en la Tabla 5. Con base en estos resultados, se concluye que existen diferencias significativas entre tratamientos, por ello se recurrió a hacer pruebas de comparación.

Prueba de hipótesis

Ho: Tratamientos iguales: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2$

Ha: Tratamientos diferentes: $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \sigma_3^2 \neq \sigma_4^2$

- Nivel de confianza: α : 0.05
- Estadístico de prueba: Fc

CONCLUSIONES - RECOMENDACIONES

1. De acuerdo al análisis de varianzas realizado, existen diferencias significativas entre los tratamientos T1 (tipo Cornell), T2 (con rebalse interno), T3 (con rebalse lateral externo) y T4 (salida lateral).
2. Por otra parte, para conocer cuál de estos tratamientos presentó una mayor eficiencia, se realizó la prueba de comparación múltiple de Tukey, encontrándose que existen diferencias significativas entre los tratamientos T3 y T1, por lo tanto, con el 95% de confiabilidad se afirma que el tratamiento T3 (con rebalse lateral externo) evacuó una mayor cantidad de sólidos.
3. En términos de eficiencia de remoción de sólidos, después del tratamiento T3, el tratamiento T4 realizó la mejor remoción de los sólidos, seguido por el tratamiento T2 y finalmente por el tratamiento T1.
4. Se recomienda continuar analizando este tipo de sistemas de drenaje para otras condiciones de tiempo de retención hidráulica, de producción y concentración de sólidos, así como a partir de la adaptación del sistema de tipo Cornell, en el cual por la tubería de drenaje de fondo exista flujo constante equivalente del 10 al 20% del flujo efluente total del tanque.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen de manera especial al Departamento de Recursos Hidrobiológicos, la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Universidad de Nariño, Marco Antonio Imuez Figueroa y Camilo Lenin Guerrero Romero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Crab, R. A; T. Defoirdt; P. Bossier, and W. Verstraeteet. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*. 270: 1-14.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION OF THE UNITED NATIONS. 2006. The State of World Fisheries and Aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Department. Rome. 162 p.
- Lagos, T; L. Legarda. y L. Vicuña. 2001. Diseño de experimentos agropecuarios. Primera edición. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto. 262 p.
- Losordo, M; J. Racocy and M. Masser. 1999. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems. Management of Recirculating Systems. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC). E:U:A. 12 p.
- Piedrahita, R.H. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*. 226: 35–44.
- Timmons, M. B; J. M, Ebeling ; S. T. Summerfelt y B. J. Vinci. 2002. Sistemas de recirculación para la acuicultura. Segunda edición, fundación Chile. Editor. 747 p.
- Weathon, F.W. 1993. Acuicultura, diseño y construcción de sistemas. A.G.T. Editor S. A. México. 704 p.

TABLAS

Tabla 1. Parámetros físico – químicos del agua residual a la entrada y salida de las unidades de cultivo del sistema de recirculación.

	Temperatura (°C)	Ph (-)	Turbiedad (NTU)	Amonio (mg/l)	Nitritos (mg/l)
Entrada	19.0	8.55	1.89	1.04	1.08
Salida	19.0	8.64	1.80	0.09	1.09

Tabla 2. Valores promedio de oxígeno disuelto (OD) durante los muestreos.

Muestreos	M1	M2	M3	M4	M5	M6
OD (mg/l)	6.4	6.0	6.0	6.2	6.4	5.2

Tabla 3. Valores promedio de dosis residual de sólidos sedimentables obtenidos para cada tratamiento.

Tratamiento 1			Tratamiento 2			Tratamiento 3			Tratamiento 4		
R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
2.1	1.3	2.8	2.3	0.4	0.9	0.4	2.0	0.5	2.0	0.3	1.5
2.1	1.3	2.1	2.3	2.5	1.6	0.1	0.3	0.2	1.5	2.6	1.3
1.05	1.47	2.1	0.5	2.6	0.8	2.1	1.6	0.4	2.2	0.4	0.1

Tabla 4. Porcentaje de evacuación de sólidos sedimentables en los Tratamientos 1 y 2.

PA (g/d)	PSSE (g/d)	Tratamiento 1		Tratamiento 2		Tratamiento 3		Tratamiento 4	
		DRSR (g/d)	PESS (%)	DRSR (g/d)	PESS (%)	DRSR (g/d)	PESS (%)	DRSR (g/d)	PESS (%)
10	2.5	1.750	30.0	1.700	32.0	0.867	65.3	1.900	24.0
10	2.5	1.357	45.7	1.830	26.7	1.300	48.0	1.100	56.0
10	2.5	2.330	6.7	1.100	56.0	0.367	85.3	0.967	61.5

Tabla 5. Análisis de varianza, para los respectivos tratamientos.

Factor de Variación	GL	SC	CM	Fc	Ft
Tratamientos	3	1.515	0.505	1.2434	0.184502
Error Experimental	8	3.249	0.406	-	-
Total	11	4.764	-	-	-

Tabla 6. Prueba de Tukey, para los respectivos tratamientos.

	T1	T2	T3	T4
T4	0.5	0.2	0.5	0.0
T3	1.0	0.7	0.0	-
T2	0.3	0	-	-
T1	0	-	-	-

FIGURAS

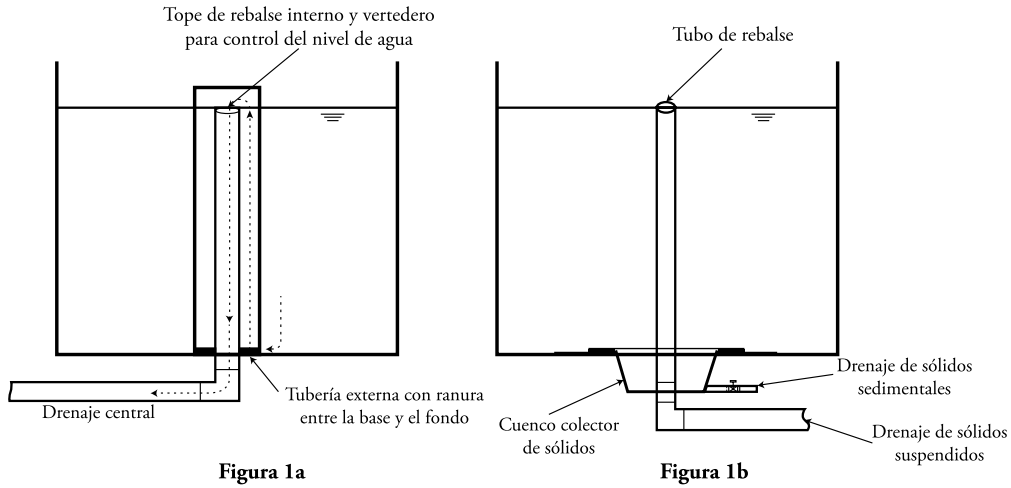


Figura 1. Tanques con rebalse interno y doble drenaje.

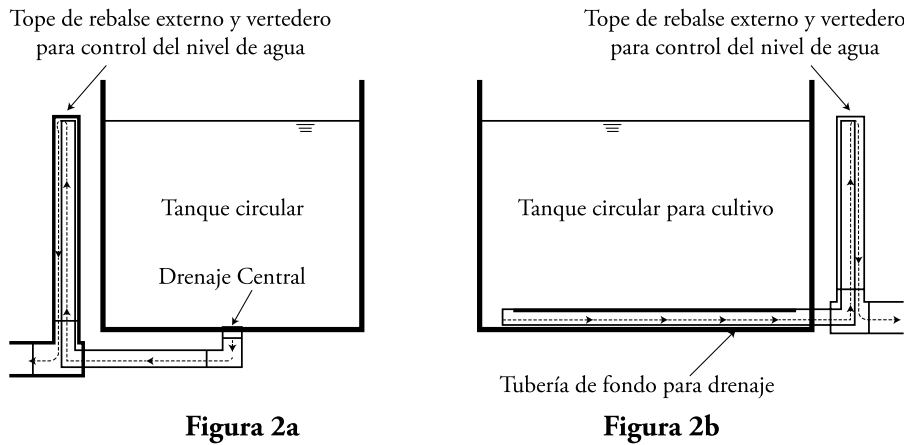


Figura 2. Tanques con rebalse externo para drenaje de fondo y salida lateral.

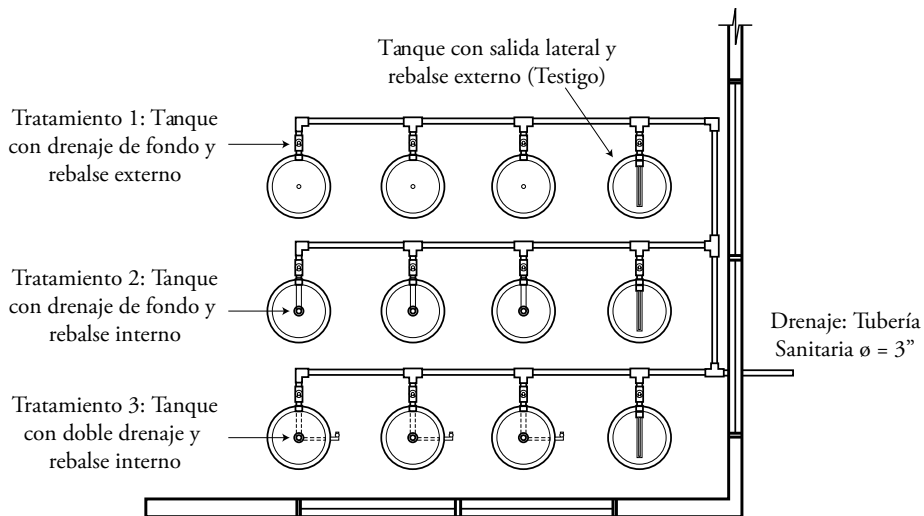


Figura 3. Vista en planta de la disposición de los tanques circulares con los sistemas de drenaje evaluados.