

## SISTEMAS DE RECIRCULACION CERRADA

*por Kubitza F., 2006.*

Los sistemas cerrados con tratamiento y recirculación de agua son utilizados comúnmente en los laboratorios de investigación, en el cultivo y mantenimiento de peces ornamentales y en grandes acuarios públicos y privados, en todo el mundo. A partir de la década del '80, los estudios objetivando el uso de sistemas de recirculación se intensificó en Japón, Estados Unidos, Israel y otros países europeos.

En Brasil, el interés de los inversores por el cultivo de peces en sistemas cerrados es mucho más reciente. El uso de estos sistemas a escala comercial se encuentra aún restringido a algunos emprendimientos de peces ornamentales, laboratorios de reproducción de tilapia y algunas larviculturas de camarón. Los sistemas pioneros que focalizaron la recría o engorde de la tilapia fueron implementados hacia el final de la década del '90. Gran parte de estos emprendimientos se enfrentaron a problemas operacionales o a la viabilidad económica que volvía imposible una producción. En la Tabla 1, se señalan algunas de las razones del poco éxito operacional o económico de los sistemas de recirculación.

Tabla 1: razones del poco éxito de los sistemas de recirculación

- ⇒ Alto costo para su implantación
- ⇒ Desconocimiento de los principios básicos que rigen el funcionamiento del sistema
- ⇒ Falta de capacitación de operadores y gerentes para la comprensión y actuación sobre las interacciones físicas, químicas y biológicas que determinan la salud de los componentes del sistema
- ⇒ Uso de raciones de baja calidad
- ⇒ Inadecuado diseño del sistema y/o, tentativas de operar con componentes inadecuados
- ⇒ Incorrecto dimensionamiento, o hasta ausencia de importantes componentes (filtros, biofiltros y sistemas de "backup").
- ⇒ Cultivo de especies con precios de mercado que muchas veces no remuneran el costo operacional y/o, ni son capaces de retornar el capital invertido
- ⇒ Inadecuado manejo sanitario y falta de conocimiento sobre las buenas prácticas de manejo y de medidas profiláticas para evitar problemas de enfermedades.

Los sistemas de recirculación en cultivos acuáticos demandan una considerable inversión y capital operacional. Así, un cultivo puede ser enfocado sobre especies que muestren su buen valor en el mercado y conducido de tal forma que se optimice el uso de las instalaciones y la producción. De esta forma es posible diluir importantes componentes del costo de un emprendimiento (salarios de los empleados en la operación y administración, depreciación y mantenimiento de las instalaciones y equipamiento, disminución de expensas fijas como la energía eléctrica); reduciendo los costos de producción y mejoramiento o retorno del capital invertido.

### **Los componentes básicos del sistema:**

De un modo simplificado, se puede fraccionar un sistema de recirculación en seis componentes, como se resume en la Tabla 2 y en la Figura 1. Algunos procesos y equipamientos adicionales pueden ser insertados con estos componentes para mejorar la eficiencia de recomposición del agua y, así, optimizar la producción del sistema.

Tabla 2: Características de los principales componentes de los sistemas de recirculación

**Tanques de cultivo:** hasta ahora han sido empleados diversos formatos y diseños de tanques en sistemas de recirculación, que facilitan la concentración de los residuos sólidos hacia el drenaje central. Algunos sistemas usan tanques rectangulares u ovals, que posibilitan un mejor aprovechamiento del espacio, comparado con los tanques circulares. El agua de entrada se distribuye verticalmente en la columna de agua a través de un tubo perforado (1) y entra en sentido tangencial a la pared del tanque, sustentando una corriente circular de agua, facilitando la concentración de los sólidos decantados hacia el drenaje central (3), que son conducidos hacia el decantador o cono por un tubo de pequeño calibre (4), constantemente desalojando a los sólidos concentrados. El exceso de agua generalmente sale del tanque por un drenaje de superficie (2).

**Decantadores y filtros mecánicos:** Los conos (5) y decantadores pueden usarse para concentrar los sólidos decantados (partículas > micra o de 0,1 mm). Los filtros mecánicos (6) con telas finas o filtros cerrados con un medio filtrante de arena, guijarros o esferas de plástico (filtro tipo piscina) concentran y remueven los sólidos en suspensión (partículas entre 40 y 100 micras). Los sólidos disueltos (partículas < a 40 micras) pueden ser concentrados o removidos del sistema con el uso de un fraccionador de espuma (7).

**Biofiltros:** Los filtros biológicos (8) son fundamentales para la salud del sistema. Generalmente consisten en una caja, tanque o jaula lleno previamente de un sustrato que posibilite la fijación de las bacterias nitrificadoras que promueven la oxidación del amoníaco a nitrato. En los biofiltros se pueden utilizar diversos tipos de sustrato. Los más comunes son la arena gruesa, guijarro, esferas o cilindros de plástico y trozos de telgopor.

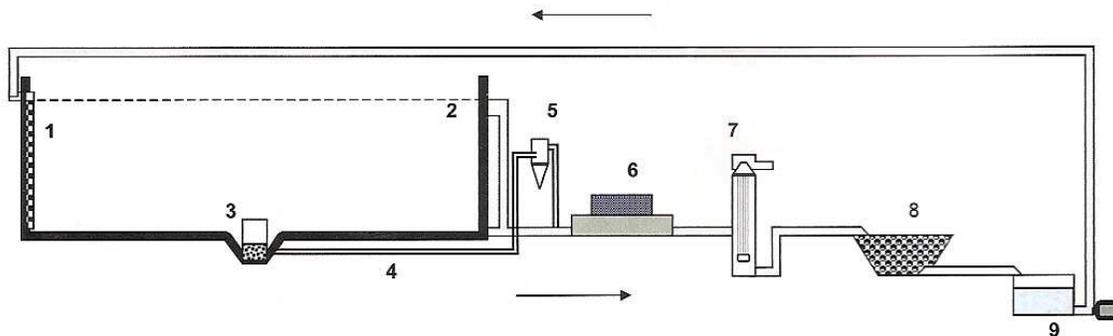
**Sistema de aireación/oxigenación:** el sistema de aireación/oxigenación está compuesto por sopladores de aire y difusores, aireadores mecánicos de diverso tipo (aireadores de paso o bombas de agua), inyección directa de oxígeno y asimismo una combinación entre dos o más tipos de aireación/oxigenación. Aireadores y difusores que han sido inadecuadamente dimensionados o posicionados, pueden provocar excesiva agitación dentro de los tanques de cultivo, resuspendiendo y fraccionando los residuos sólidos. Por ello, es preferible concentrar la aireación en otros puntos del sistema, particularmente después del filtrado de los sólidos en suspensión. El fraccionador de espuma y el propio biofiltro son puntos donde la aireación comienza a ser aplicada. Generalmente, la mayor parte de la aireación se aplica luego, antes o inmediatamente después del biofiltro, reoxigenando el agua que retornará a los tanques.

**Sistema de bombeo y tabulaciones de drenaje y retorno:** en algún punto del sistema (9) es necesario instalar bombas para retornar el agua tratada y reoxigenada hacia los tanques de cultivo. Las dimensiones de las bombas y las tabulaciones deberá efectuarse por profesionales con buen conocimiento de hidráulica, para evitar sub o super dimensionar el sistema hidráulico del emprendimiento.

**Unidad de cuarentena:** esta unidad debe ser físicamente separada de la unidad de producción y contar con sus propios tanques, filtros, biofiltros, sistema hidráulico y equipos de aireación. Los peces que llegan por primera vez al emprendimiento, deberán permanecer en observación en esta unidad durante algunas semanas para certificar que están libres de organismos patógenos. Durante su cuarentena, los peces generalmente recibirán un tratamiento profiláctico y terapéutico que elimine a los potenciales parásitos o

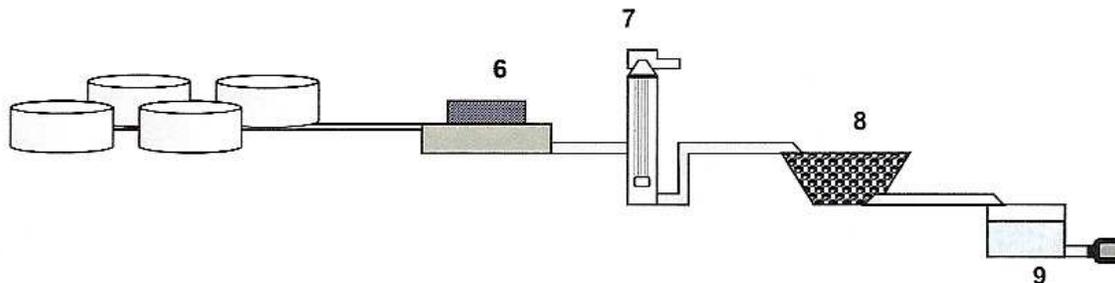
para tratar algún tipo de enfermedad.

Figura 1: Representación simplificada de los principales componentes de un sistema recirculante.



**Sistema con una única línea de tratamiento de agua** (Figura 2): a pesar del menor costo de esta instalación, su configuración presenta algunos inconvenientes. Primero, el riesgo de diseminación de un problema de enfermedades iniciado en un tanque hacia todos los demás tanques del sistema. El tratamiento del sistema completo es más oneroso y menos eficiente, existiendo aún el riesgo de que los productos usados perjudiquen a las bacterias del filtro. Tampoco será posible realizar vacíos sanitarios, a no ser que la producción se paralice por completo. El segundo inconveniente es la necesidad de interferencia en todos los tanques cuando existe necesidad de limpieza de filtros o de reparación estructural del sistema.

Figura 2: Tanques con tratamiento y recirculación de agua en una misma línea.

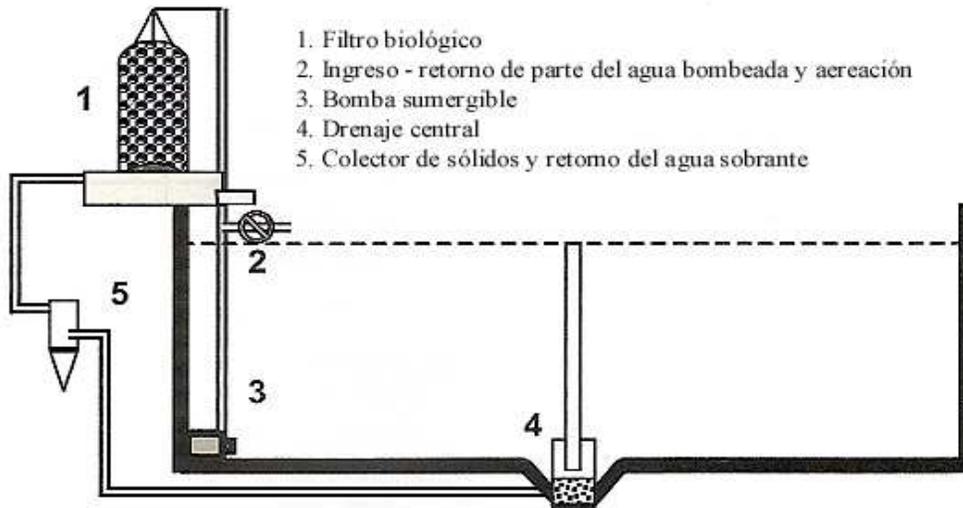


**Sistema con todos los tanques aislados:** (Figura 3) En el otro extremo, pueden existir sistemas en los que cada tanque cuenta con su propio tratamiento de agua. Este diseño confiere mayor seguridad en cuanto al control sanitario o a la necesidad de intervenciones estructurales. En este caso, la inversión, la operación y el mantenimiento del sistema será más oneroso. Por ejemplo, incluye muchos filtros, biofiltros y bombas de pequeño calibre que necesitan de una inspección, mantenimiento y limpieza; aumentando la demanda de mano de obra. Este concepto también dificulta el manejo diario, particularmente en lo que se refiere al monitoreo y corrección de la calidad del agua, que precisa ser personalizado para las condiciones de cada tanque.

Así, será necesario tener buen sentido a la hora de planificar y concebir un sistema de recirculación. Un sistema que reúne diversos tanques en dos, tres o más baterías con

tratamiento de agua independiente, es una situación más equilibrada. Esto elimina muchos de los inconvenientes discutidos y, al mismo tiempo, posibilita el mantenimiento de las condiciones ambientales diferenciadas de acuerdo con la especie o grupo de especies producidas en cada batería (por ejemplo, temperatura y/o salinidad más elevada).

Figura 3: Tanque con sistema individual de tratamiento y recirculación de agua



### Puntos fundamentales para el funcionamiento del sistema:

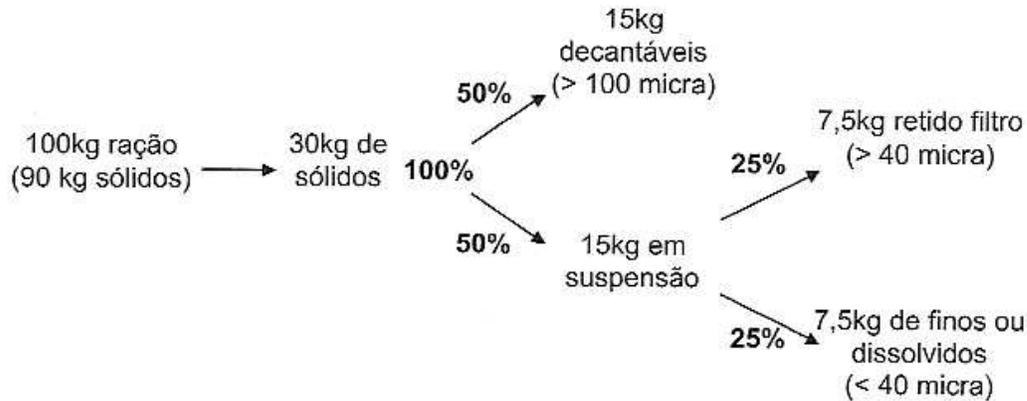
**Mantenimiento del bienestar de los peces:** los peces deberán alimentarse con raciones de alta calidad, siendo mantenidos bajo condiciones adecuadas de calidad de agua y manejados correctamente para que tengan buena salud y un potencial productivo adecuado.

**El aporte de residuos sólidos:** los sólidos generados en los tanques de cultivo (heces y sobras de raciones) son la principal fuente de residuos orgánicos del sistema. Estos representan cerca del 20 a 30% de la ración ofrecida. O sea, cada 100 kilos de ración se genera entre un 20 a 30% de sólidos. El volumen de los sólidos generados puede ser mayor o menor a esta cifra, dependiendo de la calidad de la ración, el manejo alimentario adoptado y la calidad del agua. Los sólidos pueden estar reunidos en tres grupos (Figura 4):

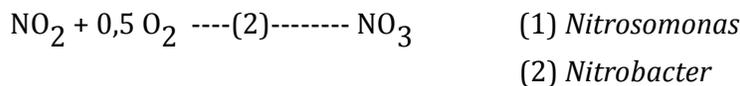
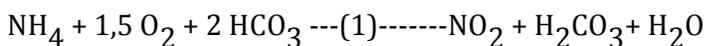
- Los sólidos decantados son aquellos con partículas mayores a 100 micras y representan cerca del 50% del total de sólidos. Ellos son fácilmente concentrados en el drenaje central en el fondo de los tanques de formato circular y pueden ser removidos del sistema utilizando conos o tanques de decantación.
- Los sólidos en suspensión, en términos prácticos, son los de partículas de entre 100 y 40 micras que componen el 25% de los sólidos totales y salen de los tanques suspendidos en la columna de agua. Estos sólidos solamente pueden ser removidos del sistema con el auxilio de filtros mecánicos (filtros de tela, de arena e incluso, con un medio filtrante de esferas de plástico).
- Los sólidos finos o disueltos, en términos prácticos agrupan las partículas menores de 40 micras, gran parte debajo de 20 micras, y diversas sustancias disueltas en el agua

(aminoácidos, proteínas, carbohidratos entre otras). Parte de estos sólidos solamente pueden ser retirados del sistema con el auxilio de un equipo denominado fraccionador de espuma.

Figura 4: Representación de la generación de residuos sólidos



**El proceso de nitrificación:** una vez removido el máximo de los sólidos, el agua debe ser dirigida hacia los filtros biológicos o biofiltros. El biofiltro posee un sustrato al que se fijan las bacterias nitrificadoras del género *Nitrosomonas* (que realizan la oxidación del amoníaco a nitrito) y del género *Nitrobacter* (que oxidan el nitrito hasta nitrato). Estas reacciones de oxidación comprenden el proceso de nitrificación, que se produce mientras corre el agua a través del biofiltro (según la ecuación más abajo). Durante la nitrificación se consumen cerca de 4,6 g de oxígeno por cada gramo de amoníaco oxidado a nitrato. Además del consumo de oxígeno, se produce gas carbónico y generación de acidez en el medio (iones hidrógeno). El gas carbónico en exceso es liberado de los iones H promoviendo una gradual reducción en el pH y en la alcalinidad total del agua. Así, además de la recomposición del oxígeno y la eliminación del exceso de gas carbónico a través de la aireación del agua luego del pasaje por el biofiltro, de tiempo en tiempo, es necesario realizar aplicaciones controladas de calcio o cal hidratada para recomponer el pH y la alcalinidad del agua del sistema.



La eficiencia de la nitrificación dependerá de innúmeros factores inherentes al diseño y a la construcción del filtro biológico, así como al mantenimiento de las condiciones ambientales favorables al desarrollo y actividad de las bacterias nitrificadoras. Estas condiciones deben ser monitoreadas continuamente y, si fuera necesario, corregidas. El biofiltro debe ser adecuadamente dimensionado para soportar la tasa de alimentación planificada para el sistema, de modo que la nitrificación se produzca a tasas más rápidas o como mínimo, iguales a la tasa de producción de amoníaco en el sistema. Esto previene el acumulo de amoníaco en el agua y los consecuentes perjuicios en el desempeño y la salud de los peces. Los biofiltros evaluados en sistemas de recirculación con peces, remueven cerca del 0,2 a 0,6 g de

amoníaco/m<sup>2</sup> del área de contacto del sustrato en el interior del biofiltro. Cada tipo de sustrato posee una superficie específica disponible para la fijación de las bacterias (expresada en m<sup>2</sup>) para cada metro cúbico de volumen de sustrato. Por ejemplo, un metro cúbico de arena fina posee una superficie de contacto equivalente a 5.000m<sup>2</sup>, o sea, la superficie específica de arena fina es de 5.000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Para la arena gruesa este valor es de 2.300 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Las esferas plásticas de 3 mm poseen superficie específica próxima a 1.700 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. El lector puede percibir que cuanto menor sea la partícula, mayor superficie específica será la del sustrato. Si no fuera por su gran facilidad de obstrucción, la arena fina o la gruesa serían excelentes sustratos para los biofiltros. Algunos tipos de los biofiltros más sofisticados (filtros con sustratos fluidizados) mantienen las partículas de arena en suspensión, evitando su obstrucción.

Los sistemas de recirculación ya existentes, implantados en pisciculturas, aún en emprendimientos donde existen embalsados de agua (tajamares o estanques excavados) pueden utilizar dichos embalses a manera de un gran filtro biológico. En estos, una amplia comunidad de organismos se encargará de la descomposición de los residuos sólidos, en tanto que las bacterias nitrificadoras, las algas (del fitoplancton) y las plantas acuáticas, se encargarán de remover el amoníaco y el exceso de nutrientes del agua que retornará a los tanques de cultivo. Esta estrategia es muy utilizada en las pisciculturas de Israel.

**Restauración del oxígeno y eliminación del gas carbónico:** luego del pasaje por el biofiltro, el agua debe ser aireada u oxigenada de tal modo que se recomponga el oxígeno consumido y se remueva el gas carbónico generado por la respiración de los peces, la descomposición de la parte de materia orgánica lanzada hacia el sistema (bacterias heterotróficas y otros descomponedores) y por el proceso de nitrificación (bacterias autotróficas). En promedio, cada kilo de ración ofrecida resulta en un consumo directo de 250 g de oxígeno por los peces y un consumo indirecto de 140 g de oxígeno por las bacterias del biofiltro. O sea, 1 kilo de ración genera un consumo aproximado de 400 g de oxígeno en el sistema. La restauración de los niveles de oxígeno en el sistema es realizada por medio del uso de los sopladores de aire o difusores, sistemas de Venturi instalados en puntos del sistema donde existe presurización del flujo de agua, con aireadores mecánicos (propulsores, aireadores de paleta, bombas de agua entre otros tipos) y también por la aplicación de gas oxigenado con el uso de equipos que posibiliten una eficiente difusión del gas en el sistema.

**Conducción del flujo de agua:** el flujo de agua a través del sistema se produce en gran parte por gravedad y en parte por bombeo. La posición de las bombas en el sistema depende de la distribución vertical de los componentes del mismo y de los tipos de filtro y biofiltros utilizados (algunos ya poseen bombas de agua para su funcionamiento). En el momento de planificar el sistema, el diseño del mismo, debe concebirse de tal modo que se minimicen los puntos de bombeo para reducir expensas como la energía y el mantenimiento; así como los riesgos recurrentes de fallas en los componentes del sistema. Cuanto más sea el sistema dependiente de las externalidades, mayor será la chance de quebrar o comprometer su seguridad.

**Seguridad:** la operación del sistema demanda energía eléctrica y la interrupción de la misma puede producir serios problemas. En cerca de 15 minutos a 1 hora, la concentración de oxígeno en el agua puede caer hasta niveles letales. Por lo tanto, será preciso contar con un sistema confiable de “backup”. Generalmente se utilizan generadores, sistemas de alerta y

hasta inclusive una línea de distribución y difusión de gas oxígeno directamente conectada a cada uno de los tanques.

**Estrategias para mantener la calidad del agua:** gran parte del éxito en la operación de un sistema de recirculación está basado en la implementación de una estrategia eficiente y económica para el tratamiento del agua y en la adopción de las prácticas adecuadas de manejo del cultivo.

**El uso de raciones de alta calidad:** se trata de una condición fundamental para el éxito del emprendimiento. Primero, por el hecho de que los organismos dependerán completamente de los nutrientes ofrecidos en la ración, visto que la disponibilidad de alimento natural es mínima e insuficiente para corregir eventuales deficiencias minerales y vitamínicas de una ración. Segundo, con el uso de raciones de alta digestibilidad, el aporte de residuos sólidos al sistema será menor, evitando sobrecargas en los componentes del sistema (filtros mecánicos, filtros biológicos y sistema de aireación). Tercero, las raciones con adecuado balance de energía/proteína y un buen equilibrio en aminoácidos, colaboran en la reducción de la excreción del amoníaco en el caso de los peces, aliviando el trabajo de las bacterias nitrificadoras en el biofiltro.

**Remoción inmediata de los sólidos del sistema:** cuanto más tiempo los sólidos permanezcan dentro del sistema, mayor será el consumo de oxígeno (generación de DBO-Demanda Biológica de Oxígeno) y producción de amoníaco y de gas carbónico por las bacterias y otros organismos que descomponen la materia orgánica. Desde el punto de vista económico, el innecesario acumulo de amoníaco exige inversiones mayores en biofiltros (mayor capital de inversión) y mayor tasa de circulación de agua en el filtro biológico y en el sistema (mayor gasto de bombeo). La nitrificación también genera acidez y consume oxígeno. Así, el amoníaco generado innecesario dentro del sistema, aumentará los costos en aireación y en el uso de correctivos de acidez/alcalinidad del agua. Del mismo modo, el atraso y la ineficiencia en la remoción de los sólidos, resultará en un innecesario aumento del consumo de oxígeno en los procesos biológicos de descomposición de la materia orgánica. Esto demandará el empleo de una mayor potencia en aireación, lo que se traduce en una mayor inversión y mayor costo operacional del sistema. Adicionalmente, el acumulo de materia orgánica en el mismo perjudica la operación de los filtros, obliga a invertir e inmovilizar mayor capital en filtros de mayor capacidad y aumenta la necesidad de retro-lavados y limpiezas más frecuentes. Esto implica a su vez, un mayor costo operacional y mayor uso de agua. Y, finalmente, el acumulo de materia orgánica favorece la proliferación de patógenos, con resultados adversos para el bienestar y la salud de los animales, así como su desempeño productivo y sobrevivencia, lo que puede resultar en considerables perjuicios para el inversor.

**Provisión de las condiciones adecuadas para la nitrificación:** diversos factores ambientales perjudican el trabajo de las bacterias nitrificadoras. Entre los principales, merecen destacarse: a) el bajo oxígeno en el interior del biofiltro (ideal por encima de 4 mg/l); b) bajo pH en el agua del biofiltro (ideal entre 7 y 8); c) acumulo de material orgánico en el biofiltro, que favorece el desarrollo de bacterias heterotróficas y otros organismos que compiten con las bacterias nitrificadoras por el espacio de fijación en los sustratos, por el oxígeno y por los nutrientes. Las dimensiones o el diseño y construcción de un biofiltro eficiente, requiere prestar atención a las numerosas recomendaciones, entre ellas: a) carga máxima de la ración que será aplicada en el sistema y calidad de esta ración (cuántos kilos de residuos sólidos se generarán diariamente); b) cuán eficiente es el sistema de remoción de

sólidos; c) cuál es la tasa esperada de remoción de amoníaco según las diferentes opciones del biofiltro y para un sustrato idéntico o semejante al que se planifica usar en el biofiltro que se construirá; d) cuál es la tasa de pasaje de agua a través del biofiltro; e) cuál es la disponibilidad de agua para eventuales diluciones del agua en el sistema.

**Monitoreo y corrección de la calidad del agua:** deberá realizarse el monitoreo continuo del oxígeno, el amoníaco total y el gas carbónico en los tanques de cultivo; del pH y de la alcalinidad total (que tienden a bajar a lo largo del tiempo); así como de otros parámetros complementarios (nitrito, nitrato, iones cloruros, sólidos en suspensión, entre otros). El operador del sistema deberá disponer de equipos confiables para monitoreo de la calidad de agua. Además de ello, deberá conocer los principios, interacciones y procesos físicos, químicos y biológicos que determinan la calidad del agua en los sistemas de recirculación. También deberá informarse y conocer las estrategias utilizadas en la corrección de la calidad de agua (los principios que rigen la aireación; el uso de cal o calcario para corregir el pH y la alcalinidad, así como para reducir la concentración de gas carbónico en el agua; la aplicación de sal (cloruro de sodio) para prevenirse frente a los elevados niveles de nitritos, entre otros).

**Monitoreo y mantenimiento preventivo:** deberán monitorearse los niveles y el flujo de agua en los tanques y filtros; el comportamiento, respuesta alimentaria y crecimiento de los peces; el estado sanitario de los animales (presencia de parásitos y/o señales de enfermedades); los equipos que mantienen el sistema en operación (bombas, filtros, registros, difusores, biofiltro, generadores, etc.).

**CONSIDERACIONES FINALES:** La tecnología para producción de organismos acuáticos en sistemas de recirculación cerrada con tratamiento y reutilización del agua ya es una realidad en diversos países y la bibliografía técnica y científica del sector se encuentra disponible. En pocos años es de esperar que el mejoramiento en los diseños, los equipos, la tecnología del tratamiento de agua y las estrategias del manejo y cultivo posibiliten que estos sistemas sean implantados y operados con menor costo y mayor eficiencia, incidiendo en la producción de organismos acuáticos a un precio compatible con el obtenido en otros sistemas de cultivo. ***En referencia a ello, cualquier decisión de invertir en estos sistemas deberá ser tomada con cautela.*** Será necesario verificar las informaciones correspondientes a los precios de venta y demanda del mercado de los productos objeto del proyecto. Será necesario visitar otros emprendimientos semejantes para recoger impresiones sobre lo que hay de cierto y lo que es errado. Someta la planificación de su producción y el esbozo del proyecto del emprendimiento a la apreciación del mayor número posible de profesionales. No deje de hacer un detallado estudio de viabilidad económica bajo diferentes escenarios. En la experiencia de este autor, procediendo con cierta cautela y con sentido crítico, el inversor podrá anticipar y evitar gran parte de los problemas operacionales y las dificultades en la comercialización. Esto implica, no solo considerar la economía de la implantación, y operación del emprendimiento, sino también un menor desgaste emocional del equipo de trabajo.

Tabla 3: indicadores de calidad del agua en los sistemas de recirculación

PARAMETRO	Adecuado para los peces	Adecuado en el biofiltro	Nivel de atención y nivel letal (1)	Cuándo y dónde Monitorear
OXIGENO DISUELTO	> 4 mg/l	> 4 mg/l	< 3 mg/l	Continuo para cada tanque. En el agua de retorno a los tanques.
pH	7,0-8,0	7,5-8,5	< 6,5 Letal < 5,0	Una vez/día a su inicio. Con agua verde además al final de la tarde. En agua de retorno a los tanques luego de la aireación. Entrada y salida de biofiltros (donde los peces consumen mucho)
GAS CARBONICO	< 5 mg/l	< 5 mg/l	> 20 mg/l	Cada 2-3 días al principio del día. Salida y entrada biofiltro (donde los peces consumen mucho y nadan lento).
AMONIACO TOXICO	< 0,2 mg/l		>0,6 mg/l Letal <3mg/l	Una vez/día junto a pH. En línea de abastecimiento de tanques. Entrada y salida biofiltro.
ALCALINIDAD		>100 mg CaCO <sub>3</sub> /l	<30 mg/l	Por lo menos 1 vez/semana. En el agua del sistema.
NITRITO	< 0,3 mg/l		>1 mg/l Letal >5 mg/l	Diariamente en el agua de c/batería de tanques. Semanalmente en entrada y salida del biofiltro.
NITRATO	< 50 mg/l		>400 mg/l	Semanalmente en agua de c/batería de tanques
SOLIDOS EN SUSPENSION	< 20 mg/l		>100 mg/l	C/2 semanas

(1) Letal: los límites letales dependen del tiempo de exposición de los peces al compuesto tóxico o a una condición adversa. También varía según la especie y el tamaño del pez, así como de la combinación de otros parámetros de calidad del agua. Por ejemplo: cuanto mayor sea la salinidad (particularmente concentración de cloro), mayor será la dosis de nitrito necesaria para matar a los peces. Con relación al gas carbónico. Los peces toleran concentraciones por encima de 300 mg/l durante operaciones de transporte en bolsas plásticas. Sin embargo, cuando combinado con bajo OD (<2 mg/l), niveles de CO<sub>2</sub>>60 mg/l pueden ser letales para algunas especies de peces, particularmente para las formas juveniles.