

## **LOS SISTEMAS CERRADOS DE RECIRCULACION EN PISCICULTURA - II** (extractado de variada bibliografía)

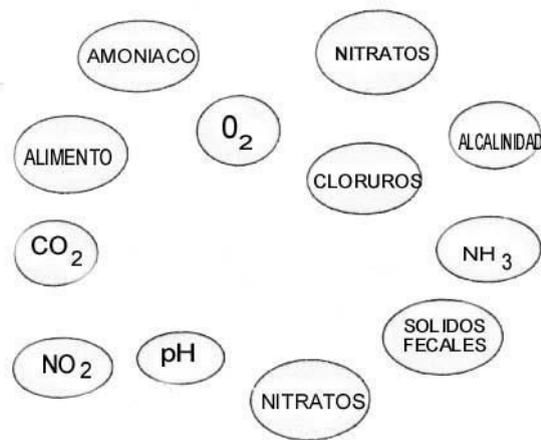
### **Introducción**

Las prácticas tradicionales de producción en piscicultura, requieren grandes cantidades de agua de muy buena calidad que actualmente se encuentra limitada en muchas áreas. La disminución de la pureza del agua, ha puesto el objetivo en una acuicultura de alta densidad de cultivo, con la reutilización de aquella, utilizando sistemas cerrados de recirculación. Aunque estas tecnologías son más costosas que las tradicionales, las altas rentabilidades potenciales han captado la atención de nuevos productores y han hecho atractivos los cultivos altamente intensivos. Para el uso de estos sistemas, es imprescindible que el potencial productor conozca en qué mercado colocará su producto terminado. El análisis económico de los sistemas de recirculación, indica que los parámetros clave para su operación, abarcan principalmente:

- La operación del sistema con la mínima entrada posible de energía y
- La obtención de una apropiada purificación del agua, para su posible reutilización.

Estos dos criterios deben ser optimizados al diseñar los sistemas.

Los peces producen desechos que degradan la calidad del agua en la que se los cultiva. Los principales desechos que ejercen un efecto negativo sobre esta calidad son: amoníaco, anhídrido carbónico, materia fecal y otros provenientes del metabolismo de los animales, además de los desperdicios del alimento ofrecido. La materia orgánica (heces) también se degrada, produciendo una cantidad apreciable de amoníaco, nitritos y nitratos. En sistemas cerrados, sin recirculación, el efecto de estas sustancias hace disminuir el pH del agua, consume todo el oxígeno disuelto existente, aumenta la turbidez y convierte al agua en un medio inhóspito para la vida de los peces.



Sopa química en la que viven los peces

En un sistema típico de recirculación, diariamente debe recambiarse una pequeña cantidad de agua, por nueva agua que ingresa al sistema, procediendo así al control de los nitratos (que se descartan) y reemplazando el agua que se pierde por evaporación y lavado de los filtros. Las opciones para ello son numerosas y se ejercen por medio de procesos de naturaleza física, química y biológica, como los que se indican en la Tabla 1.

FISICOS	QUIMICOS	BIOLOGICOS
Sedimentación	Aireación	Nitrificación
Filtración por arena	Inyección de oxígeno puro	Desnitrificación
Centrifugación	Control de alcalinidad y dureza del agua. Control del pH	
Control de temperatura	Adsorción de carbono	
Esterilización por UV	Ozonización	
Por medio de pantallas	Osmosis inversa	
	Degasificación	
	Intercambio de iones	

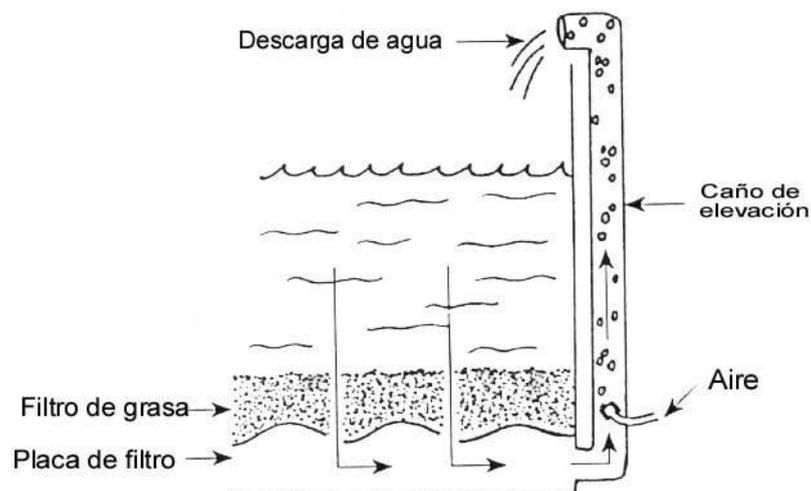
Tabla 1: procesos utilizados en sistemas de recirculación.

Muchos de estos procesos han sido verificados individualmente y combinados en forma experimental en el pasado, pero no resultan económicamente viables para la fase comercial. Los principales procesos utilizados en los tratamientos a efectuar en este tipo de sistema, son los siguientes:

- Utilización de filtros (cribas o tamices mecánicos);
- Sedimentación;
- Filtración media granular;
- Filtración biológica;
- Aireación y
- Desinfección.

Cuando se hace mención a la “clarificación primaria”, el término se refiere a la remoción de sólidos, que puede cumplirse mediante uno o varios procesos (colocación de filtros, sedimentación o filtración granular media). Es importante retirar los sólidos suspendidos, antes de proceder al filtrado biológico, que actúa como “corazón” del sistema. Los filtros biológicos se emplean para controlar la concentración del nitrógeno (por ejemplo, amoníaco y nitratos). Por su lado, la “clarificación secundaria” que sigue al filtrado biológico, es utilizada para eliminar la “borra” biológica que suele taponar frecuentemente los filtros y es un residuo del filtrado medio que no debe quedar en suspensión en el agua. La “segunda clarificación” incluye la sedimentación, pero también puede incluir la colocación de filtros adecuados. Finalmente, la aireación se utiliza para mantener la vida básica del sistema. El sistema total es manejado por medio de bombeo de agua.

Fig.1 sistema esquemático de recirculación



El agua en un sistema recirculante, completa el circuito varias veces al día. Dependiendo de la intensidad del cultivo, el filtrado puede abarcar desde 2 a 4 veces

/hora. Como mínimo, el agua deberá recibir un tratamiento completo, 1 a 2 veces/hora. El recambio parcial de agua diario, se necesita para el control de los nitratos, el retiro de los contaminantes restantes y la reposición de los minerales y elementos traza necesarios para la vida de los peces. En la Figura 1, se indica una tasa de reciclado del 90% diario, con un recambio del 10% de agua nueva que entra al circuito. Esto hace que el 90% del agua sea reacondicionada para su reutilización en el sistema y el 10% sea reemplazado por nueva agua. De esta forma, el volumen total del sistema se reemplaza cada 10 días.

### **Los sólidos como desechos:**

Todos los desechos (excepto los gases), contribuyen a la formación de residuos sólidos. Dichos sólidos están compuestos por material orgánico e inorgánico. Su remoción es sumamente importante, pues pueden bloquear las cañerías del sistema, las bombas y el equipo de filtrado. Por otra parte, estos desechos son los que se decomponen y consumen el oxígeno del agua, produciendo amoníaco y ejerciendo además, una actividad oxidativa sobre los filtros biológicos. Se estima que un 70% del amoníaco de los desechos de los peces está asociado con los sólidos orgánicos. Los desechos de los peces son diferentes en sus características a los desechos domésticos y a los industriales, y también difieren según la especie de pez que se esté cultivando (no es lo mismo desechos provenientes de los bagres que los de la tilapia, por ejemplo). Según su fisiología, la producción de heces en las distintas especies es diferente y contienen material digerido y no digerido, acompañado de una cantidad de mucus de diferente constitución que variará también, según la especie.

La materia fecal es más densa que el agua y se deposita en los fondos, pero las pequeñas partículas a menudo flotan. Muchos de los tratamientos utilizados en estos sistemas son similares a los comúnmente empleados para el tratamiento de los desechos domésticos. Sin embargo, al ser los desechos de los peces diferentes en sus características a los desechos domésticos, los tratamientos de estos últimos están limitados para su uso directo en acuicultura y requieren modificaciones. Por lo tanto, se necesitará que el diseñador del sistema de recirculación, conozca las características de los sólidos producidos por los peces.

Los sólidos provenientes de los desechos de los cultivos, se clasifican en forma similar a los desechos orgánicos derivados de otras industrias; según 3 criterios: a) tamaño y estado; b) características químicas y c) distribución de tallas. Los materiales sólidos y semisólidos de los desechos son clasificados también por tamaño y estado. Según el tamaño de las partículas, estas se clasifican en: a) sedimentables, b) suspendidas, c) disueltas y coloidales. Los sólidos se retiran por métodos físicos, ya señalados en la Tabla 1.

La diferencia entre los sólidos sedimentables y los suspendidos solamente se refiere a un hecho práctico. Los sedimentables se clasifican como los que tienen partículas de un diámetro de  $10^{-2}$  mm y más grandes. Los sólidos suspendidos no sedimentan en una hora y por lo tanto no pueden ser retirados por métodos convencionales de gravedad. Las partículas coloidales poseen diámetros entre  $10^{-3}$  y  $10^{-6}$  mm, que incluyen a las finas partículas de arcilla, algunos virus y bacterias no especificadas. Las partículas disueltas poseen diámetros menores de  $10^{-6}$  mm y consisten en iones orgánicos e inorgánicos y

moléculas que se encuentran presentes en la solución. Se incluyen en ellas metales como el cobre, hierro, aluminio o zinc; así como iones de amoníaco, nitritos y nitratos. Las partículas disueltas y las coloidales son demasiado pequeñas para sedimentar por gravedad y normalmente requieren métodos más avanzados para su remoción.

**Los filtros o cribas mecánicas:** la colocación de filtros es el método más simple y más viejo que se utiliza en el tratamiento de los desechos del agua. A menudo se utilizan en pre-tratamientos, antes de efectuar el tratamiento primario. Los filtros se colocan transversalmente a la trayectoria del flujo de desechos y atrapan un gran rango de macro y micro sólidos. Para tratar el efluente en bruto, proveniente de la unidad de cultivo, se colocan filtros rústicos. Otro uso de los filtros es que su empleo permite atrapar los flocs biológicos que se desprenden del biofiltro. Los filtros finos (microfiltros) son utilizados como tratamiento avanzado o terciario, ya que los sólidos en bruto los colmatarían rápidamente debido a sus pequeños orificios.

Los filtros se pueden construir en una variedad de materiales, incluyendo carbón, acero, acero inoxidable, etc. Su costo aumenta según se disminuya el tamaño de la malla y si su limpieza es manual o automática, siendo de carácter estacionario o rotatorio. Su forma más simple es la estática a través del flujo de agua que pasa junto con los desechos. Pueden limpiarse manualmente, retirándolos y lavándolos a mano o con cepillos adecuados. Al pasar el flujo de desechos a través del filtro, los sólidos quedarán atrapados en la superficie y el agua limpia pasa a través de ellos. Los filtros estáticos poseen mallas con aberturas desde 0,25 a 1,5 mm de diámetro. Tienen una eficiencia de remoción de sólidos de entre 5 al 25%. Los rotatorios disminuyen las tareas de limpieza y su uso dependerá de los costos de producción y de la preferencia del acuicultor. Una serie de ellos se fabrican comúnmente para su uso en acuicultura de peces ornamentales.

La sedimentación se utiliza cuando no existen filtros en los sistemas de recirculación y se trata de un simple tratamiento primario. Es el proceso por el cual el material suspendido y el sedimentable se separan del agua por gravedad. Se debe considerar el área, el tiempo de detención y la tasa del flujo. Su eficiencia estará determinada por las características de los desechos que transporta el agua, la variación del flujo y en general, por los procedimientos de mantenimiento. Se emplean una serie de ecuaciones para la determinación de la velocidad de las partículas (según su densidad, densidad del agua, diámetro de las partículas, etc.). Para mejorar la sedimentación de las partículas más finas, pueden utilizarse químicos que se agregan para la obtención de la coagulación (las partículas se agrupan en flocs que al ser más densos que el agua, sedimentan en forma similar a las partículas discretas). Comúnmente, se emplea para sedimentación, sulfato de aluminio, cloruros o sulfatos férricos y ferrosos, etc. Finalmente, los desechos así tratados se descargan en el tanque de sedimentación. Para separación de las partículas, se utilizan también los “hidroclones o ciclones”, estructuras donde las partículas sedimentan bajo la influencia de fuerzas rotacionales, similares a la acción de las centrífugas. Estas estructuras (al igual que las centrífugas) son más costosas y tienen una aplicación limitada en el tratamiento de los desechos originados en la acuicultura.

Los filtros de “media granular o de arena” se utilizan para remoción de los sólidos antes de su filtración biológica. Muchos de estos filtros tienen aplicación en acuicultura. Su funcionamiento dependerá del tipo, procedimiento operativo, características de los

desechos y características del medio. Las diferencias físicas entre las arenas pueden ser críticas y por lo tanto, cada una de ellas deben ser conocidas y son importantes en el funcionamiento del filtro. Otros factores críticos que deben contemplarse durante su diseño, abarcan el conocimiento del período de tiempo antes de su colmatación, la facilidad de vuelta hacia atrás de los desechos y la presión requerida para su correcta operación.

Los filtros de arena se clasifican en una variedad de formas, según el número, los tamaños de la arena o tipos de ellos. Se clasifican también según sean lentos o rápidos, o que actúen bajo presión o abiertos. Los filtros lentos pueden ser construidos por el acuicultor, observando los modelos existentes en la bibliografía. Los filtros de arena empleados en las piletas de natación, se emplean con limitado éxito en el tratamiento de los desechos de la acuicultura, ya que se colmatan rápidamente. Los filtros rápidos de arena, consisten en general, en unidades cerradas que operan bajo presión o vacío. Existe un gran número de diferentes estilos y tamaños disponibles en el comercio para un cierto número de aplicaciones. Una ventaja de estos filtros es que requieren menos espacio para su montaje comparados con los de arena. En operaciones acuícolas se emplean mayormente los filtros de este tipo, que funcionan a presión. Otros tipos de filtros son aquellos preparados con “tierra de diatomeas” (utilizan los esqueletos silíceos de las algas diatomáceas) que filtran partículas de hasta micrones y son empleados cuando se requiere un alto grado de claridad en el agua. Se emplean como alternativa de los filtros a cartucho.

**Filtración química:** existen solamente tres métodos de filtración química que es posible utilizar en sistemas de recirculación comercial para acuicultura. Estos abarcan los de carbono activado, intercambio de iones y los skimmers. El proceso de ósmosis inversa se emplea en acuarismo para peces ornamentales de alto valor, pero no es empleado en acuicultura de peces para consumo, por consistir en un proceso altamente costoso.

**Filtros de carbón activado:** el carbono activado es preparado primariamente en base a material de carbón a partir de hulla; cáscaras de nuez de pecán; cocotero o también del nogal; madera o huesos de animales por calentamiento del material en ausencia de aire hasta cerca de 900 °C. Este material, una vez carbonizado, es luego activado por exposición a un gas oxidante a alta temperatura. El gas crea una estructura altamente porosa en el carbón y una gran superficie interna. El área de la superficie de adsorción ha sido estimada hasta en 1.000.000 de m<sup>2</sup>/kg de material. Esta materia se utiliza en la remoción de los orgánicos volátiles, el color, el olor y la turbidez de los desechos transportados por el agua.

Los filtros de carbón activado tienen una función mucho más eficiente a bajas cargas orgánicas. Mantienen una capacidad de adsorción determinada, y cuando la misma ha sido alcanzada, se comporta como un simple filtro de arena. Se emplean junto a los biofiltros para la remoción de materiales orgánicos no-biodegradables y remueven además ciertos elementos traza. Luego de su activación, el material de carbono puede prepararse en diferentes tamaños con diferente capacidad de adsorción (partículas sumamente finas y partículas más gruesas). El que presenta partículas de diámetro mayor a 0,1 mm es el más usado en acuicultura industrial. Una vez exhausto, el carbono deja de adsorber los contaminantes y puede activarse nuevamente por medio de calor a

altas temperaturas, para oxidar el material orgánico. Como esta metodología no es totalmente conocida por el acuicultor, es conveniente reemplazarlo por uno nuevo cuando su capacidad de adsorción se ha cumplido.

**Fraccionamiento de espuma:** en general, los filtros de carbón activado no se emplean para alta producción de peces debido a su costo. Los fraccionadores de espuma permiten remover los sólidos suspendidos (< 30 micrones de tamaño) y la materia disuelta (proteínas). Funcionan bajo un proceso que remueve el carbono orgánico disuelto y las partículas de carbono por adsorción de ellas sobre una superficie de burbujas de aire ascendentes en una columna de contacto cerrada. El aire burbujea a través del agua, produciendo una espuma que atrapa los sólidos y los orgánicos, siendo la espuma fácilmente descartada del sistema al tope del mismo. También se conoce a estos fraccionadores como “skimming de proteínas” o “espumador de proteínas”. El beneficio aportado por el fraccionamiento de la espuma, es la reducción del taponamiento de las cañerías, filtros, bombas, por remoción de las proteínas y los compuestos de alto peso molecular. Además, aumentan la claridad del agua a través de la remoción de sustancias húmicas, la aireación y también estabilizan el pH a través de la remoción de los ácidos orgánicos. Se emplean varias herramientas disponibles para sistemas pequeños de producción de aire.

Spotte (1970) diseñó un artefacto que utiliza el método directo de corriente (Fig.2), donde el aire es inyectado desde un compresor a través de un difusor (2). El aire asciende por la columna (1) mezclándose con el agua. El oxígeno del aire produce la oxigenación y parte de la coagulación de las partículas de materia orgánica disuelta. La cámara de separación incluye la porción seca de la parte superior (3). El material coagulado es enviado hacia arriba en forma de una espuma superficial sobre la superficie del agua de la cámara. Cuando se ha acumulado una cantidad suficiente, la espuma es forzada a través del tubo conectado dentro de otro recipiente completamente seco (5). Dicho recipiente se retira y limpia periódicamente. El exceso de agua retorna al sistema desde el fondo de la cámara de separación a través de la línea de retorno (4).

El funcionamiento de estos skimmers dependerá de la química del líquido y del material orgánico, la tensión superficial, temperatura, viscosidad, pH, salinidad, tamaño de burbujas, tasa del aire líquido y el tiempo de contacto. Con excepción del tamaño de las burbujas (las burbujas pequeñas tienen mayor área superficial), el resto de los factores pueden ser controlados por el acuicultor. La temperatura y el pH deben controlarse en mayor medida para ajustarlos a la fisiología de los peces bajo cultivo.

El diseño del skimmer con propósitos de acuicultura, es considerado más un arte que una ciencia, en gran parte debido a la complejidad del proceso químico acompañante. En el diseño, los parámetros más importantes a contemplar, deben ser: a) la tasa de aire al agua, b) el diámetro de las burbujas de aire, c) el alto de la columna y su diámetro, d) el alto de la espuma y el tiempo de contacto del aire con el agua. Una pequeña variación en uno de estos parámetros puede significar diferencias para la eficiencia del skimmer.

## TRATAMIENTOS CON METODOS BIOLOGICOS

### Los filtros biológicos:

El proceso utiliza el tratamiento del agua en sistemas de recirculación a través de un “film fijo” de filtración. Las bacterias quedan fijas en la superficie del medio del biofiltro en dicho film fijo. En este sitio, las bacterias trabajan sobre los desechos disueltos, el oxígeno y otros requerimientos en nutrientes a partir del agua que va pasando. Coffin et al. (1992) describieron y proyectaron seis filtros de film-fijo con proceso de biofiltrado, de los cuales el filtro a “esferas o bolillas” resultó ser el más eficiente. La filtración biológica fue definida por Spotte (1979) como la mineralización, nitrificación y desnitrificación de los compuestos orgánicos nitrogenados, por bacterias suspendidas en el agua y fijadas a sustratos en el “lecho del filtro”. En cuanto a eficiencia en respuesta, las bacterias heterotróficas y autótrofas son las mejores, mostrando una alta capacidad en la transformación del amoníaco en compuestos de menor toxicidad como son los nitritos y nitratos. Las bacterias heterótrofas utilizan los compuestos orgánicos excretados por las especies bajo cultivo como fuente de energía y los convierten en simples compuestos, principalmente amoníaco. Este proceso es denominado de mineralización.

Una vez que los compuestos han sido mineralizados, el filtro biológico prosigue con la nitrificación. La nitrificación es el proceso de oxidación biológica del amoníaco hasta nitrito y de nitrito a nitrato, efectuado por las bacterias autotróficas. Estas bacterias requieren de un medio rico en oxígeno y de carbono inorgánico en forma de bicarbonato como fuente de carbono. Las *Nitrosomonas* sp. y *Nitrobacter* sp., son las principales bacterias nitrificadoras en los sistemas de cultivo. Las *Nitrosomonas* oxidan el nitrito a nitrato. La desnitrificación es el tercer y último estado de la filtración biológica. En este proceso, el nitrito o el nitrato es convertido por bacterias anaeróbicas facultativas a nitroso y nitrógeno libre. Esta última etapa se emplea solamente cuando se cultivan especies muy sensibles al nitrato.

La recirculación parcial del agua presenta varias ventajas, como por ejemplo, la reducción del consumo de agua externa por unidad de biomasa almacenada, reduciendo el costo de calentamiento o enfriamiento y reduciendo también el impacto sobre el medio ambiente.

Las principales diferencias entre los biofiltros y los diluyentes, es la cantidad de agua nueva introducida al sistema en cada ciclo y/o la cantidad de amoníaco producida por el sistema en el caso de un gran almacenamiento de biomasa de peces tratándose de grandes producciones, donde es preferible emplear biofiltros; mientras que en el caso de pequeñas biombras (por ejemplo, un cultivo larval de 35 días), es preferible emplear el agua como diluyente del amoníaco, dado que iniciar la operación con un biofiltro la retarda y nunca funciona apropiadamente.

El filtro biológico dentro de un sistema de recirculación es el componente más complejo, ya que por extensión puede considerarse como un organismo “viviente”. Por tal razón, requiere de variables físicas y químicas estables, de un permanente

abastecimiento de alimento (desechos) y un adecuado nivel de oxígeno. La recirculación del agua sin embargo, tiende a acumular desechos de los metabolitos y bacterias hasta un punto donde pueden volverse fácilmente dañinas. La recirculación entonces, deberá ser “recondicionada” por una constante remoción de los desechos metabólicos y de las bacterias del sistema.

Los procesos y las reacciones químicas implicadas producen energía, que es usada por ambas clases de bacterias (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*) para el crecimiento de nuevas células bacterianas. Este crecimiento es lento sin embargo, y el tiempo de generación es de 10 a 12 horas. Las bacterias necesitan una considerable cantidad de sustrato para abastecer sus necesidades energéticas y ello es importante para el buen funcionamiento del biofiltro.

Los biofiltros pueden taponarse y producir pequeños volúmenes de sedimento fangoso. Como la nitrificación es un proceso con formación de ácido, el agua en los sistemas cerrados debe ser equilibrada para evitar la disminución del pH, ya que un medio ácido afectaría a los peces. El amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), es el sustrato limitante para las *Nitrosomonas*, mientras que el nitrito ( $\text{NO}_2$ ) lo es para las *Nitrobacter*.

La tasa de crecimiento de *Nitrobacter* es mucho mayor que la de *Nitrosomonas*, por lo cual estas últimas deben ser primariamente instaladas en los biofiltros, durante varios días (en general este proceso lleva 10 días). El tiempo de instalación y el de saturación, dependerá de las temperaturas del agua y existen al respecto, tablas en la bibliografía, para un adecuado cálculo. Si la operación ha sido exitosa en cuanto a la instalación de las bacterias y el funcionamiento del filtro, el amoníaco y los otros metabolitos tóxicos serán eliminados activamente del sistema.

### **Tipos de biofiltros:**

Existen varios tipos de estos biofiltros en el comercio, entre los cuales se mencionan los sumergidos, los biodiscos rotatorios, etc. Hace más de 20 años, los biofiltros sumergidos se consideraban como los mejores. Sin embargo, en los últimos años, otros tipos como los biológicos rotatorios y los filtros de lecho, han demostrado ser más efectivos para la remoción del amoníaco. Existen numerosos factores que pueden afectar el buen funcionamiento de un biofiltro y estos pueden ser tanto de origen físico, como químico y biológico. Los factores químicos se relacionan al pH del medio, la alcalinidad del agua, la concentración de amoníaco y nitritos, el oxígeno existente, los sólidos suspendidos, la salinidad, la tasa de difusión de los gases; mientras que los factores físicos abarcan la temperatura, la profundidad de ubicación del filtro, la sección transversal de éste, el material de confección, la luz, etc. Finalmente, los factores biológicos también influyen. Por ejemplo, la cantidad en peso de las células bacterianas existentes, la formación de un lecho de bacterias para el inicio del funcionamiento del biofiltro, etc.

**El lecho del filtro:** es importante que estos filtros posean un área superficial suficiente para la fijación de las bacterias. Esta superficie (lecho) puede ser provista de conchillas o grava, trozos de roca, partículas de detritus u otros materiales ofrecidos como sustratos. Las bacterias se encuentran también, aunque en grado menor, suspendidas en el agua. La superficie del área es importante para el asentamiento de la población de

bacterias. Por ejemplo, las gravas pequeñas ofrecen mayor superficie que las grandes por unidad de volumen. Sin embargo, si la gravilla es demasiado pequeña, la circulación del agua a través del lecho del filtro será defectuosa. La grava que mide entre 2 y 5 mm es la más correcta en cuanto a tamaño; mientras que la grava angulosa es preferible a la grava redonda y suave.

Normalmente, los biofiltros necesitan varias semanas para iniciar su funcionamiento en forma completa, denominándose a este lapso, como “etapa de aclimatación”. Como las bacterias heterótrofas convertirán los compuestos orgánicos en amoníaco, la concentración de este producto continuará aumentando en el sistema hasta que haya suficiente población de bacterias *Nitrosomonas* establecidas para iniciar la oxidación del amoníaco. Esto requiere en general entre 10 a 14 días. A medida que el amoníaco es convertido en nitrito, las *Nitrobacter* se desarrollan y comienzan a convertir el nitrito en nitrato. La concentración de nitratos continúa aumentando, hasta que son retirados del sistema por medio del recambio diario de agua.

El proceso total de conversión de amoníaco a nitrato, requiere normalmente entre 30 a 100 días. Existen métodos para acelerar el proceso de aclimatación o maduración del biofiltro. Por ejemplo, existe disponibilidad en el comercio de inóculos de bacterias vivas que pueden ser agregadas al filtro, acortando el tiempo natural necesario para el establecimiento de las bacterias. Existen también tablas sobre el tema en la bibliografía, que ilustran acerca del óptimo pH para el crecimiento de las células bacterianas, así como tablas referidas a las temperaturas óptimas para su crecimiento.

**Materiales de fabricación:** Los materiales para la fabricación de los filtros deben ser sólidos y no tóxicos. Existen docenas de materiales que incluyen: arena, roca, grava, conchilla de ostras y almejas, plástico, cerámica y una variedad de formas. Su selección dependerá del costo, disponibilidad, peso, superficie de área deseada y sistema de sedimentación. La determinación del volumen del agua con desechos que pasa a través del filtro por unidad de sección, es importante en cualquier tipo de filtro. El plástico y la cerámica no tienen capacidad de equilibrar el pH del medio, pero tienen una vida útil indefinida. En cambio, el carbonato de las rocas, conchillas de ostras o almejas y del coral, proveen capacidad de equilibrar el pH. Esta capacidad disminuye en las rocas a medida que se instalan las cepas de bacterias en la superficie expuesta.

La luz del día, es un factor que inhibe la nitrificación a intensidades tan bajas como 1%, por lo cual los biofiltros funcionan mejor en total oscuridad, aunque esto no sea siempre práctico. El diseño de los filtros puede desarrollarse apoyándose en bibliografía especializada, como la de Wheaton y otros, 1991; Losardo, 1991 y otros autores más recientes.

**Temperatura y oxígeno:** El mantenimiento de una apropiada temperatura, es extremadamente importante para el funcionamiento del sistema. La misma dependerá de la especie mantenida en cultivo y de su ciclo de vida. También, deberán considerarse los requerimientos en temperatura de los microorganismos del filtro biológico. Los invernaderos sirven también en los casos necesarios donde se necesitan mantener temperaturas altas en los sistemas, sin recurrir al calentamiento del agua que es más costoso. El oxígeno es esencial para la producción de todas las especies acuáticas. La aireación es el medio más efectivo para aumentar su concentración en el agua. La

aireación agrega oxígeno del aire al agua y aumenta la “capacidad de carga” del sistema.

### **Otras consideraciones:**

**Ozono, UV y uso de químicos en tratamientos:** el ozono, es un elemento utilizado para reducir el número de microorganismos y disminuir el nivel de orgánicos disueltos en el agua circulante; mientras que la radiación ultravioleta (UV) es empleada para reducción de la incidencia de enfermedades. Burrows & Combs (1968), redujeron sensiblemente la incidencia de enfermedades en el cultivo del salmón, luego de la utilización de radiación UV en el agua. Finalmente, es necesario contemplar que ciertos compuestos químicos utilizados algunas veces en tratamientos o en combate de enfermedades de las especies cultivadas, como el sulfato de cobre y ciertos bactericidas, tienen efectos negativos sobre los biofiltros a bacterias, por lo que si los peces están enfermos es mejor retirarlos y tratarlos aparte.

### **Bibliografía a consultar:**

- Burrows & Combs, 1968. Controlled environments for salmon propagation. *Progr.Fish-Cult.*, 30: 123-136
- Konikkof, M. 1975. Toxicity of nitrite to channel catfish. *Progr.Fish-cult.*, 37 (2): 96-98.
- Luchetti & Gray, 1988. Water reuse systems: a review of principal components. *Progr.Fish-Cult.*, 50 (1): 1-6.
- Spotte S. 1970. Fish and invertebrate culture. Water management in closed systems. N.York, London, Sidney, Toronto; Willey-Interscience. 145 pp.
- Avault, J. 1996. Fundamentals of Aquaculture. AVA Publ.Company, Baton Rouge. Louisiana. Estados Unidos.
- Aquanoticias, 2000. Diseño para la producción de salmón y trucha (sistemas cerrados de recirculación).
- Timmons,M.;Ebeling,J.;Wheaton,F.;Summerfelt, S.y Vinci,B. 2002. Sistemas de recirculación para la acuicultura. Edición en español de la Fundación Chile, Santiago, Chile, 748 pp.
- Segovia, Manuel ,2002. Cultivo de tilapia en sistemas cerrados en Estados Unidos.Panorama Acuícola, México.
- Fitzimmons,K.1993. Cultivo de tilapia en sistemas de recirculación. *Aquac.Mag.*,29 (2).
- Lawson, T. 1995. Fundamentals of Aquacultural Engineering, Tomo 1. Chapman & Hill, ITP, Thomson Publ.Company, 191 pp.