

SISTEMAS DE RECIRCULACION EN ACUICULTURA - I

Introducción

Los sistemas INTENSIVOS en acuicultura son ampliamente conocidos y consisten principalmente en el cultivo de peces con utilización de un alto flujo abierto de agua cuyo objeto abarca dos propósitos: a) proporcionar oxígeno a los peces, elemento indispensable para su vida y bienestar y b) retirar los productos de desechos del metabolismo de los animales, para que no se acumulen en el propio cultivo, ni en sus alrededores. Estos sistemas pueden utilizar cerramientos como tanques, ciertos raceways, silos y todos aquellos sistemas donde el agua sea reutilizada.

Los cultivos en “raceways” (estanques alargados y estrechos construidos generalmente en cemento) fueron y siguen siendo empleados en muchos países (incluido Argentina) para la producción de truchas, constituyendo sistemas abiertos. El volumen de agua requerido para trabajar en sistema intensivo es muy elevado, con recambios de agua de aproximadamente tres veces por hora para el mantenimiento de la calidad de agua, con producciones cercanas a los 10-15 kg/m³. En muchos países, el acceso al agua de abastecimiento para este tipo de cultivo, ha sido regulado actualmente, por lo que muchos inversores han decidido apostar a los cultivos de recirculación, o sea con re-utilización del agua; cambiándose aproximadamente, solo un 10% diario de la misma. Este recambio sirve a los efectos de suplir la evaporación, lavado y purgado de los desechos sólidos.

Para un mayor detalle del manejo de estos sistemas y el agua, se puede consultar a los siguientes autores: Spotte (1979) y Luchetti & Gray (1988) que cubrieron este tema en general. Lai & Klontz (1980) por su parte, evaluaron los factores medio ambientales y nutricionales que influyen la respuesta de los biofiltros empleados. Margraves (1992) estudió y discutió las estrategias del manejo de los cultivos de “tilapia” en cultivos recirculantes y también sobre biofiltros especialmente, a Avault (1996). Las principales consideraciones sobre el manejo abarcan: a) el control del amoníaco total del nitrógeno (TAN), los nitritos, la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), los sólidos suspendidos totales (TSS) y la temperatura del agua (°C), además del anhídrido carbónico (CO₂).

El empleo de estas prácticas objetivan además, la disminución de impactos ambientales, por minimización de los residuos provenientes de los cultivos y muy especialmente, la conservación del agua, elemento por demás cuidado en el actual siglo. La re-utilización del agua en sistemas de recirculación, permite producir un mayor cantidad de peces, ubicación del sistema en territorio de clima no apto para determinadas especies en cultivo y también poseer el sistema en cercanías del mercado de comercialización; factores que favorecen la acuicultura.

El éxito de todo cultivo que produzca organismos acuáticos va a depender del entendimiento del acuicultor acerca de los sistemas de producción empleados, sean estos de tipo extensivo, semi-intensivo o intensivo; pero evidentemente, a medida que se avanza desde el más simple hacia el más complejo (intensivo) las tecnologías son más sofisticadas y deben ser bien comprendidas antes de iniciarse en el cultivo.

Los sistemas semiintensivos e intensivos en acuicultura, deben ser muy bien regulados en cuanto al mantenimiento de la calidad de agua del sistema, de tal forma que los organismos mantengan su bienestar en cautiverio, dado que los productos finales obtenidos deben poseer alta calidad y además no deben ocasionar pérdidas al productor que hagan fracasar su negocio; ya que la acuicultura es un negocio y como tal debe obtenerse rentabilidad.

Calidad del agua de cultivo: se deberá proporcionar a los peces en cautiverio, un ambiente óptimo para su crecimiento, de forma tal que éste sea rápido, a un costo mínimo, tanto en recursos como en capital. Los sistemas intensivos de recirculación tienen la gran ventaja de poder controlar el ambiente y todos los parámetros de calidad del agua fácilmente (temperatura, oxígeno, pH, anhídrido carbónico, amoníaco, nitritos, nitratos, alcalinidad, etc.); obteniéndose así, un óptimo crecimiento de los animales y una prevención en sanidad. Estos “parámetros” o “variables” de calidad de agua no actúan independientemente, sino que están interrelacionados, de tal forma que el manejo del sistema puede resultar complejo. *Por ello es importante entender las interrelaciones existentes entre los parámetros o variables en la calidad de agua, para lo cual se debe efectuar con continuidad el monitoreo de los mismos.* Si los parámetros de calidad de agua no son conocidos a través de su regular monitoreo, el conocimiento no será suficiente acerca de su acción sobre los peces y no se podrá regular el sistema para que los valores de las variables sean los permitidos y no excedan los correctos para cada especie en cultivo. Si no existe una regulación del sistema, se producirá estrés en los animales, pudiendo dar como resultado un bajo crecimiento (producción no rentable); mientras que si las condiciones negativas continúan en el tiempo, se alcanzará la muerte con la pérdida total de la producción.

Los factores biológicos (que son propios de la especie a cultivar), junto a los factores físicos y químicos del agua, se interrelacionan en una serie de complejas reacciones físico-bio-químicas que influyen sobre todos los aspectos del cultivo y actúan sobre la tasa de crecimiento de los peces y la sobrevivencia de los mismos. Por lo tanto, es imprescindible que el acuicultor conozca en forma básica la química y física del agua del cultivo, para obtener éxito en este sistema de producción.

Cantidad de agua: el requerimiento correspondiente a la cantidad de agua de abastecimiento para la producción proyectada, es uno de los items más importantes cuando se está definiendo adónde instalar el sistema de cultivo (cualquier clase que sea). La cantidad de agua a utilizar dependerá de diferentes factores, como son: la especie a cultivar, la densidad a utilizar en producción, las prácticas de manejo acuícola, la tecnología de producción a emplear y el grado de riesgo que el productor esté dispuesto a aceptar. Por lo tanto, la cantidad de agua a emplear deberá ser calculada con precisión, aún cuando el sistema utilice la tecnología de recirculación y en este último caso, se deberá pensar en un alto recambio del volumen total del sistema, en forma diaria (aunque después, pueda bajarse según la especie a cultivar, ya que no es lo mismo cultivar una trucha arco iris, de aguas frías, que una tilapia de aguas cálidas, por ejemplo, debido a su diferente fisiología y diferentes requerimientos).

En un sistema de recirculación, la cantidad de agua nueva a agregar, dependerá directamente del grado de reutilización de la misma. Existen varias razones para volver a utilizar el agua nuevamente y entre ellas se mencionan la disminución en cuanto a su

demanda y el volumen reducido de los efluentes (aguas de desecho) a tratar. Esta es una de las ventajas de los sistemas de recirculación, especialmente cuando se necesita producir peces fuera de su área de distribución climática.

En orden de importancia, el factor más relevante, que limita el cultivo de peces, se refiere a la concentración de oxígeno disponible en el agua para los animales. En menor grado y a continuación, los factores más importantes a considerar son los niveles de amoníaco y de anhídrido carbónico disuelto; estando estos dos últimos parámetros interrelacionados (debido a la acción del anhídrido carbónico sobre los niveles del pH y la relación del pH con la toxicidad del amoníaco). Al respecto, como cada especie posee límites diferentes de seguridad frente a una exposición prolongada de estas variables, los sistemas a emplear deberán mantener los niveles necesarios de oxígeno disuelto en el agua y asegurar asimismo que las cantidades de anhídrido carbónico y los valores de pH se mantengan por debajo de los límites máximos, según la especie bajo cultivo.

El agua de abastecimiento deberá ser de excelente calidad a la entrada al sistema (previamente determinada por análisis) y con suficiente caudal como para futuras ampliaciones del cultivo (en este sentido, el agua subterránea de profundidad sin contaminación, es la que presenta mejores condiciones iniciales, siempre que su abastecimiento sea cierto en cuanto a términos de volumen y continuidad). Por otra parte, la ventaja principal de esta agua (además de su calidad), está representada por el hecho de que su temperatura se mantiene constante a lo largo del año (en general 18°C en clima cálido y templado) a su salida. La calidad de este agua será diferente de acuerdo a la geología del terreno y podrá tratarse de aguas más o menos “duras” (según su contenido en calcio) y que contienen abundante anhídrido carbónico. Las pruebas sobre sus contenidos en minerales y sales (hierro y otros elementos químicos), deberán obtenerse de los análisis previos (el exceso de hierro o sales por ejemplo, es dañino para los peces). La mayor desventaja del agua subterránea es que carece de oxígeno, pero el mismo puede agregarse al bombearse hacia la superficie y al ingresar a los cerramientos utilizados.

PARAMETROS DE CALIDAD DE AGUA

Oxígeno: es la variable química considerada crítica en el cultivo de peces y por lo tanto la más importante y sus concentraciones requieren de un monitoreo continuo en acuicultura en varios tipos de sistemas. El oxígeno disuelto (OD) en el agua se encuentra relacionado íntimamente a la temperatura (según la ley de gases) de tal forma que a mayor temperatura, este gas será menor y a menor temperatura, su concentración será mayor. La presión barométrica y la altura también influyen directamente sobre su concentración. En general, los peces de aguas cálidas se alimentan y crecen mejor y más rápidamente, mostrándose más sanos cuando las concentraciones de oxígeno superan los 5 mg/litro. *Sin embargo, concentraciones mayores no aumentan estos parámetros.* En el caso de los peces de aguas frías, es a la inversa, necesitando mayor cantidad de oxígeno, entre 7-9 mg/litro, para mejorar sus condiciones de vida.

Temperatura: la temperatura del agua es la siguiente variable en importancia en los cultivos y determina la viabilidad económica de los mismos. Esta variable física del agua influye en forma directa sobre todos los procesos fisiológicos (respiración,

alimentación, aprovechamiento del alimento, crecimiento, reproducción y comportamiento). En forma tradicional, los organismos acuáticos se agrupan (según su cultivo) en organismos de aguas frías, templadas y cálidas. Los peces de aguas frías, por ejemplo, tendrán necesidad de temperaturas dentro del óptimo de los 15-17° C; mientras que aquellos de aguas cálidas, necesitarán temperaturas por encima de los 20° C y óptimas entre 24 y hasta 30° C, según la especie que se trate. La tolerancia de las diferentes especies de organismos hacia este factor dependerá además del tamaño, edad, etc. Es importante considerar que los organismos acuáticos de cultivo, *no regulan su temperatura corporal* (vulgarmente conocidos como animales de “sangre fría”), lo que significa que la temperatura de su cuerpo es similar a la del medio. Cada especie tiene un rango óptimo de temperatura que maximizará su crecimiento y rentabilidad, con un límite inferior y superior, por debajo y por encima del cual no vivirán. Por ejemplo, la tasa de crecimiento de una especie, aumentará a medida que aumente la temperatura hasta que se alcance su óptima. A temperaturas más altas que las óptimas, la conversión de alimento en los peces será más baja. Los aumentos por encima de la temperatura óptima pueden llegar a ser fatales, o bien pueden estresar a los peces, disminuyendo su buen funcionamiento metabólico y su respuesta en crecimiento. Por todas estas razones, la temperatura en un sistema cerrado de cultivo, deberá mantenerse lo más cercana posible al óptimo de la especie.

Amoníaco/nitrito/nitrato: se trata de elementos químicos derivados del Nitrógeno. Todos ellos deberán presentarse en condiciones aceptables en cuanto a sus concentraciones dentro de un sistema de acuicultura. El nitrógeno es uno de los elementos químicos más importantes para la vida de los seres acuáticos. Este elemento forma parte de las proteínas, los ácidos nucleicos, los pigmentos y otros compuestos. Las necesidades fisiológicas de los peces son satisfechas en pequeñísimas cantidades y los excedentes son convertidos en desechos nitrogenados que es forzoso retirar del sistema debido a su alta toxicidad. Los peces en particular, producen y excretan varios desechos por difusión (a través de las branquias) y también por la orina y las heces. En los sistemas cerrados de recirculación de agua, es muy importante descomponer todos estos elementos, debido a su toxicidad hacia los animales; en especial si se trata del amoníaco y los nitritos, y en menor escala de los nitratos. Todos estos compuestos son altamente solubles en el agua de cultivo y el amoníaco se presenta bajo dos formas: ionizado y no-ionizado. La concentración del amoníaco estará en función del pH del medio, de la salinidad y de la temperatura. El amoníaco total (TAN) es la suma de los productos mencionados anteriormente. Como el amoníaco es el más tóxico de estos compuestos, la concentración de la forma no-ionizada del mismo, es la principal a determinar. Existen al respecto, tablas apropiadas para conocer las concentraciones del amoníaco en función de las diferentes temperaturas y del pH del agua. A bajas concentraciones, este elemento es tóxico para los peces y varía según la especie cultivada (puede variar desde 0,08 mg/litro para peces como los Salmónidos hasta 2,2 mg/litro para las carpas). En general los peces de aguas cálidas soportan mayores concentraciones con respecto a los de agua fría y los de agua dulce son más tolerantes que los de agua salada.

El **nitrito** responde a una fase intermedia del proceso químico denominado de “nitrificación”, que abarca desde la descomposición del amoníaco hasta alcanzar la forma de nitrato. El ozono y las bacterias nitrificantes de un biofiltro equilibrado por ejemplo, transforman rápidamente el nitrito en nitrato, pero es importante tener en

cuenta que este producto se produce en forma continua dentro del cultivo, por lo que se considera imprescindible su continuo monitoreo y es importante, además, corregirlo cuando excede los límites aceptables de la especie bajo cultivo. Este parámetro químico, afecta el transporte de oxígeno por la hemoglobina de la sangre (produciendo la enfermedad denominada de la “sangre color café”). Esta enfermedad fue detectada en el “bagre del canal” en Estados Unidos. Konikoff (1975) trabajó con este bagre y esta variable química fue bien estudiada por este autor en el “bagre del canal”, en Estados Unidos; comprobando que los animales envenenados mueren presentando la boca abierta, aletas pectorales y dorsales erectas y cuerpo relajado, mientras que su sangre es muy característica, de un color marrón chocolate fuerte, que persiste aún después de varias horas de su muerte.

El **nitrito** es el producto final de la “nitrificación” y el menos tóxico de los productos nitrogenados. En recirculación se controla por medio del intercambio diario de agua en el sistema, eliminándolo.

pH: este valor, expresa la concentración de iones hidrógeno en el agua y es la expresión de las características ácidas o básicas que esta presenta. Su escala varía entre 0 y 14, siendo el punto 7, el denominado “neutro”. Por debajo de 7, los valores serán ácidos y por encima de dicho valor, básicos. En su gran mayoría, el pH de las aguas se equilibra por medio de un sistema de carbonato-bicarbonato y abarca valores que van desde 5,0 hasta 9,0, existiendo sin embargo, algunas excepciones. Para la mayor parte de los animales acuáticos, el valor óptimo de pH en referencia a su crecimiento y salud, se sitúa en el rango de 6,5 a 9,0. La exposición a un pH extremo puede ser estresante o letal. El pH controla una gran variedad de reacciones de equilibrio (por ejemplo, las reacciones de amoníaco y nitritos e influye también en la toxicidad de metales como el cobre, cadmio, zinc y aluminio)

Alcalinidad/dureza: para los productores no avezados en química del agua, la “alcalinidad” es una medida de la capacidad de neutralización del pH o de la capacidad de neutralizar la acidez del agua (aguas más alcalinas mantendrán el pH alrededor del neutro de la escala). A esta alcalinidad contribuyen los iones carbonato y bicarbonato (CO_3 y HCO_3). En términos prácticos, la alcalinidad del agua dulce fluctúa entre 5 mg/litro en aguas blandas hasta más de 500 mg/litro en aguas duras y estará determinada por la geología donde esté insertado o atraviese el acuífero que se utilice. Su concentración se determina por métodos químicos en laboratorio y estará ligada directamente al pH del sistema y a la concentración de anhídrido carbónico existente. La “dureza” del agua natural abarca un rango que, en general, es de menos de 5 hasta más de 10.000 mg/litro. Las aguas se clasifican en moderadamente duras (75-100 mg/l), duras (150-300 mg/l) y muy duras (más de 300 mg/L). La recomendación para su empleo en cultivos es aquella que abarca entre 20 y 300 mg/l.

Salinidad: se define químicamente como la concentración total de iones disueltos en el agua y se expresa en general en partes por mil de gramos de sal por kilo de agua. Cada una de las especies acuáticas poseen rangos óptimos de salinidades para su reproducción y crecimiento, aunque la tolerancia es bastante amplia en la mayoría de las especies acuáticas. Por ejemplo, los salmones se cultivan en agua dulce y deben trasladarse al agua de mar (por su fisiología) al llegar al tamaño de “smolt”; mientras las truchas se cultivan inicialmente en agua dulce y luego pueden trasladarse para el engorde

(aclimatándolas) al agua de mar, con salinidades de hasta 32 ppm. La mayoría de los especies de agua dulce se reproducen y crecen bien a salinidades de entre 4 y 5 ppm. Los peces mantienen su concentración de sales disueltas internas mediante un proceso denominado de “osmoregulación” por el cual, cuando están expuestos a concentraciones mayores que sus rangos óptimos, deben gastar una considerable energía para ello a expensas de otras funciones, como el crecimiento, por ejemplo.

Anhídrido carbónico y el ciclo del carbonato: el anhídrido carbónico es un gas muy soluble en agua, aunque su concentración pura sea baja. La mayor parte de su producción en un sistema acuícola, proviene de la respiración de los propios animales en cultivo y de la descomposición de la materia orgánica que existe en el sistema. Su medida se efectúa químicamente en laboratorio. La exposición a altas concentraciones de este elemento, disminuye la tolerancia a concentraciones bajas de oxígeno disuelto y niveles altos en el agua reducen su excreción por las branquias. Su concentración en sangre produce una enfermedad respiratoria. El límite superior recomendado para cultivos, es de 15-20 mg/litro, ya que concentraciones más altas producen un efecto narcótico en los peces (60-80 mg/l) que puede ser utilizado como anestésico temporal, para reducir el estrés de manejo o en la aplicación de tratamientos.

Sólidos sedimentables, suspendidos y disueltos: el alimento no ingerido, las partículas finas de alimento, las heces de los organismos bajo cultivo, las algas o películas bacterianas desprendidas de los biofiltros, se acumulan en cualquier sistema de acuicultura, constituyendo los desechos sólidos. En un sistema de recirculación, estos desechos pueden influir sobre todos los demás procesos del sistema, constituyendo una fuente importante de empleo o demanda de oxígeno e incorporación de nutrientes al agua y pueden afectar la salud de los peces actuando sobre su sistema branquial y aumentando su exposición a los patógenos. Para una operación normal de cultivo de peces, el límite de sólidos totales admitidos, suele ser de 10 mg/litro, alcanzando un límite superior de 25 mg/l. Por ello, la remoción de los sólidos totales (sedimentables, suspendidos y disueltos) es crítico para los sistemas de recirculación. Los más difíciles de extraer son los sólidos disueltos y los finos.

MONITOREOS: existen equipos sensibles que pueden ser utilizados en las mediciones de oxígeno disuelto (denominados oxímetros) que hoy en día se encuentran disponibles en el mercado. La mayoría de los medidores de oxígeno y pH, disponen además de registros de temperatura (los digitales suelen ser útiles y registran las tres variables mencionadas). En el caso de la temperatura, existen los termómetros tradicionales que también permiten un registro fácil y diario de esta variable. Los medidores de pH son conocidos como peachímetros y están disponibles también en el mercado. El resto de los parámetros no necesitan ser diariamente controlados y pueden serlo en forma semanal o periódica y por medio de kits de medición.