

Limnología aplicada a la acuicultura - limnology applied to the aquaculture)

Duván Andrés Arboleda Obregón.

Investigador en acuicultura. Neiva, Colombia

Contacto por e_mail: duvanandres@gmail.com

Resumen

La limnología es la ciencia que estudia las aguas dulces, esta ciencia es muy importante aplicarla en la acuicultura porque nos permite conocer los parámetros y rangos de calidad deseados en un cultivo y manejarlo de acuerdo a nuestras necesidades, también nos permite el tratamiento adecuado de las aguas, el conocimiento de los organismos que interactúan allí, así permitiendo incrementar la rentabilidad del sector.

Abstract

The limnology is the science studies the freshwater, this science is very important apply in the aquaculture because permit us to know the parameters and ranks desired of quality in a culture and manage in agreement to our need, also permit us the adequate treatment of the freshwater, the knowledge of organism interact there, thus permitting increase the rent from the sector.

1. ECOLOGIA ACUATICA BASICA

1.1 La limnología como ciencia

La limnología es el estudio de las aguas dulces, tanto como sus componentes como su interacción con los organismos, la limnología viene del griego Limne, la musa de la agua, es importante la limnología ya que nos permite conocer los componentes de la agua y darles usos para explotación tales como los procesos industriales, acuicultura, y demás.

1.2 La agua

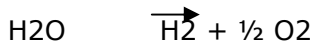
La agua es un compuesto inorgánico elemental para procesos fisiológicos además que constituye más del 70% de nuestro peso corporal, la agua es un constituyente muy grande en nuestro planeta ya que sólo 1/3 en el planeta es tierra y 2/3 es agua; la agua tiene ciertas propiedades que nos sirven de mucho en acuicultura tales como: la temperatura, pH, OD (Oxígeno disuelto), Dureza, Alcalinidad, Salinidad, etc.

La agua posee un calor específico de una 1 caloría por cada gramo que aumenta la temperatura, tiene una densidad que disminuye por encima o por debajo de 4°C, es decir la máxima densidad de la agua se presenta a 4°C donde posee una densidad de 1gr/cm³ Por eso el hielo flota porque es más frío que la agua y entonces estaría muy alejado de 4°C entonces estará con menos densidad de la agua si la agua estuviese a 4°C (Como en el caso del Ártico que es puro hielo no continente como la Antártida). Además, la agua posee viscosidad y tensión superficial producida por la adhesión y cohesión de las moléculas de agua (H y OH). La agua actúa como H y OH, puede interactuar con otras sustancias proceso en el cual se le

conocería como proceso de hidratación, un caso muy importante en acuicultura sería el de la interacción con el CO₂ así:



En la fotosíntesis la agua es hidrolizada por medio de la energía lumínica así:



La agua es un buen disolvente, en acuicultura nos interesaría como disuelve el NaCl, como sabemos por nuestras bases de química elemental el Na es positivo y el Cl es negativo, lo cual buscarían su opuesto en la molécula de la agua, entonces el Na buscaría unirse con el OH y el Cl con el H aunque por lo general la electronegatividad entre Na y Cl es mayor que la del Na con el OH o del Cl con el H.

La agua la podemos obtener de diversas fuentes como aguas superficiales (quebradas, ríos, lagos, lagunas, arroyos), aguas de la atmósfera (agua de lluvia), agua subterráneas, y aguas residuales. Las calidades de ellas dependen de los componentes que posean, las primeras son muy usadas en acuicultura y su restricción depende de su calidad, las segundas podrían ser una alternativa en ciclos para aprovechar épocas de reproducción, pero estas aguas pueden tener componentes indeseables en el caso de ciudades industrializadas donde se generan las famosas lluvias ácidas que pueden bajar los pH de las aguas o destruir las tierras, las terceras son aguas que pueden provenir de afloramientos subterráneos o de procesos de destilación e infiltración de las aguas de lluvia por lo cual no podrían ser convenientes para acuicultura además que puede contener muchos minerales y pobreza en OD (Oxígeno disuelto). Y las aguas residuales pueden ser una gran alternativa en países donde la agua es limitada pero antes de ser usadas debe haber tenido un previo tratamiento, hay investigaciones donde prueban que el rendimiento en estas aguas tratadas es bueno pero no tanto como en el de las aguas superficiales.

1.3 Ecosistemas acuáticos

La agua forma ecosistemas es decir interacciones entre la agua y organismos, alrededor del 97% de la agua total está en los océanos y un 3% está en los continentes (aguas continentales), la agua total de los océanos tiene más de 1300 millones de Kilómetros cúbicos, la agua continental está formada por hielo (en los océanos recuerden que la agua que se congela es baja en sales o sea agua dulce), agua líquida o superficial, agua subterránea y agua en estado gaseoso, la agua del hielo tiene más de 25 millones kilómetros cúbicos, la líquida 1.38 kilómetros cúbicos, la subterránea se estima en 11 kilómetros cúbicos y la gaseosa en 0.1 kilómetros cúbicos, la agua líquida la podemos encontrar en lagos, en el suelo, en humedales, en ríos, y hasta en los organismos, en los lagos hay 1.01 Km³, en el suelo hay 0.18Km³, en humedales hay 0.12Km³, en ríos 0.02Km³ y en organismos 0.05Km³.

Los ecosistemas acuáticos podemos clasificarlos en ecosistemas marinos y en ecosistemas continentales, los ecosistemas continentales (sobre los continentes) no sólo comprende la agua dulce sino estuarios (zonas de aguas salobres) si empleamos el término de ecosistemas límnicos estamos hablando sólo de aguas dulces. Los ecosistemas marinos tienen ciertas zonas, como las zonas de arrecifes, la zona abisal (fondo del mar), zona pelágica (mar abierto), las plataformas (zonas de transición), zonas de afloramientos o erupciones

volcánicas. Los Ecosistemas continentales son compuestos por ecosistemas lénticos y lóuticos, los primeros son aguas quietas como embalses, lagos, lagunas, estuarios y los segundos se refieren a aguas en movimiento como ríos, quebradas, humedales, los ríos son cauces amplios con caudales muy grandes, las quebradas son flujos de agua con caudales menores a 1m^3 , y los humedales son cuerpos de aguas pequeños. Los ríos constan de 3 partes, en su nacimiento en zonas altas son llamados Crenon donde el caudal es generalmente bajo, luego se le van uniendo más quebradas y el río va descendiendo, la zona media llamada Rithron donde hay mas acumulación de materia orgánica y su caudal es mayor y en la zona baja es denominada Potamon donde el caudal es mayor.

1.1 Seres vivos asociados al agua

Dependiendo del ecosistema podemos encontrar diferentes seres vivos, los seres vivos tienen diferentes valencias ecológicas, la valencia ecológica es la capacidad de resistir variaciones de un factor específico, se clasifica en Esteno o Eury, si por ejemplo hablamos de un organismo Estenothermo nos referimos a un organismo que soporta rangos estrechos de temperatura, por decir, la Cachama (*Piaractus brachyomus*) (Pisces:Serrasalmodae) soporta rangos de 22 de 31°C en cambio la Carpa común (*Cyprinus carpio*) (Pisces:Cyprinidae) es Eurythermo soporta amplios rangos de temperatura por eso puede ser cultivada en aguas frías (alrededor 12°C), aguas templadas (alrededor 20°C) y aguas cálidas (27°C), también podemos hablar de otros términos de Estenohalino y Euryhalino para hacer referencia a los rangos soportados de salinidad y podemos hablar de más factores.

Los organismos tienen sistemas para adaptarse a su ecosistema, no es lo mismo de hablar de organismos asociados al agua dulce que al agua salada, y hablando de agua dulce no será lo mismo los seres adaptados a ecosistemas lénticos que a ecosistemas lóuticos, hay un proceso muy interesante que es la Osmorregulación que tiene que ver con el proceso que hacen los organismos para controlar sus fluidos e iones corporales con respecto a los del medio acuático, podemos hablar de la concentración de sales, para el caso de los peces, el pez de agua dulce posee en sus células la vacuola contráctil que permite vaciar la agua que gana y así no hincharse y reventar por lo que el pez como Osmorregulación casi no ingiere agua y además tiene su vacuola. (recordemos que las aguas dulces son hipotónicas), en cambio, el pez marino es capaz de regular los niveles de sales que gana, gana tantas sales que por consiguiente pierde mucha agua entonces necesita tomar mucha agua para compensar la pérdida (recordemos que la agua del mar es hipertónica), si pusiéramos un pez de agua dulce en agua marina éste votaría mucha mucosa (lo cual nos serviría para tratamiento de parásitos ya que la mucosa es parte del sistema inmune) se deshidrataría por la ganancia de sales (útil para el ataque contra parásitos por que también se deshidratarían) y moriría, por otro lado si el pez marino estuviera en agua dulce empezaría a ganar agua hinchándose (e hinchando a sus patógenos) hasta reventar por excesos de líquidos.

Los peces de agua dulce vivientes en aguas lóíticas tienen garras para adherirse a las piedras en el caso de insectos tales como trichopteras y plecopteras, y si miramos en el modo de reproducción la mayoría para en el caso de los peces se reproducen en aguas arriba (subienda) o aguas abajo (bajanza) lo cual son llamados migratorios y si tenemos un cultivo en estanques o en jaulas le hemos roto al pez este ciclo y por eso no se reproduce en cautiverio, en cambio los peces de aguas lénticas se pueden reproducir en cautiverio sólo si le simulamos las condiciones medio ambientales para que se reproduzcan.

También podemos clasificar a los organismos según el nicho ecológico que ocupan, es decir, si viven en el fondo, o sobre la superficie, entonces los organismos que viven en la superficie son llamados Neuston tales como hemípteros, Arácnidos, aves acuáticas como los patos, llamamos Necton a los que viven en la agua como los peces, los renacuajos, los reptiles acuáticos, nutrias, a una serie de organismos que viven arriba son llamados plankton (plancton) que significa flotantes, los organismos planctónicos son clasificados en phytoplanktónicos y zooplanktónicos, los primeros son restos de algas formados por cianofíceas (cianophytas) que significan plantas azul verdosas y son formados por las famosas bacterias azul verdosas, las clorofíceas (Clorophytas) llamadas algas verdosas (Cloro: verde), las bacillarofíceas (diatomeas) que son amarillas claras con una cápsula formada por Sílice tales como la Navícula, la fragilaria, etc., las Euglenofíceas que son células flageladas tales como la Euglena, el Volvox, el Phacus, etc.; Y el zooplankton formado por diferentes formas larvarias de insectos, microcrustáceos, algunas larvas de peces, el phytoplankton es consumido por el zooplankton, el phytoplankton produce OD (Oxígeno disuelto) en el día como parte de su actividad Photosynthética (fotosintética) y en la noche lo consumen, el phytoplankton es un indicador de aguas meso o eutroficadas (eutroficada: ricas en materia orgánica, mesotroficadas: aguas con materia orgánica, oligotroficadas: aguas pobre en materia orgánica) y por lo general en un cultivo de peces no tiene interés el plankton. Llamamos Benthos (Bentos) a los organismos que viven en el fondo tales como bacterias, hongos, algunos insectos, algunos crustáceos, llamamos Peryphyton (Perifiton) (Peri: alrededor, Phyton: plantas) a la lama, que son restos vegetales que se forman alrededor de las piedras y que poseen una capa viscosa formada por carbohidratos que les permite fijarse a las rocas, madera o sustrato fijo, también se ha usado el término phytoperyphyton donde se refiere a la lama y zooperyphyton a algunos insectos que se acercan adhieren a sustratos fijos y se alimentan de lama. Y por último llamamos detritus a los restos de materia orgánica y a los animales que se alimentan de ella los conocemos como detritívoros.

2. PARAMETROS FISICOQUÍMICOS EN UN ECOSISTEMA ACUATICO

2.1 Luz, Calor, Temperatura

La luz es vital para los organismos, en especial para los que hacen photosynthesis ya que por medio de ésta producen OD (Oxígeno disuelto) y Glucosa, pero la luz es absorbida por la agua hasta cierta profundidad y más allá es oscuro conocido como zona aphótica (afótica) (a: sin, photo: luz), la agua pura absorbe 90% de la luz total en el primer metro ahora imagínense si fuese una agua muy turbia, la zona con mayor luminosidad es conocida como euphótica (eufótica) (muy iluminada), allí vive el plankton. La transparencia de la agua puede ser medida por un instrumento llamado el disco Sechi (fig. 1), con eso podemos saber que tan turbia está la agua pero hay que diferenciar la turbidez, no es lo mismo la turbidez formada por el plankton que por las partículas inorgánicas como la arcilla. La turbidez de la arcilla afecta la phytoplankton porque impide la entrada de los rayos de sol.

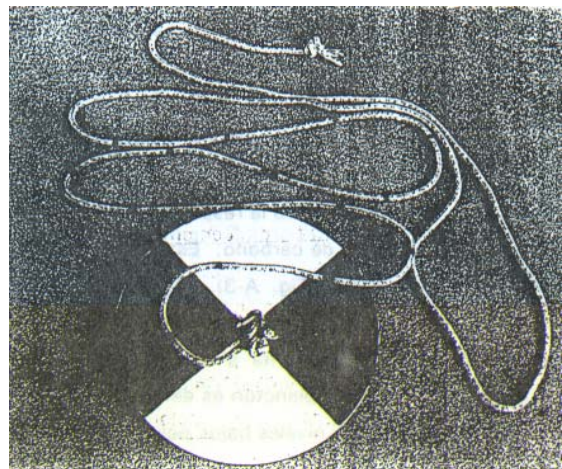


Fig 1. Disco Sechi
Fuente: Boyd C., sin fecha

Al principio habíamos hablado del calor de la agua, cuando el calor entra a la agua hace que ésta se dilate pero cuando se libera ella se contrae, ahora vamos a hablar de la importancia de la temperatura, la temperatura es la que marca la diferencia entre organismos, habiendo así organismos que sólo se encuentran en ciertos climas, así los organismos tienen un cierto rango de temperatura para un crecimiento óptimo y por eso es importante conocer la biología del organismo para determinar sus rendimientos, la temperatura puede variar mucho en un ecosistema lago, en el epilimnio (capa superior del lago) (epi: por encima, limnio: agua) habrá mayor temperatura debido a la cercanía de los rayos del sol y en el hipolimnio (fondo del lago) (hipo: debajo) habrá menos temperatura, los lagos de menos de 2 metros de profundidad no tienen marcada la diferencia de temperatura entre su hipolimnio y su epilimnio pero cuando hablo de lagos con mucha profundidad hay una gran variación de temperatura, y en la noche notándose más esa diferencia, sin embargo, un estanque para acuicultura con 3 metros de profundidad sería interesante para un acuicultor porque este estanque serviría como reservorio pero algunos aprovechan lo máximo posible de los cuerpos de agua y usan estos estanques para el cultivo de peces, la agua en la noche quedaría tan fría que podría ser mortal o afectar el rendimiento del cultivo, y si hablamos de peces cultivados en el fondo de estos estanques, el efecto de la temperatura sobre ellos sería muy duro.

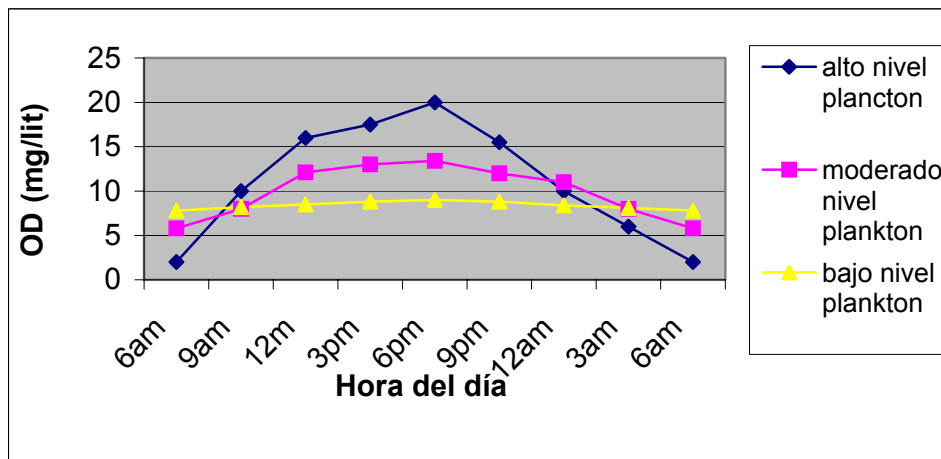
La temperatura es muy importante, es un parámetro que debemos medir a diario, ya que ésta nos determina el rendimiento del cultivo, el incremento de la temperatura acelera el metabolismo, así el tiempo de duración de la comida en el tracto digestivo será menor como lo dice (Rodríguez, 1996), eso significaría que el pez o el camarón que estamos cultivando no le sacaría mucho provecho al alimento porque este alimento no está durando lo necesario en el tracto digestivo, además que una mayor temperatura implica que el pez necesita comer más, y si come más representa un costo mayor, con un incremento de la temperatura el pez libera más heces (materia fecal) lo que ocasiona que la agua se eutrofique (se enriquezca de materia orgánica) y por consiguiente se le da el medio propicio a parásitos y también implica que hay que hacer recambios del volumen de agua y eso también significa incremento de costos; el pez o camarón tiene unos rangos de temperatura si nos sobrepasamos de esos rangos, lo primero en ser afectado es el crecimiento del cultivo, luego la presencia de patógenos y luego una masiva mortalidad, si el cultivo es sometido a agua fría va a dejar de crecer, además que su metabolismo disminuye, en especies de aguas frías como la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) necesita aguas muy frías y entre más fría mejor claro que dentro de su rango óptimo, si tenemos un estanque con entrada permanente de agua le estamos aplicando agua fría y ya saben que eso altera el metabolismo por lo que sería mejor tener el chorro de agua en la noche, otra cosa que hay que mirar del efecto de la temperatura es la disponibilidad de oxígeno, ya que a mayor temperatura menor oxígeno, por eso las aguas frías tienen más oxígeno, y las aguas cálidas tienen menos OD (Oxígeno disuelto) y las especies de aguas cálidas no son tan exigentes de este compuesto.

2.2 Oxígeno disuelto (OD)

Ya mencioné arriba la proporcionalidad entre OD y temperatura, pero falta aclarar la importancia de este gas, ya que es imprescindible en la producción en los estanques, buenos niveles de OD hacen que se pueda incrementar la densidad de siembra en los estanques, pero obviamente hasta cierto punto, los estanques con phytoplankton tienen mayores niveles de OD comparado con los que no tienen phytoplankton ni contra los que usan aireadores. Pero altas densidades de phytoplankton hacen que en un ciclo de 24 horas haya bastante variación en la concentración de OD que se traduce en un estrés bien alto en los peces, pero niveles

bajos de phytoplankton no ocasionan esa variación y el OD permanece más o menos constante. En la figura 2 se muestra un ejemplo claro.

Fig 2. Concentraciones de OD en un ciclo de 24 horas en estanques con diferentes niveles de phytoplankton



Modificado de Boyd, sin fecha.

2.3 Potencial de Hidrógeno pH

Este parámetro indica los niveles de iones de hidrógeno, está dado en unos valores que tienen un rango que van desde el 0 hasta el 14, entre más cerca de 0 más ácida es la agua y entre más cerca de 14 más básica, pero también existe la neutralidad con un valor de 7, por lo general necesitamos que nuestro estanque tenga un pH cerca a 7, pero rangos de 6.5 a 9 son buenos dependiendo de la especie, por lo que antes de cultivar debemos averiguar todo lo que podamos de la especie a cultivar. Valores de pH fuera del rango indicado hacen que el pez deje de comer o coma menos, se le bajen las defensas, y valores más lejanos del rango óptimo pueden provocar mortalidades masivas. El pH de la agua del estanque depende del pH del río y del suelo del estanque.

Suelos ácidos provocarían una baja del pH en la agua, para corregir estos valores de pH tan bajos habría que encalar antes de llenar los estanques, una capa de cal sobre los estanque con algo de agua para activar la cal, elevaría el pH de la agua o también encalando reservorios o estanque situados antes de los reservorios en el caso de que los ríos sean ácidos, encalar un reservorio puede ser una práctica bien trabajosa por las dimensiones tan grande del reservorio y los niveles de cal a gastar, pero si hay un estanque situados antes del reservorio de bajo volumen, este estanque puede servir para corregir el pH porque toda la agua que llega a la piscícola sería tratada.

La cantidad de cal a usar depende del pH de la agua y también del tipo de cal a usar, según De Nogales y Santos, 1994 dan la siguiente tabla de suministro de cal dependiendo del pH del suelo.

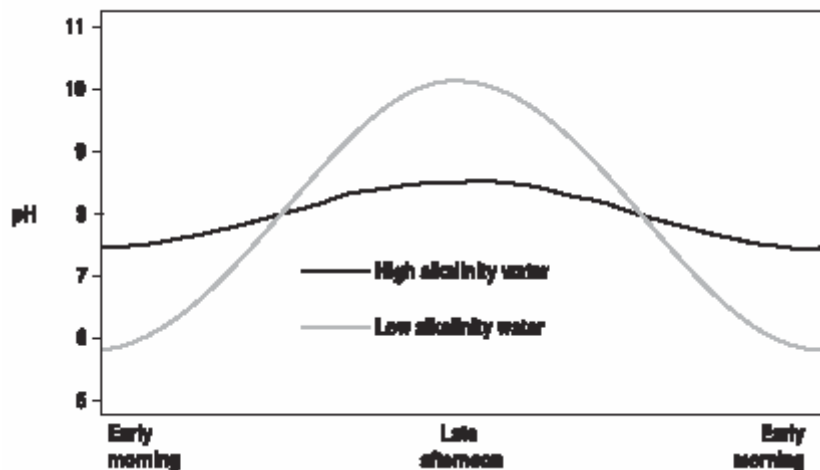
pH del suelo	Tipo de suelo	Dosis de cal Kg/ha
4,0-5,0	Acidez elevada	2000
5,0-6,0	Acidez moderada	1200
6,0-6,5	Ligeramente ácido	1000
6,5-7,5	Neutro	400

Esta tabla puede ser de guía pero no especifica el tipo de cal, ya que hay muchos, que no voy a entrar en tema en este momento pero sí mas adelante en el último capítulo.

2.4 Alcalinidad y dureza

La alcalinidad es otro parámetro a medir, este se refiere al valor de todas las bases presentes en la agua, las principales son el carbonato y el bicarbonato, estas sustancias son muy importantes ya que actúan como buffer haciendo que la variación del pH en todo el día sea lo menor posible, por lo general, la agua debe contener alcalinidad mayor 20 ppm; aguas con baja alcalinidad poseen una variación brusca del pH que ocasiona estrés en los peces, una medida buena para subir el pH de los peces sería encalar los estanques. La figura 3 muestra la variación del pH en un día en una piscina con baja alcalinidad y otra con alta alcalinidad.

Fig 3. Variación del pH en un ciclo de 24h en 2 estanques de diferente alcalinidad



FUENTE: Wurts and Masser, 2004.

La dureza se refiere en cambio a la medida de iones de metales o de elementos divalentes presentes en la agua, los principales son el calcio y el magnesio ya que son los que se encuentran en mayor proporción, estos iones pueden estar asociados a los carbonatos, los valores recomendados para la dureza son los mismos que para la alcalinidad.

Las aguas marinas o salobres no tienen problemas de alcalinidad y dureza.

2.5 Salinidad

La salinidad se refiere a los niveles de sales presentes en la agua, la salinidad se mide con el salinómetro, aunque un conductímetro puede medir indirectamente la salinidad, pero el conductímetro mide los sólidos totales y eso incluye a la salinidad. La salinidad se expresa en ppt (Partes por mil) es decir, gramos por litro, las aguas dulces pueden tener normalmente 0.5ppt, las aguas salobres desde 15 ppt, y las marinas pueden tener 37 ppt, aunque estos

datos son variables. La salinidad disminuye las concentraciones de OD, a mayor salinidad menor OD, entonces las aguas marinas más cálidas son las que menos OD tienen. Hay especies que resisten grandes variaciones de salinidad, como los peces de la familia Salmonidae, eso incluye a salmones y truchas, también algunas tilapias son Euryhalinas como *Oreochromis mossambicus* y algunas tilapia roja.

2.6 El Carbono, Nitrógeno y Fósforo en la agua

El carbono puede ingresar por difusión de la atmósfera al agua, también por encalaje de la misma, por procesos de fotosynthesis, procesos de descomposición de la materia orgánica, y por los procesos de respiración de los organismos acuáticos, los peces liberan el CO₂ que al interactuar con la agua forma ácido carbónico, el proceso de reacción es así:



El ácido carbónico provoca una baja del pH en la agua pero también pueden suceder otras reacciones con el ácido carbónico



El Carbonato producido actúa con otros elementos en la agua y ahí se forma principalmente carbonatos de calcio o de Magnesio (CaCO₃, MgCO₃ respectivamente).

El fósforo es otro elemento que interactúa en la agua, su principal importancia radica en que es un elemento fundamental para el phytoplankton, su fuente principal es la materia orgánica como los abonos y fertilizantes inorgánicos, en los fertilizantes inorgánicos podemos encontrar el fósforo en la forma de fosfato tricálcico Ca₃(PO₄)₂, los excrementos son muy ricos en fósforo, por ejemplo, una persona produce anualmente 2 Kg de fósforo en sus excrementos.

Los peces, y otros organismos acuáticos liberan nitrógeno como producto de su excreción, los peces liberan amonio, que puede ser de 2 formas, el amonio no ionizado (NH₃) y el amonio ionizado (NH₄), el primero es tóxico en la agua, a mayor pH mayor es su toxicidad y el pez a mayor pH produce más de este amonio, el amonio total se origina como producto de descomposición de la proteína, recordemos que los aminoácidos en uno de sus enlaces está el amonio, entonces, entre más proteína proporcionemos al pez más amonio se produce, y más se deteriora la calidad de la agua.

El amonio no ionizado (NH₃) es transformado por bacterias Nitrosomonas a Nitritos (NO₂) que también es tóxico para los peces, la Nitrobacter transforma ese Nitrito a Nitrato (NO₃) que no es tóxico para los peces en condiciones naturales, y la bacteria Pseudomonas denitrificans convierte esos Nitratos en N₂ que es gaseoso y se evapora; el N₂ es capaz de entrar en la agua si esta está menos saturada que la atmósfera, o se puede salir de la agua si el proceso es al contrario. Hay muchas fuentes del Nitrógeno en la agua, no sólo el proveniente de los productos de excreción o el difusión atmosférica, sino también por fijación de las cianobacterias (algas verde azules), o por descomposición de la materia orgánica (abonos, cadáveres, partículas orgánicas, restos vegetales).

Cuando vemos un bulto de fertilizante inorgánico este lleva en su etiqueta 30-20-2 significa que tiene 30% de Carbono, 20% de Fósforo, y 2% de Nitrógeno. Algunos fertilizantes pueden contener además azufre.

3. ECOSISTEMAS ACUATICOS

3.1 Ecosistemas lénticos

3.1.1 Origen y tipos

A los ecosistemas lénticos lo componen los lagos, embalses, lagunas, y humedales. Lógicamente, los estanques usados en piscicultura son ecosistemas lénticos, los ecosistemas lénticos pueden tener origen naturales como artificiales (construidos por el hombre), si son de origen natural, pueden haberse formado por inundaciones de alguna gran cuenca o pequeños ríos y quebradas, también pueden tener orígenes fluviales, si ese fuese el caso, entonces son las lluvias las que los mantienen vivos, también pueden originarse por fallas geológicas como los movimientos de tierra, o de formación glaciár, en las cuales los grandes nevados causan depresiones en laderas montañosas o valles.

Las lagunas y lagos con profundidades mayores a 2 metros tienen diferencias de temperaturas entre su epilimnio y su hipolimnio siendo más caliente el epilimnio, esa variación de temperatura se llama termoclina, así mismo hay también una variación entre el epilimnio y el hipolimnio en luminosidad y su producción de OD ya que el hipolimnio es muy pobre en OD y con gran acumulación de materia orgánica.

3.1.2 Seres vivos asociados

Los Ecosistemas lénticos comprenden las aguas quietas, son aguas que no poseen mucho flujo de agua y están semiquietas, en ella se desarrollan organismos que viven escondidos en la vegetación que se allí se forma, también viven sobre la superficie de la agua o en el fondo, estos tipos de ecosistemas no tienen ningún o muy poco intercambio o renovación de agua, por lo tanto hay mucha acumulación de nutrientes, en este tipo de ecosistemas se desarrolla mucho material vegetal como el phytoplankton, periphyton, macrophytas (macrófitas o plantas vasculares) que son plantas superiores. En estos ecosistemas hay peces que se reproducen, este tipo de peces se pueden reproducir fácil en los estanques sin ningún tipo de estimulación ambiental, tales como: tilapias. Otros peces aprovechan las inundaciones para poner sus huevos sobre plantas o rocas, entonces para reproducir ese tipo de peces tenemos que simularle inundación a los estanques elevando el nivel de agua y colocando plantas tales como la carpa, catfish.

Hay insectos indicadores de aguas estancadas o lénticas como las Odonathas (Libélulas), y dípteros (Mosquitos y moscas). Si el ecosistema tiene caracoles entonces la agua puede ser indicadora de aguas duras o ricas en carbonato de calcio, las plantas también pueden ser indicadoras aguas lénticas como el luto, juncos, buchón de agua, jacintas. Son muchos los organismos asociados a los ecosistemas lénticos que pueden incluir muchas especies de insectos, arácnidos, anélidos, hasta algunos anfibios como las ranas.

3.2 Ecosistemas lóticos

3.2.1 Origen y tipos

Los ecosistemas lóticos son compuestos por ríos y quebradas (arroyos o flujos de agua menores). Sus orígenes son en las zonas altas de las montañas, donde por la humedad de la tierra salen brotes o gotas de agua, estos ecosistemas van descendiendo de las altas montañas hasta llegar al mar, muchos ecosistemas lóticos se unen a otros formando un ecosistema lótico de mayor orden, es lo que se conoce como orden de los ríos, todos los

ecosistemas lóticos nacen como orden 1, 2 ríos de orden 1 al unirse en un mismo punto forman un río mayor de orden 2, dos ríos de orden 2 al unirse al mismo tiempo en un mismo punto forman un río de orden 3, y así se forman las grandes cuencas, a modo de ejemplo, si un río de orden 6 se une con un río de orden 7, así aumenta mucho su caudal el río sigue siendo del orden 7, porque para que se forme el orden 8 se necesita que sean dos ríos de orden 7.

Los ríos tienen la característica de tener flujos de agua, lo que se conoce como caudales (Q), que es simplemente la expresión de cierto volumen de agua en cierto tiempo ($Q = V/t$) o la cantidad de velocidad que lleva el río en cierta área transversal ($Q = Vc * A$).

En los ríos de bastantes caudales no se forma material vegetal por la gran corriente que lleva el río, pero se puede formar algo de periphyton alrededor de las rocas, los ríos crecen con la lluvia, porque la lluvia no sólo aumenta su caudal sino que ablanda la tierra del alrededor haciendo que éste arrastre lodo y enturbiándose. Los ríos van creciendo cada vez más a medida que van descendiendo hacia el mar, en la zona alta del río (Crenon) la respiración puede ser mayor que la cantidad de oxígeno producido, el nivel de materia orgánica acumulada es menor, y el caudal es muy pequeño, en el Rithron o zona media, ya hay más acumulo de materia orgánica y la respiración puede ser igual al oxígeno producido, y en el Potamon o zona baja sucede muchas inundaciones porque el caudal es mayor, hay más materia orgánica, la temperatura de la agua es más cálida, la respiración puede ser menor con respecto al oxígeno producido.

3.2.2 Seres vivos asociados

Podemos encontrar algunos trichoptera, y otros insectos que poseen garras para aferrarse a las rocas, también podemos encontrar microorganismos aunque su número depende del grado de eutrofización de la cuenca, ya que el presente artículo está enfocado a la acuicultura hablemos de los peces, hay peces que desovan en el río sin ningún tipo de migración como sucede con muchos carácidos, como sardinas, tetras, pero algunos viven en las lagunas y migran en época de lluvias hacia los ríos, estos peces son conocidos como migratorios, también hay migratorios que sólo viven en ríos y viajan varios kilómetros a desovar como el bocachico (*Prochilodus magdalenae*), Cachamas (*Piaractus brachypomus*), Bagres, etc., Otros migratorios descienden hasta los mares a desovar como las anguilas y luego suben otra vez a los ríos, a estos se les conoce como catádrocos, y otros peces marinos que suben a aguas dulces conocidos como anádromos como los salmones. Todos los peces migratorios no comen al migrar por lo que viven de sus reservas de grasa (Chaparro, 1994); los peces migratorios no se reproducen en estanques porque no tienen el estímulo ambiental, es difícil simular a un estanque las condiciones del río, y además los huevos de estos peces necesitan estarse moviendo porque en el río los huevos se dejan llevar con la corriente y en un estanque se hundirían y se ahogarían, por eso los peces migratorios deben ser inducidos con hormonas y los huevos llevados a incubadoras.

4. LIMNOLOGIA APLICADA A LA ACUICULTURA

4.1 Efectos sobre el cultivo de los parámetros fisicoquímicos

4.1.1 Rangos óptimos

Temperatura: Dependiendo de la especie de pez así mismo son sus parámetros, hay peces que viven en aguas frías (10°-17° C) como la trucha arco iris, salmones, Capitán de la Sabana (*Eremophilus mutisii*), y otros de aguas cálidas como las tilapias, bagres, Cachamas, entre otros, y la carpa que es *Eurytherma* y puede ser cultivada tanto en aguas frías como en

aguas templadas y cálidas, pero su crecimiento es más rápido en aguas cálidas debido a efectos del metabolismo, además la maduración sexual también es más temprana, son muy relacionados el metabolismo y la temperatura que a mayor temperatura, mayor crecimiento (obvio que dentro de unos rangos no letales), menor conversión alimenticia, menor duración de la comida en el tracto digestivo, más rápido la maduración sexual, mayor consumo de oxígeno, mayor consumo de alimento, etc.

Las especies de aguas cálidas soportan rangos de temperatura de 23 a 31°C; las truchas en cambio deben ser incubadas a 10°C pero levantadas y engordadas a 17°C debido al metabolismo, pero la incubación si debe ser cercana a 10°C debido a que el alevín necesita desarrollarse a esa temperatura y si se incuba a 17°C nace prematura y sin un desarrollo óptimo.

pH: El rango óptimo del pH está de 6.5 a 9, rangos fuera de este son perjudiciales para los peces causando alteraciones el metabolismo del pez, y provocando daños epiteliales, inmunosupresión (daños o debilitamiento en el sistema inmune), pérdida del apetito, entre otros, hay especies que viven en aguas más ácidas como la cachama (pH <6.5), tetras neones, tetras cardenales, yamú (*Brycon siebenthalae*), entre otras especies amazónicas y de la Orinoquía.

Dureza: Las especies de agua dulce requieren aguas blandas no mayores a 80 ppm, y las especies marinas requieren aguas duras, la dureza rara vez es un problema en acuicultura.

OD: El OD está presente en mayor cantidad en las aguas frías que en las cálidas por eso la trucha es más exigente a este compuesto que las especies de aguas cálidas, se dice que la concentración menor para truchas es de 5 ppm, la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) que es una especie de agua cálida no resiste menos 3ppm, a esa concentración ya está boqueando, y la tilapia puede vivir fácilmente a 1 ppm (Popma y Masser, 1999), según Kubitzka, 2000 hay relatos de que la tilapia tolera oxígeno cero (anoxia) hasta 6 horas. Sin embargo, es recomendado que los estanques de piscicultura tengan oxígeno mayor a 3ppm, si el cultivo es intensivo debe usar aireación nocturna. Boyd, 1991 comprobó que los estanques que tenían aireación nocturna producían mayores rendimientos en los peces que aireación constante porque un aireador trabajando todo el tiempo se convierte en un desaireador porque una vez saturada la agua la empieza a desaturar.

Alcalinidad: la alcalinidad debe ser mayor a 20ppm, alcalinidades menores no son recomendadas ya que son aguas ácidas con una variación fuerte del pH en el día provocando estrés en el pez o muerte, si el pez es estresado el rendimiento es afectado, traduciéndose en pérdidas económicas. Si el pH de la agua es ácido es porque el pH del suelo es así porque el suelo le aporta iones hidrógeno al agua, para corregir esto, el estanque es encalado antes de cada cosecha, con el propósito de subir el pH, mejorar la dureza, y hasta mejorar el abonamiento según Wurtz and Masser, 2004.

Salinidad: La salinidad debe ser medida en la fuente hídrica antes de seleccionar el sitio a construir los estanques, normalmente las aguas dulces tienen 0.5ppt, hay peces de aguas dulce que pueden vivir en agua marina y viceversa, como la tilapia mosambica (*Oreochromis mossambica*), o el caso del Salmón del Atlántico (*Salmo salar*) que puede ser cultivado en agua dulce.

Turbiedad: Hay especies que revuelven el fondo provocando turbidez en los estanques y erosión en el suelo tales como la carpa común (*Cyprinus carpio*), pero a la tilapia le afecta la turbidez, en especies como cachama blanca, la turbidez hace que el color se mejore, pero al parecer aguas turbias retrasan la maduración sexual porque la melatonina no recibe las señales lumínicas necesarias para impulsar el proceso hormonal, fuentes hídricas muy turbias debe ser sedimentadas, para eso, se debe construir un reservorio y un estanque de sedimentación, este estanque de sedimentación debe ser capaz de retener la agua alrededor de 5 horas.

4.1.2 Medidas de control

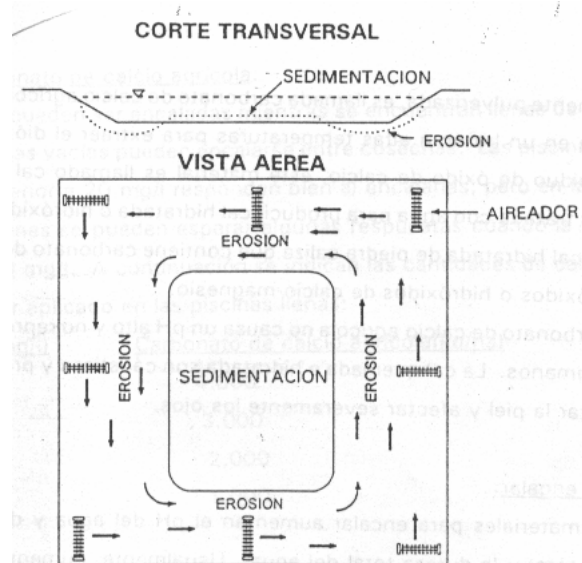
Aguas con pobre OD hay que tratar que el tubo de entrada de la agua caiga fuerte al estanque y produzca burbujas, ya que las burbujas al mover la agua provoca un mayor contacto entre la agua y el aire y así el OD entra más rápido por difusión según Rodríguez and Anzola, 2001 o Aumentar el caudal de entrada para que se provoque choque y haya más burbujas. Si es económicamente posible comprarse aireadores, mucho mejor. Boyd, 1991 dice que el uso de la agua fría para mejorar el oxígeno no es tan eficiente como el uso de aireadores. Bajar la concentración de phytoplankton es una buena medida para evitar bajos niveles de OD en la noche, para bajar la concentración de phytoplankton se hace recambio de agua (Water exchange).

Si el estanque posee el problema de que todo el tiempo permanece con temperatura muy abajo alrededor de 22°C eso hace que el pez tenga un menor metabolismo, y los rendimientos no sea tan buenos, la opción es cerrar la agua de entrada y así se quedará estancada y se calentará hasta los niveles deseados, si la entrada de agua es cerrada hay que vigilar que el OD no se vaya a agotar.

Fuente: el autor citado

Un aireador para los que no saben, es una máquina que causa turbulencia en la agua para mejorar el oxígeno y hay otros que inyectan burbujas directamente al agua, los primeros pueden tener paletas o brazos mecánicos que giran y mueven la agua, los segundos liberan burbujas de agua, entre ellos tenemos a los compresores. Los aireadores funcionan con energía eléctrica y algunos con gasolina o diesel. Boyd C., sin fecha hizo un estudio y comprobó que los aireadores de burbujas son del 25 al 50% más eficientes en agua salobre que en agua dulce, y los aireadores de turbulencia son igual de eficientes en agua dulce o en agua salobre.

Los aireadores son usados para incrementar la cantidad de OD en los estanques o en lagos en el caso de cultivos de jaulas, y su uso no es sólo para mejorar la calidad de vida de los peces sino para incrementar la densidad de siembra, y por ende, mayor producción, los aireadores tienen la desventaja además de su alto costo (pero su alto costo se compensa con mayor



beneficio) la erosión que causa en el suelo, según Boyd C., a continuación el presenta la siguiente gráfica para demostrar la gran erosión y sedimentación que causan los aireadores:

En la gráfica se nota como los aireadores mueven muchos sedimentos y los acumulan en cierta parte, en este caso, en el centro, entonces el uso de aireadores no debe ser indiscriminado.

Hablando de las otras medidas de control para los otros parámetros ya en lo recorrido de este artículo ya se ha dicho.

4.2 Calidades de agua en acuicultura

4.2.1 Tratamiento de afluentes y efluentes

Afluentes se define como la fuente hídrica que llega a la piscícola y a sus estanques, esta debe cumplir con los rangos recomendados, y las efluentes (agua residual que sale de los estanques) deben también cumplir con unas características para que no contaminar el medio ambiente, en el caso de Colombia, el gobierno no cobra por el uso de la agua, y en algunas zonas no se cobra la carga contaminante sobre las efluentes, pero un acuicultor debe ser capaz de tomar las medidas necesarias para no deteriorar el medio ambiente, y hacer una piscícola ambientalmente sostenible, aunque ya hemos visto los parámetros fisicoquímicos con sus rangos aceptables y sus medidas de control vamos a recopilar lo dicho para hablar sobre tratamientos de afluentes antes de hablar sobre el tratamiento a efluentes.

Como tratamiento de afluentes es necesario que nuestra piscícola disponga de reservorio y laguna de sedimentación, el reservorio es un estanque que posee la misma cantidad de área que la suma de las áreas de los estanques de cultivo, es decir, si hay 8000 m² en estanques de cultivo entonces el reservorio debe tener también 8000m², la idea del reservorio es almacenar agua para cuando haya escasez o para ahorrar costos de bombeos, el reservorio debe estar ubicado en la parte más alta y con profundidades mayores a los 2 metros, después del reservorio la agua debe llegar al estanque de sedimentación y allí la agua debe permanecer retenida por lo menos 6 horas, para saber cuanto volumen debe tener nuestra laguna de sedimentación usamos la fórmula $Q \cdot t = V$ (Q: caudal, V: volumen, t: tiempo de sedimentación), entonces multiplicamos el caudal que nos llega a nuestra laguna por 21600 (6 horas de retención) el caudal debe ser dado en m³/seg o lit/seg pero el resultado hay que pasarlo a metros cúbicos, en la laguna de sedimentación podemos preparar la agua, por ejemplo si necesitamos que esta agua llegue más caliente a los estanques de cultivo, o si llegue con mas OD, con más pH, la función principal de la laguna de sedimentación es dejar sedimentado los sólidos disueltos y partículas de turbidez pero también se presta para hacer lo que he dicho como subir la temperatura, subir o bajar el pH, agregar OD, etc.

Para tratar las efluentes es necesario que todas las aguas residuales de acuicultura o de toda la granja lleguen a un estanque de oxidación, la agua debe ser retenida mínimo 6 horas porque según Nunes, 2002 dice que así se remueve 55% del fósforo total y casi el 100% de la DBO, la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), las efluentes hace que se incrementen la DBO, normalmente las efluentes llegan a las fuentes hídricas causando un incremento de la DBO que es el consumo de oxígeno hecho por los organismos y sustancias orgánicas, además las efluentes son muy cargadas en materia orgánica causando un incremento en la temperatura, y creando un medio propicio para pathogenos (patógenos), lo ideal es que una piscícola tenga 3 estanques de oxidación, si el tratamiento de la efluente se va a hacer con bacterias (se conoce como micro remediación) entonces el primer estanque debe tener

bacterias anaeróbicas, el segundo bacterias aeróbicas facultativas y el tercero bacterias aeróbicas, también se puede hacer fitoremediación que es el tratamiento de las efluentes con plantas, para hacer eso consulte a su limnólogo, biotecnólogo o botánico más cercano, hacer alguna de las dos remediación que he recomendado es lo ideal que toda piscícola debería hacer después de la remediación la agua puede volver a ser usada o dejar que llegue a la fuente hídrica, pero mínimo toda piscícola debe contener 1 sólo estanque de oxidación aunque el tratamiento por simple sedimentación no es tan efectivo como el de las 2 remediaciones que he recomendado.

4.2.2 Patógenos asociados al efecto de la calidad de agua

Pathogenos (Patógenos) se definen como los microorganismos capaces de inducir enfermedad en una población, los peces pueden no presentar los síntomas (asintomático) pero el patógeno está allí ubicado, y este tipo de peces se encargan de contagiar a los demás, los patógenos están divididos en parásitos, hongos, virus y bacterias. Todos ellos infectan al pez cuando el medio es propicio para su desarrollo y además los peces presentan debilitamiento o supresión del sistema inmune, entonces atacan, por lo general los patógenos viven en medios eutroficados, los cultivos intensivos provocan el eutrofiamiento de las aguas entonces allí los patógenos se desarrollan, aguas limpias y bien tratadas con todas las debidas precauciones higiénicas y peces bien alimentados jamás desarrollarán enfermedad, las medidas de precaución higiénica en las aguas son:

1. Monitorear las afluentes, eso se hace haciendo estudios microbiológicos de este recurso hídrico, si las afluentes están contaminadas con algún patógeno entonces hay que identificar el patógeno y buscar la droga indicada y tratar el afluente ya sea en el reservorio o en el estanque de sedimentación.
2. Impedir la introducción de otros vertebrados, los estanques deben ser vigilados para impedir la entrada de otros vertebrados que puedan contagiar a los peces, tales como ranas, reptiles, ratones, aves. Se puede cubrir los estanques con mallas antipájaros con ojo de malla de ¼ de pulgada.
3. Desinfección de los instrumentos, eso se hace usando hipoclorito de sodio o azul de metileno, nasas, chinchorros, mallas, baldes, vasijas, balanzas y todo lo que vaya a entrar en contacto con el estanque debe ser desinfectado.
4. Recambios, no hay que acumular mucha materia orgánica, un recambio parcial de agua puede ser muy recomendado para bajar todos los niveles de metabolitos.
5. Prevención, es mejor prevenir que curar, entonces un acuicultor debe hacer todo lo posible para que la agua no sea propicia para los patógenos, diagnosticar a tiempo una enfermedad es lo ideal, si hay mortalidades en su estanque repórtelo con su ictiopatólogo más cercano o en su defecto a un microbiólogo acuícola.

4.2.3 Calidad de aguas en acuarios

En acuariología se manejan aguas claras porque la idea es que los peces se vean, para eso las aguas a trabajar son las aguas potables del acueducto, la agua del acueducto debe ser preparada antes de echarla en el acuario, para eso se usa anticloro que es una sustancia que hace que el cloro se precipite, se usa una gota de anticloro por cada 3 litros de agua, luego se deja la agua estancada alrededor de 3 horas, y si se es necesario se usa azul de metileno para matar los posibles patógenos presentes en la agua, luego la agua se echa al acuario de manera cuidadosa para que el chorro de agua no vaya a molestar a los peces. Es muy importante que antes de echar la agua nueva se haya hecho un recambio al acuario, no recomiendo que sea recambio del 100%, son mejores los recambios del 50% semanal. La metodología está mejor explicada por Arboleda, 2005.

5. MANEJO DE ESTANQUES

5.1 Construcción de estanques

Para la construcción de estanques es necesario que primero buscar un buen terreno, bien arcillosos para evitar la filtración de la agua, luego se hace un estudio topográfico identificando las cotas del terreno con el objetivo de ubicar bien los estanques y las tuberías de abastecimiento y desagüe, primero con el plano del terreno se dibujan los lugares donde irán los estanques y segundo se dibujan las estructuras hidráulicas y demás sitios de almacenaje de alimento, beneficiamiento, etc.

Es importante saber con cuanta agua se dispone y su calidad para así determinar la cantidad a producir, se puede decir, que son suficientes 50lit/seg por cada hectárea en estanques, pero este valor es bastante variable. Luego de haberse terminado con los estudios limnológicos de la fuente hídrica de la futura piscifactoría, se procede a la construcción de estanques, este proceso implica la selección y descapote del terreno, y luego la excavación según las medidas establecidas por el acuicultor, se colocan las tuberías y luego se hace la preparación del estanque. La preparación de estanques es muy importante debido a que hay que adaptar el estanque a una serie de condiciones estables para el cultivo apropiado de organismos, la preparación usualmente se hace con cal y abonos en algunos casos, la cal es una sustancia que permite establecer el pH, y matar organismos presentes en el estanque como patógenos, o peces depredadores.

5.2 Mantenimiento de estanques (limpiado, vaciado, encalado)

Después de construidos los estanques hay que hacerles limpieza, y después de cada cosecha se les hace mantenimiento. Básicamente el mantenimiento se hace con cal y abono, lo recomendado es cuando se hace el vaciado de los estanques, ponerlos a secar al sol durante varios días, para eliminar la materia orgánica, es necesario deshacerse de la capa de barro que queda, esta se puede aprovechar para el abono de plantas y cultivos agrícolas, o para echarla al cultivo de lombriz de tierra con fines de producir humus. Si no se deshace de la capa de barro, puede haber efectos negativos en estos estanques, como la baja capacidad de producción y una bomba de tiempo, a la cual se refiere, a que en algún momento se estalla la producción de ácido sulfhídrico (H₂S) y esto no es deseable en acuicultura lo que ocasionaría mortalidad. Lo ideal es que la capa de barro no sobrepase los 20 centímetros, pero si es posible sacar todo el barro mucho mejor. Luego se procede a encalar, según Wurts and Masser, 2004 encalar estanques tiene 3 importantes beneficios:

1. Encalar mejora el efecto de la fertilización
2. Cal previene amplios rangos de pH
3. Cal adiciona Calcio y Magnesio que son elemento importantes para la fisiología animal

Entonces el encalado es muy útil porque mejora la alcalinidad, la dureza, el efecto de la fertilización, mata patógenos y depredadores, corrige el pH. Elegir el tipo de cal, es algo que depende mucho de la disponibilidad en la zona, el costo, y su fin de uso, hay diferentes tipos de cal y diferentes forma de presentación, La cantidad de cal a usar depende del tipo de cal y de la cantidad de alcalinidad y la medición de pH. Entre las muchas cales que existen, todas vienen de la piedra caliza que es carbonato de calcio, y algunas vienen con magnesio también, esta piedra caliza se pulveriza para formar la famosa cal comercial llamada cal agrícola o cal dolomita, esta es ideal para encalar, ya que no eleva tanto el pH, y no produce quemaduras en la piel de los humanos; con frecuencia se quema la piedra caliza para

convertirla en óxido de calcio, esta cal se conoce comercialmente como cal quemada, y si se le adiciona agua se convierte en hidróxido de calcio, esta cal se conoce comercialmente como cal hidratada, estas dos últimas cales elevan bastante el pH, y en ocasiones le queman la piel a las personas que manejan esta cal, y si hay una herida el daño es inminente.

Hay que tener especial cuidado con encalar, porque subencalar implica que no se hizo nada con la cal, entonces se desperdició la mano de obra, y sobreencalar eleva demasiado el pH a rangos que ningún organismo acuático tolera.

Luego del encalado, se deja en reposo, se hace un pequeño vaciado y luego otro llenado, si se desea fertilizar entonces se procede.

Si se desea calcular el tiempo de llenado y vaciado en un estanque se procede a usar las siguientes fórmulas:

Para el tiempo de llenado, depende del caudal (Q), tiempo (t) y volumen (v)

$$t = V / Q$$

t= en segundos, V= litros, Q= m litros/segundo

Ejemplo:

Al estanque entran 8 lit/seg, y el volumen del estanque es de 60000 litros, entonces en cuánto se demora para llenar?

$$t = 60000 \text{ litros} / 8 \text{ litros/seg}$$

$$t = 7500 \text{ segundos}$$

Si se quiere visualizar en horas se divide en 3600 (1 hora tiene 3600 seg)

$$= 7500 / 3600$$

$$= 2.08 \text{ horas}$$

Entonces el estanque se va a llenar en 2 horas.

Tiempo de vaciado

El tiempo de vaciado es importante porque nos permite calcular el tiempo en que se demora en vaciar un estanque, la fórmula para calcular es la siguiente:

$$t = 0.75 * \frac{A1}{A2} (h1-h2)$$

Donde A1 es el Área del estanque, A2 es el Área del tubo de desagüe, h1 es la profundidad inicial del estanque y h2 es la profundidad final con la cual se va a quedar el estanque

Ejemplo:

Un estanque tiene 7.25m² de área, la profundidad de la agua es de 0.72 metros y se quiere que baje el nivel hasta 0 metros. El tubo de desagüe es de 4 pulgadas, hallar el A2 del tubo de desagüe y el tiempo de vaciado.

OJO: d es el diámetro, para que quede en metros, se multiplica por 2.54 y se divide entre 100 y esto se eleva al cuadrado para que quede en metros cuadrados y así pueda ser un área.

$$A2 = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A2 = \frac{3.1416}{4} * \frac{(4 * 2.54)^2}{100}$$

$$A2 = 0.0081\text{m}^2$$

Ahora trabajamos con los siguientes datos planteados en el problema:

$$A2 = 0.0081\text{m}^2$$

$$A1 = 7.25\text{m}^2$$

$$H1 = 0.72\text{m}$$

$$H2 = 0$$

El A1 es el área de la pileta, el A2 es del tubo de desagüe, el H1 es la misma profundidad, es decir suponiendo que esta llena la pileta, para saber cual es el tiempo de vaciado total, y el H2 es la altura a la que se quiere desaguar entonces para saber el tiempo de vaciado es necesario que la pileta queda totalmente vaciado.

Ahora se reemplaza en la fórmula los datos de arriba

$$t = 0.75 * \frac{7.25}{0.0081} * (0.72 - 0)$$

$$t = 482.89 \text{ seg}$$

5.3 Fertilización

La fertilización es el proceso por el cual se adiciona fertilizantes a la agua, con el fin de incrementar la productividad primaria, los fertilizantes también son conocidos como abono y hay 2 tipos, los orgánicos y los inorgánicos, los primeros son excrementos de animales o restos vegetales, y los segundos son compuestos químicos sintéticos, cuando se va a escoger un fertilizante orgánico hay que procurar saber sobre éste, por ejemplo los excrementos de animales que comen mucha vegetación como las cabras, vacas, y otros, tienen mucha celulosa y por lo tanto se degradan más lento, entonces el efecto fertilizador se hace más despacio, también los restos de hojas son lentos para descomponerse, también, cuando se escoge los excrementos de cualquier animal, hay que procurar saber el tratamiento que le

han dado a los animales por condiciones sanitarias, por ejemplo, si vamos a fertilizar una agua con los excrementos de un cerdo, hay que averiguar en lo posible en que no haya sido un cerdo parasitado con tenia u otro parásito ya que los peces podrían quedar parasitados y esto llegaría al hombre, también vigilar que no sean animales muy tratados con antibióticos, en el caso especial del pollo, en la cual sus heces pueden tener residuos de antibióticos los cuales le van a crear a las bacterias acuáticas resistencia a los mismos y luego aparecen enfermedades sin cura, y peor aun si esto llega al hombre.

Antes de fertilizar, el estanque debe haber sido preparado y encalado, es decir lo dicho arriba, lo ideal es que el estanque no tenga una gruesa capa de barro, ya que esto enturbia mucho la agua, dificultando la entrada de la luz solar y por ende, el crecimiento del plankton, también se debe desherbar el estanque porque recuerden que las macrófitas compiten por luz y espacio con el plankton.

Al fertilizar el estanque, a los días se comienza a ver la masa de plankton, conocida como "bloom", es importante tener un disco de sechi para controlar la visibilidad, la visibilidad con el disco debe marcar 30 a 40cm, pero asegúrense que sea turbiedad producida por plankton y no por arcilla y/o barro, si la turbiedad producida por el plankton es menor que 30cm, entonces hay mucho bloom, y esto se convierte en un problema, porque en la noche ellos empiezan a consumir oxígeno, y como hay tantos, el oxígeno se va acabar más rápido trayendo como consecuencia la muerte de los peces, si el disco sechi marca visibilidad mayor de 40cm, entonces hay poco plankton, y podrían aparecer macrófitas, y entonces la dosis de fertilizante que se usó fue muy poca.

Los fertilizantes tienen elementos esenciales para el crecimiento del plankton, estos nutrientes son el nitrógeno, fósforo, y potasio, el fósforo viene en la forma (P2O5) y el potasio en la forma (K2O). Entonces, los fertilizantes inorgánicos que compramos debe dar la indicación de qué cantidad tiene de cada uno, si compramos por ejemplo, uno que diga 15-13-8 entonces tiene 15% de nitrógeno, 13% de fósforo y 8% de potasio, algunos fertilizantes vienen con silicio adicional. El elemento más importante es el fósforo, los otros casi no tienen importancia. Boyd C, sin fecha, ha propuesto que la relación óptima de N y P2O5 debe ser 1:3 en estanques de agua dulce y 1:1 en estanques de agua salobre, también afirma que los fertilizantes deben aplicarse a razón de 5 a 10Kg de P2O5/ha por aplicación a intervalos de 2 a 4 semanas, y que los fertilizantes con altos contenidos de nitrógeno, son populares y de bajo costo, pero si son utilizados en exceso, pueden causar toxicidad amoniacal a los peces.

Los fertilizantes inorgánicos vienen en muchas formas, polvillo, granos, y líquido, el más popular es el de granos, pero éste y el polvillo no se disuelven tan rápido, entonces lo ideal es disolverlos en un balde con agua, y para procurar homogeneidad en el bloom del estanque, se debe lanzar la mezcla a mano en diferentes puntos del estanque.

Los fertilizantes orgánicos pueden ser de origen animal o vegetal, cualquiera de los 2 por el que se opte, se debe hacer consideraciones previas como las mencionadas arriba, el fertilizante de origen animal son las heces, éste puede estar húmedo o seco, dicen que si está húmedo entonces su poder fertilizante es menor, pero estos son simplemente comentarios, si escogemos un fertilizante vegetal, tenemos que asumir que la velocidad de fertilización es menor, y tenemos que prevenir al máximo que las hojas o semillas de plantas que nos servirán de abono, no hayan estado alguna vez en contacto con los pesticidas. La desventaja de los orgánicos es que además de tener estos nutrientes, puede tener compuestos no

deseados como ya dijimos, restos de antibióticos, o alimento no digerido, incluso puede tener patógenos, su ventaja está en el bajo costo y la alta disponibilidad en todas las zonas del país.

Cuando vayamos a fertilizar tenemos que saber cuál es nuestra finalidad, para qué queremos fertilizar?, el proceso de fertilización libera nutrientes que estimula el crecimiento del phytoplankton y por ende, mayor presencia del zooplankton, esto sirve de alimento para los peces, pero también debemos mirar la velocidad de fertilización, que es la velocidad en la cual se desencadena todo este proceso con todos los microorganismos que comienzan a observarse, esto en acuicultura rural y de pequeña escala puede no tener importancia, y de pronto en acuicultura orgánica tampoco, pero en larvicultura tiene mucha importancia porque hay zooplankton que puede depredar las larvas de peces, o algunos son más grande que la boca del pez, entonces es importante saber en qué días comienza a crecer el plankton deseado, para saber cuándo se debe sembrar las larvas de peces.

Ludwig G.M, Stone N.M., Collin C. B., 1998 proponen la siguiente tabla como solución a ese problema:

Scientific name	Fry size (mm)	When to stock fry*
<i>M. chrysops</i> X <i>M. saxatilis</i>	2 - 6	5
<i>Morone chrysops</i>	3 - 4	5
<i>Pomoxis nigromaculatus</i>	3 - 5	5
<i>P. annularis</i>	3 - 5	5
<i>Carassius auratus</i>	3 - 5	5
<i>Pimephales promelas</i>	4 - 6	5
<i>P. promelas</i>	4 - 6	5
<i>Stizostedion canadense</i>	4 - 6	5
<i>Notemigonus crysoleucas</i>	4 - 7	5
<i>Cyprinus carpio</i>	5 - 7	5
<i>Perca flavescens</i>	5 - 7	5
<i>Micropterus salmoides</i>	6 - 7	7
<i>Stizostedion vitreum</i>	6 - 9	7
<i>Ctenopharyngodon idella</i>	6 - 9	7
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	6 - 9	7
<i>H. nobilis</i>	7 - 8	7
<i>Aristichthys</i>		
<i>Morone saxatilis</i>	7 - 10	10
<i>M. saxatilis</i> X <i>M. chrysops</i>	7 - 10	10
<i>Polydon spathula</i>	8 - 10	10
<i>Minytrema melanops</i>	8 - 10	11
<i>Catostomus commersoni</i>	8 - 11	11
<i>Scaphirhynchus platyrhynchus</i>	>10	12
<i>Ictalurus punctatus</i>	10 - 12	13
<i>Esox masquinongy</i>	11 - 15	14

En la primera columna está en nombre científico de cada una de las especies de peces cultivadas, en la siguiente columna, el tamaño en mm de cuando son larvas, y la última

columna dice a los cuántos días de abonado el estanque se deben sembrar las larvas con base a una temperatura de 30 grados centígrados.

6. CONTAMINANTES DE LA AGUA

6.1 Contaminantes físicos

La contaminación física hace alusión a la contaminación de las aguas por radiación, las sustancias usadas en los reactores nucleares, luego de ser usadas se almacenan en recipientes herméticamente cerrados, y luego estos recipientes se entierran o se echan en el mar, sus efectos sobre los organismos acuáticos es grave, ya que escapes de esta sustancia alteran la normalidad del ecosistema, son muchos los peligros, y las consecuencias por este tipo de contaminación, ya que estas sustancias escapan y entran en contacto con las aguas, Según Martínez, 1976, las radiaciones ionizantes tienen efectos biológicos profundos a corto, mediano y largo plazo, según su intensidad pueden producir inhibición del crecimiento celular, interferencia de los procesos oxidativos, necrosis, carcinogénesis, mutaciones genéticas y sensible disminución del promedio de vida en las células aisladas y en los animales y plantas expuestos.

Todos conocemos los grandes problemas de la radiación, y que son un peligro inminente, actualmente los residuos de los reactores y las pruebas nucleares militares contaminan las aguas de nuestros mares, el problema está que la radiación no se encierra en la zona del impacto, no es endémico, las corrientes marinas, y el problema de bioacumulación de los organismos, que trasladan el impacto radioactivo a zonas más lejanas. El primer problema mencionado trata de que la radioactividad viaja con las corrientes marinas infectando a más y más organismos, y el segundo problema de la bioacumulación trata de que en la cadena trófica los organismos acuáticos van acumulando residuos radioactivos, así, empieza en el plankton, que está contaminado y posee altos índices de radioactividad, entonces el pez que come plankton empieza acumular esos niveles de radioactividad que obviamente son más altos, luego los peces carnívoros se comen a los peces planctófagos y acumulan más radioactividad, hasta que llega al hombre quien sufre las mayores consecuencias.

6.2 Contaminantes biológicos

Este tipo de contaminación suele referirse a la causada por algas, sobretodo las cianobacterias o algas cianofíceas, o verde azuladas, algunas especies liberan toxinas que contaminan el pescado, estas toxinas pueden producirle olor al pescado de descomposición, pudrición, y olores fuertes, que al consumirse por el hombre ocasionan daños, este tipo de contaminación en acuicultura se conoce como OFF FLAVOR, que el síndrome del mal sabor y mal olor en el pescado, quizás esta contaminación no sea tan grave como la producida por otras algas, como los dinoflagelados que causan las famosas "marea rojas", ellos causan una disminución de los niveles de OD matando a los peces, y liberando toxinas que afectan el sistema nervioso de los infectados.

6.3 Contaminantes químicos

La contaminación química quizás sea la más peligrosa, y es la más común; esta contaminación se da por una serie de procesos y actividades humanas, entre las cuales se encuentran el uso de pesticidas, fármacos, hidrocarburos y metales pesados, entre otros. Muchas de estas sustancias son arrojadas directamente a los cuerpos de agua, pero otros caen de manera indirecta, siendo arrastrados por las escorrentías, la lluvia o aguas subterráneas.

Estudiar estos contaminantes nos brinda mucha información sobre la tolerancia de los organismos acuáticos a ellos, también los riesgos que implican para el hombre, aunque el estudio de las consecuencias de los contaminantes en el hombre es bastante difícil.

Entre los contaminantes tenemos los pesticidas, ellos se clasifican según su acción, así tenemos insecticidas, herbicidas, fungicidas, entre otros. Estas sustancias de alguna manera llegan a los cuerpos de agua, bien sea en forma directa, o indirecta, frecuentemente se usan en actividades agrícolas pero en países como Colombia, donde se libra una batalla contra el narcotráfico, se usan indiscriminadamente éstos para combatir los cultivos ilícitos.

Los insecticidas son un grupo de contaminantes muy usados, entre ellos hay unos llamados los insecticidas organoclorados, algunos son derivados del cloroetano entre ellos está el famoso DDT, y otros como el Rotane, Neotran, Bulan, otros derivados de ciclohexano como el Lindane y otros derivados clorados cíclicos como el Aldrín, Dieldrín, Endrín, Heptacloro, Endosulfán, etc.

Estos insecticidas representan un gran peligro para los organismos acuáticos, porque tienen efectos estrogenizantes, producen degeneración hepática. Un plancton contaminado afectará a toda la cadena alimenticia como peces, aves, macroinvertebrados, mamíferos acuáticos y hasta el hombre. Los organoclorados tienen efectos bioacumulativos. Según Martínez, 1976, el Lindane es 3 veces más potente que el DDT permanece inalterable aun más tiempo en la naturaleza, y se ha comprobado que concentraciones de 0.2 ppm son suficientes para matar cangrejos y camarones. Otras sustancias como el Endosulfán en concentraciones de 0.001 ppm es letal para los peces.

También tenemos otros como los Policlorobifenilos (PCB) son sustancias peligrosas y que frecuentemente se mezclan con triclorobenceno para aislamiento térmico y de refrigeración de transformadores eléctricos. Ellos indirectamente pueden liberar sus sustancias a los cuerpos de agua. Los PCB son sustancias muy solubles en agua, casi no es biodegradable, produce bioacumulación en la cadena trófica. En peces causa daños internos, inmunosupresión y aparición de tumores, y en humanos ocasiona daños en el sistema nervioso, afecciones hepáticas, etc.

También tenemos los insecticidas organofosforados, se usan en acuicultura para eliminar macroinvertebrados acuáticos que pueden ser depredadores de peces como larvas de insectos entre ellos la Odonata, entre estos insecticidas tenemos el Paratión (Folidol), Malatión, Fensulfatión, Metilparatión, Fentión (Tiguvón). Según González sin fecha, han estudiado los efectos de este grupo de insecticidas en Tilapia roja, los ejemplares fueron expuestos a 2.7 ppm de Malatión durante 96 horas, las tilapias presentaban pérdida del nadado y se concentraban en el fondo, y luego se recuperaron al ser trasladados a un acuario con sal (NaCl) a una concentración de 1.5%, y los peces se recuperaron en tiempos de 5 a 60 minutos, entonces la sal ayuda a contrarrestar los efectos nocivos de estos insecticidas.

Otros insecticidas son los carbamatos como el Sevín (Baygón), Isolán, Aldicarb, Naban, Dilam, Bentiocarb, Dimetán, etc. Produce efectos inhibidores como el de la colinesterasa y la división citoplasmática (Martínez, 1976).

Los herbicidas son pesticidas muy usados, con fines de combatir las malas hierbas pero también se usa para destruir los cultivos ilícitos, los herbicidas usados son el Glifosato y el

Paraquat, éste último es de categoría 1 lo que indica que es de los más tóxicos. Según González, sin fecha, el Gramoxone que es Paraquat al 20%, en exposiciones de 10 ppm produce en peces regurgitación del alimento, irritación de mucosas, letargo, anorexia, cambios en tejidos cutáneos, puntos rojos en la mandíbula y escamas, desgarramiento de aletas.

Hay otros contaminantes que no son pesticidas pero también representan un alto riesgo como los detergentes sintéticos como el Alkil benceno sulfonato (ABS) y Alkil sulfatos (LAS), según Martínez, 1976, son tóxicos cuanto mayor sea la temperatura y turbidez en la agua, concentraciones debajo de 0.1 mg/lit inhiben el crecimiento de invertebrados acuáticos y a 2.5 mg/lit desaparecen las algas, la concentración máxima permitida es de 0.5 mg/lit. La acción tóxica de los detergentes en peces se concentra en riñón, hígado, branquias; los detergentes sintéticos potencian la acción tóxica de los venenos mercuriales.

Otros contaminantes son los compuestos fenólicos, como el Pentaclorofenol, Cresoles, Hexaclorofeno, Hidroquinona, Lisol, Resorcinol, Ácido Tánico, Ácido Carbólico, y Xiloles. Estas sustancias son irritantes, afectan muchos procesos fisiológicos, concentraciones de 0.0001 ppm en la agua es perjudicial para los peces (Martínez, 1976). Estos compuestos llegan a las aguas procedentes de refinerías y derivados del petróleo.

Tenemos también la contaminación por fármacos, tales como el verde de malaquita, un colorante orgánico usado para el control de hongos y parásitos, este colorante está prohibido en peces de consumo, pero aún se sigue usando, es acumulativo, y cancerígeno, Según Bauer et al citado por González sin fecha, el metabolito más importante del verde de malaquita es el verde de leucomalaquita que tienen una vida media de hasta 40 días en tejidos de trucha, por esto no debe usarse en peces de consumo. Según Noga, 1996 citado por González sin fecha, la toxicidad del verde de malaquita aumenta con el incremento de la temperatura de la agua y disminución del pH, y es inactivado por la luz.

Otro fármaco que puede causar severa contaminación es la oxitetraciclina que es un antibiótico muy usado para atacar bacterias, su uso indiscriminado produce que las bacterias adquieran resistencia a este antibiótico, los peces también pueden retener en sus tejidos el antibiótico por varias semanas.

Muchos metales pesados son contaminantes, el más famoso es el mercurio, muchos productos son a base de mercurio y algunos son usados en la actividad minera para extracción de oro, el mercurio es bioacumulativo, nunca se elimina del cuerpo, y se acumula en la corteza cerebral, según Eyl, 1971 citado por Martínez, 1976, los cuerpos de agua permaneces solucionados de 10 a 100 años después de cesar la fuente de contagio, y que hasta el momento no se conocen métodos útiles para la reducción de la contaminación mercurial en la naturaleza. Se han detectado peces sobretodo marinos contaminados con mercurio, los humanos que consumen estas especies, pueden presentar los síntomas a los días o incluso a los años, el mercurio afecta a nivel nervioso en humanos, produciendo parálisis, disfunción de los sentidos, disfunción emocional, etc. Se dice también que el mercurio es cancerígeno.

Entre otros metales tenemos el plomo, las industrias mineras, de pintura y baterías pueden contaminar las aguas, los efectos contaminantes del plomo no se conocen mucho, pero son bioacumulativos.

El cadmio también es otro metal que no se conoce su acción contaminante pero sin duda representa un riesgo para el ecosistema y para el hombre, produciendo daños respiratorios y gastrointestinales (Martínez, 1976).

Tenemos también la contaminación por hidrocarburos, que son procedentes de refinerías, industrias petrolíferas, pozos y oleoductos. El mundo ya ha presenciado la contaminación de la agua por petróleo, estas sustancias son muy poco degradables, los productos refinados son más contaminantes porque tienen más bencenos, fenoles, sulfatos. Cuando los hidrocarburos contaminan las aguas ocupan la capa superficial así impidiendo la entrada de luz, y por ende la producción de fotosíntesis, además obstruyen las branquias, según Ramírez and Viña, 1998, el crudo en un cuerpo de agua altera inicialmente el intercambio gaseoso atmósfera – agua, limitando sus procesos de difusión, así disminuye la concentración de oxígeno y la película superficial de crudo limita la penetración de rayos solares, y la descomposición de hidrocarburos consume oxígeno. Otra consecuencia es la producción de H₂S cuando la degradación del hidrocarburo se realiza bajo condiciones deficitarias de oxígeno, compuesto tóxico para la mayoría de organismos acuáticos. Y en algunas especies la simple impregnación con hidrocarburos puede producir su muerte o restringir la incorporación de calor, o daño por asimilación, ingestión o bioacumulación. Los mencionados autores afirman que las algas verdes son las más sensibles mientras que las algas silíceas como las diatomeas son más resistentes.

BIBLIOGRAFIA

1. Arboleda O. D., 2005. Calidad del agua y mantenimiento de acuarios. Revista Electrónica de Veterinaria Redvet. Vol 6 No. 8. 11 pag. Disponible en: www.veterinaria.org/revistas/redvet/n080505.html
2. Boyd C., 1991. Empirical modeling of phytoplankton growth and oxygen production in aquaculture ponds In: D.E. Brune and J.R. Tomasso, eds., Aquaculture and Water quality, advances in world aquaculture, Volume 3, World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana. p. 363-395.
3. Boyd C., sin fecha. Manejo del suelo y de la calidad de agua en la acuicultura de piscinas. Asociación Americana de Soya ASA. 62 pag. EEUU.
4. Brunson, Stone and Hargreaves, 1999. Fertilization of fish ponds. SRAC publication No. 471. 4 pag.
5. Gonzalez M.J.F., sin fecha. Toxicos en el agua y sus efectos potenciales en la piscicultura colombiana. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia.
6. Kubitz Fernando, 2000. 1 Qualidade da água, sistemas de cultivo, planejamento da produção, manejo nutricional e alimentar e sanidade. Panorama da acuicultura Vol 10 N 59. Brasil.
7. Ludwig G.M, Stone N.M., Collin C. B., 1998. Fertilization of fish fry ponds. SRAC publications No. 469. 8 pag

8. Martínez M. A., 1976. Ictiosarcotoxicosis una intoxicación potencialmente frecuente segunda parte. Tribuna Médica.
9. Nunes A., 2002. Tratamento de efluentes e recirculação de água na engorda de camarão marinho. Panorama da aquicultura Vol 12 No 71. pag 27- 39
10. Popma and Masser, 1999. Tilapia life history and biology. SRAC publications No 283. 4 pag. EEUU.
11. Ramírez G. A and Viña V. G., 1998. Limnología colombiana. BP Exploration Company, Universidad Jorge Tadeo Lozano. Colombia.
12. Rodríguez H. and Anzola E., 2001. Capítulo III La calidad del agua y la productividad de un estanque en acuicultura In: Rodríguez, Victoria, Carrillo (eds). Fundamentos de acuicultura continental. Inpa. p.43-73. Colombia. ISBN (958-9356-06-0)
13. Wurtz W. A. and Masser M. P., 2004. Liming ponds for aquaculture. SRAC publications No 4100. 6 pag. EEUU.

Trabajo recibido el 27/07/2006, nº de referencia 110624_RED VET. Enviado por su autor. Publicado en [Revista Electrónica de Veterinaria REDVET®](#), ISSN 1695-7504 el 01/07/06.

[Veterinaria.org®](#) - [Comunidad Virtual Veterinaria.org®](#) - Veterinaria Organización S.L.®

Se autoriza la difusión y reenvío de esta publicación electrónica en su totalidad o parcialmente, siempre que se cite la fuente, enlace con Veterinaria.org – <http://www.veterinaria.org/> y [REDVET®](#) <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet> y se cumplan los requisitos indicados en [Copyright](#) 1996 -2006